

Artigo Técnico

Avaliação dos níveis de monóxido de carbono nos emboques dos Túneis Ayrton Senna e Presidente Roosevelt.

Assessment of carbon monoxide levels in the embankments of the Ayrton Senna and Presidente Roosevelt Tunnels.

Tomnila da Costa Lacerda Motta^{ac*}, André Luiz Gonçalves Scabbia^b, Murilo Daniel de Mello Innocentini^c

^a Mestre Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^c Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão do Preto-SP, Brasil.

Palavras-chave: monóxido de carbono, exposição prolongada, emboques, túnel.

Keywords: carbon monoxide, prolonged exposure, entrance of tunnel.

Resumo

A poluição do ar é uma preocupação ambiental. A atmosfera de centros urbanos é caracterizada por uma elevação nos níveis de poluentes. A dispersão dos poluentes atmosféricos é facilitada quando o tráfego de veículos ocorre em ruas abertas. Porém, na cidade de São Paulo, foram priorizadas soluções urbanísticas com o uso do espaço subterrâneo. As normas brasileiras aplicáveis aos túneis visam emergências e os sistemas operacionais previstos nestas normas estão limitados ao interior dos túneis, não havendo protocolos de monitoramento nos emboques. Este artigo apresenta as medições de monóxido de carbono realizadas em dois túneis da cidade de São Paulo, com comprimento maior que 1.000 m, entre os meses de julho e novembro de 2023. Foi possível demonstrar que, os níveis de monóxido de carbono, nos emboques com fluxo de saída de veículos dos túneis da cidade de São Paulo alcançaram níveis de monóxido de carbono de 9 a 177 ppm nos momentos de monitoramento, ultrapassando desta forma, o índice de qualidade do ar classificado como bom pela CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (0 a 9 ppm de CO). Dentro deste contexto, o presente artigo busca alertar que a exposição prolongada ao monóxido de carbono nas proximidades dos emboques dos túneis pode provocar efeitos tóxicos continuados para a população circunvizinha.

Abstract

Air pollution is an environmental concern. The atmosphere of urban centers is characterized by an increase in pollutant levels. The dispersion of air pollutants is facilitated when vehicle traffic occurs on open streets. However, in the city of São Paulo, urban solutions using underground space have been prioritized. The Brazilian standards applicable to tunnels are aimed at emergencies and the operational systems provided for in these standards are limited to the interior of the tunnels, with no monitoring protocols at the junctions. This article presents the carbon monoxide measurements carried out in two tunnels in the city of São Paulo, longer than 1,000 m, between July and November 2023. It was possible to demonstrate that the levels of carbon monoxide at the junctions where vehicles exit the tunnels in the city of São Paulo reached carbon monoxide levels of 9 to 177 ppm at the times of monitoring, thus exceeding the air quality index classified

as good by CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (0 to 9 ppm CO). In this context, this article seeks to warn that prolonged exposure to carbon monoxide in the vicinity of tunnel embankments can cause ongoing toxic effects for the surrounding population.

1 Introdução

A poluição do ar é uma preocupação ambiental, focada em sua essência nas áreas urbanas, onde a crescente expansão através dos setores industriais e de transporte tem conduzido a elevados níveis de poluição do ar. No cenário urbano, o trânsito de veículos automotores é responsável pelo lançamento de substâncias nocivas ao homem na atmosfera, em função do processo de queima dos combustíveis fósseis, atuando de forma direta ou indireta sobre a saúde das pessoas próximas à sua emissão. Na emissão de poluentes destacam-se o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os materiais particulados, os óxidos de nitrogênio (NOx) e os óxidos de enxofre (SOx).

Como contraponto, no espaço urbano buscam-se soluções urbanísticas que proporcionem o equilíbrio econômico, social e ecológico. Neste sentido, o uso do espaço subterrâneo, através de túneis, tem um papel importante a desempenhar, ou seja, no alcance de um desenvolvimento ambiental amigável ou na redução da poluição do ar.

No tráfego de veículos em ruas abertas, a dispersão dos poluentes atmosféricos é facilitada, principalmente quando predominam condições de instabilidade atmosférica. Nos túneis, registra-se uma acumulação progressiva dos poluentes provenientes dos veículos no seu interior, desde a entrada até a saída dos veículos.

