

EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS POR VEÍCULOS MOTORIZADOS NO BRASIL: Uma visão geral

AIR POLLUTANT EMISSIONS FROM MOTOR VEHICLES IN BRAZIL: An Overview

Manoela Peruzzo da Silva¹; Bibiane Borges¹; Gabriel Perin Rigo¹; Ana Carolina Rizzotto¹; Andresa Santos da Fonseca¹ e Alcindo Neckel²

¹Mestranda(o) em Arquitetura e Urbanismo, ATITUS Educação, Passo Fundo/RS, Brasil. mperuzzo.arq@gmail.com; bibianebborges@gmail.com; gabrielperinrigo@hotmail.com; anacarolinarizzotto@hotmail.com; andresafonseca@hotmail.com

²Professor Doutor, ATITUS Educação, Passo Fundo/RS, Brasil. alcindo.neckel@atitus.edu.br

Resumo: As emissões atmosféricas de veículos motorizados representam uma das principais fontes de poluição urbana no Brasil e no mundo, com impactos negativos crescentes sobre a saúde pública e o meio ambiente. Este estudo analisa, por meio de uma revisão da literatura, os efeitos das emissões atmosféricas causadas por veículos motorizados no Brasil, abrangendo pesquisas publicadas entre 1985 e 2024. A metodologia PRISMA (Itens de Relatórios Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-análises) foi utilizada para conduzir a revisão, orientando a seleção e análise de 148 artigos verificados, dos quais 28 foram selecionados. O processo de seleção dos estudos foi estruturado em etapas, como: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, destacando as informações mais relevantes dos artigos selecionados. Neste contexto, este trabalho busca evidenciar os altos índices de poluição causados por veículos automotores no Brasil e seus impactos ambientais e sociais. Os resultados indicam que as emissões veiculares são uma das principais fontes de poluição atmosférica no país, impactando diretamente a saúde e a qualidade do ar.

Palavras chave: Brasil. Emissões de veículos automotores. Impactos das emissões veiculares. Urbano.

Abstract: Atmospheric emissions from motor vehicles represent one of the main sources of urban pollution in Brazil and worldwide, with growing negative impacts on public health and the environment. This study analyzes, through a literature review, the effects of atmospheric emissions caused by motor vehicles in Brazil, covering research published between 1985 and 2024. The PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) methodology was used to conduct the review, guiding the selection and analysis

of 148 verified articles, of which 28 were selected. The study selection process was structured in stages, such as identification, screening, eligibility, and inclusion, highlighting the most relevant information from the selected articles. In this context, this study seeks to highlight the high levels of pollution caused by motor vehicles in Brazil and their environmental and social impacts. The results indicate that vehicle emissions are one of the main sources of air pollution in the country, directly impacting health and air quality.

Keywords: Brazil. Motor vehicle emissions. Impacts of vehicle emissions. Urban.

Resumen: Las emisiones atmosféricas de los vehículos motorizados representan una de las principales fuentes de contaminación urbana en Brasil y en el mundo, con impactos negativos crecientes sobre la salud pública y el medio ambiente. Este estudio analiza, mediante una revisión de la literatura, los efectos de las emisiones atmosféricas generadas por vehículos motorizados en Brasil, abarcando investigaciones publicadas entre 1985 y 2024. Se utilizó la metodología PRISMA (Elementos de Informe Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis) para llevar a cabo la revisión, guiando la selección y el análisis de 148 artículos evaluados, de los cuales 28 fueron seleccionados. El proceso de selección de los estudios fue estructurado en etapas como: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión, destacando la información más relevante de los artículos seleccionados. En este contexto, este trabajo busca evidenciar los altos índices de contaminación causados por los vehículos automotores en Brasil y sus impactos ambientales y sociales. Los resultados indican que las emisiones vehiculares constituyen una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en el país, afectando directamente la salud y la calidad del aire.

Palavras chave: Brasil. Emisiones de vehículos automotores. Impactos de las emisiones vehiculares. Urbano.

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um dos problemas ambientais mais desafiadores e significativos enfrentados pela sociedade contemporânea, com impactos diretos na saúde humana e no equilíbrio dos ecossistemas (Jansakoo *et al.*, 2024). Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde, 2021), aproximadamente 7 milhões de mortes em 2016 foram associadas à poluição do ar, das quais 4,2 milhões ocorreram devido à poluição atmosférica externa. Esses números refletem a magnitude do problema, já que quase 99% da população mundial vive em áreas onde os níveis de concentração de material particulado fino (PM_{2,5}) excedem os padrões de segurança recomendados (Calderón-Garcidueñas & Ayala, 2023).

Esse cenário é particularmente alarmante em países de baixa e média renda, onde a população enfrenta maior exposição aos efeitos nocivos de altos níveis de poluentes atmosféricos, resultado da intensa urbanização e do uso de combustíveis fósseis (Badida *et al.*, 2022). Globalmente, a poluição causada por veículos é responsável por 29% das emissões globais de gases de efeito estufa (Ates & Karaarslan, 2024). A contínua dependência de combustíveis fósseis contribui significativamente para o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera, impulsionando o aquecimento global desde a era pré-industrial (Liu *et al.*, 2023).

No Brasil, as estimativas da OMS indicam que mais de 50 mil mortes anuais estão relacionadas à poluição atmosférica. Segundo Ceccato *et al.* (2024) e Shin *et al.* (2024), os principais poluentes emitidos por veículos e outras fontes de combustão incluem monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx) e material particulado (MP). Esses contaminantes atmosféricos causam danos severos ao meio ambiente, como desequilíbrios na fauna e flora, destruição da camada de ozônio, intensificação das mudanças climáticas e formação de chuvas ácidas (Marinello *et al.*, 2020). Além disso, alguns desses poluentes potencializam o aquecimento global, contribuindo para o derretimento de gelo no Ártico e o aumento das temperaturas globais (Scafetta *et al.*, 2024).

A relevância desta pesquisa está na crescente preocupação com os elevados níveis de poluição do ar, frequentemente atribuídos às emissões de veículos, um dos principais responsáveis

pela contaminação atmosférica. Esses poluentes têm sérios impactos na saúde humana, além de contribuírem significativamente para o aquecimento global (Henning, 2023). A partir de 2022, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), por meio do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve), estabeleceu critérios para reduzir as taxas de emissão de poluentes veiculares comercializados no Brasil (Requia & Melo, 2023). Embora tais medidas tenham reduzido consideravelmente os níveis de poluição oriundas dos veículos novos, ainda é um problema recorrente no país.

Essa análise é essencial para alertar autoridades e a sociedade sobre a necessidade de ações emergenciais, como o incentivo ao uso de transporte público e a restrição de veículos no centro das cidades. O estudo também reforça a necessidade de investimentos em transporte público mais eficiente e acessível, além da conscientização da população para adotar alternativas de mobilidade sustentáveis. O objetivo geral deste estudo é analisar por meio de revisão de literatura via base de dados da ScienceDirect utilizando o método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), com foco nos impactos das emissões atmosféricas no Brasil por veículos motorizados, considerando artigos publicados no período de 1985 até 2024.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

