



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Inventário de fontes móveis para Maceió-AL – *Análise atual e Cenários futuros*

Anderson Jefferson Gomes da Silva¹, Emylle Isabelle Gonçalves Barbosa², Glauber Lopes Mariano³, Heliofábio Barros Gomes³, Ericka Voss Chagas³

¹ Mestrando em Meteorologia ICAT/UFAL, andersonj.g.silva7@gmail.com. ² Bacharel em Meteorologia pelo ICAT/UFAL, emylleisabelle@gmail.com

³ Professor do ICAT/UFAL, glauber.mariano@icat.ufal.br, heliofabio@icat.ufal.br, ericka.chagas@icat.ufal.br

Artigo recebido em 23/05/2023 e aceito em 04/04/2024

RESUMO

Os poluentes que são lançados na atmosfera e interagem com as condições meteorológicas determinam a qualidade do ar de uma região acarretando sérios problemas, tanto ao clima quanto a saúde dos seres vivos de modo geral. Devido a isso, o presente trabalho tem como objetivo elaborar um inventário de fontes móveis para os anos de 2014-2021 e analisar, projeções em possíveis cenários para a cidade de Maceió. Foram quantificadas as emissões dos poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP) e hidrocarbonetos não metano (NMHC) de acordo com a metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) onde se calculou as emissões dos poluentes totais em toneladas anuais para cada um dos três cenários apresentados: cenário 1 -crescimento constante da frota de veículos, cenário 2 - substituição de uma parcela de automóveis por ônibus urbano de linha e cenário 3 - substituição do uso do combustível principal da gasolina pelo etanol. Para o primeiro cenário foi observado um aumento de todos os poluentes, principalmente o CO. O cenário 2 de emissão é observado uma diminuição do poluente CO e NOx, porém ocorre um aumento nos demais poluentes (MP e NMHC); já o cenário 3 de emissão ficou com resultados próximos ao cenário 1.

Palavras-chave: Poluição; Inventário de Poluição; Emissão de Fonte Móvel; Cenário Futuro.

Inventory of Mobile Sources for Maceió-AL – Current Analysis and Future Scenarios

ABSTRACT

The pollutants that are released into the atmosphere and interact with meteorological conditions determine the air quality of a region, causing serious problems, both for the climate and the health of living beings in general. Due to this, the present work aims to elaborate an inventory of mobile sources for the years 2014-2021 and to analyze projections in possible scenarios for the city of Maceió. Emissions of pollutants carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx) and particulate matter (PM) and non-methane hydrocarbons (NMHC) were quantified according to the methodology proposed by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) where total pollutant emissions in annual tons were calculated for each of the three scenarios presented: scenario 1 - constant growth of the vehicle fleet, scenario 2 - replacement of a portion of cars by urban line buses and scenario 3 - replacement of the use of main fuel from gasoline to ethanol. For the first scenario, an increase of all pollutants was observed, mainly CO. Emission scenario 2 shows a decrease in the pollutant CO and NOx, but there is an increase in the other pollutants (PM and NMHC); emission scenario 3 had results close to scenario 1.

Keywords: Pollution; Pollution Inventories; Mobile Source Issuance; Future Scenario.

Introdução

A contaminação de um ambiente, seja ele interno ou externo por agente químico, físico ou biológico que modifica as características naturais da atmosfera, é chamada de poluição atmosférica (Lima, 2017; Organização Mundial da Saúde [OMS], 2021; Barbosa Junior, 2022).

A poluição no ar externo tem origem tanto natural quanto antropogênica (Coutinho, 2022). A fonte de poluição antropogênica pode ser através da combustão, geração de energia, aquecimento e indústrias (CETESB, 2011; Coutinho, 2022).

Estudos sobre a qualidade do ar indicam que a poluição pode causar vários problemas epidemiológicos e respiratórios que podem levar o ser humano à morte (Betti, 2020; Fernandes, 2021; Coutinho, 2022; Deecken, 2022; Mendrot, 2022) sendo os veículos automotores os maiores causadores de poluição atmosférica nas regiões metropolitanas, responsáveis pelas emissões de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos e material particulado, e diversos outros poluentes lançados na atmosfera

(CETESB, 2020; Visconde, 2020; Silva, 2022). Esta fonte é responsável por aproximadamente 19% das emissões de poluentes na atmosfera, o que diminui a qualidade de vida e causam danos ecológicos a longo prazo (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, 2020).

A frota veicular do país era de 106.289.700 segundo Denatran (2020) e a população segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2020) era de 211,8 milhões. Já a cidade de Maceió neste mesmo ano de 2020 e que o município mais populoso do Estado de Alagoas, com a população de 1025.360 (IBGE, 2020), possuía uma frota de 358.684 veículos registrados em 2020 pelo Departamento Estadual de Trânsito [DETRAN] (2020).

Até a metade do século XIX, somente 7% da população mundial vivia no perímetro urbano. Entretanto, no ano de 2007, esse percentual passou para 50% da população mundial habitando em centros urbanos (Boaretto, 2009). Em 2020, estimou-se que 54% da população mundial vivia no perímetro urbano (Carvalho, 2020). Segundo o Relatório Mundial das Cidades em 2050 68% da população estará vivendo em áreas urbanas (Organização das Nações Unidas [ONU] 2022). Esse processo de intensificação de migração, para áreas de urbanização, encontra-se aliado à expansão do crescimento econômico e o desenvolvimento de indústrias nacionais e internacionais contribuindo para que uma maior parcela da população seja afetada por problemas tipicamente urbanos como a poluição atmosférica em grandes cidades (Sabino, 2021). Intensificando ainda mais as emissões de GEE nos centros urbanos. Quantificar e realizar projeções sobre a quantidade de GEE faz-se necessário para pensar políticas de mitigação (Martins, 2023)

Devido a pouca disponibilidade de dados medidos por estações de qualidade do ar em centros urbanos, sobretudo no Brasil, um caminho para análise dos impactos das emissões automotivas é através de inventários de fontes móveis, onde se faz um levantamento de emissões de poluentes que são emitidos na atmosfera através de veículos automotores, metodologia utilizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (CETESB, 2020; Coutinho, 2022) para se obter a contribuição dos veículos na qualidade do ar da cidade de São Paulo em seu relatório anual. Vale ressaltar que, até o ano de 2023, a cidade de Maceió não possui sistema de análise de qualidade do ar instalado; em vista disso, o uso de inventário de fontes móveis se tornaria viável para análise das

fontes emissoras e seus impactos nas concentrações dos poluentes. Alguns trabalhos como Silva e Brandão (2017, 2018) calcularam inventários de fontes móveis em alguns estados do Nordeste, nos quais eles concluem que a qualidade do ar em regiões mais próximas à tráfegos de veículos automotores tem grandes concentrações de poluentes que podem ultrapassar o padrão permitido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Por meio de inventários de emissões torna-se possível realizar a identificação de fontes de emissão que predominam em uma determinada localização, sendo também possível identificar setores e os tipos de poluentes que contribuem com a deterioração da qualidade do ar em uma região. Os inventários de emissões são importantes instrumentos para o fomento de políticas públicas, uma vez que podem colaborar com a elaboração de projetos e programas que têm a finalidade de prevenir e controlar a poluição de uma localidade (Lobato et al., 2021; Rodrigues, 2022; Carvalho, 2022).

Mudanças de cenários, projeções para o futuro e até mesmo medidas de mudanças em realidade na frota veicular, podem servir como base para favorecer a tomada de decisão para medidas eficientes ou até mesmo orientação de programas voltados ao melhoramento da qualidade do ar de uma região e outras fontes procurando melhorar o conhecimento de medidas de controle sobre fontes de emissão de poluentes, principalmente em cenários futuros, tendo em vista que a poluição pode causar sérios danos respiratórios a saúde humana como também a degradação ecológica, além de poder provocar mudanças climáticas no planeta principalmente a longo prazo (Reboita, 2018). Dessa forma, este artigo destina-se a elaborar um inventário de fontes móveis para os anos de 2014-2021 e analisar projeções em possíveis cenários para a cidade de Maceió. Assim, será possível apontar caminhos, mais relevantes, para diminuir a emissão desses gases em vista de oferecer uma melhor qualidade do ar para a população da cidade de Maceió, sendo mais um instrumento para propostas de ações e direcionamento para as políticas públicas.

Material e métodos

Área de estudo

A cidade de Maceió, capital e município mais populoso do estado de Alagoas, encontra-se na região Nordeste do Brasil (latitude 9° 39' 75" sul e longitude 35° 44' 07" oeste) com área territorial

de 212 km² e população de 1025.360 habitantes (IBGE, 2020) (Figura 1).

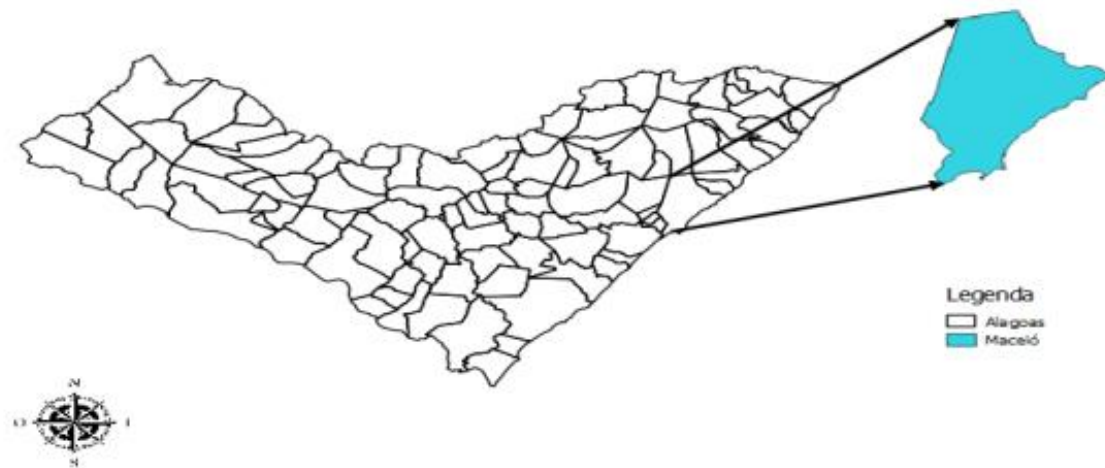


Figura 1- Mapa de Alagoas e localização da área de estudo (cidade de Maceió)
Fonte: Silva, 2018

Devido ao crescimento populacional do município ao longo dos anos e a importância da região no destino turístico devido às suas praias, mais pessoas estão expostas aos problemas decorrentes da poluição urbana. Abaixo (figura 2)

está uma comparação estatística entre a quantidade de veículos e a população municipal de Maceió ao longo dos anos de 2011 a 2020.

