

ISABELLA MARCONATO UCCI

Como a aplicação de tecnologias atua na redução de materiais particulados

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Hilário Nascimento Saldiva

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Ucci, Isabella Marconato  
U16c      Como a aplicação de tecnologias atua na redução  
de materiais particulados / Isabella Marconato Ucci;  
orientador Paulo Hilário Nascimento Saldiva. São  
Carlos, 2022.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2022.

1. Engenharia Ambiental. 2. Poluição do ar. 3.  
Poluição do ar e saúde humana. 4. Tecnologias de  
redução da poluição do ar. I. Título.

# FOLHA DE JULGAMENTO

---

Candidato(a): **Isabella Marconato Ucci**

Data da Defesa: 08/12/2022

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Paulo Hilário Nascimento Saldiva (Orientador(a))**

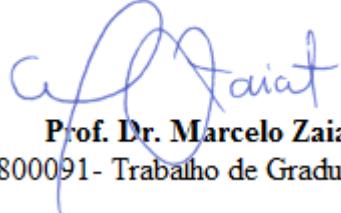
APROVADA

**Marcelo Zaiat**

APROVADA

**Marcelo Montaño**

APROVADA



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

## DEDICATÓRIA

*A minha mãe por me ensinar  
tanto sobre a universidade da  
vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ao universo e às energias divinas que sempre me guiaram até esse curso, me dando a oportunidade de me relacionar com as pessoas mais fantásticas, inteligentes e altruístas que conheci.

Agradeço a meu orientador pela paciência e grandes ensinamentos.

A minha mãe Izabel, por me instruir a ser guerreira, obstinada e a trilhar meu próprio caminho.

A minha família, pelo amor e apoio, e por me mostrar o significado de paciência, compreensão, resiliência e redenção.

Aos meus professores da escola, do cursinho e da faculdade, Paulão, Marli, Andreza, Thiago, Bolinha, Léo, Dani, Thiagão, Leandro, Vença, Davi, Mindu, Zaiat, Valéria, por serem essenciais na minha jornada ao conhecimento científico e da vida. Vocês serão minha eterna fonte de inspiração.

Aos que dividiram um lar comigo durante a graduação, Laís, Marina, Gabriel e Nivaldo, deixando meus dias mais leves e divertidos.

A meus amigues de infância, Camila, Kênia, Laís e Neto pelo amor, acolhimento e parceria mesmo à distância.

A minha amiga Victória, por ter estudado comigo várias noites, por me ajudar com os processos seletivos, por me acolher em Jundiaí e por ser essa amiga maravilhosa.

A todes meus amigues, por compartilhar vários momentos inesquecíveis de muitas conversas, risadas, desabafos. Vocês são tudo para mim.

Ao Gabriel e Gustavo, que são meu porto seguro atualmente.

A minha atual gerente Saori, por todo apoio, conhecimento e amor à sustentabilidade.

A todas as pessoas que me amam e torcem por mim.



## RESUMO

UCCI, I. M. **O papel da engenharia ambiental na redução da poluição do ar.** 2022. 55 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

Este trabalho trata de uma revisão bibliográfica da produção científica acerca da poluição do ar e suas consequências para o meio ambiente e para a saúde humana. O objetivo é compreender em que medida a Engenharia ambiental poderia contribuir para a diminuição de poluentes atmosféricos por meio do uso de tecnologias e parceria com outras engenharias, tendo em vista que além de afetar o meio ambiente, a poluição do ar está evidentemente conectada com o aumento de doenças pulmonares, cardíacas, neurológicas, entre outras. Para realizar esse levantamento bibliográfico foram coletadas informações de artigos, livros e revistas com foco na poluição do ar por material particulado na cidade de São Paulo, bem como de tecnologias atuais utilizadas na redução da mesma e, também, dos meios de transportes que emitem menos poluentes. As principais tecnologias abordadas no trabalho por sua grande eficiência são os separadores ciclônicos e os precipitadores eletrostáticos, além de se discutir a real sustentabilidade de se utilizar veículos elétricos como forma de transporte alternativo. A mitigação da poluição do ar é urgente e extremamente necessária devido às consequências graves ao meio ambiente e à saúde humana como já constatadas em inúmeras pesquisas científicas, e demanda a promoção de políticas públicas efetivas como conectar e sistematizar as políticas de desenvolvimento urbano, transporte, saúde e qualidade do ar, bem como a conscientização da sociedade acerca da sua própria responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: Poluição do ar 1. Engenharia ambiental 2. Saúde humana 3.



## ABSTRACT

UCCI, I. M. **The role of environmental engineering in reducing air pollution.** 2022. 55 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

This study deals with a bibliographic review of the scientific production about air pollution and its consequences for the environment and human health. The objective is to understand the extent to which environmental engineering could contribute to the reduction of atmospheric pollutants through the use of technologies and partnership with other engineering, bearing in mind that in addition to affecting the environment, air pollution is evidently connected with the increase in lung, heart and neurological diseases, among others. To carry out this bibliographic survey, information was collected from articles, books and magazines focusing on air pollution by particulate matter in the city of São Paulo, as well as current technologies used to reduce it, and also the means of transport that emit less polluting. The main technologies addressed in the work due to their great efficiency are cyclonic separators and electrostatic precipitators, in addition to discussing the real sustainability of using electric vehicles as an alternative form of transport. Finally, it was possible to conclude that the mitigation of air pollution is urgently and extremely needed due to serious consequences for the environment and human health, as already verified in numerous scientific studies, and demands the promotion of effective public policies such as connecting and systematizing urban development, transport, health and air quality policies, as well as raising awareness of the society about its own environmental responsibility.

Keywords: Air pollution 1. Environmental engineering 2. Human health 3.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo Geral	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Engenharia Ambiental	21
2.1.1 Poluição Ambiental	23
2.1.2 Poluição do Ar	25
2.1.3 A importância do estudo da poluição do ar	29
2.2 Papel da engenharia ambiental em relação à poluição do ar	31
2.2.1 Mobilidade Urbana	31
2.2.2 Proconve	31
2.2.3 Frota automotiva	33
2.2.4 Melhoria de combustível	34
2.2.5 Utilização de automóveis a biocombustíveis	35
2.3. Utilização de transportes públicos limpos	35
2.3.1 Utilização de meios de transporte elétricos	36
2.3.2 Criação de ciclofaixas	37
2.4 Conhecendo as tecnologias	38
2.4.1 Tipos de tecnologias	38
2.4.2 Aplicação das tecnologias e seus desafios	40
3. DISCUSSÃO	41
4. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46



## 1. INTRODUÇÃO

Desde a última atualização global da OMS em 2005, as evidências sobre como a poluição do ar afeta diferentes aspectos da saúde aumentaram significativamente. A cada ano, a exposição à poluição do ar causa cerca de 7 milhões de mortes prematuras e resulta na perda de milhões de anos de vida saudável. Em crianças, isso pode incluir redução do crescimento e da função pulmonar, infecções respiratórias e agravamento da asma. Em adultos, a doença coronariana e o acidente vascular cerebral são as causas mais comuns de morte prematura por poluição do ar, e outras consequências, como diabete e doenças neurodegenerativas, estão surgindo (WHO, 2021).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) monitora a qualidade do ar em vários pontos do estado de São Paulo desde a década de 1970. Nos anos 2000 – 2021, o monitoramento da qualidade do ar foi realizado em 29 pontos da cidade por algum tempo. Os poluentes monitorados no município são monóxido de carbono, fumaça, partículas respiráveis, partículas pequenas, óxidos de nitrogênio, ozônio, partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre. Que está em concentrações mais altas do que a atual recomendação de qualidade do ar da OMS. A análise da poluição na cidade de São Paulo do ponto de vista das últimas informações sobre proteção à saúde pública, mostra maior vigilância no controle das emissões de partículas e formação de O<sub>3</sub> nos níveis troposféricos, bem como novas preocupações sobre as concentrações de NO<sub>2</sub>.

Estudos de poluição do ar e saúde pública mostraram que, mesmo quando os níveis de poluentes estão abaixo dos níveis legais, eles podem ter impacto na saúde humana. Os mecanismos pelos quais a poluição do ar afeta a saúde humana ainda não são totalmente compreendidos. Portanto, estudos epidemiológicos avaliando essa questão são necessários, devido à comprovada morbidade respiratória e ao efeito negativo de determinados poluentes na qualidade de vida da população. A hospitalização é apenas uma das consequências da poluição do ar (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016).