Os condutores que atravessam um túnel urbano podem estar sujeitos a elevadas concentrações de poluentes durante um curto período. Por outro lado, a população que reside ou trabalha nas imediações dos portais poderá estar exposta, a longo prazo, a valores prejudiciais à sua saúde. (OLIVEIRA, 2020).

Em túneis urbanos, acumula-se uma grande quantidade de poluição do tráfego de veículos, que é removida pela diferença de pressão entre o efeito dos veículos em movimento e o sistema de ventilação do túnel. No Brasil, os sistemas operacionais

para túneis foram inicialmente descritos pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, a partir das normas NBR 5.181:1976 - Sistemas de iluminação de túneis e da norma NBR 15.661:2009 – Proteção contra incêndio em túneis, sendo que a segunda especifica os requisitos de segurança para prevenção e proteção contra incêndio em túneis destinados ao transporte de passageiros e/ou cargas. As disposições estabelecidas nesta norma, não se aplicam às instalações, equipamentos ou estruturas existentes ou cuja construção ou implantação tenha sido aprovada antes da data em que a norma entrou em vigor.

Em julho de 2021, a ABNT publicou a norma NBR 16.980 - Proteção contra incêndio – Túneis urbanos existentes – Requisitos de revitalização, que estabelece os requisitos de segurança contra incêndio para túneis urbanos existentes, visando à sua revitalização e atendendo às condições necessárias para a implantação dos sistemas de segurança utilizados atualmente em túneis urbanos.

Em termos práticos, as normas brasileiras têm, como foco, a operação do túnel, como atividade fim da estrutura construída, considerando que os túneis têm problemas particulares em emergências e os sistemas operacionais, previstos nestas normas, estão limitados ao interior dos túneis. As normas brasileiras não estabelecem um protocolo de monitoramento dos níveis de poluição atmosférica proveniente no emboque do túnel.

Desde a década de 1940, os resultados na literatura internacional veem aumento da incidência de doenças pulmonares crônicas em pessoas expostas continuamente a pequenas concentrações de contaminantes. A morbidade e a mortalidade dessas enfermidades são maiores em ambientes de maior contaminação do ar e atinge, invariavelmente de maneira mais acentuada, a população infantil e idosa. (OMS, 2006).

Além de provocarem efeitos na saúde da população, os problemas causados pela poluição do ar também geram impactos negativos no que se refere à perspectiva econômica e social. Aumento de custos dos sistemas de saúde e maior vulnerabilidade das populações carentes podem ser vistos como exemplos de problemas causados pela contaminação do ar. (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2014)

O monóxido de carbono inibe a capacidade do sangue em trocar oxigênio com os tecidos vitais e, em concentrações extremas, provoca morte por envenenamento. Afeta principalmente o sistema cardiovascular e o sistema nervoso. Concentrações mais baixas são suscetíveis de gerar problemas cardiovasculares, principalmente

em pacientes cardiopatas. Concentrações elevadas são susceptíveis de provocar tonturas, dores de cabeça e fadiga. (COELHO, 2007).

Nessa condição, torna-se importante determinar a concentração de monóxido de carbono proveniente do tráfego de veículos no emboque dos túneis, com recurso de ferramentas de medição, que possam alertar a população circunvizinha.

2 Procedimento metodológico

Realizou-se a medição da concentração de monóxido de carbono nos emboques dos 2 túneis da cidade de São Paulo com comprimento superior a 1.000 m, utilizando o equipamento AKROM KR1000. Os túneis com comprimento superior a 1.000 m selecionados foram os Túneis do Complexo Ayrton Senna (1.950 e 1.700 m) e o Túnel Presidente Roosevelt (1.120 m).

As leituras foram realizadas em 3 posições: a primeira cinco metros antes do limite da projeção do túnel (P1), a segunda no limite da projeção do túnel (P2), a terceira cinco metros após o limite da projeção do túnel (P3). Para convenção das leituras, foram adotadas as siglas P1, P2 e P3, respectivamente.