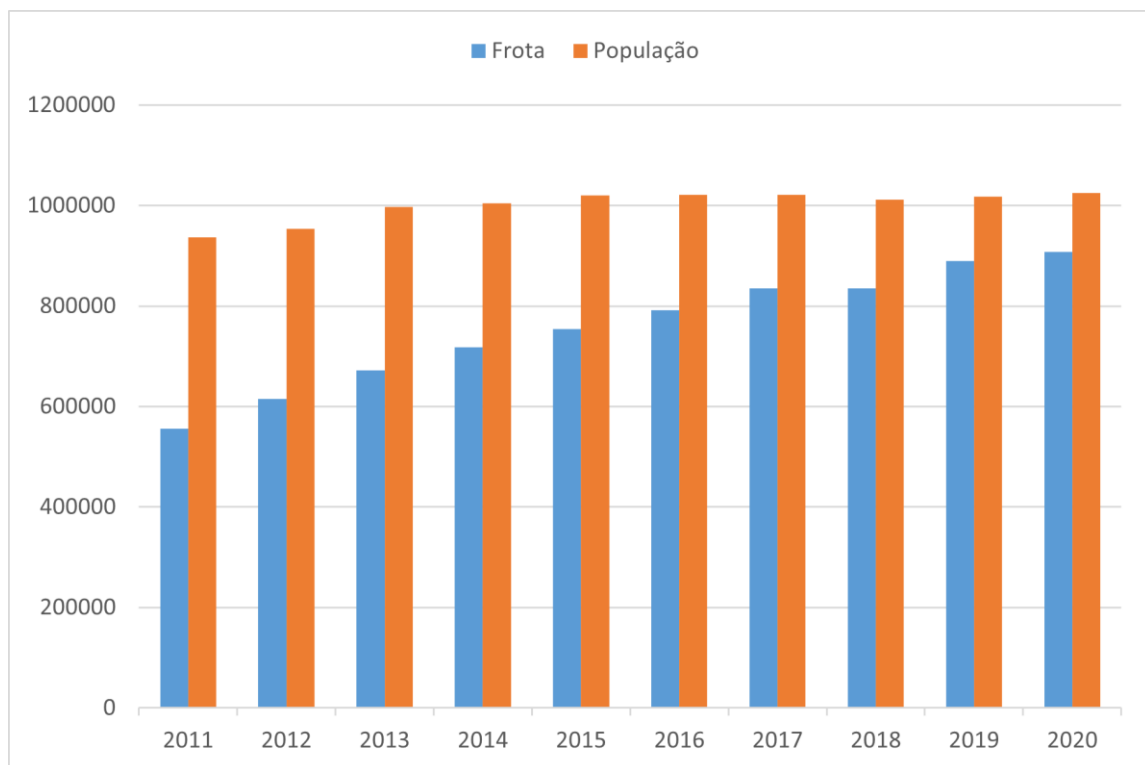


Figura 2 - Variação anual da frota de automóveis e população de Maceió-AL durante os anos de 2011 a 2020. Dados do Registro Nacional de Veículos Automotores [RENAVAM] e IBGE.

Inventário de emissão

Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos são ditos como ferramentas estratégicas usadas para identificar, quantificar e qualificar emissões de poluentes por fontes específicas, em uma dada área geográfica em um período determinado, para que haja planos estratégicos, permitindo implantar medidas eficientes na qualidade ambiental e controle de emissão e assim obter, da melhor forma possível, o melhoramento da qualidade do ar (Silva, 2020).

Ele ajuda a entender como é a relação entre as emissões e a concentração de poluentes na atmosfera terrestre e são ferramentas para a tomada de decisão e na elaboração de políticas públicas que ajudem a reduzir esses poluentes nocivos à saúde da população (Silva, 2018).

A metodologia para se fazer este levantamento de emissões veiculares pode ser usada em qualquer cidade. Neste trabalho utilizou-se a metodologia bottom-up (conhecida como de baixo para cima ou setorial) que fundamenta a estrutura de inventários de poluição atmosférica. Esse método considera de forma separada a contribuição de cada fonte de emissão de qualquer poluente que esteja presente na atmosfera (Silva, 2022; Sampaio Filho, 2022). Os gases que são lançados na atmosfera acontecem devido a queima do combustível no motor dos automóveis (Wills, 2008; Coutinho, 2022); além disso, pode ser lançado pelo processo de evaporação (combustível armazenado no tanque) e pelo abastecimento nos postos de gasolina. Os poluentes em estudo são: monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP) e o hidrocarbonetos não metano (NMHC) (Chorvet, 2016).

A emissão de poluentes considerada foi a emitida apenas por veículos automotores, ou seja, veículos que se movimentam pelo motor de propulsão que é utilizado para o transporte de pessoas ou produtos. As emissões calculadas foram dadas em toneladas por ano. A metodologia utilizada foi a mesma proposta pelo Relatório de Emissões Veiculares publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019).

Emissões de escapamentos

Para o cálculo das emissões de escapamento através de dados de fator de emissão por tipo de veículo, o poluente e combustível, bem como a quilometragem média ou a intensidade do

uso do veículo por categoria, combustível e ano de fabricação, de acordo com a CETESB (2019) é dada pela equação:

$$E = Fr \times Fe \times Iu \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

E = Massa do poluente emitida durante o ano que se quer inventariar (g/ano);

Fr = Frota circulante, ou seja, número de veículos por categoria, combustível e ano de fabricação;

Fe = Fator de emissão, depende do tipo de veículo, poluente e combustível utilizado (g/km);

Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano).

A equação 1 contabiliza em dados detalhados a estimativa das emissões de poluentes em uma dada área. É bastante precisa, porém, os dados nem sempre estão disponíveis para se extrair toda informação e então se faz necessário o cálculo deste (Silva, 2018).

Para se obter os dados de emissão a partir da equação 01, inicialmente foi feito o cálculo Fr em todos os anos para todas as categorias, tendo em vista que Fe e Iu são valores constantes encontrados no relatório “Emissões veiculares no estado de SP – 2019” da CETESB. Dessa maneira, para cada ano analisado existe uma determinada quantidade de veículos que rodam nas cidades. Além da quantidade, cada veículo tem sua categoria e consequentemente o tipo de combustível utilizado.

Foi utilizado divisão por partes proporcionais dada pela igualdade entre duas razões, ou seja, o produto dos extremos é igual ao produto dos meios. Os dados obtidos pelo RENAVAL são o total de veículos automotores em cada ano de fabricação. Desta forma, podemos encontrar os valores dos veículos por categoria e tipo de combustível em uma distribuição de frota: o resultado encontrado é a frota circulante (Fr).

Para que fosse possível comparar aos dados estabelecidos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores [PROCONVE] utilizou-se a conversão intensidade tecnológica oferecida pelo relatório da CETESB (2020) e expressa na equação 2.

$$\text{Indicador Tecnológico} = E \times Fe / Fr \times Iu \quad \text{Eq. 02}$$

E = Massa do poluente emitida durante o ano que se quer inventariar (g/ano);

Fr = Frota circulante, ou seja, número de veículos por categoria, combustível e ano de fabricação;

Fe = Fator de emissão, depende do tipo de veículo, poluente e combustível utilizado (g/km); apresentados no apêndice A.

Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano). Apresentados no apêndice B.

A intensidade do uso é a distância percorrida pelo veículo ao longo de um ano (Km/ano) e depende do tipo e a idade do veículo.

O fator de emissão é a massa de poluente emitida pelos veículos que percorrem certa distância (g/km). Os dados e valores de emissão (Fe) e de intensidade (Iu) neste trabalho foram retirados do Relatório de Emissão Veiculares publicado pela CETESB no ano de 2019 (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) onde foi formado os parâmetros que deveriam ser aplicados na equação (CETESB, 2019).

Frota circulante é a quantidade de veículos que estão em circulação nas cidades (mesmo que não estejam licenciados ou registrados no órgão de trânsito). Nesse trabalho foi utilizado o número de veículos automotores encontrados no Registro Nacional de Veículos Automotores com a última atualização no ano de 2020 (RENAVAM, 2020) (Tabela 1).

O diagrama apresentado na figura 3 mostra as etapas do cálculo geral de um modelo que é usado, neste trabalho, para inventariar as emissões de poluentes onde se utiliza informações do número de veículos por categoria, fatores de emissão (tipo de veículo, combustível e poluente) e

a distância média percorrida de forma anual em função da idade do veículo (Silva, 2018).

Cenários futuros de crescimento de frota veicular

Sabe-se que os automóveis estão em grande quantidade em centros urbanos, consequentemente, são os veículos uma das principais fontes de emissão de poluentes na atmosfera. Com o crescimento populacional a demanda por veículos automotores tende a aumentar, fazendo com que a liberação de poluentes cresça de maneira exponencial. Por conta disso é preciso utilizar-se de maneiras para quantificar e traçar metas com intuito de diminuir as emissões de poluentes que são causados por veículos automotores em grandes cidades, tendo em vista os riscos à saúde humana que eles provocam.

Em vista disso, é de suma importância encontrar alternativas cabíveis para obter uma qualidade do ar melhor, de acordo com padrões, como os, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. Porém, é necessário entender possíveis cenários futuro de emissões de poluentes na atmosfera de acordo com as estimativas do crescimento atual de automóveis, com base nos últimos anos. Comparando com outros possíveis cenários como a substituição de automóveis por ônibus urbano de linha, ou pela substituição de combustível. Em todos os 3 (três) cenários para projeção de poluentes na atmosfera serão feitos cálculos estatísticos com base nos dados reais que foram coletados da frota veicular e seu fator de emissão.