Tendo em vista os inúmeros estudos realizados que mostram uma íntima ligação entre a poluição do ar e a saúde humana, é possível concluir a necessidade de prevenção e mitigação dessa poluição por parte da engenharia, principalmente da Engenharia

Ambiental. Por isso, este trabalho tem por finalidade realizar uma revisão bibliográfica acerca da ligação entre Engenharia Ambiental, poluição do ar e tecnologias existentes, a fim de apresentar como estas auxiliam na redução da poluição atmosférica.

A revisão bibliográfica procura explicar e discutir um tema com base em referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos e outros, a fim de conhecer e analisar materiais científicos sobre um determinado tema (MARTINS, 2001). Este acervo de informações busca enriquecer a pesquisa, à qual tem como finalidade colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto (MARCONI e LAKATOS, 2004).

Portanto, segundo os autores acima, a pesquisa bibliográfica não é uma repetição do que foi pesquisado e discutido sobre um assunto determinado anteriormente, e sim uma ferramenta que proporciona a análise de um tema perante uma nova perspectiva ou abordagem, alcançando diversas outras novas conclusões.

Demo (2000) completa informando que a ideia da pesquisa é a de impulsionar o contato pessoal do aluno com as teorias literárias disponíveis levando à própria interpretação.

Assim sendo, na elaboração deste trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica narrativa da literatura nacional e internacional disponível sobre o tema proposto. A revisão literária nada mais é que uma ação sobre um conteúdo produzido previamente. (GIL, 2004).

O problema em questão, conduziu a pesquisa relacionando as áreas de engenharia e a poluição do ar, e, como a redução, prevenção e mitigação da poluição pode ser alcançada através da implementação de tecnologias através da atuação de Engenheiros e Engenheiras Ambientais.

As bases de dados utilizadas foram: Scielo (Scientific Electronic Library OnLine), Biblioteca Digital de Teses e Dissertações, Periódicos Capes e Google Scholar, às quais serviram como instrumento para coleta de dados, a partir das seguintes palavras-chave: Engenharia Ambiental; Poluição Ambiental; Poluição do Ar; Poluição do Ar e Saúde Humana; Tráfego urbano; Tecnologias utilizadas para reduzir a emissão de poluentes atmosféricos.

A seleção foi realizada a partir de leitura de livros, artigos científicos, revistas, dissertações, leis, documentos eletrônicos e encyclopédias selecionados aleatoriamente na busca e alocação de conhecimentos para a construção e elaboração deste trabalho, encontradas nas bases de dados, selecionando apenas a literatura que atendia aos parâmetros de inclusão definidos neste trabalho. Incluiu-se apenas as publicações relacionadas à questão em estudo, publicadas no período de 1999 a 2018, nos idiomas inglês e português, sendo todos os tipos de delineamentos metodológicos aceitos.

Posteriormente foi realizada a leitura de todo o material e as informações mais relevantes foram compiladas. Em seguida, uma análise descritiva foi feita procurando designar a compreensão e desenvolver o conhecimento sobre o tema pesquisado e estruturar o referencial teórico.

## **1.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar de que maneira a aplicação das tecnologias auxilia na diminuição da emissão de material particulado como forma de prevenir, reduzir e mitigar a poluição do ar, com a finalidade de analisar o benefício da redução de poluentes atmosféricos nos estudos de referências bibliográficas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Engenharia Ambiental

A Engenharia é a profissão que consiste em aplicar conhecimentos científicos, técnicos e matemáticos para criar, aperfeiçoar e implementar materiais, estruturas, máquinas, sistemas ou processos que tenham um objetivo ou função específica. Aplicação consiste em desenvolver formas de utilizar economicamente materiais (e também as forças da natureza) para o benefício da humanidade (ZILBERMAN, 1997). É uma ciência abrangente, à qual engloba diversas áreas de especialização, cada qual com uma ênfase mais específica em determinados campos de aplicação e em determinados tipos de tecnologia. Uma dessas especializações é a Engenharia Ambiental.

A Engenharia Ambiental se manifesta em estruturas consistentes de pensamento e de práticas de engenharia voltadas para a solução de problemas ambientais, sobretudo a questões que envolvem a garantia de abastecimento de recursos hídricos seguros, abundantes e aprazíveis à população; o tratamento de águas residuárias e descarte correto de resíduos sólidos; a drenagem apropriada de áreas urbanas e rurais para fins sanitários; o controle da poluição da água, do solo e da atmosfera; o impacto social e ambiental dessas soluções (DAVIS e MASTEN, 2016).

Neste contexto, fica claro que há a necessidade de um profissional capaz de preservar a qualidade dos recursos naturais do planeta, além de também ser responsável pela prevenção contra a poluição causada por ações antrópicas, eliminando riscos à saúde pública. Esse profissional também atua na garantia de condições sanitárias adequadas em áreas urbanas, rurais e recreativas, além do efeito dos avanços tecnológicos no meio ambiente.

Sendo assim, para firmar sua atuação no mercado de trabalho, o engenheiro ambiental deve sempre estar atualizado e embasado em conhecimentos sólidos e confiáveis, sendo de imensa importância a atenção com novas tecnologias, que devem ser desenvolvidas e pesquisadas, mas com toda a cautela para que estas sejam as mais

eficazes possíveis em cada processo e impacto estudado (CRUVINEL; MARÇAL; LIMA, 2014).

A Engenharia Ambiental se apresentou ao mundo como profissão após a 1º Conferência Mundial sobre Meio Ambiente em 1972, em Estocolmo, na Suécia. Tal Conferência se iniciou em 5 de junho, que ficou marcado como a data oficial do Dia Mundial do Meio Ambiente. Nela foi proposto a criação de novas profissões técnicas para proteger a natureza, surgindo a expressão “desenvolvimento sustentável”. Posteriormente, a ideia de criarem-se profissionais na área de meio ambiente chegou ao Brasil poucos anos depois.

Segundo Andrade e Zaiat (2014), a relação entre engenharia e ambiente passa pelo entendimento da relação entre ser humano e natureza e, principalmente, pelas distintas concepções de natureza. Ademais, esta relação percorre o entendimento das leis de conservação da matéria e da energia e de transformação energética.

O vínculo da engenharia, principalmente da Engenharia Ambiental, com o ambiente infere uma ampla relação do homem com o meio e como isso varia em diferentes culturas, além do intenso conhecimento da ciência e da tecnologia. (ANDRADE e ZAIAT, 2014).

O Engenheiro Ambiental é habilitado a ter uma comunicação maior com outros profissionais, tanto no conhecimento técnico como na interação com outras formações tradicionais. Além disso, este aspecto apenas confirma o papel importante na solução de dificuldades interdisciplinares, como: poluição da água, ar e solo; gestão ambiental; gestão e tratamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos; avaliação de impactos ambientais; preservação e recomposição da biodiversidade; estações de tratamento de água e esgoto; análise de riscos ambientais; gestão de recursos hídricos; controle de qualidade ambiental; energias alternativas e renováveis; indicadores ambientais; auditorias e perícias ambientais; sistemas de informação geográfica (SIG), entre outros. (JUNIOR, 2020).

Profissionais com estes atributos é essencial na implantação de qualquer modelo de desenvolvimento econômico, na prevenção e na redução dos impactos antrópicos causados ao meio ambiente (COC AMBIENTAL, 2012).

Nos últimos vinte anos, existe uma preocupação sobre o antagonismo economia-ecologia e sobre a qualidade ambiental na Terra. As experiências, procedimentos, políticas, gestões, normas, avaliação de impactos ambientais e outros importantes avanços da ecologia, são também definitivamente uma abordagem integrada sobre este tema, de crescente significado contemporâneo, segundo Vidal Torres e Carlos Gama (2005).

### **2.1.1 Poluição Ambiental**

A discussão do tema Poluição Ambiental, leva ao encontro da necessidade de entender o conceito de poluição, que pode ser apresentado de diversas maneiras, de acordo com o olhar jurídico ou ambiental, ou ainda por definições de outros setores (VIANNA, 2015).