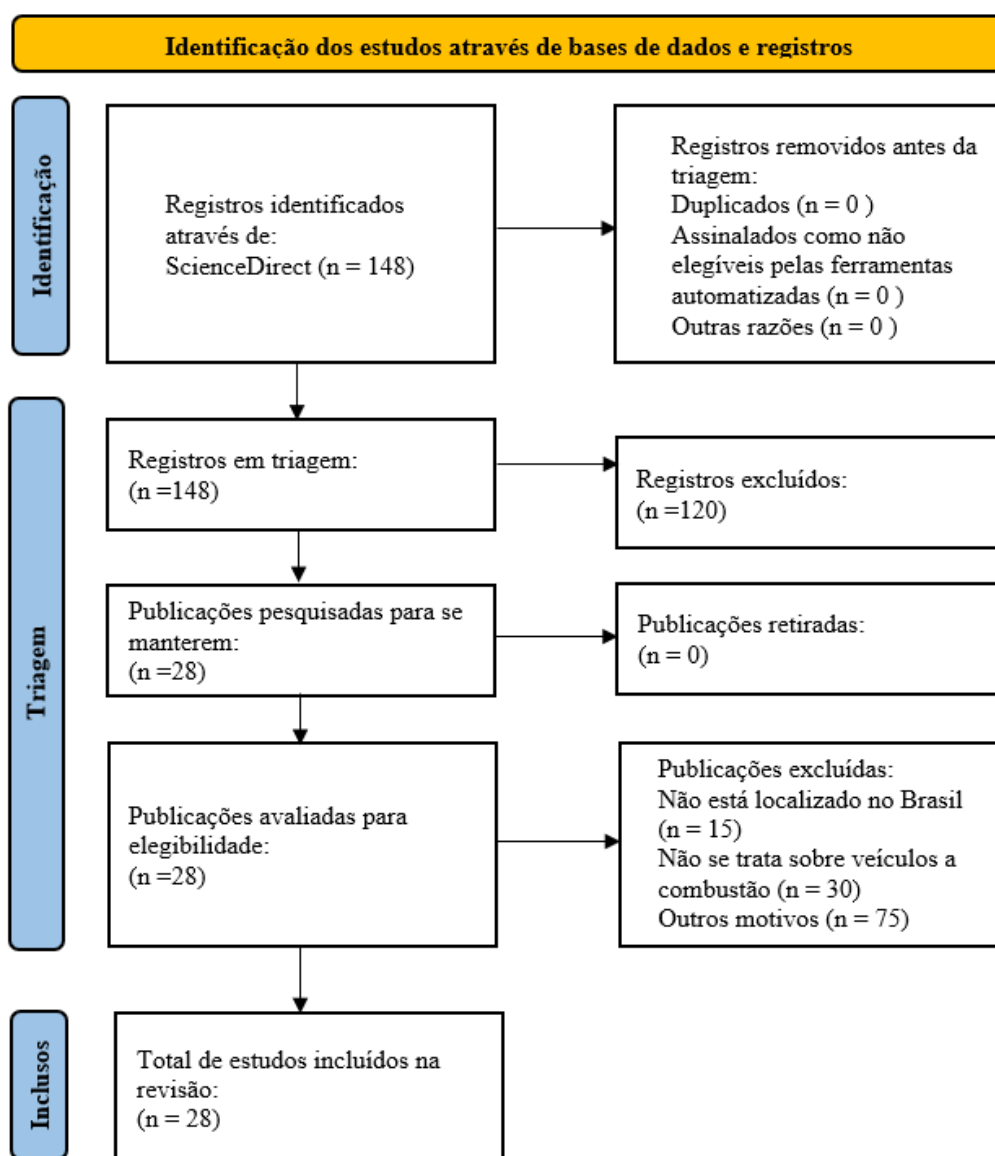
Esta pesquisa bibliográfica foi estruturada utilizando a Metodologia PRISMA, que orienta a realização de revisões sistemáticas, desde a seleção criteriosa dos artigos até a síntese dos resultados. A utilização dessa abordagem visa garantir a transparência, a qualidade e a reprodutibilidade da pesquisa, permitindo que outros estudiosos possam acompanhar o rigor metodológico aplicado. As revisões sistemáticas e meta-análises são ferramentas importantes em pesquisas baseadas em evidências, sendo fundamental o estabelecimento de diretrizes para garantir que esses estudos sejam conduzidos de forma transparente, completa e precisa (Agrawal et al., 2015). O método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) é utilizado em revisões onde deve-se ter um método sistemático e padronizado para extrair dados dos estudos incluídos e avaliar a sua qualidade utilizando critérios predefinidos (Agrawal et al., 2015). Esta revisão bibliográfica foi realizada utilizando a base de dados ScienceDirect, através da busca pelos termos: Brasil. Motor vehicle emissions. Impacts of vehicle emissions. Urban.

Esses termos foram escolhidos para garantir ampla cobertura do tema e identificar artigos relacionados às emissões veiculares no contexto brasileiro, especialmente em áreas urbanas. A pesquisa foi conduzida em 09 de setembro de 2024. A partir da estratégia de busca definida, foram encontrados 148 registros relacionados ao tema proposto, que foram inicialmente avaliados com base nos títulos e resumos para verificar sua pertinência ao escopo da pesquisa. Essa etapa inicial resultou na aplicação de critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão consideraram se o título e o estudo apresentavam relevância ao tema, e se o Brasil estava incluído no escopo do estudo. Por outro lado, os critérios de exclusão eliminaram títulos sem relevância ao tema, estudos sobre emissões de veículos fora do Brasil, trabalhos sem relação direta com temáticas urbanas ou impactos ambientais e sociais, documentos não classificados como artigos científicos (como capítulos de livros) e estudos não disponíveis em texto completo na base de dados consultada.

Destes 148 registros, 120 foram excluídos baseado em três principais motivos, sendo eles: 15 registros não são referiam-se ao Brasil, 30 registros trata-se de temas alheios a veículos a combustão e 75 trabalhos foram excluídos por outras razões. Assim, 28 artigos foram considerados relevantes e incluídos na revisão completa. Para documentar o processo de seleção dos estudos, foi elaborado um fluxograma que descreve as quatro macro-etapas: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. Na fase de identificação, foram encontrados 148 artigos na base de dados. Durante a triagem, realizou-se uma avaliação inicial por título e resumo. A elegibilidade envolveu a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Finalmente, na etapa de inclusão, selecionaram-se 28 artigos para análise detalhada.

Os 28 artigos selecionados na triagem passaram por uma leitura aprofundada e análise crítica, com a organização de dados em uma matriz de análise. Essa matriz classificou cada artigo pelos seguintes aspectos: ID do artigo, localização, título, objetivo, natureza do estudo, amostra, finalidade de uso, resultados alcançados, inovação científica, apontamentos para futuros trabalhos e referência. A pesquisa foi conduzida por uma equipe de seis pesquisadores que definiram previamente as palavras-chave ou termos-chave e a estratégia de busca. Posteriormente, realizaram a seleção e análise dos registros. A base de dados utilizada foi o ScienceDirect, e a organização dos dados foi feita no software Microsoft Excel. A gestão bibliográfica foi guiada pela metodologia PRISMA. Abaixo, observa-se o fluxograma que ilustra as etapas da metodologia aplicada (Tabela 1).

Tabela 1. Aplicação do método PRISMA contendo as informações de classificação relevantes para os 28 manuscritos analisados.



Fonte: Concepção gerada a partir do método PRISMA, conforme Autor (2024)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As emissões atmosféricas causadas por veículos motorizados no Brasil e no mundo é um assunto conhecido e discutido por pesquisadores e pela sociedade. Por esse motivo, foi possível identificar vários estudos sobre o respectivo tema na base de dados do Science Direct. A busca, utilizando termos específicos, resultou em 148 registros, dos quais 28 artigos foram selecionados para análise detalhada, conforme mencionado anteriormente. Ao final deste capítulo, um infográfico ilustra os principais poluentes relacionados à poluição atmosférica causada por emissões veiculares e outras fontes urbanas, destacando seus impactos significativos na saúde pública.

De Carvalho Jr., A. (1985) realizou uma pesquisa descritiva sem experimentação ou amostragem específica, examinando aspectos técnicos e econômicos do uso de gás natural e metanol como combustíveis entre 1960 e 1980. O estudo é uma revisão e análise de pesquisas e experiências existentes em todo o mundo, com ênfase em países em desenvolvimento como o Brasil. O estudo sintetiza informações provenientes de experiências de vários países com combustíveis alternativos e países que implementam programas de veículos a gás natural. O metanol foi destacado como um combustível alternativo promissor por sua diversidade de matérias-primas, usos variados e custos de produção promissores, enquanto o gás natural enfrentou limitações logísticas devido ao seu estado gasoso e a consequente necessidade de armazenamento em alta pressão ou criogênico. O metanol pode ser misturado com gasolina ou usado puro, oferecendo altos índices de octanas e potencial para maior potência e eficiência. Embora sem inovações científicas, o artigo sintetiza opções existentes e sugere estudos futuros para melhorar a eficiência e reduzir os custos de conversão de gás natural em combustíveis líquidos.