2.1 Complexo Viário Ayrton Senna

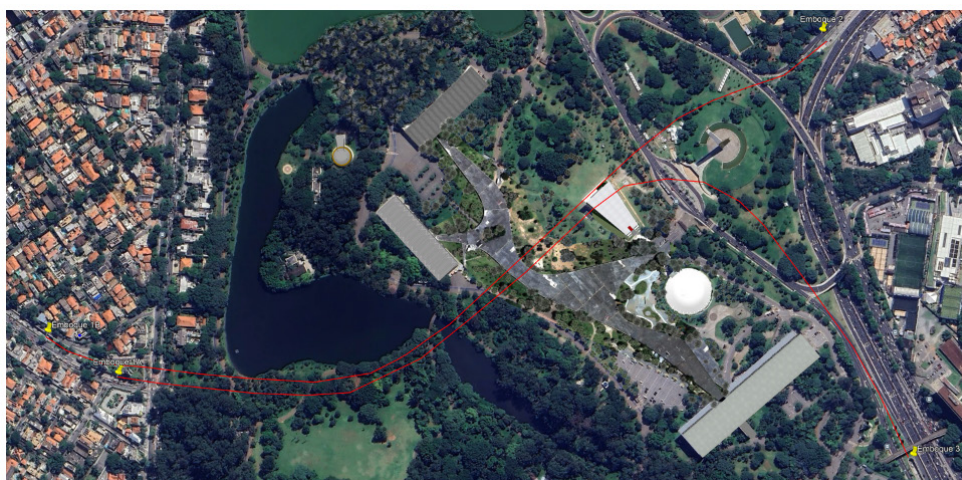
O Complexo Viário Ayrton Senna é composto por duas galerias: i) Túnel Ayrton Senna I, sentido único para o bairro, com duas faixas de rolamento, faz a ligação entre as Avenidas Vinte e Três de Maio e Antônio Joaquim de Moura Andrade; ii) Túnel Ayrton Senna II, sentido único para o centro, com duas faixas de rolamento, liga a Avenida Antônio Joaquim de Moura Andrade à Rua Sena Madureira/Avenida Professor Ascendino Reis. Os túneis possuem sistema de ventilação transversal e estão localizados no distrito do Itaim Bibi, que possui densidade demográfica de 9.351 hab./km².

Segundo dados da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego), a Avenida Vinte e Três de Maio, no trecho do Viaduto Tutóia é a via mais carregada da cidade de

São Paulo na hora de pico da manhã, com 10.199 veículos e na hora de pico da tarde, com 8.844 veículos.

Os túneis possuem 4 emboques, conforme ilustra a **FIGURA 1**: Túnel Ayrton Senna I – Emboque 1B – fluxo de saída de veículos pela Avenida Antônio Joaquim de Moura Andrade; Emboque 2 – fluxo de entrada de veículos pela Avenida 23 de Maio; Túnel Ayrton Senna II – Emboque 1A – fluxo de entrada de veículos pela Avenida Antônio Joaquim de Moura Andrade; Emboque 3 – fluxo de saída de veículos pela Avenida Professor Ascendino Reis.

Figura 1 – Localização dos Emboques dos Túneis do Complexo Ayrton Senna



Fonte: Google Earth, (2024)