Uma definição da Poluição Ambiental pode ser estabelecida como "toda ação ou omissão do homem que, pela descarga de material ou energia atuando sobre as águas, solo e ar, causa um desequilíbrio nocivo, seja ele de curto ou longo prazo, sobre o meio ambiente. A definição do agente causador de poluição é dada como ser uma pessoa física ou jurídica de direito público ou privado, responsável direta ou indiretamente pela atividade causadora da degradação ambiental." (VALLE, 2002).

A temática da poluição está sendo muito mais frequentemente abordada visto que, as questões ambientais vêm tomando grande importância para o futuro da sociedade, segundo Vianna (2015). Há uma necessidade de compreensão e conscientização a respeito da preservação do planeta, já que a manutenção da vida e dos recursos naturais provem dele, e que a qualidade de vida está diretamente relacionada ao nível de poluição e degradação ambiental (VIANNA, 2015).

A poluição ambiental pode causar diversas formas de danos e prejuízos aos seres vivos, como afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, ocasionar danos aos ecossistemas e recursos naturais além de criar condições adversas às atividades econômicas, sociais, entre outros.

De acordo com Matos (2010), "a introdução de determinadas substâncias naturais, artificiais ou estranhas a um meio" é a principal característica de uma ação degradante que tem por consequência a poluição.

Em outra vertente, o crescimento urbano é acompanhado pelo aumento da poluição ambiental, pois o desenvolvimento das cidades gera cada vez mais lixo, principalmente resíduos que levam muito tempo para ser degradado pelo meio ambiente como plásticos. Consequentemente esses resíduos depositam-se em locais indevidos, como rios, solos, afetando tanto a fauna quanto a flora.

Conforme explicado acima, as cidades também por crescerem de forma muito acelerada e desorganizada possuem grandes congestionamentos de veículos, gerando também poluição do ar, o que nos leva ainda a reconsiderar as questões energéticas que estão conectadas ao uso de combustíveis (SILVA *et al.*, 2014).

Embora o ser humano tenha uma posição dominante na Terra atualmente, ele ainda depende de outros seres vivos para sua sobrevivência. Ao se segregar nas grandes cidades, o homem civilizado pode pensar que se tornou independente da natureza, mas, ao se atentar para seu alimento, para o ar respirado e para as águas utilizadas, irá verificar que, como todos os outros animais, ele é fundamentalmente dependente das relações existentes entre os sistemas vivos e seu ambiente físico. (DERISIO, 2017).

O autor deixa claro na citação acima que o ser humano depender da natureza é o motivo pelo qual é importante destacar o aumento da poluição ambiental com o tempo, uma vez que, uma pequena falha pode comprometer a segurança e o equilíbrio do planeta. Nota-se que uma das formas conhecidas de lidar com esse problema é, além de conscientizar as pessoas acerca da importância desse tema, é necessário aplicar a ciência e suas tecnologias em prol da diminuição da poluição ambiental, a fim de restaurar o equilíbrio entre os seres vivos e o meio ambiente.

Sendo assim, é necessário o estudo profundo de todas as formas de poluição ambiental a fim de investigar as principais fontes, causas e consequências da mesma. O próximo passo consiste em testar e aplicar estudos e tecnologias a fim de diminuir seu impacto.

O presente trabalho de graduação se dedicará a estudar uma das principais formas de poluição ambiental, a qual tem impacto direto na saúde humana: a poluição do ar.

### **2.1.2 Poluição do Ar**

A atmosfera torna-se poluída quando ela é alterada negativamente pela adição (ou subtração) de massa e/ou energia, causando danos aos ecossistemas e a todos os seres vivos.

Esse tipo de poluição se dá com as substâncias que são chamadas de poluentes atmosféricos e que existem em forma de gases ou partículas provenientes de fontes naturais (vulcões e neblinas, por exemplo) ou fontes artificiais produzidas pelas atividades humanas, também conhecidas como fontes antropogênicas.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 03/1990 considera poluente como:

[...] qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Entretanto, a pluralidade e complexidade de substâncias que podem estar presentes na atmosfera é elevada, o que dificulta a tarefa de estabelecer uma classificação.

A CETESB (2021) divide os poluentes em duas categorias:

- Poluentes Primários: são poluentes emitidos diretamente pelas fontes de emissão;
- Poluentes Secundários: são formados na atmosfera, através de reação química entre os primários e os poluentes naturais que constituem a atmosfera.

As diversas fontes de emissão da poluição do ar podem ser classificadas da seguinte forma (CAVALCANTI, 2003):

- Fontes naturais: são referentes a todos os processos naturais de emissão que estão ocorrendo há milhares de anos, como atividades vulcânicas, aerossóis marinhos, a liberação de hidrocarbonetos pela vegetação, a ação eólica, entre outros.
- Fontes estacionárias ou fontes fixas: são as fontes de emissão que podem ser divididas em dois grupos: um que engloba atividades pouco representativas nas áreas urbanas, como a queima de combustíveis em padarias, hotéis e outras atividades consideradas não industriais e outro grupo composto por atividades individualmente significativas, por conta da variedade ou intensidade de poluentes emitidos, como a poluição emitida por processos industriais.
- Fontes móveis: são todas as formas de mobilidade aérea, marítima e terrestre que empregam motores à combustão como força motora.

De acordo com a CETESB (2021), quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, o grau de exposição dos receptores (seres humanos, plantas, outros animais, materiais) é mensurado como resultado final do processo de lançamento desse poluente na atmosfera a partir de suas fontes de emissão e suas interações na atmosfera do ponto de vista físico (diluição) e químico (reações químicas). O sistema pode ser visualizado da seguinte forma:

Fontes de poluição – (poluentes) → Processos Atmosféricos – (diluição e/ou reações químicas) → Receptores

É importante salientar que, mesmo mantendo as emissões, a qualidade do ar pode se alterar em razão das condições meteorológicas às quais determinam um aumento ou diminuição da diluição dos poluentes. É função disso que a qualidade do ar piora com relação aos parâmetros de monóxido de carbono (CO), material particulado (MP) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ao longo dos meses de inverno, em que as condições meteorológicas são mais adversas à dispersão dos poluentes. Contudo, o ozônio apresenta maiores concentrações nas estações da primavera e do verão, pois é um poluente secundário que depende da intensidade de luz solar para ser formado, dentre outros fatores. (CETESB, 2021).

Ainda segundo a CETESB (2021), a determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, restrita a um número de poluentes definidos em

virtude da sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis. De forma geral, o grupo de poluentes consagrados universalmente como indicadores mais amplos da qualidade do ar é composto, principalmente, pelos poluentes monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), material particulado (MP), ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). O motivo da escolha desses parâmetros como indicadores de qualidade do ar está conectado a ocorrer mais frequentemente e aos efeitos desfavoráveis que causam à saúde e ao meio ambiente.

A Tabela 1 a seguir expõe um quadro geral dos principais poluentes classificados como indicadores da qualidade do ar, com suas características, suas origens predominantes e seus efeitos nocivos ao meio ambiente.

Tabela 1 – Fontes características e efeitos dos principais poluentes da atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finais (MP2,5)	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc., que podem permanecem no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho $\leq$ 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP10) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho $\leq$ 10 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho $\leq$ 50 micra.	Processos industriais, veículos motoriados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser oxidado a SO <sub>3</sub> , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa de celulosa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causando corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores	
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, às plantas ornamentais e plantações agrícolas.

Fonte: CETESB (2022)

### **2.1.3 A importância do estudo da poluição do ar**

Além de ser importante estudar pela vertente ambiental, há também estudos que comprovam a relação entre exposição à poluição do ar com a piora da saúde humana. De acordo com Dapper, Spohr e Zanini (2016), além dos problemas causados pela poluição do ar que afetam a saúde da população, eles também têm efeitos econômicos e sociais negativos. A diminuição da produtividade agrícola, o aumento do custo dos sistemas de saúde e a vulnerabilidade das populações pobres são exemplos de problemas causados pela poluição do ar.

De acordo com Barrozo *et al.* (2020), a relação entre nível socioeconômico (SES) e prevalência de doenças crônicas mostra um claro gradiente linear inverso. Em outras palavras, à medida que o SES melhora, a prevalência diminui proporcionalmente. Esse gradiente é confiável e consistente para doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, síndrome metabólica, artrite, tuberculose respiratória crônica e desfechos adversos ao nascimento, além de mortes violentas e accidentais.