Benvenuti, De Souza Campos, Vazquez-Brust e Liston-Heyes (2023) investigaram a transição tecnológica de combustível da frota de veículos de passageiros entre 1970 e 2020, utilizando a teoria de transições sustentáveis. A pesquisa, baseada em 102 documentos, combinou a Perspectiva Multinível (MLP) e a Abordagem de Múltiplas Correntes (MSA), identificando quatro fases de transição, com momentos de avanço, estagnação e reversão, que culminaram na introdução e domínio dos veículos flex-fuel na frota de veículos de passageiros do Brasil. Os autores sugerem a realização de pesquisas adicionais sobre o impacto de políticas passadas e oportunidades para transições sustentáveis em economias em desenvolvimento.

Sampaio, M., Rosa, L., & Dagosto, M. (2006) realizaram pesquisa de revisão bibliográfica tecnológica das células a combustível e análise comparativa de combustíveis e tipos de veículos mais utilizados no transporte rodoviário brasileiro. Essas pesquisas foram realizadas nos anos 2000 com objetivo de explorar a viabilidade do uso de células a combustível movidas a etanol como uma alternativa eficiente e ambientalmente sustentável para veículos de transporte rodoviário, especialmente ônibus urbanos no Brasil. Os dados foram coletados de pesquisas sobre o uso de células a combustível, sistemas de armazenamento de energia e veículos híbridos etanol-elétricos. A análise é baseada em números de consumo de combustíveis no setor de transporte rodoviário brasileiro. O estudo avalia o potencial do uso de etanol como fonte de energia para células a combustível, com foco em aplicações práticas como a substituição de motores a diesel em ônibus urbanos por motores elétricos movidos a etanol. Os resultados mostram que a substituição de veículos a diesel por ônibus movidos a células a combustível de etanol proporciona ganhos ambientais imediatos, como a redução de emissões de óxidos de enxofre e material particulado, além de menor poluição sonora. O Brasil já possui a infraestrutura necessária para produzir e distribuir etanol, o que facilita a implementação dessa tecnologia. A principal inovação reside na proposta de uso de etanol em células a combustível, que ainda é uma rota tecnológica pouco explorada. O estudo sugere que o Brasil, como grande produtor de etanol, está bem posicionado para liderar essa inovação, substituindo combustíveis fósseis por uma fonte renovável e limpa. A necessidade de trabalhos futuros inclui estudos de viabilidade econômica, que quantifiquem os ganhos ambientais e recomendem políticas públicas para incentivar o uso dessa tecnologia. A

introdução de frotas "verdes" movidas a etanol pode ser impulsionada por incentivos fiscais e créditos de carbono, promovendo uma transição gradual e sustentável para veículos híbridos ou totalmente elétricos em áreas urbanas.

Coelho, S. T., Goldemberg, J., Lucon, O., & Guardabassi, P. (2006) revisaram artigos de 1975 a 2000 para analisar a experiência do Brasil na produção de etanol de cana-de-açúcar, destacando benefícios como desenvolvimento rural, diversificação energética e redução de emissões de efeito estufa. Na amostra, a experiência acumulada ao longo de 30 anos do Programa Brasileiro de Álcool inclui dados de investimentos privados, produção e impacto ambiental. A finalidade do estudo é fornecer uma análise crítica da produção de etanol e suas lições, com foco na replicação do programa brasileiro em outros países em desenvolvimento e na discussão de políticas de comércio e subsídios. Os resultados obtidos mostram que o etanol é competitivo com a gasolina sem a necessidade de subsídios governamentais, o balanço energético do etanol de cana é propício e não há competição expressiva por terras com cultivos alimentares. O programa concebeu empregos de qualidade, impactos sociais positivos e apontou que as frotas existentes apresentam compatibilidade com misturas de etanol-gasolina. O trabalho apresenta uma extensa análise sobre aspectos econômicos, energéticos, ambientais e sociais do programa brasileiro oferecendo um modelo de política energética sustentável e viável. Os apontamentos para um futuro trabalho seria explorar formas de replicar o programa de etanol em países em desenvolvimento e superar as barreiras comerciais existentes, promovendo a liberalização do comércio de biocombustíveis como alternativa sustentável.

Krzyzanowski e Schwela (1999) realizaram uma pesquisa descritiva com o objetivo de fornecer uma visão abrangente sobre a qualidade do ar em cidades de países em desenvolvimento, analisando os níveis de exposição populacional a poluentes atmosféricos entre 1990 e 1996. O estudo abrangeu dados de 32 cidades localizadas em 14 países da Ásia, África e América, com foco em áreas residenciais densamente povoadas. Os resultados indicam que essas cidades enfrentam graves problemas de poluição, com elevadas concentrações de dióxido de enxofre (SO₂), partículas em suspensão (PM) e outros poluentes, afetando significativamente a saúde pública. A pesquisa destaca a necessidade urgente de programas de gestão de qualidade do ar mais robustos e específicos, baseados em dados locais e focados nas áreas de maior exposição. Além disso, sugere-se a realização de futuras avaliações padronizadas da qualidade do ar, com o objetivo de monitorar a exposição populacional e prever os impactos de longo prazo na saúde pública, o que poderia contribuir significativamente para a formulação de políticas públicas de mitigação mais eficazes.

Aarzoo *et al.* (2022) ao analisar as emissões de poluentes no Brasil em relação à escala global, com o objetivo geral de avaliar os riscos da toxicidade aguda e crônica das nanopartículas de paládio (PdNPs) totalmente compreendido entre o período amostrado de 1993 até 2000, onde realizou-se uma revisão de literatura aprofundada sobre as PdNPs em escala global, relacionada às várias matrizes ambientais, ao potencializar os riscos à saúde humana pela emissão de veículos motorizados em grandes centros urbanos. Este estudo, baseou-se na necessidade de entender os riscos à saúde humana causados pelas PdNPs de veículos motorizados com a possibilidade de ações futuras de mitigação destes poluentes veiculares. Os resultados demonstram que, no Brasil, em relação às fontes bibliográficas estudadas que as concentrações médias (Pd) de emissão por veículos motorizados em meio urbano densificado tornam-se superiores 376 µg/kg. Ao considerar as inovações identificadas por Aarzoo *et al.* (2022), referem-se à possibilidade de quantificar a baixa sensibilidade na interferência espectral torna-se um avanço para pesquisa de qualidade do ar, como o uso de satélites, juntamente a compreensão da possibilidade de estudos futuros voltados ao desenvolvimento da produção de tecnologia que venham a reduzir a poluição urbana, tornando o ambiente mais sustentável.

Mardones *et al.* (2017) conduziram uma pesquisa aplicada para avaliar os impactos econômicos e ambientais da implementação de um imposto sobre CO₂ em três países da América Latina, utilizando dados coletados até o ano de 2011 para o Brasil e México, e 2010 para o Chile.

O estudo analisou as políticas fiscais relacionadas ao carbono e seus efeitos nas emissões de CO₂ e no PIB, fornecendo uma base para a formulação de políticas públicas na região. Os resultados mostraram que a implementação do imposto resultou em uma redução significativa nas emissões de carbono, embora os impactos econômicos tenham variado entre os países: alguns experimentaram leves retrações no PIB, enquanto outros mantiveram a estabilidade. A pesquisa oferece uma análise comparativa detalhada, com uma abordagem integrada das políticas climáticas, e sugere expandir o escopo da análise para incluir variáveis como adaptação tecnológica e impactos sociais nos diferentes países latino-americanos.

Cooper et al. (2014) realizaram uma pesquisa de revisão bibliográfica existente entre os anos de 1992 e 2013. Dados de emissões foram coletados de relatórios de agências de transporte e institutos de pesquisa, refletindo testes de emissões realizados em estradas ou testes de laboratório utilizando ciclos de condução reais nas cidades. O estudo analisa combinações de combustíveis e tecnologias que serão relevantes para veículos de transporte na próxima década no Brasil e na Índia. Os dados são usados para comparar a faixa de emissões de quatro poluentes comumente regulados por padrões de emissões (CO, THC, NO_x, PM) e as emissões de CO₂. A pesquisa tem como finalidade auxiliar na escolha de combustíveis para frotas de ônibus no Brasil e na Índia, com o objetivo de reduzir emissões, atingir metas de qualidade do ar e redução de gases de efeito estufa. Os resultados mostram que as melhores opções de combustível para o Brasil e Índia é uma mistura de 20% de biodiesel com filtro de partículas de diesel e Redução Catalítica Seletiva (B20 + DPF + SCR) e o Gás Natural Comprimido com Catalisador de Três Vias (CNG + 3WC). Outras opções também oferecem resultados relevantes como combustíveis CNG ou ônibus híbridos, podendo proporcionar reduções de PM ou CO₂. O presente trabalho tem como inovação científica a análise comparativa detalhada em diferentes tipos de biocombustíveis, seus impactos no transporte e novos métodos de produção menos poluentes e mais eficientes. Estudos futuros são necessários para que seja possível entender o roteiro para melhorias de combustíveis que permite que decisões atuais sobre combustíveis e tecnologias para ônibus estejam alinhadas com as metas futuras do país e os objetivos de redução de emissões.