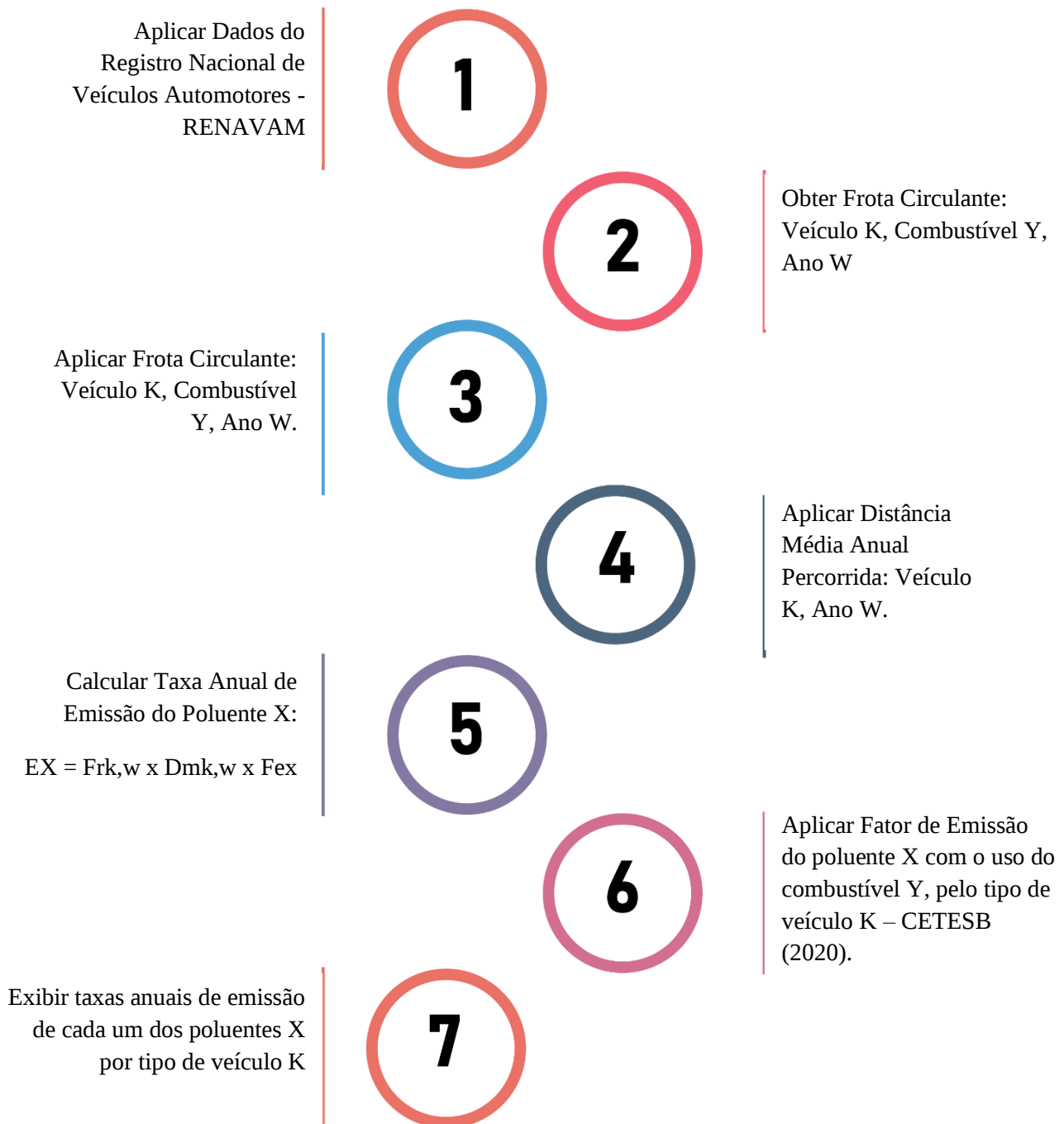


Figura 3: Diagrama esquemático com as etapas da metodologia proposta.
Fonte: Adaptado de Silva (2018).

Tabela 1 Definição das Categorias de Veículos em Maceió – AL.

Categorias	Combustível	Definição
Automóveis	Gasolina Etanol Flex	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor.
Veículos Comerciais Leves	Gasolina Etanol Flex Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor.
Motocicletas	Gasolina Flex	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada.
Caminhões	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e peso bruto total superior a 3.500 kg.
Ônibus Urbanos	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo dentro do município, de uso intermunicipal nas regiões metropolitanas e os midi-ônibus.
Micro-Ônibus	Diesel	Veículo automotor para transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros, para uso urbano, intermunicipal ou rodoviário, incluindo os mini-ônibus.

Cenário 1: Crescimento da frota de veículos para a cidade de Maceió.

Este cenário irá realizar uma projeção futura de 2020 até o ano de 2060 utilizando como base para os cálculos os dados que já estão disponíveis de forma estatística de aumento linear.

Este modelo de projeção costuma ser bastante eficaz, uma vez que olha para os resultados obtidos em anos anteriores, permitindo

observar tendências. A partir daí, serão feitos cenários e apresentados a seguir; a fim de, ampliar perspectivas para mitigar as emissões de poluentes causadas por veículos automotores para a realidade da cidade de Maceió.

A metodologia aplicada ao primeiro cenário está esquematizada na figura 4.

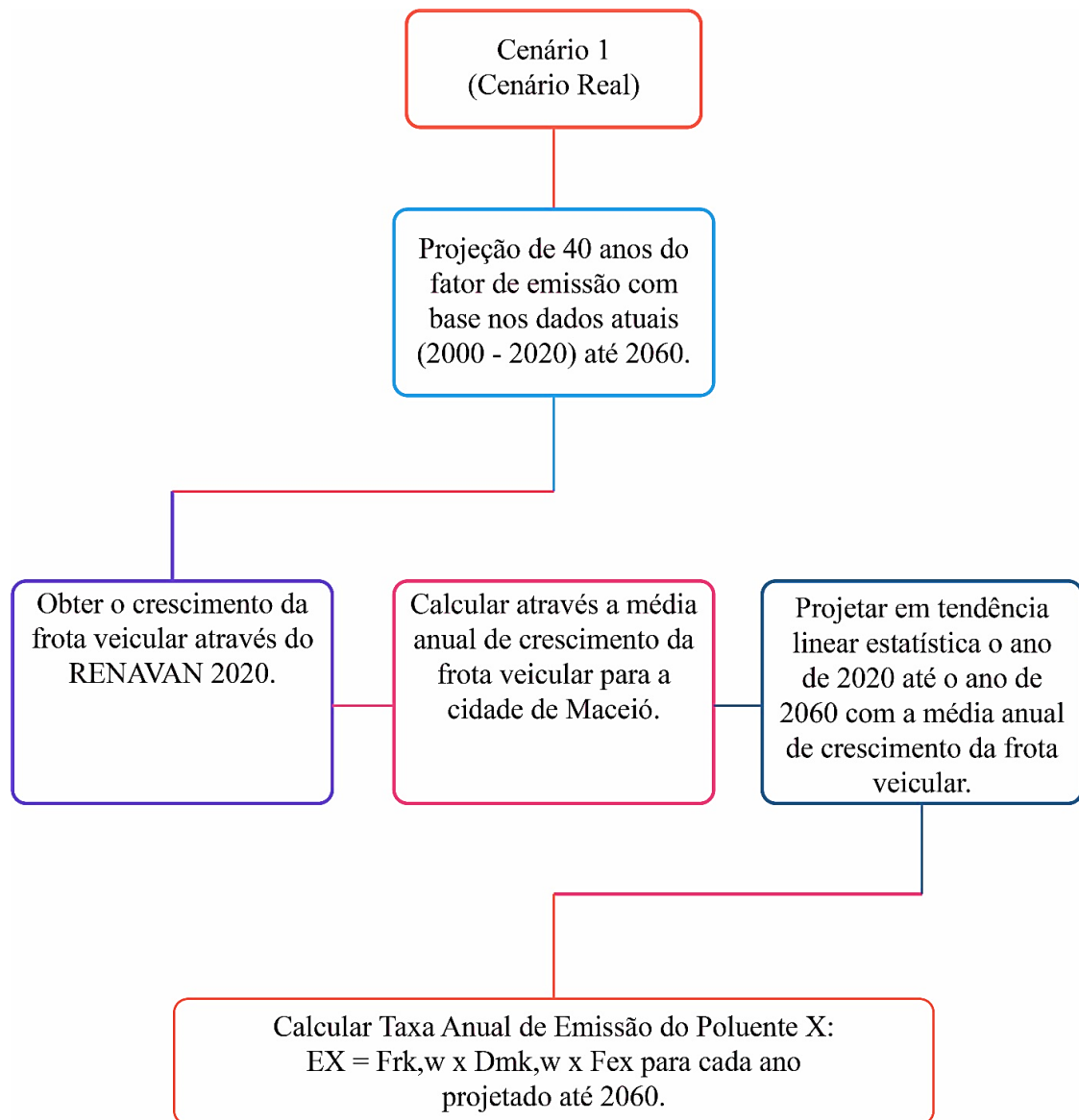


Figura 4 - Diagrama esquemático com as etapas referente ao cenário 1 (Cenário Real).

Cenário 2: Substituição de automóveis por ônibus urbano de linha

Os veículos são responsáveis por 72,6% da emissão de poluentes na atmosfera. Dessa quantidade, os automóveis são responsáveis por cerca de 71%, ônibus 25% e motocicletas 4% (IEMA, 2020).

Um automóvel de passeio transporta cerca de 5 pessoas, enquanto um ônibus urbano transporta em torno de 70 passageiros (Bitar Filho, 2019). Considerando o número máximo de passageiros transportados por um carro seriam necessários 14 desses carros para transportar o

mesmo número de passageiros levado por ônibus em sua capacidade também máxima.

Nesse cenário iremos aumentar a frota média anual dos transportes coletivos (ônibus) para 136%, a fim de incentivar a população a utilizar ônibus para se locomover na cidade, enquanto os carros sofrem uma diminuição do crescimento médio por ano de 50, em relação ao cenário 1, e assim tentar se obter um cenário de qualidade do ar melhor, uma vez que na cidade de Maceió, até o ano de 2022, não existe Plano de Mobilidade Urbana [PMU] de acordo com o Ministério Público de Alagoas [MPAL] e Ciríaco (2022).