No entanto, fatores isolados não são suficientes para explicar plenamente a variação regional na incidência de doenças e a relação entre desigualdade social e saúde. O GeoSES (Índice Geográfico do Contexto Socioeconômico da Saúde e Estudos Sociais) sintetiza as principais dimensões socioeconômicas para contextualizar a saúde para fins de pesquisa, avaliar e monitorar as desigualdades e desenvolver estratégias de alocação de recursos e serviços (BARROZO *et al.*, 2020).

As condições de vulnerabilidade decorrem de processos sociais e mudanças ambientais, que são chamadas de vulnerabilidade socioambiental. Processos sociais relacionados à precariedade das condições de vida e proteção social (renda, saúde, educação, saneamento) aliados às mudanças ambientais decorrentes da degradação ambiental (por exemplo, poluição do ar) tornam certos grupos populacionais (crianças, mulheres e idosos) mais vulneráveis. Em outras palavras, a vulnerabilidade socioecológica destaca estruturas socioeconômicas que criam simultaneamente condições de vida precárias e ambientes degradados, que também se refletem na redução de riscos e resiliência (GONÇALVES *et al.*, 2014).

A lesão típica é a mancha negra de carvão (antracose pulmonar) ou nódulos de carvão, uma lesão inflamatória que consiste em coleções focais de macrófagos preenchidos com poeira de mina de carvão. As lesões são dispersas, mas podem ser mais prevalentes nos lobos superior e inferior (KUMAR, 2013). A antracose pulmonar também ocorre principalmente na indústria quando os trabalhadores inalam gases ou resíduos de produtos nocivos que podem causar danos aos pulmões. Cobrar pelo uso de equipamentos de proteção individual é a melhor forma de prevenir essa doença. Pessoas com antracose pulmonar geralmente não apresentam sinais ou sintomas e muitas vezes passam despercebidas. No entanto, se a exposição se tornar excessiva, pode ocorrer fibrose pulmonar, levando à insuficiência respiratória.

Em São Paulo foi detectado níveis de polônio-210 no cérebro e tecidos pulmonares em algumas autópsias. O acúmulo de quantidades detectáveis de progênie de radônio em tecidos humanos pode ser um fator de risco para o desenvolvimento e progressão de doenças crônicas. A maior fração das exposições humanas à radiação ionizante ambiental está associada à inalação de Rn e polônio. O Rn é um gás radioativo natural produzido durante a cadeia de decaimento do urânio (U) e do tório (Th) na crosta terrestre. Rn é o radioisótopo mais significativo na série de decaimento de 238 U devido à sua meia-vida relativamente longa, alta mobilidade (como um gás nobre) e concentração de ar significativa. A cadeia de decaimento Rn produz uma série de descendentes emissores de partículas alfa e beta de vida curta e longa, incluindo polônio-210 e chumbo-210, respectivamente. As partículas alfas são núcleos de hélio consistindo de dois prótons e dois nêutrons com forte toxicidade biológica e penetram apenas a uma curta distância nos tecidos, enquanto as partículas betas são elétrons ou pósitrons com menor potencial de dano e penetração mais profunda (SANTOS *et al.*, 2020).

A placenta é um órgão temporário que forma uma barreira natural entre a mãe e o feto durante a gravidez. Embora originalmente pensado para ser uma barreira impermeável aos xenobióticos, foi demonstrado que vários poluentes ambientais, como álcool e drogas, podem atravessar a placenta. Assim, a transferência de partículas para a placenta humana após inalação em condições reais não foi adequadamente estudada, havendo necessidade de se compreender os efeitos na saúde fetal. Evidências de partículas da poluição do ar foram encontradas na placenta humana, sugerindo exposição fetal direta

a essas partículas durante o período mais sensível da vida. Evidências de transferência placentária de partículas podem ser uma explicação plausível para os efeitos adversos observados da poluição do ar por partículas no desenvolvimento fetal e aumento da inflamação sistêmica materna devido ao acúmulo de partículas nos pulmões (BOVÉ *et al.*, 2019).

## **2.2 Papel da engenharia ambiental em relação à poluição do ar**

### **2.2.1 Mobilidade Urbana**

No Brasil, iniciamos o século 21 com uma crise de mobilidade generalizada, fruto de práticas políticas e administrativas equivocadas; portanto, surgiram obstáculos e limitações que impedem soluções óbvias já propostas há muitos anos. Mas também temos ferramentas legais que podem ajudar a resolver os problemas fundamentais de mobilidade em que nos concentramos, com tráfego e transporte como variáveis (TERAN, 2013).

Monitorar a qualidade do ar na cidade de São Paulo não é uma tarefa fácil. Atualmente, esse monitoramento é feito pelas estações mantidas e operadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A maior parte dos trabalhos realizados na cidade de São Paulo para avaliar o impacto dos poluentes atmosféricos na saúde da população levou em consideração a média das concentrações determinadas pelas estações de medição da CETESB para todo o município (TOLEDO, 2010).

### **2.2.2 Proconve**

Os fatores médios de emissão de poluentes regulados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) para os veículos novos do ciclo Otto e comerciais leves (zero km) são divulgados anualmente pela CETESB em seus

relatórios de qualidade do ar. Esses são os fatores de emissão médios por ano de fabricação, ponderados com o volume de vendas de cada modelo de veículo. No âmbito do Proconve, são realizados testes de matrícula dos veículos desde 1989. Para os veículos fabricados a partir desse ano, os fatores de emissão médios por ano de construção são calculados a partir dos dados obtidos (BRASIL, 1993).

Através do Proconve, o Brasil tenta controlar as emissões dos veículos pesados desde 1990, trilhando o precedente europeu de valores limites de emissão e procedimentos de teste de certificação. A implantação brasileira ocorreu em média há cinco anos na Europa, sendo a implantação mais recente em 2012 o Proconve P7, que atende aos padrões Euro V (FAÇANHA, 2016).

Os padrões de emissão do PROCONVE P8 para novos veículos rodoviários pesados (caminhões), foi imposto pelo CONAMA, em 16 de novembro de 2018. Os padrões se aplicam a todos os veículos de passageiros e caminhões equipados com motores, ignição por compressão ou ignição comandada e pesando no mínimo 3.856 quilos. Os padrões P8 entram em vigor para novas aprovações de tipo em 1º de janeiro de 2022 e para todas as novas vendas e aprovações em 1º de janeiro de 2023. Os padrões permitem a certificação voluntária antes dessas datas (CONAMA, 2018).

As normas P8 estabelecem, entre outras coisas, limites máximos para emissões de gases de escape, partículas e ruídos, bem como requisitos de sistemas de diagnóstico, a bordo, durabilidade e testes em uso. O P8 está em conformidade com os padrões Euro VI e alinhará os regulamentos brasileiros com os da União Europeia. A introdução do P8 no Brasil segue desenvolvimentos semelhantes em outros mercados importantes de veículos, notadamente Índia, China e México. Após essas normas entrarem em vigor entre 2020 e 2023, cerca de 70% dos novos caminhões com motores a diesel em todo o mundo atenderão padrões equivalentes ao padrão Euro VI, em comparação com 0% em 2018 (BLUMBERG, 2018).

### **2.2.3 Frota automotiva**

O aumento do transporte privado coincide com a expansão das capacidades instaladas na indústria automotiva, fruto de uma política industrial que se orienta principalmente para a implantação de novas fábricas automotivas. Para dar lugar a essa produção crescente, houve amplo crédito para a compra de veículos e uma política fiscal que reduziu os impostos sobre os veículos populares. Por outro lado, o aumento da renda da população desde 2003 ampliou a base de consumidores de veículos particulares (IPEA, 2011).