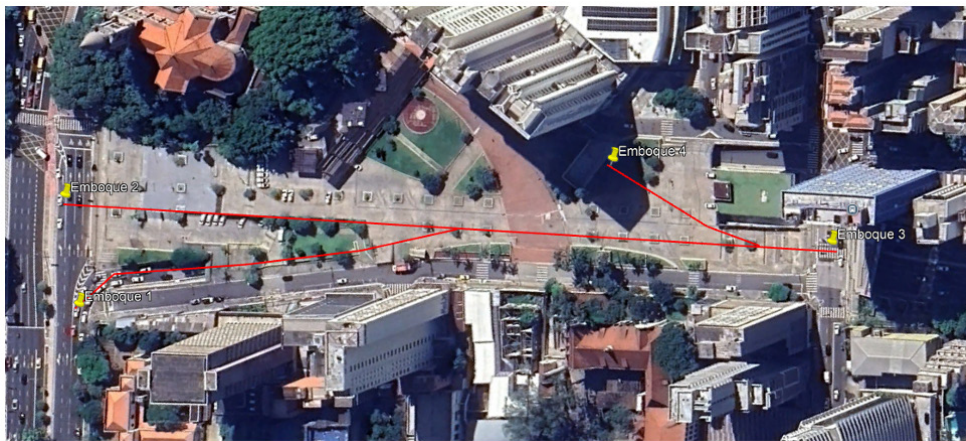
2.2 Túnel Presidente Roosevelt

O túnel Presidente Roosevelt está localizado no distrito de República, com densidade demográfica de 26.715hab./km². Ele é desprovido de sistema de ventilação e o seu gabarito vertical tem 4,40 m.

O túnel tem tráfego intenso, considerando que é a via da cidade de São Paulo que conecta a Radial Leste ao Elevado Presidente João Goulart (Minhocão), ou seja, sendo uma das conexões que formam o Corredor Leste-Oeste. Dados da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego), para esta região apontam que, na hora de pico da manhã há um fluxo de 8.817 veículos e na hora de pico da tarde 8.637 veículos.

O túnel possui 4 emboques, conforme ilustra a **FIGURA 2**, sendo: Emboque 1 – provido de 2 faixas de rolamento, com sentido unidirecional de veículos, com acesso à passagem subterrânea pela Rua da Consolação; Emboque 2 – provido de 8 faixas de rolamento, sendo: 4 faixas com sentido bidirecional de veículos, como acesso à Rua Amaral Gurgel; 4 faixas com sentido bidirecional de veículos, com acesso ao Elevado João Goulart (Minhocão); Emboque 3 – provido de 8 faixas de rolamento, com sentido bidirecional de veículos, como acesso à Radial Leste; Emboque 4 – provido de 3 faixas de rolamento, com sentido unidirecional para saída de veículos e acesso à Praça Presidente Roosevelt.

Figura 2 – Localização dos Emboques do Túnel Presidente Roosevelt



Fonte: Google Earth, (2024)

3 Resultados e discussão

3.1 Complexo Viário Ayrton Senna

Os emboques 1A e 2 representam o fluxo de entrada de veículos, não registrando a presença de monóxido de carbono nas leituras. Os emboques 1B e 3 representam o fluxo de saída de veículos. O emboque 1B não possui retenção semafórica próxima, porém, representa o fluxo de veículos proveniente da Avenida Vinte e Três de Maio, ou seja, a via mais carregada da cidade de São Paulo na hora de pico da manhã e da tarde.

Foram realizadas 7 leituras de concentração de monóxido de carbono nos Túneis do Complexo Viário Ayrton Senna, em cada um dos emboques: 1 leitura em agosto/2023, 2 leituras em setembro/2023, 1 em outubro/2023 e 3 leituras em novembro/2023 e os resultados obtidos são mostrados nas **TABELA 1**.

Tabela 1 - Concentrações de monóxido de carbono no Túnel Ayrton Senna

| Dia/Mês/Ano | Emboque 1B | | | Emboque 3 | | |
|-------------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | P1 (ppm) | P2 (ppm) | P3 (ppm) | P1 (ppm) | P2 (ppm) | P3 (ppm) |
| 22/08/2023 | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 16/09/2023 | 6 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 29/09/2023 | 6 | 6 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 02/10/2023 | 6 | 6 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| 15/11/2023 | 6 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 17/11/2023 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |

Fonte: elaborado pelos autores

3.2 Túnel Presidente Roosevelt

O túnel Presidente Roosevelt possui tráfego em dois sentidos, configurado em galeria única. Com esta configuração, a exaustão e ventilação são prejudicadas, pois há a recirculação do movimento do ar em função do sentido do tráfego dos veículos.

Foram realizadas 10 leituras de concentração de monóxido de carbono no túnel Presidente Roosevelt: 1 leitura no mês de julho, 3 leituras em agosto/2023, 2 leituras em setembro/2023, 1 em outubro/2023 e 3 leituras em novembro/2023, os resultados obtidos foram registrados na **TABELA 2**.