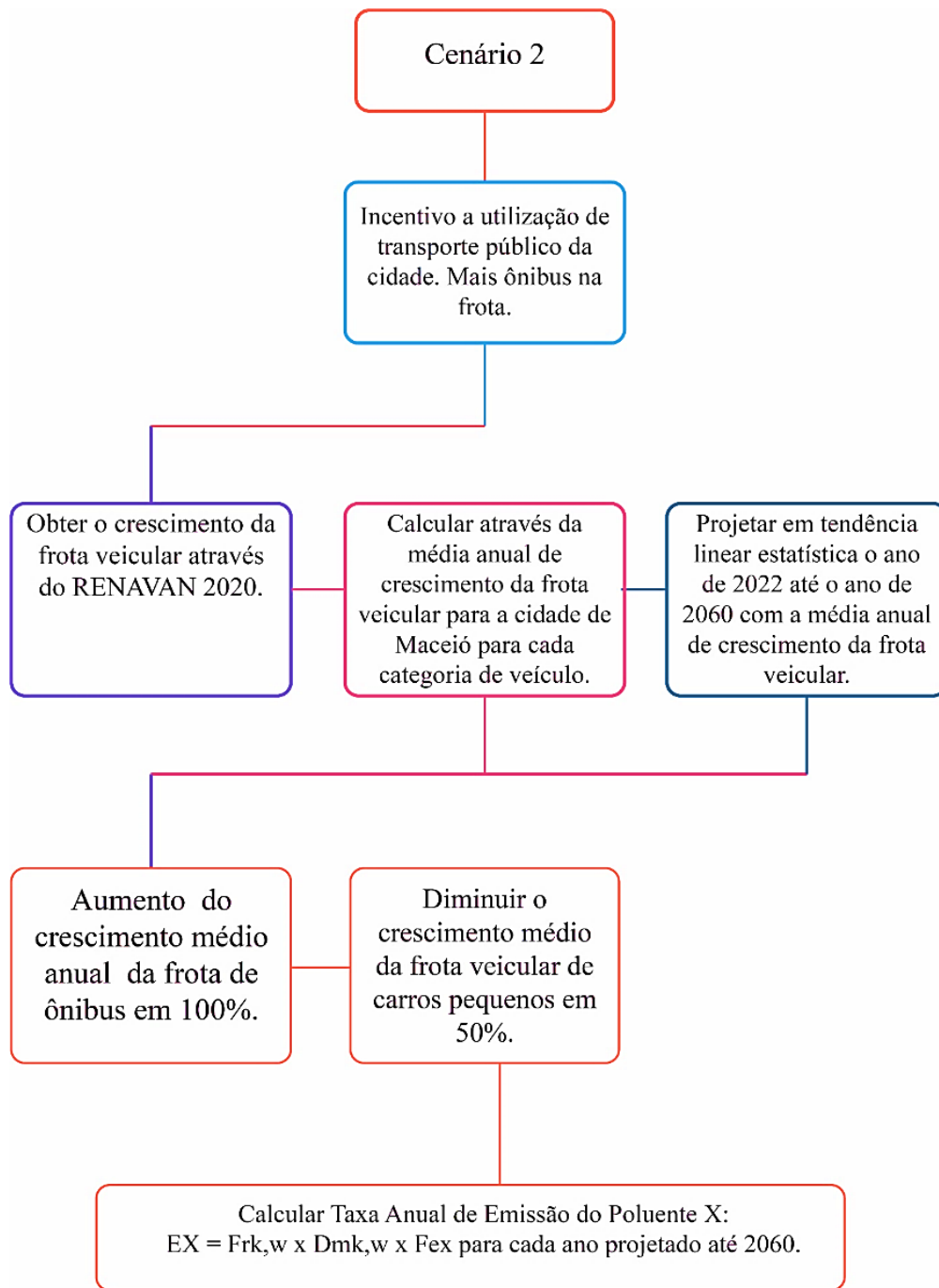


Figura 5 - Diagrama esquemático com as etapas referente ao cenário 2.

Cenário 3: Substituição de combustível

Sabe-se que o Brasil se destaca no cenário global como sendo o país com tecnologia mais avançada na fabricação de etanol, ficando atrás somente dos Estados Unidos, que usa milho como matéria prima (Rogério, 2020). A tecnologia para a produção de etanol aqui no país está de fato avançada e traz ganhos não só para a área industrial como, principalmente, para a área agrícola. Além disso, possui redução de custos na produção pela cana geneticamente modificada (Rogério, 2020). Desta forma, pretende-se indicar um cenário de

incentivo a população a utilizar um produto que tenha o teor de poluição menor e de forma mais limpa.

A troca gradual para este combustível seria um cenário possível para a diminuição dos gases emitidos na atmosfera através dos veículos automotivos. O etanol, além de ter um baixo custo na sua produção, pois o produto é derivado de itens naturais de fácil cultivo e manuseio comparado aos outros combustíveis utilizados no Brasil, é considerado menos poluente, tendo em vista que o seu teor de carbono é menor (Almeida, 2013).

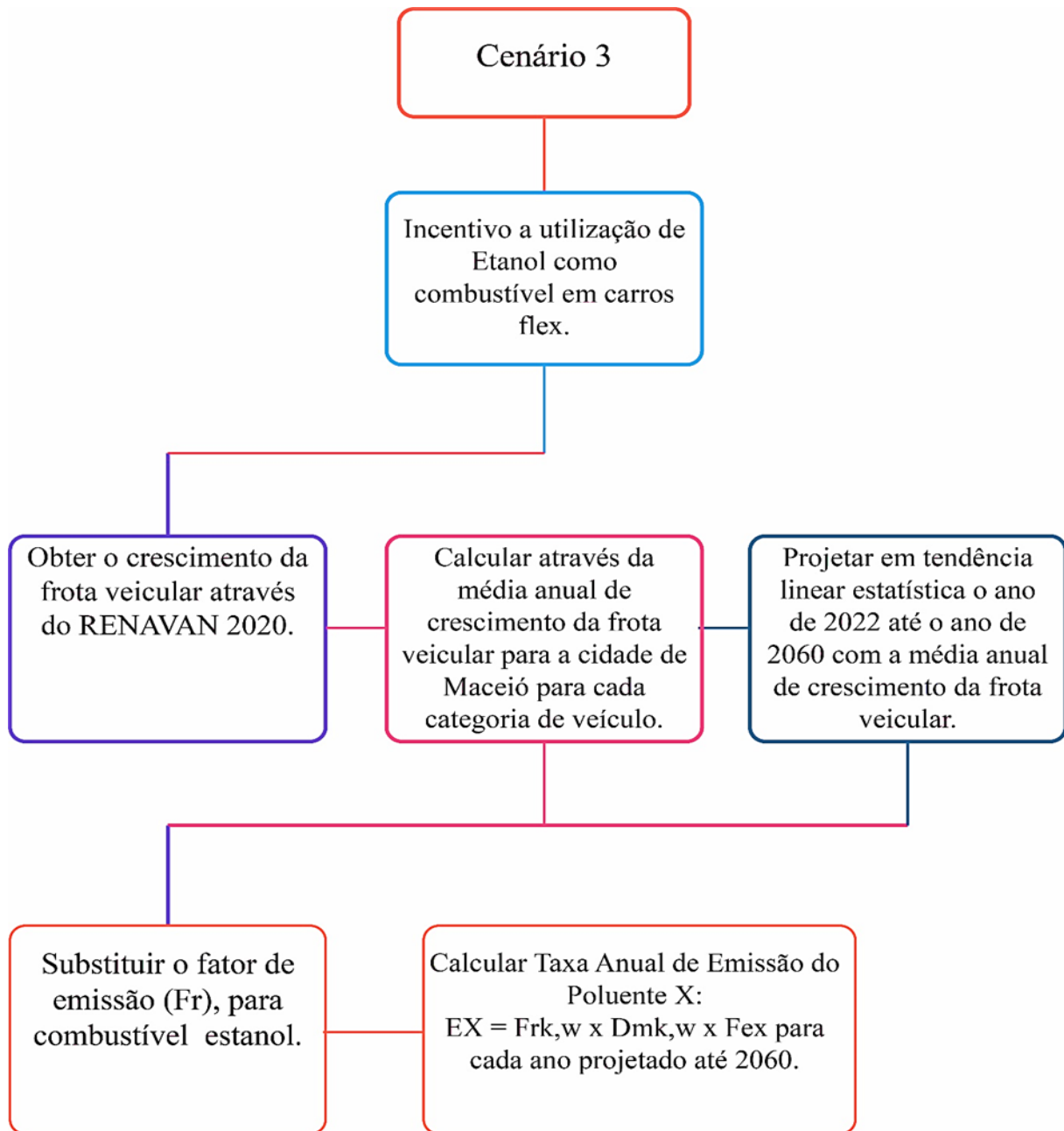


Figura 6 - Diagrama esquemático com as etapas referente ao cenário 3.

Resultados e discussão

A figura 7 mostra o crescimento de veículos por categoria para a cidade de Maceió desde o ano de 2014 a 2021, aumento também evidenciado por Mendonça (2021) segundo tendências de crescimento das áreas urbanas como a Região Metropolitana de São Paulo se comparado com as evidenciações de Ignácio (2021) e a cidade do Rio de Janeiro segundo Silva (2022). Destaca-se que de 2015 para 2016 houve um crescimento, mais significativo, de aproximadamente 60%. O

restante do período não apresentou aumento significativo anual, porém ainda sim é possível ver tendência de crescimento durante toda a série analisada (taxa média anual de 5,17% ao ano). Para a figura 7 pode-se observar o fator de emissão de CO, NO, MP e NMHC dos veículos circulantes de 2014 até 2021 para a cidade de Maceió que foi calculado através da equação 01. A frota total veicular de Maceió-AL emite em média, por ano, 282 toneladas de CO, 26 toneladas de NOx, 0,46 toneladas de MP e 20 toneladas de NMHC (figura 7).

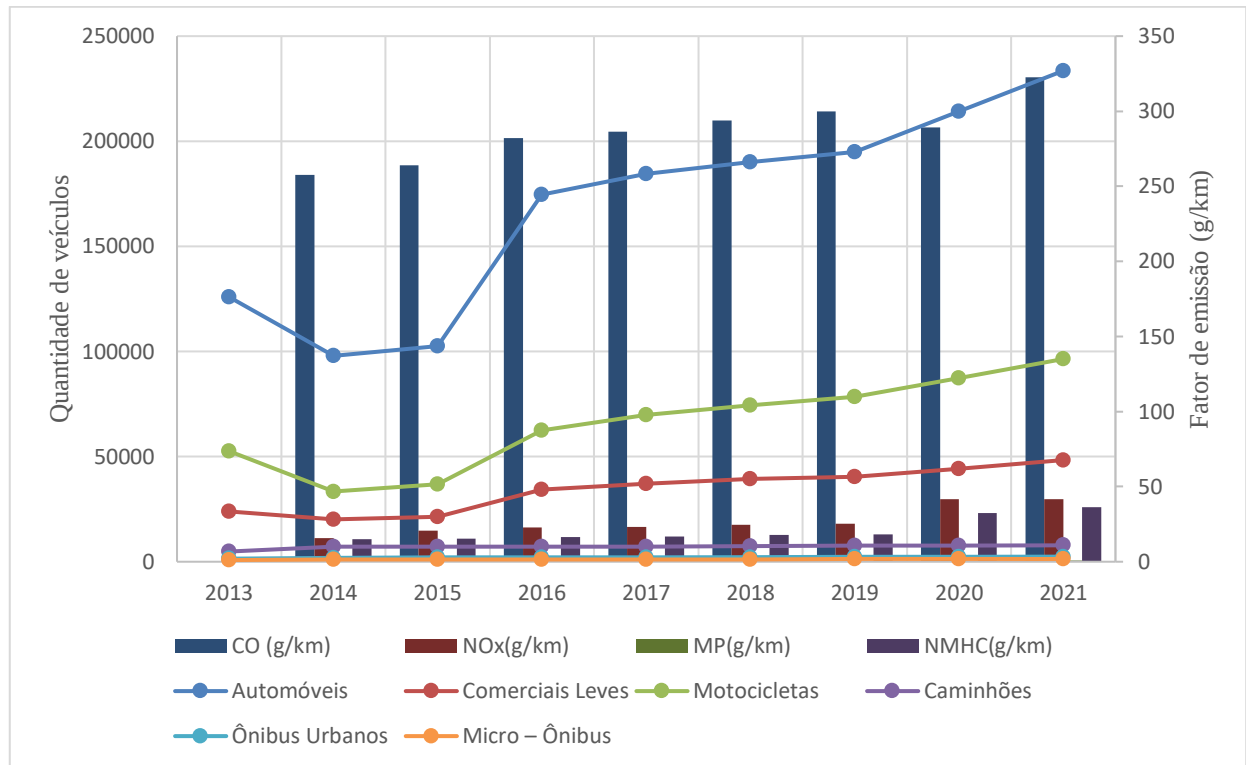


Figura 7 - Quantidade de veículos automotores e fator de emissão para a cidade de Maceió no ano de 2014 ao ano de 2021.