Comparando os resultados com os dados de crescimento da frota de veículos a gasolina na cidade de São Paulo, bem como os objetivos do Proconve, pode-se concluir que enquanto a frota tem aumentado de veículos leves movidos exclusivamente a gasolina ou em alternância com outros combustíveis, os níveis de poluentes diminuíram, com exceção do ozônio. Chama-se a atenção para o fato de medidas governamentais de controle das emissões (imposição de valores limite de emissão de poluentes, medidas de fomento da investigação, melhoria obrigatória das emissões e da eficiência energética de novos modelos, medidas para facilitar a aquisição de novos veículos; programa de renovação da frota), aliado ao contínuo e constante desenvolvimento de novas tecnologias, contribuíram para que o conteúdo de poluentes na atmosfera da capital não aumentasse na mesma proporção que o crescimento da frota (CORTES e CARNEIRO, 2014).

As estimativas da frota brasileira de veículos têm apresentado crescimento constante desde 1980 para um volume entre 35 e 40 milhões de veículos. Em 2009, mais de 80% veículos da frota são compostos por meios de transporte individual (automóveis e motocicletas), principalmente automóveis de passeio, que representam mais da metade dos veículos nas rodovias do estado. Da segunda metade da década de 1990 até o presente, o crescimento mais rápido contribuiu amplamente para o aumento nas vendas de motocicletas novas (BRASIL, 2013).

Observa-se que as políticas e objetivos estabelecidos no Proconve são observados e implementados, visto que há uma resposta no desenvolvimento e implantação de novas

tecnologias pela indústria automotiva, que visam melhorar o desempenho energético e reduzir as emissões dos veículos produzidos no país; ou para os importados, mediante a imposição de limites e requisitos tecnológicos que garantam o cumprimento dos mesmos objetivos e limites impostos aos automóveis nacionais.

Essas implementações incluem novas tecnologias específicas para cada estágio de conversão de combustível em energia que podemos classificar como aplicáveis aos estágios de pré-combustão, injeção eletrônica, painel de controle, injeção direta, pré-aquecimento da mistura, controle de emissão evaporativa (canister); pode estar relacionado às fases durante a combustão, melhoria das taxas de compressão, perfil da câmara de combustão, mapeamento de ignição, válvula e perfil do anel, estratificação, combustão pobre (muito ar e pouco combustível); e podem ser aqueles que se referem às etapas de pós-combustão, ao uso de conversores catalíticos, à recirculação dos gases de exaustão, à injeção de ar secundário, ao filtro de partículas. Todas as tecnologias descritas acima já estão em pleno uso em veículos no país e/ou em estágios mais avançados de desenvolvimento para serem integradas em veículos novos (CARNEIRO, 2014).

#### **2.2.4 Melhoria de combustível**

Atualmente, os combustíveis derivados do petróleo comercialmente disponíveis no Brasil para aplicações automotivas são o óleo diesel, a gasolina (em mistura com o etanol anidro). Ressalta-se que a melhoria da qualidade dos combustíveis está sendo perseguida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), que, em colaboração com a Agência Nacional do Petróleo (ANP) e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), tem obtido resultados expressivos, como a retirada do chumbo e a adição do álcool à gasolina, a redução gradativa do teor de enxofre do óleo diesel e da gasolina (DRUMM et al., 2014).

Para auxiliar no controle das emissões de poluentes dos veículos automotores, o Proconve foi fundado em 1986 pelo IBAMA, com o objetivo de reduzir a poluição (emitida pelos veículos) e promover o desenvolvimento de tecnologias para melhorar a

qualidade dos combustíveis. Passada mais de uma década, a partir do dispositivo anterior, o CONAMA estabeleceu limites de emissão de poluentes também para motocicletas através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), porém o problema é que a frota (automóveis e motocicletas) triplicou nos últimos anos, anulando os benefícios iniciais obtidos a partir dessas medidas (SANTOS, 2012).

### **2.2.5 Utilização de automóveis a biocombustíveis**

A exploração comercial do biodiesel continua impulsionando o aprimoramento de novas tecnologias, acelerando a curva de aprendizado e fortalecendo a indústria e a agricultura nacionais. Para o meio ambiente, o benefício significa redução na emissão de gases de efeito estufa: o biodiesel protege o meio ambiente e ajuda a melhorar a qualidade do ar nas áreas urbanas. Para veículos automotores, o biodiesel tem maior capacidade lubrificante e, portanto, aumenta a vida útil dos motores. Com um alto ponto de inflamação e índice de cetano, o combustível também prolonga a vida útil do catalisador do sistema de escapamento (PETROBRÁS, 2007).

### **2.3. Utilização de transportes públicos limpos**

No Brasil, o setor de transporte consome 33,9% da energia produzida e 32% dos combustíveis fósseis, depois do setor industrial, é a segunda fonte de consumo de energia depois do setor industrial e a maior fonte de poluentes móveis do país, principal causa de doenças cardiorrespiratórias (EPE, 2014).

O transporte urbano motorizado é um dos principais contribuintes para a exposição humana à poluição do ar, e os dados indicam que essa situação tende a piorar. A exposição de longo prazo a poluentes atmosféricos e níveis que excedem os valores de qualidade do ar está associada a uma série de impactos negativos à saúde, incluindo

doenças cardiovasculares e respiratórias em adultos e crianças (WOODCOCK *et al.*, 2007).

Em Graz (Áustria), foram avaliados os efeitos de uma redução de 33,3% no tráfego de automóveis e sua substituição por outros meios de transporte. Os dados indicam uma redução significativa nas emissões de poluentes. Em termos económicos, foi efectuada uma simulação de substituição do automóvel pela bicicleta e estimaram-se poupanças, nomeadamente ao nível da redução da poluição, de 33 euros/ano por cada pessoa que substitua dois troços de 5 km por dia, cinco dias por semana (DEKOSTER e SCHOLLAERT, 1999).

### **2.3.1 Utilização de meios de transporte elétricos**

O motor de um veículo elétrico é incomparavelmente mais eficiente do que o de um veículo normal. Os motores elétricos convertem cerca de 70% de energia das baterias em energia utilizável para o veículo, um valor significativamente mais alto do que os motores de combustão interna, que consomem apenas cerca de 20% da energia contida na gasolina. Outra característica importante dos veículos elétricos é que eles possuem menores custos de manutenção em comparação aos carros convencionais, pois não possuem um grande número de peças de desgaste e, portanto, não exigem uma manutenção tão extensa quanto um veículo com motor a combustão e também porque não tanto. muitas trocas de óleo do motor, filtros, etc. (FONTAÍNHAS, 2013).

Talvez o dado mais relevante, e que está gerando mais interesse no veículo elétrico, é que ele não emite gases durante seu uso. Esse fato confere a esse tipo de veículo um apelo único. A melhoria na qualidade do ar e, claro, na própria vida também pode ser atribuída às emissões zero do veículo elétrico (IEA, 2016).

### **2.3.2 Criação de ciclofaixas**

As ciclovias e as ciclofaixas são espaços especialmente projetados para a movimentação de pessoas com bicicletas e que têm como objetivo aumentar a segurança dos ciclistas. Esses tipos de estruturas são muito difundidos nos centros urbanos para incentivar o uso da bicicleta como meio alternativo de transporte (DILL e CARR, 2003).

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997), as ciclovias fazem parte da via de uso exclusivo para bicicletas, delimitadas por placas especiais, geralmente colocadas no solo, que seguem o sentido da via e geralmente ficam localizadas no lado direito da via. As ciclofaixas, por outro lado, são vias separadas destinadas ao tráfego de bicicletas e fisicamente separadas do transporte público.

Basicamente, as estruturas de tráfego de bicicletas e estradas para tráfego motorizado podem ser hierarquicamente divididas em três categorias de acordo com a importância e o fluxo do tráfego (estradas locais, estradas coletoras e vias arteriais). Portanto, a escolha do tipo de via para o fluxo das bicicletas deve ser orientada tanto pelo nível hierárquico da via, quanto pela velocidade e volume do tráfego motorizado paralelo ao fluxo das bicicletas, e pelo volume de uso das pistas por bicicletas (LEAL e PRUDENCIO, 2000).

Motivada inicialmente pela grande crise do petróleo, a bicicleta começou a ganhar cada vez mais atenção no transporte urbano. Porém, hoje podemos dizer que a vantagem econômica, atrelada à economia individual no valor do combustível, não é mais o principal motivo para promover a bicicleta como meio de transporte. Dentre as principais vantagens da utilização da bicicleta como meio de transporte, podemos destacar os benefícios ambientais e individuais (TEIXEIRA, 2016).