Correia et al. (1996) desenvolveram um modelo multiobjetivo para otimizar o consumo de energia e minimizar as emissões de poluentes atmosféricos no transporte urbano, com base em cenários projetados para os anos 2000. O estudo considerou variáveis como consumo energético, custos operacionais e emissões, focando na frota brasileira. Entre os resultados, destacou-se que um imposto sobre o carbono acima de US\$55,00/tCO₂ pode promover soluções mais eficientes, alinhando-se às discussões globais sobre precificação de carbono. O modelo apresentou alternativas que equilibram custos e impactos ambientais, oferecendo suporte ao planejamento urbano. O conceito de "imposto de carbono implícito" foi introduzido como forma de otimizar custos e emissões simultaneamente. O estudo sugere ampliar o modelo para incluir variáveis como comportamento do usuário, novas tecnologias de transporte e políticas públicas que incentivem energias renováveis no contexto urbano.

Corrêa, S. M., & Arbilla, G. (2006) realizaram uma pesquisa aplicada com o objetivo de investigar o efeito da adição de biodiesel no perfil de emissão de hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos (MAHs) e policíclicos (PAHs) em motores a diesel. Os testes realizados com um motor a diesel de seis cilindros, típico da frota de ônibus urbanos no Brasil, operando em estado estacionário a 1500 rpm, abastecido com diesel puro (D) e misturas de biodiesel (v/v) de 2% (B2), 5% (B5) e 20% (B20%) com a finalidade de avaliar o impacto ambiental do uso de misturas de biodiesel nas emissões de compostos aromáticos, que são conhecidos por seu potencial cancerígeno. Os resultados indicam redução média de 4,2% (B5), 8,2% (B10) e 21,1% (B20) nas emissões de MAHs. Redução média de 2,7% (B2), 6,3% (B5) e 17,2% (B20) nas emissões de PAHs. No entanto, algumas emissões de compostos específicos, como fenantreno e etilbenzeno, aumentaram com o uso de biodiesel. Este estudo contribui ao conhecimento limitado sobre emissões não regulamentadas, como MAHs e PAHs, ao utilizar biodiesel em motores a diesel pesados, especialmente em condições típicas de veículos urbanos brasileiros. Mais pesquisas são

necessárias para compreender completamente as emissões específicas de outros compostos não regulados e os efeitos a longo prazo do uso de biodiesel em diferentes condições de operação e veículos.

Com o objetivo de apresentar e avaliar o BRAVES, um software de inventário de emissões veiculares de baixo custo, Vasques e Hoinaski (2021) conduziram uma pesquisa aplicada utilizando dados coletados entre 2013 e 2018. O estudo abrangeu todo o território brasileiro com análise detalhada em nível municipal, visando apoiar a gestão de emissões em áreas com escassez de dados. O BRAVES estima emissões de CO, NO_x, SO₂, PM, CO_{2eq} e NMVOC por categoria de veículo e processo de formação. Os resultados indicam que, embora a maioria das emissões veiculares esteja em declínio no Brasil, as emissões de CO_{2eq} e PM continuam a aumentar, com variações significativas de NO_x entre os estados. O BRAVES se diferencia de outros inventários ao permitir estimativas em nível municipal, cobrindo uma ampla gama de poluentes e processos de formação. Os autores sugerem que futuras pesquisas aprimorem a resolução espacial e temporal do modelo e investiguem o impacto de variáveis, como temperatura e pressão do vapor de combustível, nas estimativas de emissões.

Da Silva et al. (2022) avaliaram como a mobilidade compartilhada, veículos autônomos, transporte público, fontes alternativas de energia e a precificação de carbono podem reduzir as emissões de CO₂ no transporte de passageiros, com foco no estado do Rio de Janeiro, no período de 2016 a 2050. O estudo utilizou modelagem de cenários com dados de transporte, eletricidade, biocombustíveis e políticas de precificação de carbono. Os resultados mostraram que a mobilidade compartilhada e o transporte público reduziram a posse de veículos, a demanda energética e as emissões de CO₂, com economia de US\$ 3 a US\$ 4.186 por tonelada de CO₂ reduzida. O uso de biocombustíveis diminuiu emissões sem aumentar os custos do sistema, enquanto a precificação de carbono foi a política mais eficaz, apesar de custos elevados e de um aumento de até 260% no uso de veículos particulares, caso o transporte público com emissão zero não seja ampliado. O estudo inovou ao integrar mobilidade compartilhada, biocombustíveis e precificação de carbono em um modelo energético urbano, destacando que a combinação de eletricidade renovável com precificação de carbono pode reduzir emissões em até 84%. Ressaltou também a necessidade de tecnologias de transporte público com emissão zero para maximizar a eficiência das políticas de descarbonização.

Ribeiro et al. (2021) prevê cenários futuros para o transporte da cidade de São Paulo, com o foco em avaliar o potencial para diminuir a poluição atmosférica de gases de efeito estufa e emissões de calor provenientes do uso do veículo motorizado, considerando dados de 2006 a 2017. Para investigar quais poluentes gerados por veículos encontram-se presentes no futuro, onde foram analisados diferentes cenários de transporte urbano. A evolução da frota de automóveis foi prevista com base em tendências e emissões anuais futuras estimadas (Ribeiro et al., 2021). A pesquisa visa estimar o desempenho de cenários futuros para o planejamento urbano durante processos de tomada de decisão em relação à diminuição das emissões de VOC (Contaminantes Orgânicos Voláteis). Identificou-se que, independentemente do tipo de combustível, a frota ativa de veículos seguirá aumentando em relação a carros, motos e caminhões, enquanto a tendência para ônibus é de diminuição. Este estudo se mostra útil no suporte aos profissionais tomadores de decisões, permitindo testar o impacto de políticas públicas antes de sua implementação e estimar impactos econômicos e de saúde. Pesquisas futuras indicam um aumento do uso de etanol em veículos mais leves, com a mudança do meio de transporte mais utilizado de carros para ônibus, além do uso do etanol que possibilita a diminuição dos gases de efeito estufa (Ribeiro et al., 2021).

Proque et al. (2020) avaliaram os efeitos das políticas de uso do solo e transporte sobre o consumo de energia em cinco cidades monocêntricas do Brasil, com dados de 2010. O estudo fornece base para políticas públicas voltadas à eficiência energética em áreas urbanas. Os resultados mostram que o aumento nos preços da gasolina reduz o consumo de energia, tanto diretamente, ao diminuir os deslocamentos, quanto indiretamente, ao aumentar a densidade

residencial. Regulamentações de eficiência de combustível também reduzem o consumo energético total, mas são parcialmente compensadas pela expansão urbana. O aumento no preço das terras agrícolas promove maior densidade e deslocamentos mais curtos, melhorando a eficiência energética. O modelo desenvolvido integra de forma endógena a densidade urbana, comportamento de deslocamento e uso de energia, permitindo simular os impactos das políticas. O estudo sugere melhorar a calibração do modelo e incluir variáveis como elasticidades na produção habitacional e consumo energético em diferentes cenários econômicos.