Tabela 2 – Concentrações de monóxido de carbono no Túnel Presidente Roosevelt

| Dia/Mês/Ano | Emboque 2 | | | Emboque 3 | | | Emboque 4 | | |
|-------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | P1 (ppm) | P2 (ppm) | P3 (ppm) | P1 (ppm) | P2 (ppm) | P3 (ppm) | P1 (ppm) | P2 (ppm) | P3 (ppm) |
| 29/07/2023 | - | - | - | 8 | 8 | 8 | 177 | 177 | 171 |
| 10/08/2023 | 5 | 4 | 3 | 8 | 8 | 6 | - | - | - |
| 15/08/2023 | 6 | 4 | 3 | 8 | 7 | 5 | - | - | - |
| 22/08/2023 | 8 | 4 | 4 | 9 | 4 | 2 | 135 | 122 | 90 |
| 16/09/2023 | 8 | 4 | 3 | 9 | 6 | 5 | 168 | 150 | 145 |
| 29/09/2023 | 7 | 4 | 2 | 8 | 7 | 6 | 135 | 122 | 90 |
| 02/10/2023 | 5 | 2 | 0 | 8 | 9 | 7 | 90 | 87 | 82 |
| 15/11/2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 | 0 |
| 17/11/2023 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 16 | 6 |

Fonte: elaborado pelos autores

O Elevado Presidente João Goulart tem funcionamento restrito, de segunda a sexta, das 7:00 às 20:00. O que redireciona o fluxo de saída de veículos pelo acesso pela Praça Roosevelt, ou seja, pelo Emboque 4.

No dia 29/07/2023 não foram realizadas leituras no Emboque 2, pois o fluxo de veículos havia sido interditado na saída para o Elevado João Goulart. Da mesma forma, não foram realizadas leituras nos dias 10/08/2023 e 15/08/2023 no Emboque 4, pois o fluxo de veículos havia sido interrompido para manutenção da via. A ausência de leituras não prejudicou as análises realizadas. A ausência de leituras apenas registra as manobras de trânsito realizadas pela CET (Companhia de Engenharia de Tráfego).

Observa-se em campo que a condição topográfica do túnel desfavorece a dispersão de poluente, pois denota-se um desnível do túnel em relação ao entorno. O túnel encontra-se numa cota inferior ao sistema viário adjacente. Um semáforo está localizado

a menos de 300 m do emboque 4 do túnel Presidente Roosevelt, o que provoca uma retenção veicular e conseqüentemente os maiores valores de monóxido de carbono do túnel, conforme ilustra a FIGURA 3

Figura 3 – Emboque 4 do Túnel Presidente Roosevelt



Fonte: elaborado pelos autores

3.3 Discussão

O sistema de monitoramento da CETESB define a qualidade do ar através dos índices de monóxido de carbono, como boa, quando compreendida entre 0 e 9 ppm, como moderada, entre 9 e 11 ppm, como ruim, entre 11 e 13 ppm, como muito ruim, entre 13 e 15 ppm, e como péssima, quando maior que 15 ppm.

Nos momentos de realização das leituras nos Túneis Ayrton Senna, as leituras de monóxido de carbono chegaram ao valor máximo de 6 ppm, no emboque 1B, podendo a qualidade do ar ser classificada como boa, segundo o parâmetro da CETESB.

Nos momentos de realização das leituras no túnel Presidente Roosevelt, as leituras de monóxido de carbono chegaram no valor máximo de 8 ppm, no emboque 2, 9 ppm no emboque 3 e 177 ppm no emboque 4.

Seguindo a norma OSHAS 18001, o teor de monóxido de carbono da atmosfera em uma sala, edifício, veículo, vagão ou qualquer espaço fechado deve ser mantido a não mais de 50 partes por milhão (ppm) (0,0039%) como um nível de exposição média

de oito horas. Esta norma estabelece que empregados devem ser removidos a partir do espaço fechado, se a concentração de monóxido de carbono exceder um limite máximo de 100 ppm (0,01%).