## 2.4 Conhecendo as tecnologias

O controle da poluição do ar pode ser geralmente descrito como uma tecnologia de separação. Os poluentes, sejam eles gasosos, aerossóis ou partículas sólidas, são separados de um gás portador, que geralmente é o ar. Separam-se essas substâncias porque esses poluentes podem afetar adversamente a saúde e o meio ambiente. Poluentes gasosos são compostos que existem como um gás em condições ambientais normais. Porém alguns gases podem, momentos antes da liberação, estar na forma líquida ou mesmo sólida. Sendo assim, para efeitos do dispositivo de poluição do ar, o estado em que se encontram antes de entrar no dispositivo de controle é o mais importante (SCHIFFTNER, 2010).

### 2.4.1 Tipos de tecnologias

Os separadores ciclônicos secos liberam a poeira arrastada de um fluxo de gás transportador. Eles são frequentemente chamados de coletores de ciclones, multiciclones, ciclones, separadores ciclônicos ou coletores de poeira ciclônicos. São utilizados para recuperação de pós e pós secos de produto e como coletores primários em aplicações de controle de poluição do ar (SCHIFFTNER, 2010).

Já a filtragem de tecido é um processo de separação física no qual um gás ou líquido contendo sólidos passa por um meio de tecido poroso, que retém os sólidos. Este processo pode operar em lote ou semicontínuo, com remoção periódica dos sólidos retidos do meio filtrante. Os sistemas de filtração também podem ser projetados para operar de maneira contínua. Tal como acontece com outras técnicas de filtração, um bolo sólido acumulado realiza a maior parte da filtração. É importante ressaltar que uma camada inicial de torta de filtro deve se formar no início da operação de filtração (WANG et al., 2004).

Os precipitadores eletrostáticos são usados para remover partículas secas de correntes de gás. Eles basicamente aplicam uma carga eletrostática à banda de particulado

e fornecem área de superfície suficiente para que o particulado migre para a placa de coleta e seja capturado. As placas de coleta são batidas periodicamente para desengatar o particulado coletado em uma tremonha de recepção (SCHIFFTNER, 2010).

Os ciclones são um dos dispositivos mais utilizados para separação sólido-gás. Ele age forçando a suspensão gasosa a fluir em espiral (daí o nome de ciclone) dentro de um espaço confinado, de modo que as partículas são expelidas em direção às paredes do vaso pela força centrífuga. Uma vez nas paredes, as partículas se movem para baixo, principalmente por gravidade, e são removidas do ciclone, enquanto o gás gira para fora, geralmente para cima (WANG *et al.*, 2004).

Os resfriadores de gás evaporativo usam a aplicação controlada de um líquido (geralmente água) a uma corrente de gás quente para reduzir a temperatura da corrente de gás por meio da evaporação desse líquido. O líquido é frequentemente aplicado na forma de névoa ou névoa atomizada pelo ar. Os resfriadores evaporativos são projetados para reduzir a temperatura do fluxo de gás quente a um nível adequado para tratamento posterior. Eles também são usados para "condicionar" as partículas antes da captura em outro dispositivo (SCHIFFTNER, 2010).

A oxidação térmica (incineração térmica) é uma técnica de controle de poluição do ar amplamente utilizada, em que os vapores orgânicos são oxidados em altas temperaturas. A incineração (tanto a oxidação térmica quanto a catalítica) é considerada um método de descarte final em que os compostos orgânicos em um fluxo de gás residual são convertidos em dióxido de carbono, água e outros gases inorgânicos em vez de coletados. Na incineração térmica, o gás residual carregado de contaminante é aquecido a uma temperatura alta (acima de 537°C) na qual os contaminantes orgânicos são queimados com ar na presença de oxigênio. Uma grande vantagem da incineração é que virtualmente qualquer fluxo orgânico gasoso pode ser incinerado de forma segura e limpa, com projeto, engenharia, instalação, operação e manutenção adequados. Além disso, altas (99% ou mais) eficiências de destruição são possíveis com uma ampla variedade de fluxos de emissão (WANG *et al.*, 2004).

Filtros de cama de fibra são dispositivos de filtração especializados que são projetados principalmente para aglutinar e capturar contaminantes líquidos, como névoas

de ácido e aerossóis, cuja viscosidade é baixa o suficiente para que fluam ou podem ser feitos para fluir da superfície da cama de fibra. O design recebe o nome do meio utilizado. Consiste em fibras de tamanho mícron que são comprimidas firmemente em uma esteira ou leito, que fornece a área de superfície e a espessura do caminho do gás necessária para capturar o poluente (SCHIFFTNER, 2010).

#### **2.4.2 Aplicação das tecnologias e seus desafios**

Um fator limitante, entretanto, é a friabilidade das próprias partículas (poeira). Uma poeira altamente friável é aquela que facilmente se divide em partículas menores e mais difíceis de coletar à medida que se esfregam. Como um coletor de ciclone inherentemente joga a poeira perto da parede do vaso, a interação entre as partículas torna-se crítica no projeto. Um limite pode ser alcançado em que a rotação do fluxo de poeira e a natureza friável da poeira atingem o equilíbrio, e nenhuma poeira mais pode ser separada (SCHIFFTNER, 2010).

Estudos de laboratório mostraram que quase todos os poluentes podem ter efeitos adversos nas plantas. É importante notar que, em uma situação não controlada, é difícil determinar se os danos são causados pela poluição do ar, doenças das colheitas, bactérias, insetos, deficiências de nutrientes do solo, falta de umidade ou danos mecânicos porque os efeitos de muitos deles podem parecer semelhante (WANG *et al.*, 2004).

### **3. DISCUSSÃO**

Algumas tecnologias encontradas para a redução da poluição ambiental foram os separadores ciclônicos e os precipitadores eletrostáticos. Os separadores ciclônicos são dispositivos amplamente utilizados na indústria devido a diversas vantagens como: a estrutura é simples, o espaço de instalação é pequeno, o custo de funcionamento é baixo e a eficiência de coleta de material particulado é elevada.

Um estudo de Borges, Alves e Béttega (2017), mostrou que a maior eficiência para um dispositivo com injeção de líquido foi de 98,7%, e a melhora na eficiência do dispositivo pode estar relacionada ao aumento da vazão do líquido injetado. As eficiências alcançadas com dispositivos de injeção de líquido podem ser consideradas altas em comparação com outros dispositivos de lavagem de gases mais complexos, tornando-os uma alternativa de uso viável.

Um dispositivo de precipitação eletrostática foi fabricado com uma tensão de saída CC de 34 KV. Para emissões de gases de motores a diesel: O valor de NO<sub>2</sub> antes de usar a ferramenta precipitação era de 7,70 mg/Nm<sup>3</sup>, mas depois de usar o ESP o valor de óxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) diminuiu para 3,85 mg/Nm<sup>3</sup>. antes de usar ESP, os dados de emissões de gás mostraram um nível de SO<sub>2</sub> de 72,3 mg/Nm<sup>3</sup>, mas depois de usar ESP o nível de óxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) caiu para 39,6 mg/Nm<sup>3</sup>. O nível de óxidos de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) no escapamento é reduzido para 50% e o nível de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) no escapamento é reduzido para 45,2% (LUSIANDRI; KRISTIYONO; WASHITO, 2019).

O estudo de Pereira, Fortes e Martins (2015) reafirma a necessidade de um diálogo entre a engenharia civil e ambiental voltada para a saúde pública quando se trata de medições de material particulado próximo a centros hospitalares. Para fortalecer esse diálogo, é importante estudar a presença de bioaerossóis patogênicos no material particulado. Isso porque esse contaminante é portador de diversas partículas bioorgânicas, como fungos, pólen, bactérias e vírus. As concentrações máximas são janelas, portas e varandas, portanto, a falta de uma infraestrutura de prevenção integrada pode representar um risco para pacientes já imunocomprometidos.