Weber *et al.* (2018) usando 5 modelos de motocicletas com dados de produção de 2010 a 2016, seguido por uma projeção para os anos de 2021, 2025 e 2026., tendo como objetivo identificar a metodologia mais adequada ao cenário brasileiro. A pesquisa aplicada foi feita projetando a evolução das motocicletas elétricas de 2010 a 2026. Os resultados deste artigo descobriram que o método PEF aplicado aos resultados dinamométricos mostram que veículos similares movidos a combustível líquido são menos eficientes em termos de energia do que as motocicletas elétricas para a matriz brasileira. Este artigo descobriu que os dados reais de ensaios dinamométricos de motocicletas elétricas e de motores de combustão interna apontaram um desempenho energético 3 vezes superior dos veículos elétricos em comparação ao valor médio dos motores a combustível líquido. As pesquisas futuras apontam para estudos do impacto da bateria no meio ambiente.

Bontempo *et al.* (2014) realizaram uma pesquisa aplicada para identificar as cidades brasileiras que implementaram restrições de circulação de caminhões e estimar a probabilidade de outras adotarem essas medidas. Utilizando dados do IBGE coletados em setembro de 2012, o estudo analisou 108 cidades com mais de 235.000 habitantes, considerando variáveis como população, infraestrutura e restrições de trânsito. O objetivo foi fornecer insights para a formulação de políticas de restrição de circulação de veículos de carga. O estudo identificou 33 cidades com restrições e concluiu que fatores como densidade populacional e o fato de ser uma capital estadual influenciam a adoção dessas medidas. Para prever a probabilidade de outras cidades implementarem restrições, foi utilizado um modelo de regressão logística, com destaque para a influência de variáveis socioeconômicas. O estudo sugere incluir variáveis adicionais, como filiação partidária e índices de congestionamento, para aprimorar as previsões futuras.

Schneider *et al.* (2015) analisa usando um modelo NanoScan 3910 da TSI e foram retirados de locais com alta densidade de tráfego de veículos, totalizando 6 locais analisados, tendo como objetivo medir as concentrações do número de partículas ambiente (PNC) e as distribuições do número de partículas (PND) em 6 locais na área urbana de Porto Alegre, Brasil. A pesquisa aplicada ocorreu entre dezembro de 2013 até fevereiro de 2014 comparando os locais analisados para perceber o impacto causado pelos veículos em locais de maiores fluxos veiculares, gerando uma qualidade do ar mais poluída. Os resultados indicaram médias de número de partículas concentradas (PNC) entre $4,85 \times 10^4 \text{ cm}^3$ e $1,80 \times 10^5 \text{ cm}^3$ para locais afetados pelo tráfego de veículos, onde existem maiores concentrações em locais correspondentes a cruzamentos de tráfego. Além disso, todos os locais estudados apresentaram uma média trimodal de número de partículas distribuídas (PND), com os modos centrados em $\sim 14 \text{ nm}$, a $\sim 30 \text{ nm}$ e $\sim 105 \text{ nm}$. O PND foi dominado pela nucleação (44,9%) e Aitken (42,0%) sendo representativos, principalmente, nos locais da poluição proveniente de tráfego, sendo que parâmetros e condições meteorológicas contribuíram para a variação dos resultados entre os dias amostrados no mesmo local. Este artigo é precursor na avaliação de nanopartículas atmosféricas em Porto Alegre, Brasil. As pesquisas futuras apontam para incluir variações diárias e sazonais para melhor compreensão dos mecanismos de formação de nanopartículas. Além disso, adicionar à análise alguns poluentes como NOX e CO pois são indicadores de emissões de fontes de combustão.

Souza, Oliveira e Arbilla (2016) analisaram concentrações de isopreno, benzeno e tolueno em locais icônicos do Rio de Janeiro, como praias, áreas florestais e pontos turísticos, durante a Copa do Mundo de 2014, entre maio e julho. O objetivo foi avaliar o impacto das emissões

biogênicas e antropogênicas na qualidade do ar. Amostras foram coletadas antes e durante o evento para medir a influência das emissões urbanas, especialmente de veículos, em áreas urbanas e verdes. Os resultados mostraram que benzeno e tolueno indicaram forte impacto das emissões urbanas em áreas verdes, enquanto o isopreno apresentou níveis similares aos de outras áreas vegetadas. O estudo, pioneiro na medição de isopreno na Floresta da Tijuca e outros pontos verdes durante um evento de grande escala, concluiu que locais como o Jardim Botânico e a Floresta da Tijuca sofrem influência das emissões urbanas. Os autores recomendam estudos adicionais durante eventos de grande porte, como os Jogos Olímpicos de 2016, para monitorar os impactos nas áreas verdes.

Pacheco *et al.* (2017) analisa as características que causam as emissões de partículas em suspensão (PM) e suas concentrações nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, Brasil, verificando a qualidade do ar em comparação com as recomendações da OMS. A pesquisa aplicada considera dados de 2014 e discute as tendências recentes de emissões nas cidades de São Paulo e Belo Horizonte, comparando-as com padrões nacionais e diretrizes da OMS para avaliar os níveis de PM. Enfatiza-se a análise do nível de PM 2,5 nas cidades do estudo, ressaltando a importância do monitoramento desse índice. Os resultados indicam que os automóveis, principalmente os movidos a diesel, são grandes contribuintes para as emissões de PM, representando cerca de 34–50% do total de emissões nacionais de PM 2,5 Pacheco *et al.* (2017). O artigo oferece uma análise de PM 2,5 em um contexto em que estudos são escassos, sendo priorizadas análises de PM 10. São Paulo utiliza padrões de qualidade do ar e emissão de poluentes que podem ser replicados por outros estados do país, e novas ferramentas para analisar cenários futuros também podem ser úteis.

Oliveira, Lessa, Oliveira e Calazans (2017) analisaram os impactos das enchentes no transporte de mercadorias em Belo Horizonte e suas consequências para as emissões de poluentes de veículos motorizados. Utilizando dados de 2015, o estudo focou em veículos de carga e emissões de poluentes como NOx e material particulado (PM). Por meio de uma modelagem multiagente, foi possível simular a dinâmica do transporte urbano em situações de vulnerabilidade, como enchentes. Os resultados mostraram que um sistema de alerta reduziu as emissões em 9% e os atrasos nas entregas em até 28%, comparado a cenários sem alertas. O estudo destaca a importância da gestão eficiente do transporte urbano para mitigar emissões em áreas vulneráveis e sugere expandir a análise para outros tipos de desastres e diferentes contextos urbanos.

Krecl *et al.* (2016) examinaram as medições de BC (fuligem de carbono) em bicicletas no centro da cidade de Curitiba (Brasil) em uma campanha de campo intensiva no inverno, em agosto de 2016. O estudo efetuou medições móveis com dados de monitoramento de local fixo, fatores de tráfego e geometria de rua. Posteriormente, utilizaram regressão múltipla passo a passo e florestas aleatórias Modelos RF, para identificar concentrações de BC na estrada para avaliar a exposição dos ciclistas. O objetivo era determinar parâmetros que gerassem maior impacto na ingestão de poluição pelos ciclistas, possibilitando a criação de estratégias que mitiguem esse risco em áreas urbanas. Como resultado, identificaram que o modelo MLR (regressão linear múltipla) não foi totalmente capaz de representar as variações locais. Como inovação, relataram as primeiras concentrações de BC em bicicletas medidas no centro de Curitiba, e a predição da exposição a partículas de BC usando modelos estatísticos. Recomendam, como apontamento futuro, mais medições utilizando dados abertos e outros tipos de métodos de análises a fim de aumentar o desempenho do modelo sugerido.

Krecl *et al.* (2018) analisam a poluição do ar em Londrina, Brasil, em relação às emissões do tráfego em um cânion de rua, focando nas emissões de BC, PM 2,5 e NOx. A pesquisa, realizada em 2016, mediu as concentrações de diferentes poluentes associados ao tráfego de veículos em um cânion de rua movimentado. Os dados coletados visam compilar inventários nacionais para o setor de transporte rodoviário e avaliar os impactos na saúde e no clima. Os resultados indicam que, no local do cânion, as concentrações de poluentes são mais elevadas em dias úteis em comparação aos

fins de semana, exceto para o PM_{2,5}, conforme Krecl *et al.* (2018). As medições realizadas em telhados mostraram níveis mais consistentes de BC e PM_{2,5}, evidenciando uma redução do impacto das emissões em relação ao cânion. O artigo também apresentou os primeiros Fatores de Emissão de Número de Partículas (EFPN) já determinados na América do Sul, fundamentais para compreender quantas partículas são emitidas por veículos em diferentes condições. Assim, estudos futuros se fazem necessários para expandir esses resultados, especialmente no que se refere ao EFPN, uma vez que essa métrica nunca havia sido medida anteriormente.