4 Conclusão

Este trabalho realizou medições de monóxido de carbono nos emboques de 2 túneis com mais de 1.000 m de comprimento, localizados na cidade de São Paulo, através das leituras realizadas entre julho e novembro de 2023, sendo possível concluir que:

- a) Os túneis que estão numa cota inferior ao sistema viário adjacente denotam a presença de monóxido de carbono nos emboques com fluxo de saída de veículos;
- b) Os emboques que atuam como fluxo entrada de veículos não apresentaram nível detectável de monóxido de carbono nos momentos de realização das medições; e
- c) A presença de retenção semafórica colabora para a presença de monóxido de carbono nos emboque dos túneis, como no caso do emboque 4 do túnel Presidente Roosevelt (2 a 177 ppm).

Como base nas conclusões apresentadas neste trabalho, são apresentadas as seguintes sugestões de melhorias no ambiente urbano próximo aos túneis:

- a) Implantação de sistema de ventilação no túnel Presidente Roosevelt;
- b) Retirada das retenções semafóricas próximas aos emboques de túneis com fluxo de saída de veículos: emboque 4 do túnel Presidente Roosevelt;
- c) Instalação de sensor para medição de monóxido de carbono e outros poluentes em um raio de até 5m do emboque dos túneis: Presidente Roosevelt e Complexo Ayrton Senna;
- d) Compartilhamento de dados dos sensores dos emboques dos túneis com a rede de monitoramento automático da CETESB;

- e) Instalação de painel de mensagem variável próximo ao emboque dos túneis, comunicando a população circunvizinha sobre a qualidade do ar; e
- f) Aplicação de procedimento de retenção de tráfego quando atingidos níveis de alerta.

As normativas do Brasil e de outros países são aplicadas aos túneis na forma de um conjunto mínimo de requisitos de segurança a serem implantados. A compilação do conhecimento aplicado às normas técnicas exige pesquisas de longo prazo, incluindo situações excepcionais, como acidentes ou incêndios. Neste sentido, este trabalho propõe que a aplicação de requisitos mínimos com vistas ao controle e monitoramento ambiental seja incluída nas normas técnicas.

5 Agradecimentos

Homenagem especial ao Prof. Dr. André Luiz Gonçalves Scabbia, que infelizmente veio a falecer antes da submissão de deste artigo.

6 Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Proteção contra incêndio – Túneis urbanos existentes – Requisitos de revitalização. NBR 16.980, Rio de Janeiro, 2021.

_____. Sistemas de iluminação de túneis. NBR 5.181, Rio de Janeiro, 2013

_____. Proteção contra incêndio em túneis. NBR 15.661, Rio de Janeiro, 2009.

_____. Sistemas de segurança contra incêndio em túneis – Ensaios, comissionamento e inspeções. NBR 15.775, Rio de Janeiro, 2009.

_____. Sistemas de segurança contra incêndio em túneis – Sistemas de sinalização e de comunicação de emergência em túneis. NBR 15.981, Rio de Janeiro, 2019.

_____. Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos. NBR 17.240, Rio de Janeiro, 2010.

_____. Sistemas de sinalização de emergência – Projeto, requisitos e métodos de ensaios. NBR 16.820, Rio de Janeiro, 2022.

_____. Proteção contra incêndio em túneis rodoviários e urbanos – Operação de emergência em túneis rodoviários e urbanos – Requisitos. NBR 16.736, Rio de Janeiro, 2004.

CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. **Mobilidade no Sistema Viário Principal – Volumes e Velocidades**, 2020

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2020

_____. **Boletim mensal da qualidade do ar para o Estado de São Paulo**. Ano 3, Número 8, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2022

_____. **Classificação expedita da representatividade espacial das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB no Estado de São Paulo.** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2016

COELHO, S. Z. S. M. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas na cidade de São Paulo.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

Instituto De Energia e Meio Ambiente. **1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil.** 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/>. Acesso em: 20 ago. 2023

OLIVEIRA, Daniela Maria da Costa Santos. **Estudo da poluição do ar na envolvente de um túnel rodoviário.** 2020. 85 f. Tese (Doutorado) – Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

OMS – ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. **Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: actualización mundial.** Nota descriptiva, nº 313, outubro de 2006.

OSHA, Occupational Safety and Health Administration. **NIOSH recommendations to CO₂, VOCs and MP.** Disponível em: <https://www.osha.gov/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

10.29327/2152495.8.27-2