Além do desenvolvimento das tecnologias, a engenharia também participa ativamente da mudança de paradigmas, colocando de forma clara as vantagens e desvantagens de cada situação. Um exemplo é o estudo de Miller (2020) que afirma que os E-scooters foram considerados um substituto ruim para o uso de um carro particular (próprio). No entanto, as e-scooters foram consideradas um substituto muito mais forte para as viagens de táxi e carona. Os resultados da pesquisa foram usados para comparar o potencial de aquecimento global (GWP) de patinetes elétricos a espaços usados por humanos. O meio de transporte utilizado por humanos apresentou um GWP de 64 g por quilômetro rodado, comparado a 131 g e 125 g para scooters relatados na literatura e 35 g em um estudo encomendado pela empresa de scooters Voi. O que significa que individualmente é um produto conveniente, mas se muitas pessoas o utilizarem se torna insustentável, principalmente por conta do descarte das baterias utilizadas.

A discussão foi estruturada a partir de teorias de transição sustentável. Ele argumentou que os E-scooters não podem fazer a transição da mobilidade por conta própria. No entanto, se houver uma mudança mais geral da propriedade para o uso no setor de transporte, as scooters elétricas (e outros micromóveis) poderiam substituir um número maior de viagens de táxi e/ou carro, tornando-as parte da promoção do transporte sustentável (MILLER, 2020).

A rápida urbanização global aumentou drasticamente o consumo de energia e as emissões de poluentes da indústria e automóveis na revolução industrial pós-combustível fóssil. Estima-se que cerca de 50% da população mundial vive em cidades e áreas urbanas e pode estar exposta a níveis crescentes de poluição do ar. Em 2010, a poluição do ar causou 3,1 milhões de mortes em todo o mundo, ou 5,9% de todas as mortes naquele ano. Alguns anos depois, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) classificou-o como cancerígeno para humanos. Como resultado, a poluição do ar parece ser um dos principais contribuintes para o desenvolvimento e agravamento de doenças respiratórias, como asma, doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer de pulmão, bem como doenças cardiovasculares em todo o mundo. Estima-se que no Brasil, a deterioração da qualidade do ar atmosférico pode causar cerca de 20.000 mortes por ano, cinco vezes

mais do que o fumo ambiental/passivo, e 10,7 mil mortes por ano devido à poluição do ar (TORRES *et al.*, 2020).

Também é importante destacar os esforços globais para reduzir a poluição do ar. Em 1972, a Declaração de Estocolmo discutida na Conferência Ambiental da ONU tratou da poluição do ar causada pela industrialização e produtos farmacêuticos. Posteriormente, foram assinados a Convenção de Viena (1985) e o Protocolo de Montreal, que estipulavam a obrigatoriedade da substituição de substâncias que empobrecem a camada de ozônio. Outros acordos e eventos importantes relacionados à poluição do ar nesse contexto foram o Protocolo de Kyoto, a Declaração do Rio e o Acordo de Paris. A Rio-92, também conhecida como Cúpula da Terra, também foi realizada lá. O evento deu origem ao documento Agenda 21, que visava planejar sociedades mais sustentáveis, reduzir a poluição do ar para melhorar o clima e prevenir desastres ambientais causados pelo homem. Este programa de desenvolvimento abrangeu os anos 2000-2015 através dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (BARBOSA; CHACHÉ; MENDONÇA, 2021).

O início da política ambiental do governo corresponde à aprovação da Lei de Águas, Lei de Mineração e Lei Florestal em 1934, bem como a criação do Parque Nacional do Itatiaia e legislação de proteção da natureza em 1937 ao patrimônio histórico e artístico nacional. De modo geral, o primeiro momento da política ambiental brasileira caracterizou-se por dois problemas principais: a racionalização do uso e exploração dos recursos naturais e a definição de áreas protegidas permanentes que delimitam a propriedade privada. A formação desse quadro institucional esteve diretamente relacionada à atuação do Estado na direção do projeto nacional de industrialização, especialmente a partir da década de 1950. A história da política pública brasileira coincide com a concretização do projeto de desenvolvimento industrial do país. Esse desenvolvimento impulsionaria a política intervencionista do Estado como fator chave. Por exemplo, o governo autoritário de 1964 viu o "relaxamento" dos controles de poluição, especialmente a poluição industrial, o que atraiu uma política de desenvolvimento militar que "acolheu" indústrias poluidoras como forma de atrair grandes investimentos (SALHEB *et al.*, 2009).

A educação ambiental não pode se limitar aos aspectos ecológicos. O problema dessa forma limitada de compreensão da educação ambiental tem se desenvolvido a partir dela para atividades de aprendizagem, pois são interpretadas exclusivamente como atividades ecológicas, que não são suficientes para identificar e compreender os problemas ambientais devido à sua complexidade, existem vários fatores que podem causar tais problemas. A poluição ambiental causada pelas atividades humanas tem sido descrita como um dos desafios do momento. Essa poluição pode e deve ser combatida por meio de práticas educativas baseadas nos princípios da educação ambiental, mas isso requer suficiente preparo dos educadores para que tenham o suporte necessário para o planejamento e execução de atividades que levem em conta esses princípios. Especialistas em diversas áreas, principalmente na educação, devem conscientizar sobre a relação do homem com o meio ambiente e utilizar os recursos que a educação ambiental oferece, para que possam auxiliar em suas atividades e intervir na sociedade a curto, médio e longo prazo (BRAGA; SILVA, 2010).

De acordo com os autores, espera-se que o educador não só participe da mitigação dos problemas ambientais com seu conhecimento, mas também esteja disposto a participar da formação de outros agentes educativos, tanto na escola quanto na comunidade, para que possam buscar e desenvolver soluções dos problemas baseados na ética, na justiça, na igualdade e na solidariedade. Dessa forma, a sociedade aprende a identificar e enfrentar os problemas que dificultam negativamente a sustentabilidade, que, além do meio ambiente, são a pobreza, a má qualidade da saúde, as adversidades com relação aos direitos humanos e à democracia, entre outros. O progresso desses fatores citados contribui para o aumento da qualidade de vida da população e a preservar o meio ambiente.

## 4. CONCLUSÃO

Os problemas apresentados mostraram que é preciso olhar para os métodos utilizados pela sociedade em sua busca do desenvolvimento econômico e social, que afetam a saúde das pessoas e estão relacionados ao cuidado com o meio ambiente natural, dando-lhe o valor e o significado que merece. Por isso, observa-se a importância de um profissional capaz de mitigar os riscos ambientais, identificar os pontos vulneráveis e responder a eles de forma efetiva e combater o problema, além de fornecer ferramentas de controle eficazes.

Como foi discutido e apresentado no trabalho, a Engenharia Ambiental tem um papel fundamental na diminuição da poluição do ar através da aplicação das tecnologias existentes e desenvolvimento de novas, com a finalidade de diminuir os estragos causados ao meio ambiente e à saúde humana. Além de ser um profissional capaz de dialogar com a sociedade e desenvolver mais responsabilidade ambiental, que não se aplica apenas aos profissionais ou órgãos estaduais, mas também da própria sociedade por meio do uso eficiente dos recursos e, assim, da redução dos efeitos das atividades poluidoras e patogênicas.

Por conseguinte, as políticas públicas devem ser promovidas e forma mais diligente, como a redução do número de pessoas que utilizam veículos a combustível; redução de emissões do setor industrial e de serviços; interação de políticas de desenvolvimento urbano, transporte, saúde e qualidade do ar; adaptação e revisão de desempenho dos regulamentos de padrões de qualidade do ar; trabalho de conscientização pública sobre consumo sustentável, acordos intergovernamentais para redução de gases de efeito estufa em determinadas áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTT divulga 2º Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2014. **Portal ANTT**, 16 jun. 2014. Disponível em: [https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset\\_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/161534](https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/161534). Acesso em: 30 set. 2021.

BARBOSA, A. L. P.; CHACHÉ, C. B.; MENDONÇA, P. M. A proteção do meio ambiente e o direito ao desenvolvimento sustentável Íbero-americano em tempos de Covid-19. 2021.

BARROZO, L. V. *et al.* GeoSES: A socioeconomic index for health and social research in Brazil. **PloS one**, v. 15, n. 4, p. e0232074, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232074>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32348328/>. Acesso em: 29 out. 2022.

BLUMBERG, K. **Mexico Heavy-Duty Vehicle Emission Standards**, (ICCT: Washington, DC, 22 fev. 2018), <https://www.theicct.org/publications/mexico-heavy-duty-vehicle-emission-standards>. Acesso em: 14 out. 2021.