Leirião *et al.* (2020) investigaram os efeitos da redução do tráfego de veículos na qualidade do ar e na saúde pública durante a greve de caminhoneiros em São Paulo em 2018. O estudo analisou dados de qualidade do ar (NO_x, PM₁₀, O₃) em quatro locais da cidade, identificando impactos da redução de emissões veiculares. Os resultados indicam que durante os dias úteis da greve, as concentrações de NO_x caíram entre 29,4% e 40,9%, e de PM₁₀ entre 19,2% e 21,4%. Essa melhoria foi associada à prevenção de 6 a 8 mortes no período, o que poderia representar 321 a 442 mortes evitadas anualmente. O estudo foi um experimento natural único, e destacou os benefícios diretos da redução do tráfego em uma grande metrópole e sugeriu que políticas de restrição de tráfego e investimentos em transporte limpo podem melhorar significativamente a qualidade do ar e a saúde pública. Também recomendou estudos adicionais sobre poluentes como PM_{2.5}.

Da Costa e Oliveira *et al.* (2019) analisam os resultados de 16 estudos que correspondiam ao critério analisado, tendo como objetivo revisar e resumir as causas que os efeitos das partículas ultrafinas [UFPs] causam na saúde infantil. A revisão literária desenvolvida em 2018 no Brasil compara os artigos existentes, revisa e sintetiza o conhecimento sobre esse tema específico. Os resultados indicaram que os efeitos dos UFPs na saúde das crianças estão relacionados à sua capacidade de penetrar em diferentes sistemas do corpo, como cérebro, sistema respiratório e cardiovascular devido ao pequeno tamanho das partículas. Este artigo descobriu que há uma associação entre a saúde das crianças e a exposição aos UFPs, especialmente entre crianças com doenças respiratórias, que comumente apresentam alterações em biomarcadores inflamatórios e deterioração da função pulmonar como resultado da exposição aos UFPs. As pesquisas futuras apontam para estudos mais aprofundados sobre os impactos das UFPs na saúde das crianças, visto que ainda faltam muitas questões para serem respondidas.

Bezerra *et al.* (2020) analisaram as barreiras que dificultam o desenvolvimento e a implementação dos Planos de Mobilidade Urbana, conforme a Lei 12.587/2012, em cidades de pequeno e médio porte no Brasil. A pesquisa, realizada com especialistas em planejamento urbano, identificou que restrições orçamentárias têm impacto significativo, impedindo municípios de acessar recursos federais para mobilidade urbana. O crescimento urbano pressiona sistemas, especialmente o de transporte, responsável por 23% das emissões de CO₂, 38% das mortes no trânsito e 80% dos custos de congestionamento globais, destacando a importância do planejamento para cidades mais sustentáveis. Foram apontadas dificuldades na implementação de ações previstas nos planos, falta de tecnologias limpas e desafios na coleta de dados válidos sobre emissões. O estudo sugere ampliar a análise para municípios de outros estados, integrar tecnologias como big data ao planejamento urbano e promover engajamento político e medidas de apoio aos Planos de Mobilidade Urbana.

Emiliano *et al.* (2019) apresentaram um modelo de otimização multiobjetivo para avaliar combinações eficientes de frotas de ônibus, considerando emissões de gases de efeito estufa (Z1), emissões de poluentes atmosféricos (Z2) e custos totais (Z3). O estudo, com dados de 2019 a 2020, analisou quatro tipos de ônibus (diesel, elétrico, elétrico de carregamento rápido e GNV) em três linhas de Joinville, Brasil: Sul-Norte, Itinga e Centro-Sul. Os resultados mostram que a escolha do tipo de ônibus depende das características da linha, como número de paradas e velocidade média. O ônibus elétrico foi a melhor opção para reduzir emissões, mas apresenta alto custo inicial e baixa autonomia. Na linha Sul-Norte, caracterizada por baixa velocidade e muitas paradas, o ônibus

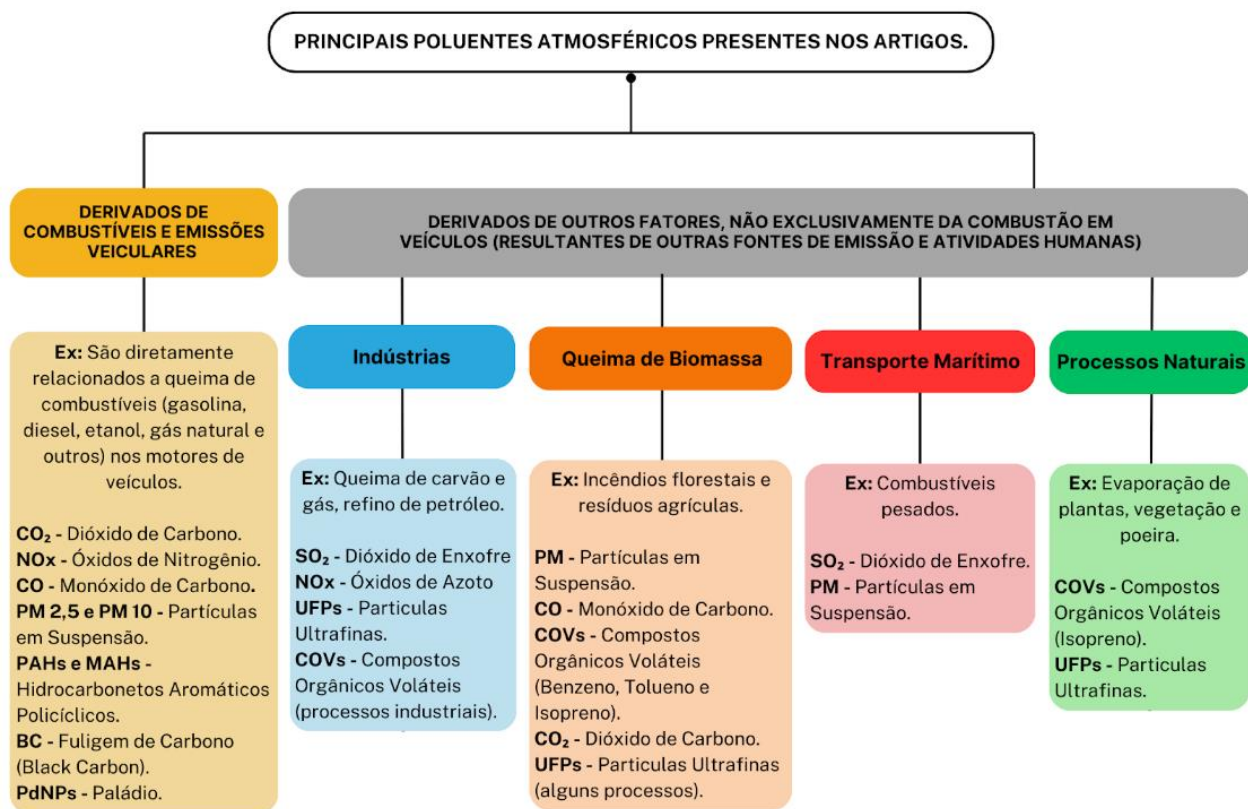
elétrico foi dominante, enquanto as linhas Itinga e Centro-Sul preferiram, respectivamente, os ônibus a diesel e GNV. O estudo utilizou os métodos Weighted Tchebycheff e Augmented Weighted Tchebycheff para otimização e sugere que essa abordagem pode ser aplicada em outros contextos para otimizar frotas de transporte público equilibrando custos e impactos ambientais.