A figura 8 mostra que em 2025, permanecendo o aumento médio de 19mil veículos/ano, o município terá um total de 520 mil veículos rodando na cidade e em 2060 em torno de

990 mil de veículos, duplicando a frota atual de 2020.

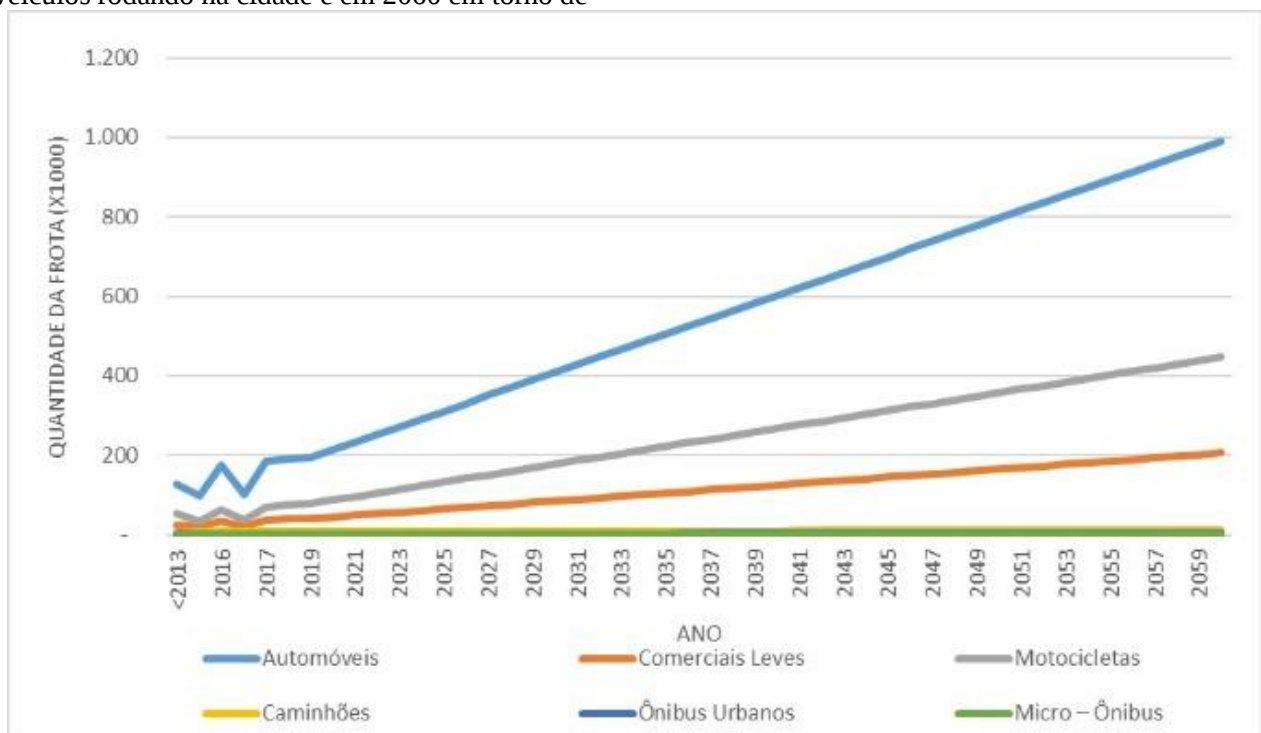


Figura 8 - Projeção futura de 2022 até o ano de 2060 da quantidade de veículos automotores na cidade de Maceió.

Pode-se observar que a categoria que mais cresce dentro da série analisada é a automóveis e motocicletas, sendo estes os meios de transporte mais comuns da população. Resultados similares em outros recortes espaciais no Brasil como os evidenciados nos trabalhos de Queiroz (2022) na cidade de Pirapora-MG e o de Araújo (2022) na cidade de Januário-MG. O que acontece também na cidade de São Paulo-SP e na cidade de Balsas-MA (Barbosa, 2021) Já os estudos realizados por Ferreira (2022) em Mossoró-RN evidenciam 48% para motocicletas e 47% para automóveis, o que encontra semelhança com os resultados encontrados na cidade de Maceió quanto a frota de automóveis e motocicletas.

Os resultados apresentados através da tabela 2 indica que os automóveis, conforme os resultados calculados para o ano de 2060, contribuirão com 60% das emissões de poluentes, 68% do total de CO e 60% do total de emissão de NMHC. A categoria caminhões representaria apenas 3% dos veículos em circulação, resultados também semelhantes as cidades de Balsas, São Paulo, Mossoró, Pirapora e Januário (Barbosa 2021; Ferreira, 2022; Queiroz, 2022; Araújo, 2022); porém, emitindo 12% do total de emissão de NOx e 32% do total de emissão de MP (Tabela 2).

Tabela 2 Categorias de veículos e sua contribuição de emissão em Maceió – AL no ano de 2060 em cenário de crescimento linear a partir de 2022.

Categorias	Contribuição de emissão na atmosfera	CO (g/km)	NOX (g/km)	MP (g/km)	NMHC (g/km)
Automóveis	60,12%	68,66%	55,66%	88,23%	60,53%
Veículos Comerciais Leves	11,42%	23%	23,85%	23,52%	16,66%
Motocicletas	25,06%	8,6%	**	**	16%
Caminhões	2,81%	0,15%	11,92%	32,35%	0,71%
Ônibus Urbanos	0,89%	0,11%	7,59%	26,47%	0,6%
Micro-Ônibus	0,38%	0,03%	1,74%	5,88%	0,16%

Observa-se que a emissão de CO em todos os anos estimados permanece sempre com valores elevados quando comparamos com os demais poluentes. Em dados de projeção futura (até 2060), se o crescimento da quantidade de veículos automotores na cidade de Maceió

continuar na mesma proporção apresentada durante a série entre 2014-2021, crescendo em média 19 mil veículos ao ano teríamos em 2060 o fator de emissão de CO por automóveis em 1625 toneladas, equivalentes a 573,42g/km e 3 toneladas de MP (7,9g/km) (Figura 9).

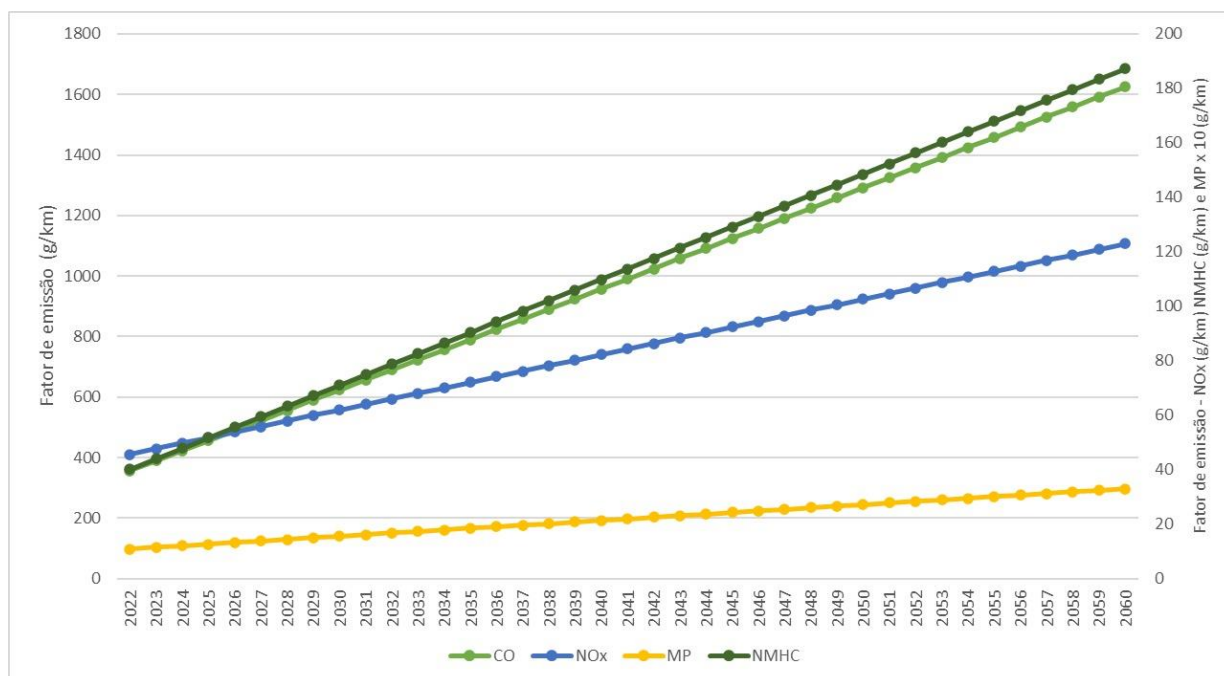


Figura 9 - Projeção para 2022 até o ano de 2060 da quantidade de emissões dos poluentes na cidade de Maceió com base na tendência real, cenário 1.

Quando comparados com os padrões de qualidade do ar por meio da resolução do CONAMA nº 491 (2018) e limite de emissão sugerido pelo PROCONVE, se observa que as emissões dos poluentes em 2060 são muito maiores até mesmo que os padrões finais (L-6) válidos até o ano de 2025. Para os automóveis leves o padrão da emissão de CO seria de 1,3 g/km, em Maceió no ano de 2060 e o valor de CO emitido para esse tipo de categoria encontrado através da projeção contínua de aumento anual da frota de veículos seria de 3,19g/km, ou seja, 59,24% acima dos padrões estabelecidos.