BORGES, L. P.; ALVES, A.C.M.; BÉTTEGA, V.G.G. **Estudo da eficiência de coleta de partículas de um ciclone adaptado com bicos injetores de água**. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017, São Carlos, p. 1 - 6.

BOVÉ, H. *et al.* Ambient black carbon particles reach the fetal side of human placenta. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 1-7, 17 set. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-11654-3>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-11654-3>. Acesso em: 14 set. 2022.

BRAGA, A. L.; SILVA, G. N. Poluição ambiental local e o papel da educação ambiental. **Revista Paidéi@ - Revista Científica de Educação a Distância**, 2010. Disponível em: <https://periodicos.unimesvirtual.com.br/index.php/paideia/article/view/187>. Acesso em: 27 set. 2021.

BRASIL. INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS, 2013. Ano base 2012. Disponível em <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/2014-05-27inventario2013.pdf>. Acesso em 22 out. 2021.

BRASIL. Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF.

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF.

ANDRADE, C. R. M.; ZAIAT, M. Engenharia, natureza e recursos naturais, cap 1, p. 13. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental**: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica**. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**, 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA. 1990. **Resolução 01/1990**, 08 nov. 1990. Diário Oficial da União. No. 1, 1990.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA. 1990. **Resolução 03/1990**, 28 jun. 1990. Diário Oficial da União. No. 3, 1990.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, CONAMA. 2018. **Resolução 490/2018**, Diário Oficial da União, No. 490, 2018.

CORTES, P. L.; CARNEIRO, A. J. S. **Comparação entre Crescimento da frota de veículos automotores movidos a gasolina na cidade de São Paulo e níveis de emissões de poluentes**. ENGEMA, São Paulo, 2014.

CRUVINEL, K. A.; MARÇAL, D. R.; LIMA, Y. C. R. **Evolução da Engenharia Ambiental no Brasil**. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 27 nov 2014, Belo Horizonte.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, p. 83-97, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/115082>. Acesso em: 14 set. 2022.

DAVIS, M. L.; MASTEN S. J. **Principles of Environmental Engineering and Science.** New York, 2014.

DEKOSTER, J.; SCHOLLAERT, U. **Cycling:** the way ahead for towns and cities. 1999. Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_en.pdf). Acesso em: 20 jul. 2022.

DEMO, P. Pesquisa: Princípios científicos e educativos. 7<sup>a</sup> edição, São Paulo: Cortez, 2000.

DERISIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental.** 5<sup>a</sup> edição. São Paulo. Editora Oficina de Textos, 2017.

DILL, J.; CARR, T. **Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them – Another Look.** J Transport Res Board, v. 1828, p. 1–9, 2003.

DRUMM, F. C. *et al.* Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010537>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/10537/pdf>. Acesso em: 11 out. 2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. **Balanço Energético Nacional 2014.** Ano base 2013. Relatório final. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2014>. Acesso em 19 out. 2021.

ENFOQUE. **Coc Ambiental**, São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.coc-ambiental.eesc.usp.br/>. Acesso em: 11 out. 2021.

**FAÇANHA, C. Deficiencies in the Brazilian PROCONVE P-7 and the case for P-8 standards**, Washington, DC, 2016. Disponível em: [https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil%20P-7%20Briefing%20Paper%20Final\\_revised.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil%20P-7%20Briefing%20Paper%20Final_revised.pdf). Acesso em: 01 fev. 2022.

**FONTAÍNHAS, J. J. C. Avaliação de viabilidade económica da aquisição de um veículo elétrico em Portugal**. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2013.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: atlas, 2004.

GONÇALVES, K. S. et al. Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3809-3818, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Hybrid and Electric Vehicle Implementing Agreement: How EV's Work**, 2016. Disponível em: <http://www.ieahev.org/about-the-technologies/electric-vehicles/>. Acesso em: 13 out. 2021.

IPEA, 2011. **Poluição Veicular Atmosférica**. No 313 Disponível em: [www\[cnt.org.br/Imagens%20CNT/.../comunicado\\_ipea220911.pdf](http://www[cnt.org.br/Imagens%20CNT/.../comunicado_ipea220911.pdf). Acesso em: 13 out. 2021.

JUNIOR, S. A. **Engenharia Ambiental em um contexto histórico.** Ambientalmente, 26 out. 2020. Disponível em: <https://ambientalmente.eco.br/a-engenharia-ambiental-em-um-contexto-historico/>. Acesso em: 31 out. 2021.

KUMAR, V. *et al.* **Robbins patologia básica.** 9<sup>a</sup> Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

LEAL, T. A. C. B.; PRUDENCIO, J. M. A. **Recomendações para a escolha do tipo de via para bicicletas e sua inserção no sistema viário.** Revista dos Transportes Públicos, v. 22, p. 33–44, 2000.

LUSIANDRI, A. Y.; KRISTIYONO, A. E.; WASKITO, K. L. The Application of Electrostatic Precipitator (ESP) as Pollutant Reduction in Ship. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 12, p. 38, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i12.1650>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1650>. Acesso em: 17 out. 2021.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. V.. Metodologia científica. São Paulo: Editora Atlas, 2004.

MARTINS, G.A. & PINTO, R.L. Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos. São Paulo: Atlas, 2001.

MATOS, A. T. **Poluição Ambiental:** Impactos no meio Físico. 1<sup>a</sup> edição. Viçosa. Editora UFV, 2010.

MILLER, M. **Dockless electric scooters and the sustainable mobility transition in Stockholm:** User study, stakeholder insights and policy perspectives. Sweeden, 2020. Disponível em: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1521070/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

PEREIRA, J. L. G.; FORTES, J. D. N.; MARTINS, E. M. Poluição Do Ar Por Material Particulado Em Área Intraurbana No Rio De Janeiro: Alguns Aspectos Metodológicos. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 3, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v10i3.32901>. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/32901>. Acesso em: 17 set. 2021.

PETROBRÁS. **Biocombustíveis:** 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado. 2007. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/594>. Acesso em: 19 set. 2021.

SALHEB, G. J. M. **Políticas públicas e meio ambiente:** reflexões preliminares. Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas. v.1, n. 1, 2009. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/planeta/article/download/57/v1n1Gleidson.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

SANTOS, A. B. S. **Emissão de Poluentes Atmosféricos por Veículos com Motor Ciclo Diesel e seus Impactos Ambientais no Brasil:** Tecnologias E Legislações. São Paulo: Faculdades Oswaldo Cruz/DEP, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

SANTOS, N. V. *et al.* Levels of Polonium-210 in brain and pulmonary tissues: Preliminary study in autopsies conducted in the city of Sao Paulo, Brazil. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56973-z>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-56973-z>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SCHIFFTNER, K. **Air pollution control equipment selection guide**. CRC Press, 2010.

SILVA, J. A. B. et al. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Caderno de Graduação - Ciências Humanas e Sociais - UNIT - SERGIPE**, v. 2, n. 2, p. 197–207, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/1723>. Acesso em: 5 dez. 2022.

TEIXEIRA, I. P. **Impacto da implementação de ciclofaixas na utilização da bicicleta como meio de transporte**. 16 dez. 2016. Tese de doutorado - Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

TERÁN, J. Á. **Mobilidade urbana**. São Paulo, 2013.

TOLEDO, G. I. F. M. **Avaliação da exposição da população à poluição relacionada ao tráfego no município de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TORRES, L. M. *et al.* Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, v. 2, n. 1, p. 23-33, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>. Disponível em: <https://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae/article/view/CBPC2674-6441.2020.001.0003>. Acesso em: 27 set. 2021.

VALLE, C. E. Qualidade Ambiental ISO 14000. São Paulo: Senac, 2002. 208 p.

VIANNA, A. M. Poluição ambiental, um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. **Revista Sustinere**, v.3, n. 1, p. 22-42, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12957/sustinere.2015.17325> Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/sustinere/article/view/17325>. Acesso em: 15 out. 2021.

WANG, L. K. *et al.* (Ed.). **Air pollution control engineering**. Totowa, NJ: Humana press, 2004.

WOODCOCK, J. *et al.* **Energy and transport**. Lancet, v. 370, n. 9592, p. 1078–88, 22 set. 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, **WHO**. Copenhagen and Geneva. 22 set. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/detail/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>. Acesso em: 13 out. 2022.

ZILBERMAN, I. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Canoas, 27 jan. 1997. p. 13.