Dawidowski *et al.* (2024) analisaram o monitoramento de $PM_{2.5}$ em seis cidades da América Latina (Buenos Aires, São Paulo, Medellín, São José, Quito e Cidade do México) entre abril de 2019 e março de 2020. O estudo avaliou os níveis elevados de poluentes gasosos e partículas, destacando seus efeitos prejudiciais no ecossistema e na saúde humana. A pesquisa utilizou frações ópticas térmicas EC/OC como traçadores de fontes e a razão OC/EC nos fatores PMF para explorar diferentes metodologias. Os resultados mostraram que o carbono orgânico secundário (SOC) desempenha um papel central no carbono orgânico (OC), e as emissões veiculares, queima regional de biomassa e aerossóis orgânicos secundários (AOS) foram identificados como principais fontes de $PM_{2.5}$. Este trabalho é pioneiro na caracterização das frações EC e OC em campanhas coordenadas na América Latina. Futuras pesquisas sugerem ampliar o número de cidades estudadas e investigar fatores que influenciam o conteúdo e a sazonalidade de aerossóis orgânicos secundários na região.

Silva e Teles (2020) desenvolveram diretrizes de sustentabilidade para projetos de mobilidade urbana em países em desenvolvimento, aplicando-as a um estudo de caso em São Luís, Brasil, com foco na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). A pesquisa, realizada em 2020, utilizou dados locais, incluindo 300 questionários com usuários de transporte público, motoristas, motociclistas e ciclistas, além de dados governamentais sobre mobilidade urbana. O estudo propôs diretrizes adaptáveis para outras cidades, baseadas em cenários que simulam níveis de emissões e políticas de mobilidade. Os resultados indicaram que uma reforma abrangente do sistema de mobilidade de São Luís poderia reduzir até 88,6% das emissões anuais de GEE no setor de transporte. Os autores recomendam a aplicação dessas diretrizes em outras cidades e o desenvolvimento de cenários personalizados para subsidiar políticas públicas que promovam a mobilidade sustentável e reduzam as emissões em países em desenvolvimento.

Feito os 28 resumos, podemos analisar que os principais poluentes atmosféricos podem ser divididos em duas categorias: aqueles derivados diretamente de combustíveis e emissões veiculares e aqueles provenientes de outras fontes, como indústrias, queima de biomassa, transporte marítimo e processos naturais. Esses poluentes, resultantes da queima de combustíveis fósseis, biomassa ou atividades humanas, têm impactos significativos na saúde pública, contribuindo para doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer. A figura 2 apresenta um diagrama detalhado sobre as principais fontes e exemplos de poluentes.

Figura 2. Principais poluentes atmosféricos identificados nos artigos revisados. O diagrama apresenta as fontes de emissão, exemplos de poluentes e seus impactos, organizados em categorias como emissões veiculares, indústrias, queima de biomassa, transporte marítimo e processos naturais.



Fonte: Concepção gerada a partir do método PRISMA, conforme Autor (2024).

4. CONCLUSÃO

Através da realização da revisão bibliográfica sobre as emissões de poluentes atmosféricos por veículos motorizados no Brasil, utilizando a metodologia PRISMA, este trabalho buscou uma abordagem sistemática para seleção dos estudos analisados. Os resultados da pesquisa revelaram que os derivados de combustíveis e as emissões veiculares, especialmente em áreas urbanas, são uma das principais fontes de poluição atmosférica no Brasil, com impacto direto na saúde pública e na qualidade do ar. Os estudos revisados mencionam avanços na adoção de combustíveis alternativos, como o etanol e o biodiesel, bem como na implementação de tecnologias de controle de emissão, que podem reduzir parcialmente o impacto ambiental dos veículos. Contudo, notam-se desafios, como a necessidade de políticas públicas que promovam a transição para veículos de baixa emissão e incentivem o transporte coletivo.

Com isso, espera-se que esta revisão contribua para o entendimento dos impactos das emissões veiculares no Brasil e sirva como subsídio para a formulação de políticas públicas e novas pesquisas que visem a sustentabilidade do setor de transporte no país. Sugere-se para estudos futuros a ampliação das análises das emissões veiculares, considerando variações de clima e local, e o impacto de novas regulamentações. A integração de veículos elétricos e híbridos, e a avaliação de seu impacto ambiental e econômico em contextos brasileiros representam uma área promissora de pesquisa. Além disso, recomenda-se explorar o desenvolvimento de modelos de previsão de poluição atmosférica para as principais cidades brasileiras, a fim de embasar políticas de qualidade do ar mais eficazes e melhorar a gestão ambiental urbana.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AARZOO; NIDHI; SAMIM, M. Palladium nanoparticles as emerging pollutants from motor vehicles: an in-depth review on distribution, uptake and toxicological effects in occupational and living environment. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 823, p. 153787, jun. 2022.

AGRAWAL, Smita; OZA, Parita; KAKKAR, Riya; TANWAR, Sudeep; JETANI, Vishv; UNDHAD, Jatin; SINGH, Anupam. Analysis and recommendation system-based on PRISMA checklist to write systematic review. **Assessing Writing**, [S.L.], v. 61, p. 100866, jul. 2024.

ATES, E.; KARAARSLAN, N. Investigation of Hybrid Renewable Energy Green House for Reducing Residential Carbon Emissions. **International Journal Of Thermofluids**, [S.L.], v. 21, p. 100558, fev. 2024.

BADIDA, Pavanaditya; KRISHNAMURTHY, Arun; JAYAPRAKASH, Jayapriya. Meta analysis of health effects of ambient air pollution exposure in low- and middle-income countries. **Environmental Research**, [S.L.], v. 216, p. 114604, jan. 2023.

BENVENUTTI, Livia Moraes Marques; CAMPOS, Lucila Maria de Souza; VAZQUEZ-BRUST, Diego; LISTON-HEYES, Catherine. The changing roles of actors in 'fortuitous' sustainability transitions: an analysis of brazil's passenger vehicles fuel technology from 1970 to 2020. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 192, p. 122584, jul. 2023.

BEZERRA, Barbara Stolte; DOS SANTOS, Ana Laura Lordelo; DELMONICO, Diego V. G. Unfolding barriers for urban mobility plan in small and medium municipalities – A case study in Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 132, p. 808–822, 2020.

BONTEMPO, Amanda P.; CUNHA, Claudio B.; BOTTER, Denise A.; YOSHIKAZAKI, Hugo T.Y. Evaluating Restrictions on the Circulation of Freight Vehicles in Brazilian Cities. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, [S.L.], v. 125, p. 275-283, mar. 2014.

CALDERÓN-GARCIDUEÑAS, Lilian; AYALA, Alberto. Fine particle air pollution and lung cancer risk: extending the long list of health risks. **Cell**, [S.L.], v. 186, n. 11, p. 2285-2287, maio 2023.

CECCATO, Riccardo; ROSSI, Riccardo; GASTALDI, Massimiliano. Low emission zone and mobility behavior: ex-ante evaluation of vehicle pollutant emissions. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 185, p. 104101, jul. 2024.

COELHO, Suani Teixeira; GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo; GUARDABASSI, Patricia. Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. **Energy For Sustainable Development**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 26-39, jun. 2006.

CORRÊA, Sérgio Machado; ARBILLA, Graciela. Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 40, n. 35, p. 6821-6826, nov. 2006.

CORREIA, Paulo de Barros; BERNI, Mauro Donizeti. A Multiobjective Model for Urban Transport Energy Cost and Environment. **Ifac Proceedings Volumes**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 7656-7661, jun. 1996.

DAWIDOWSKI, Laura; CONSTANTIN, Julián Gelman; MURILLO, Jorge Herrera; GÓMEZ-MARÍN, Miriam; NOGUEIRA, Thiago; JIMÉNEZ, Salvador Blanco; DÍAZ-SUÁREZ, Valeria; VICTORICA, Facundo Baraldo; LICHTIG, Pablo; RESQUIN, Melisa Díaz. Carbonaceous fraction in PM2.5 of six Latin American cities: seasonal variations, sources and secondary organic carbon contribution. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 948, p. 174630, out. 2024.

DE CARVALHO JR, A. V. (1985). Natural gas and other alternative fuels for transportation purposes. **Energy**, 10(2), 187–215.

EMILIANO, Machado William; COSTA, Lino; CARVALHO, Sameiro Maria; TELHADA, José; LANZER, Edgar A. Multiobjective optimization of transit bus fleets with alternative fuel options: the case of Joinville, Brazil. **International Journal Of Sustainable Transportation**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 14-24, 12 jan. 2019.

HENNING, Robert J. Particulate Matter Air Pollution is a Significant Risk Factor for Cardiovascular Disease. **Current Problems In Cardiology**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 102094, jan. 2024.