O fator de emissão que não ultrapassou os limites estabelecidos foi o MP de 0,03g/km para automóveis leves enquanto o valor calculado em 2060 foi de 0,02 g/km. O valor de NO_x para essa mesma categoria foi 42% acima do limite de emissão estabelecidos pelo PROCONVE (2018). O mesmo acontece com o poluente NMHC apresentando 1,12% a mais que os padrões de qualidade.

A projeção indica ainda que em 2025 para a categoria de automóveis pesados (maiores que 1700kg de massa) não será alcançada, uma vez que os valores de emissão por cada poluente não atendem aos critérios solicitados para o mesmo ano. A emissão de CO será 33% a mais do valor limite apresentado pela última fase, a emissão de NO_x apresentou resultado de 13% a mais, MP mostrou valores no limite estabelecido (0,02g/km) e a emissão de NMHC foi de 2,23%

a mais. Para a categoria de motocicletas a emissão de CO em 2025 mostra que será 32% maior que os limites estabelecidos.

Cenário 2: Substituição de automóveis por ônibus urbano de linha

Um dos cenários possíveis para redução da poluição automotiva na atmosfera seria a substituição de veículos de passeio por ônibus urbano. Corroborando com os estudos levantados por Oliveira (2022) na cidade em Campo dos Goytacazes-RJ e com o estudo de Rosa (2022) na cidade de Porto Alegre-RS. Com o incentivo ao uso de coletivos, pode-se substituir os carros pessoais pelo transporte público e dessa forma analisar os impactos nas emissões por fontes móveis na cidade de Maceió-AL. Resultados semelhantes também aos de Valente Filho (2019) em Belém-PA. Ainda, Segundo a Almeida (2022), a substituição de automóveis particulares por ônibus coletivo é uma forma de diminuir as emissões de GEE por meio da diminuição dos engarrafamentos; este, apontado como uma forma de diminuir mais ainda as emissões de GEE.

A priori, com a taxa de crescimento atual, a frota de ônibus cresce em média cerca de 68 veículos/anos na cidade de Maceió, enquanto o de automóveis pessoais crescem em média 19 mil, ou seja, 99% a mais que o crescimento dos ônibus de linha.

Observa-se que mesmo com a diminuição em 50% do crescimento dos

automóveis, essa categoria de veículo ainda continua sendo a maior dentre os demais. Em 2060 observa-se que, neste cenário, os carros atingem 593 mil veículos em sua frota, comparados ao cenário de projeção linear (cenário 1) apresenta um decréscimo de 397 mil carros em circulação. Neste cenário a frota de ônibus público continua sendo pequena, quando comparado a frota de carros, mesmo com o dobro de crescimento da frota circulante. Até 2060 haveria 7.818 transportes públicos (ônibus) em circulação na cidade.

Quando comparado ao cenário 1, pode-se observar a diminuição do fator de emissão para este cenário (Figura 9) em até 15,20% da emissão de CO no ano de 2060. Na emissão de NO_x pode-se observar que teve um pequeno aumento de 1,29%,

haja vista que a categoria ônibus emite maior quantidade de NO_x, para o MP se observa uma diminuição de 6%, enquanto o NMHC apresentou diminuição de 14,10%. Em relação aos valores encontrados para o último ano analisado neste cenário, foi possível observar que esses valores não chegaram aos estabelecidos para a fase L6 em relação a todos os poluentes emissão pelas fontes móveis calculadas.

Cenário 3: Substituição de combustível

A troca do combustível gasolina para etanol nos automóveis de modelo flex que comportam tanto gasolina quanto etanol, seria um modelo possível para a diminuição de gases poluentes emitidos na atmosfera.

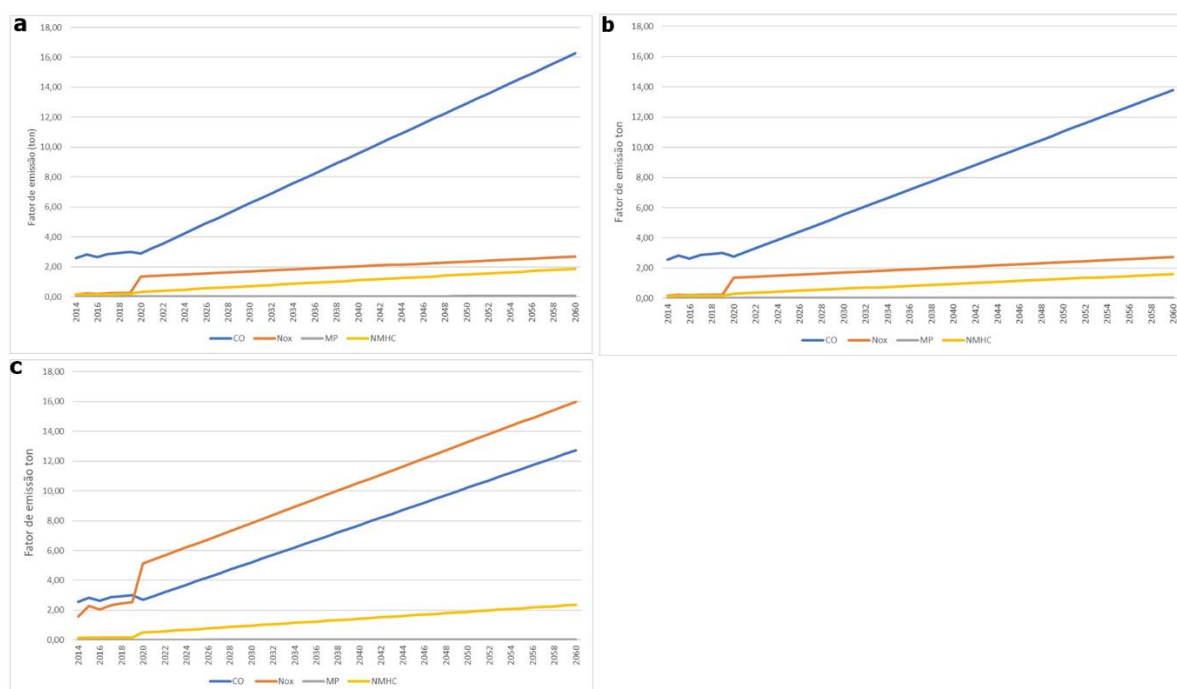


Figura 10 – Emissões nos cenários por tipo de gases poluentes: a) cenário 1; b) cenário 2; c) cenário 3.

Na figura 10.c pode-se observar que a mudança do combustível de gasolina por etanol apresentou uma diminuição na emissão de poluentes liberados na atmosfera por meio de veículos automotor, o que corrobora com as indicações de especialistas no caderno de Transição para uma Mobilidade Zero Emissão elaborado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento [BID] e Ministério do

Desenvolvimento Regional [MDR] (2021), neste se evidencia medidas para reduzir as emissões de carbono. Quando comparamos no cenário de aumento linear da frota de veículos (cenário 1, figura 10a) onde, em 2060, o CO tem emissão de 1625,4 toneladas pode-se observar uma diminuição significativa de 1272 toneladas (464,84 g/km). Portanto, uma diferença de 353,4 toneladas (78,27%) em 32 anos de projeção.

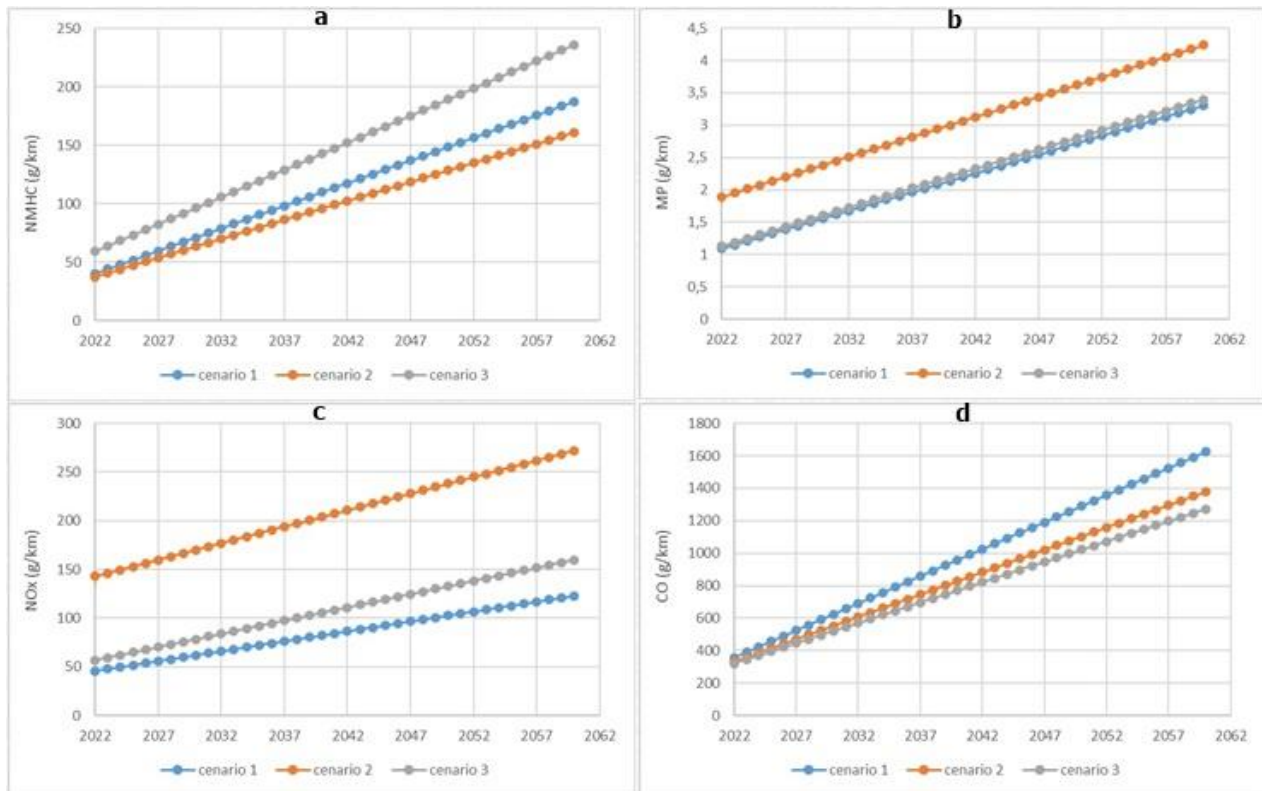


Figura 11 – Projeções das emissões e suas comparações por tipo de emissões nos três cenários. a) NMHC nos cenários 1,2 e 3; b) MP nos cenários 1,2 e 3; c) NOx nos cenários 1,2 e 3; e d) CO nos cenários 1,2 e 3.