JANSAKOO, Thanapat; WATANABE, Ryouichi; UETANI, Akio; SEKIZAWA, Satoshi; FUJIMORI, Shinichiro; HASEGAWA, Tomoko; OSHIRO, Ken. Comparison of global air pollution impacts across horizontal resolutions. **Atmospheric Environment: X**, [S.L.], v. 24, p. 100303, dez. 2024.

KRECL, Patricia; CIPOLI, Yago Alonso; TARGINO, Admir Crésó; TOLOTO, Matheus de Oliveira; SEGERSSON, David; PARRA, Álvaro; POLEZER, Gabriela; GODOI, Ricardo Henrique Moreton; GIDHAGEN, Lars. Modelling urban cyclists' exposure to black carbon particles using high spatiotemporal data: a statistical approach. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 679, p. 115-125, ago. 2019.

KRECL, Patricia; TARGINO, Admir Crésó; LANDI, Thiago Pereira; KETZEL, Matthias. Determination of black carbon, PM2.5, particle number and NOx emission factors from roadside measurements and their implications for emission inventory development. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 186, p. 229-240, ago. 2018.

KRZYZANOWSK, Michal; SCHWELA, Dieter. Patterns of Air Pollution in Developing Countries. **Air Pollution And Health**, [S.L.], p. 105-113, 1999.

LEIRIÃO, Luciana Ferreira Leite; DEBONE, Daniela; PAULIQUEVIS, Theotonio; ROSÁRIO, Nilton Manuel Évora do; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. Environmental and public health effects of vehicle emissions in a large metropolis: case study of a truck driver strike in Sao Paulo, Brazil. **Atmospheric Pollution Research**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 24-31, jun. 2020.

LIU, Haifeng; AMPAH, Jeffrey Dankwa; AFRANE, Sandylove; ADUN, Humphrey; JIN, Chao; YAO, Mingfa. Deployment of hydrogen in hard-to-abate transport sectors under limited carbon dioxide removal (CDR): implications on global energy-land-water system. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 184, p. 113578, set. 2023.

MARDONES, Cristian; BAEZA, Nicolas. Economic and environmental effects of a CO2 tax in Latin American countries. **Energy Policy**, [S.L.], v. 114, p. 262-273, mar. 2018.

MARINELLO, Samuele; LOLLI, Francesco; GAMBERINI, Rita. Roadway tunnels: a critical review of air pollutant concentrations and vehicular emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.L.], v. 86, p. 102478, set. 2020.

MESÍA-MONTENEGRO, Christian. Untangling the chronological complexities of the Andean Central Coast Formative Period: a bayesian reassessment. **Journal Of Archaeological Science: Reports**, [S.L.], v. 59, p. 104799, nov. 2024.

OLIVEIRA, Juliana Regis da Costa e; BASE, Luis Henrique; ABREU, Luiz Carlos de; FERREIRA FILHO, Celso; FERREIRA, Celso; MORAWSKA, Lidia. Ultrafine particles and children's health: literature review. **Paediatric Respiratory Reviews**, [S.L.], v. 32, p. 73-81, nov. 2019.

OLIVEIRA, Leise Kelli de; LESSA, Daniela Antunes; OLIVEIRA, Eduardo; CALAZANS, Bruna Ferreira Gregório. Multi-agent modelling approach for evaluating the city logistics dynamic in a vulnerability situation: an exploratory study in Belo Horizonte (Brazil). **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 25, p. 1046-1060, 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). OMS Global Air. Diretrizes de qualidade: material particulado (PM2,5 e PM10), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono; OMS: Genebra, 2021.

PACHECO, Marina Torres; PARMIGIANI, Magno Marcos Miotto; ANDRADE, Maria de Fatima; MORAWSKA, Lidia; KUMAR, Prashant. A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil. **Journal Of Transport & Health**, [S.L.], v. 4, p. 53-72, mar. 2017.

POCCHIARI, M.; PROSERPIO, D.; DOVER, Y. Online Reviews: A literature review and roadmap for future research. **International Journal of Research in Marketing**, [S.L.], 2024.

PROQUE, Andressa Lemes; SANTOS, Gervásio Ferreira dos; BETARELLI JUNIOR, Admir Antonio; LARSON, William D. Effects of land use and transportation policies on the spatial distribution of urban energy consumption in Brazil. **Energy Economics**, [S.L.], v. 90, p. 104864, ago. 2020.

REQUIA, Weeberb J.; MELO, Hudson Francisco Azevedo de. Effectiveness of public policies related to traffic emissions in improving air quality in Brazil: a causal inference study using bayesian structural time-series models. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 319, p. 120291, fev. 2024.

RIBEIRO, Flávia Noronha Dutra; UMEZAKI, Arissa Sary; CHIQUETTO, Júlio Barboza; SANTOS, Isabel; MACHADO, Pedro Gerber; MIRANDA, Regina Maura; ALMEIDA, Paulo Santos; SIMÕES, André Felipe; MOUETTE, Dominique; LEICHSENDRING, Alexandre Ribeiro. Impact of different transportation planning scenarios on air pollutants, greenhouse gases and heat emission abatement. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 781, p. 146708, ago. 2021.

SAMPAIO, M.; ROSA, L.; DAGOSTO, M. Ethanol–electric propulsion as a sustainable technological alternative for urban buses in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 1514-1529, set. 2007.

SCAFETTA, Nicola. Impacts and risks of “realistic” global warming projections for the 21st century. **Geoscience Frontiers**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 101774, mar. 2024.

SCHNEIDER, Ismael Luis; TEIXEIRA, Elba Calesso; OLIVEIRA, Luis Felipe Silva; WIEGAND, Flavio. Atmospheric particle number concentration and size distribution in a traffic–impacted area. **Atmospheric Pollution Research**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 877-885, set. 2015.

SHANG, Wen-Long; SONG, Xuewang; CHEN, Yishui; YANG, Xin; LIANG, Liyun; DEVECI, Muhammet; CAO, Mengqiu; XIANG, Qiannian; YU, Qing. Congestion and Pollutant Emission Analysis of Urban Road Networks Based on Floating Vehicle Data. **Urban Climate**, [S.L.], v. 53, p. 101794, jan. 2024.

SHIN, Hyeokjin; HYUN, Minseung; JEONG, Sohee; RYU, Hyeonjung; LEE, Min Gyu; CHUNG, Woosuk; HONG, Jaehwan; KWON, Jung-Taek; LEE, Jaewoong; KIM, Younghun. A correlation study of road dust pollutants, tire wear particles, air quality, and traffic conditions in the Seoul (South Korea). **Atmospheric Pollution Research**, [S.L.], v. 15, n. 12, p. 102309, dez. 2024.

SILVA, Brenda V.F.; TELES, Mavd P.R. Pathways to sustainable urban mobility planning: a case study applied in São Luís, Brazil. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, [S.L.], v. 4, p. 100102, mar. 2020.

SILVA, Tatiana Bruce da; BAPTISTA, Patrícia; SILVA, Carlos A. Santos; SANTOS, Luan. Assessment of decarbonization alternatives for passenger transportation in Rio de Janeiro, Brazil. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.L.], v. 103, p. 103161, fev. 2022.

SOUZA, E. C.; OLIVEIRA, R. L.; ARBILLA, G. Isoprene, benzene and toluene levels at the major landmarks of Rio de Janeiro during the 2014 FIFA World Cup. **Atmósfera**, [S.L.], 2016.

VASQUES, Thiago Vieira; HOINASKI, Leonardo. Brazilian vehicular emission inventory software – BRAVES. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, [S.L.], v. 100, p. 103041, nov. 2021.

WANG, Aijia; WANG, Junqi; ZHANG, Ruijun; CAO, Shi-Jie. Mitigating urban heat and air pollution considering green and transportation infrastructure. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 184, p. 104079, jun. 2024.

WEBER, Natália de Assis Brasil; ROCHA, Bárbara Pacheco da; SCHNEIDER, Paulo Smith; DAEMME, Luiz Carlos; PENTEADO NETO, Renato de Arruda. Energy and emission impacts of liquid fueled engines compared to electric motors for small size motorcycles based on the Brazilian scenario. **Energy**, [S.L.], v. 168, p. 70-79, fev. 2019.