Já as emissões de NO_x , teve um aumento de 22% quando comparado ao valor do cenário de projeção real. O fator de emissão do NO_x foi de 159,8 toneladas (7,33 g/km), 32 toneladas a menos que o valor encontrado para o cenário 1 (268,57 toneladas). A emissão de NMHC foi calculada em 235,8 toneladas (7 g/km) e o MP teve seu fator de emissão 3,4 toneladas (6,45

g/km) no ano de 2060, diminuindo 3% comparado ao valor real.

O cenário 2 de emissão é observado uma diminuição do poluente CO e NO_x , porém ocorre um aumento nos demais poluentes (MP e NMHC), isso se dá devido ao fato de que ônibus, por usarem o combustível diesel, liberam em sua combustão mais desses poluentes, sendo o principal o MP (Tabela 3)

Tabela 3 Fator de emissão de cada cenário no ano de 2025 e 2060.

Ano 2025				Ano 2060			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
CO (g/km)	287,48	260,71	276,67	CO (g/km)	573,42	478,32	547,81
NOx(g/km)	8,13	8,11	15,51	NOx(g/km)	7,99	7,96	16,12
MP(g/km)	0,10	0,11	0,12	MP(g/km)	0,10	0,15	0,18
NMHC(g/km)	5,70	5,17	7,97	NMHC(g/km)	9,74	8,00	12,58

Conclusões

Quando se iniciou esta pesquisa constatou-se que as emissões de gases poluentes advindos de veículos vêm aumentando na medida em que o número da frota aumenta. Sendo que os veículos automotores são os maiores poluidores nas áreas

metropolitana. Evidenciou-se também a necessidade de realizar um inventário de fontes móveis para a cidade de Maceió, bem como, projeções de possíveis cenários; ao qual, o primeiro seria a quantidade de emissões de gases poluentes seguindo a tendência do atual aumento da frota de automóveis até 2060; a segunda projeção

considerando uma gradual substituição dos automóveis por ônibus coletivos; e a terceira a substituição da gasolina pelo etanol. Todos os cenários estatísticos sendo com base na variação do aumento da frota num espaço de tempo de 2000-2020 na cidade de Maceió e para a cidade de Maceió. Sendo assim, desenvolvendo um inventário de fontes móveis para a cidade de Maceió, análise e cenários futuros.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo geral elaborar um inventário de fontes móveis para os anos de 2014-2021 e, com base em tendências, analisar projeções de possíveis cenários para a cidade de Maceió. Constata-se que o objetivo foi atendido porque efetivamente a pesquisa conseguiu elaborar um inventário, com bases nas estatísticas dos dados de 2014 a 2021; e com base nos dados de 2000 a 2020 foi possível projetar, por meio de tendência, as emissões dos gases monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, material particulado e hidrocarboneto não metano de 2022 até 2060 em três possibilidades de cenários.

Foi possível criar uma projeção com a substituição, gradual, de automóveis por ônibus urbano de linha permitindo realizar comparações com o primeiro cenário. E, também, foi elaborado uma projeção para se houvesse uma substituição de combustível pelo etanol. E foi atingido o que permitiu realizar comparações com o primeiro e segundo cenários.

As emissões por veículos automotores de fato vem sendo um grande problema quando se trata de qualidade do ar. Na análise dos dados observados para projeção futura em Maceió, observamos que o crescimento da frota veicular está diretamente relacionado ao aumento de poluentes emitidos na atmosfera com o maior poluente registrado sendo o CO, liberado principalmente por automóveis leves.

Para o cenário de projeção futura com crescimento linear baseado em dados registrados nos anos entre 2000-2020, teríamos em 2060 um aumento da emissão de poluentes de até 480,54%, portanto, bem maior que o ano atual. Para todos os poluentes foram observados altos crescimentos, a emissão de CO teve uma alta de 503,86% a mais que 2021, NOx teve alta de 281,71%, o menor já registrado quando comparamos os demais, MP com 319,14% maior e aumento de NMHC em 516,97%.

Quando comparados os cenários observa-se que a emissão dos poluentes é satisfatória em alguns cenários. A utilização do Etanol como substituto da gasolina (cenário 3) tem como efeito a redução da emissão de CO na atmosfera a longo

prazo. Em contrapartida, a emissão de outros gases de poluição (NOx, MP e NMHC) tem seu crescimento comparado ao cenário 1 de emissão, tanto para o ano de 2060 quanto para 2025.

Vale ressaltar que precisamos estabelecer os limites de emissão de cada categoria veicular de acordo com seu combustível utilizado até o ano de 2025, fase L-6 preestabelecida pelo PROCONVE. Dessa forma, podemos distinguir em qual ano ultrapassamos os limites da qualidade do ar para cada cenário.

Para cada cenário de emissão, foi obtido um ano diferente, somente o poluente CO esteve em alta para os 3 cenários possíveis, mesmo diminuindo com o tempo para o cenário 2, que se comportou de forma não tão agressiva ao aumento de poluentes, podendo haver resultados satisfatórios ao longo dos anos. Devido a isso, faz-se necessário a conscientização sobre o fator de emissão dos poluentes, a cognição de entender as alterações que pode levar a longo e médio prazo e implementar medidas para controlar a situação

Desta forma, foi possível responder ao problema da pesquisa fornecendo uma análise por meio das projeções em três cenários. Fornecendo mais um instrumento para nortear políticas públicas e aguçando olhares científicos neste recorte de pesquisa. Diante da metodológica proposta percebe-se que a pesquisa poderia ter sido realizada com outros tipos de gases poluentes, mas que devido ao pouco tempo disponível não foi possível vencer esta limitação. Poderia ter utilizado possíveis projeções para os fatores de emissões até 2060, mas que devido à falta de dados ou produções científicas na área não foi possível. Também poderia ter sido realizada projeções com carros elétricos, mas devido ao tempo e falta de algumas informações confiáveis não foi possível ser realizada. Ou ainda, com a substituição das motos por outros tipos de veículos; aumento de duplicação de vias dentre outras possibilidades.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), a Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Referências

- Aguiar Filho, A. M., Albuquerque, E. L. 2013: Evolução das emissões de poluentes atmosféricos veiculares na Região Metropolitana de Salvador: 2009 a 2011. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia.
- Almeida, L. Q. 2013. Desempenho e emissões de um veículo operando com etanol, gasolina e Hidrogênio. Dissertação (Mestrado) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.
- Azevedo, C. F. F. C. 2008 Transporte não motorizado e a mobilidade sustentável: os deslocamentos a pé na região sudoeste do Recife. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Almeida, V. G. T. 2022 Poluição decorrente do trânsito: causas e soluções desse Malefício social. 2022. Monografia (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, p. 73.
- Araújo, C. E. L., Soares, G. F. M., & Queiroz, L. de O. (2022). Breves considerações sobre a frota veicular de Januária/MG. *Humanidades (Montes Claros)*, 11(S3). Disponível: <http://revistas.funorte.edu.br/revistas/index.php/humanidades/article/view/476>. Acesso: 20 mar. 2024.
- Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2021 BID e Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR (autores). Transição para uma Mobilidade Urbana Zero Emissão. Global Environment Facility – GEF (financiador) – Brasília: Editora IABS, 2021. Disponível: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes/mobilidade-urbana/CRTransioZeroEmissosemconsideraes.pdf>. Acesso: 24 mar. 2024.
- Barbosa Junior, J. R. 2022 Construindo conceitos utilizando uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS): o ensino da poluição atmosférica. Dissertação (Ensino das Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 81.
- Barbosa M. R, 2018. Mobilidade sustentável no Brasil: análise de impactos energéticos do incentivo ao transporte coletivo e da eletrificação de ônibus – Tese (mestrado) Universidade de São Paulo.
- Barbosa, L. P.; Santos, E. V. dos.; Lima, H. S.; Oliveira, G. P. de; Sousa, O. H. Q. de.; Abreu, V. P. De, 2021. Survey of vehicle emissions in the City of Balsas – MA. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 8, p. e3010816791, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.16791. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16791>. Acesso: 08 abr. 2023.
- BBC. British Broadcasting Corporation, Hidrogênio verde: os 6 países que lideram a produção do 'combustível do futuro' 2021, Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56604972>. Acesso: 06 jan. 2023.
- Bertram, C, (2015). Complementing carbon prices with technology policies to keep climate targets within reach. *Nat. Clim. Change* 5, 235–239
- Bertram, C., Luderer, G., Creutzig, F. (2021). COVID-19-induced low power demand and market forces starkly reduce CO2 emissions. *Nat. Clim. Chang.* 11, 193–196
- Betti L. P., Garcia M. C., Siqueira E, Evers H. 2020; IMPACTAR tool: valuing air quality health impacts of urban bus fleet changes in brazil,.
- Bitar Filho, N. F. 2019. Análise do Bus Rapid Transit (BRT). Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – UniEvangélica. Anápolis, p. 78..
- Boaretto, A. E. , 2009. A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. *Revista Ceres*, 56, 513-526.
- Boligian, L 2004. Geografia: espaço e vivência: volume único. São Paulo: atual.
- Brandão Paulo V. R 2020. Estudo da dispersão atmosférica de poluentes originários da frota veicular em salvador – BA. universidade federal da bahia escola politécnica programa de pós-graduação em engenharia industrial PEI.
- Brandão Paulo V. R.; Albuquerque E. L.; Fialho L. L. R, 2018. X-004 Evolução das emissões de poluentes atmosféricos veiculares salvador-ba brasil: 2009 a 2017 ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 2018.
- Brito, H. P 2005. Análise das emissões atmosféricas geradas por veículos automotores em natal-rn. Dissertação (mestrado) – federal do rio grande do Norte, natal.
- Carbon Brief. Disponível: <https://www.carbonbrief.org/science/>. Acesso: 06 jan. 2023.
- Carvalho, C. N 2022. Otimização da produção de ferramenta de perfilagem de poços de petróleo para redução da pegada de carbono. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 123. 2022.

- Carvalho, W. K. M.; Silva, A. O.; Bon, F. P.; Fernandes, R. A. S. 2020. Mudanças climáticas na metrópole paulista: uma análise de planos diretores e leis urbanísticas. ambiente construído (online), 20, 143-156.
- Cavalcanti, P. M. P, 2010. S. Modelo de gestão da qualidade do ar – Abordagem Preventiva e Corretiva. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- CETESB - companhia ambiental do estado de são paulo. Inventário de emissão dos gases de efeito estufa associada ao transporte rodoviário no estado de são paulo, 1990 a 2008. São paulo, 2011.
- CETESB - companhia ambiental do estado de são paulo. Inventário de emissão dos gases de efeito estufa associada ao transporte rodoviário no estado de são Paulo relatório 2020.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Emissões Veiculares no Estado de São Paulo. São Paulo, 2014.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Mudanças climáticas e o Setor Elétrico Brasileiro. São Paulo, 2012.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluentes Atmosféricos. São Paulo, 2017.
- Chovert, ANGEL D., 2016. Estudo numérico do impacto da frota veicular na qualidade do ar na Região Metropolitana de Porto Alegre. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas.Faculdade de Meteorologia. Pelotas, 2016.
- Ciríaco, V. S. L. 2022. Mobilidade urbana insurgente: anteprojeto urbano de readequação viária para a BR-104 em Rio Largo-AL. Monografia (bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 177. 2022.
- Cleva, R.; Laudanna, 2007 A. Diagnóstico e Tratamento. São Paulo: Manole Ltda.
- CONAMA. Conselho nacional de meio ambiente. Resolução nº 003, de 28 de julho de 1990. Publicada no d.o.u, de 22/08/90, pag. 15.937 a 15.939. Brasília, 1990.
- Coutinho, S. L., 2022. Emissão de poluentes atmosféricos por automóveis no BRASIL, 2010-2020: uma revisão de literatura. Monografia (Licenciatura em Química) Universidade Federal do Pará, campus Universitário de Ananindeua. Ananindeua, p 102. 2022
- Deecken, B. P. Andrade, E.; Costa, C. A. da .; Andrade, R. L. T. de .; Battirola, L. D. 2022. Urban afforestation as a bioindicator of atmospheric mercury pollution: a case study with *Moquilea tomentosa* Benth. (Chrysobalanaceae) in the southern region of the Amazon. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 14, p. e480111436557, 2022. doi: 10.33448/rsd-v11i14.36557. Disponível: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36557>. Acesso: 23 fev. 2023.
- DETRAN (departamento estadual de trânsito.2021 “frota de veículos—por tipo de veículo.”. Disponível: <https://www.detran.gov.br>. Acesso: 16 de abr. 2021.
- Dixon S. The deloitte city mobility index. Disponível: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/future-of-mobility/deloitte-urban-mobility-index-for-cities.html>. Acesso: 14 jun. 2022.
- Drumm F. C., Gerhard A. E., Fernandes G. D., Chagas P., Sucolotti M. S., Kemerich P. D. C., 2014. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores - Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010537> Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET e-ISSN 2236 1170 - V. 18 n. 1 Abr 2014, p. 66-786. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
- Fernandes, Thiago; Hacon, Sandra de Souza; Novais, Jonathan Willian Zangeski, 2021. Mudanças climáticas, poluição do ar e repercussões na saúde humana: revisão sistemática. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 28, abr. 2021. ISSN 2237-8642. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/72297>. Acesso: 20 mar. 2023.
- Ferreira, G. M. S.2022. Transporte público urbano: a percepção do usuário acerca da qualidade no contexto da COVID-19 no município de Mossoró/RN. Monografia (Bacharelado em administração) – Universidade Federal do Semi-Arido. Mossoró, p.79. 2022.
- GEO – méxico, is mexico city sprawl a sign of a future megalopolis? | geo-mexico, the geography of mexico. Disponível: geo-mexico.com. Acesso:16 de abr. 2021.
- IBGE (instituto brasileiro de geografia e estatística). 2010. “população residente por situação de domicílio, 2010. Disponível:

- <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demografico-2010.Html?=&t=destaques>. Acesso: 05 jan. 2020.
- IBGE (instituto brasileiro de geografia e estatística). 2022. IBGE estima população do país. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28676-ibge-estima-populacao-do-pais-em-211-8-milhoes-de-habitantes>. Acesso: 23 mar. 2024.
- Ignacio, Marcus V. L.; Vieira, Douglas; Calais, Felipe, 2021. Efeitos do uso do aplicativo Waze em uma via local na cidade de São Paulo. In: III Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana: SINGEURB, 2021, Maceió. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 425-430. Disponível: <https://eventos.antac.org.br/index.php/singeurb/issue/view/14>. Acesso: 10 jul. 2021.
- Instituto Estadual do Ambiente – INEA. 2007. Programa de Inspeção/Manutenção de Veículos. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/fma/proconve-promot.asp>.> Acesso: 04 jan. 2013.
- Jacobson, M. Z, 2002. Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. Journal of geophysical research. Palo alto, ca, usa, outubro de 2002.
- Kassai, J. R. J. Feltran B. R. Carvalho, L. N. Foschine, A. Cintra, Y. C. Afonso, L. E, 2012. Balanço contábil das nações: reflexões sobre os cenários de mudanças climáticas globais. BBR - Brazilian Business Review, vol. 9, núm. 1, 2012, pp. 65-109 FUCAPE Business School Vitória, Brasil
- Kemp,D.D.,1994,global environment issues - a climatological approach. 2 ed.usa, routledge.
- Kuik, F.; Lauer, A.; Churkina, G.; Van de Gon, H. A. C. D.; Fenner, D.; Mar, K. A.; Butler, T. M, 2016. Air quality modelling in the berlin-brandenburg region using wrf-chem v3.7.1: sensitivity to resolution of model grid and input data. Geoscientific model development, 9, 4339-4363, 2016.
- Le Quéré, C. Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. Nat. Clim. Change 10, 647–653 (2020).
- Lima J. V. A, 2017. Inventário dos poluentes atmosféricos veiculares dos estados brasileiros – tese de mestrado - universidade federal do pampa caçapava do sul 2017.
- Lisboa, H. M, 2014. Controle da poluição atmosférica. In: __. Fontes de poluição atmosférica. 2014. Cap. 2, 24 p
- Lobato M. F., Rodrigues B. M. M, Santos A. G 2020. Impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões veiculares no Brasil no período de janeiro a maio de 2020 – Artigo Técnico - Eng Sanit Ambient | v.26 n.5 | set/out 2021 | 829-836 – 2020
- Lora, E. E. S, 2000. Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. Brasília: aneel.
- Manzoli, A, 2009. Análise das emissões veiculares em trajetos urbanos curtos comlocalização por gps. Tese (doutorado) - Universidade de São Carlos, São Paulo.
- Mariano, G. L. Meteorologia em tópicos: poluição atmosférica. In: alonso, m. F.; da silva, k. L. A. (1. Ed.). Inventários de fontes de emissão. Pelotas: dr ltda, 2014. Cap. 1, p. 9-43.
- Martins, Aurilene Ferreira ... [et al.], organizadores. Reflexões sobre a Amazônia Legal em uma perspectiva para o desenvolvimento socioambiental [recurso eletrônico]. — Belém: NAEA, 2023. 1 recurso online (340 p.). Disponível: https://naea.website/editora-naea/Livros/doi/LIVRO_REFLEXOES_SOBR E_AMAZONIA.pdf. Acesso: 23 mar. 2024.
- Martins, E. M.; Meireles, A. R.; Magalhaes, F. R.; Carvalho, J. B. B.; Ribeiro, M. M, 2017 Concentrações de poluentes atmosféricos no rio de janeiro em relação a normas nacionais e internacionais. Revista internacional de ciências, 07, 32-48, 2017.
- MCT -ministério da ciência e tecnologia. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético. Brasília, 2006.
- Mendes, L. I.; Tamdjian, O. J. Geografia Geral do Brasil: volume único. São Paulo: FTD S.A, 2005.
- Mendoza, A. L. C. 20221. Caminhar como mobilidade urbana: políticas, práticas e dinâmicas urbanas em Maceió, Alagoas. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 200.
- Mendrot, A. R. 2022. Análise de impactos da poluição do ar na saúde humana: estudo do município de Taubaté/SP. Tese (doutorado em Engenharia mecânica em Energia) – Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, p. 48, 2022.

- Ministério do Meio Ambiente (1990). Resolução n. 003/1990 de 28 jun. 1990 do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Estabelece padrões de qualidade do ar e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 22 ago. 1990. Acesso em: 05 janeiro. 2020
- MMA (ministério do meio ambiente). 2011. Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Brasília: mma. https://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf.
- Nesme-Ribes, E.; Thuillier, G. Histoire solaire et climatique. Paris: Ed. Belin, 2000.238 p.
- Oliveira, E.T.; Carneiro, S.M.C., 2022. Ônibus híbrido como evolução para o transporte público em Campos dos Goytacazes – RJ. Perspectivas Online: Humanas e Sociais Aplicadas, 12, 01 18, 2022.
- OMS – Organização Mundial da Saúde. Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas inaláveis (MP_{2,5} e MP₁₀), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Resumo executivo. OMS – Organização mundial da saúde (2021). Disponível: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345334>. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Acesso: 24 mar. 2024.
- ONU (Organização das Nações Unidas). Relatório mundial das Cidades 2022. Disponível: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf. Acesso: 23 de mar. 2024.
- PETROBRAS. Diesel renovável traz mais qualidade, competição e sustentabilidade para o segmento de biocombustíveis no Brasil. Disponível: https://petrobras.com.br/en_us/fatos-e-dados/diesel-renovavel-traz-mais-qualidade-competicao-e-sustentabilidade-para-o-segmento-de-biocombustiveis-no-brasil.htm. Acesso: 06 jan. 2023.
- Pozzagnolo, M., 2013. Análise das emissões de gases em veículos automotores do ciclo otto. Trabalho de conclusão de curso, centro universitário univates, lajeado, 2013.
- Queiroz, L. O.; Machado, A. C. A. L., Falcão, G. S., Alves, J. P., & Lopes, P. R. M. (2022). A frota veicular de Pirapora-MG e os possíveis impactos ao meio ambiente. *Humanidades (Montes Claros)*, 11(S3). Disponível: <http://revistas.funorte.edu.br/revistas/index.php/humanidades/article/view/474>. Acesso: 24 mar. 2024.
- Reboita, M. S.; Marrafon, V. H, Llopart, M. ; da Rocha, R. P. 2018. Cenários de Mudanças Climáticas Projetados para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 2018, p. 110-128, 2018.
- Ribeiro, C. B. & Schirmer, W. N., 2017. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. *BIOFIX Scientific Journal* 2 16-22 2017.
- Rodrigues, V. M. S. 2022. Emissão de compostos orgânicos voláteis na região metropolitana do Rio de Janeiro: impactos na qualidade atmosférica, tecnológica de controle e perspectivas de crescimento verde. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 176. 2022.
- Rogério Cezar de C. Leite e Manoel Régis L. V. Leal - O biocombustível no Brasil – 2020.
- Rosa, G. L. Vargas, J. C. B. Tomaz, P. L., Campos, H. A. . mobilidade urbana e saúde pública: reflexões sobre o planejamento de transportes em Porto Alegre/rs - Brasil. *Boletim geográfico do rio grande do sul*, v. 39, p. 78-103, 2022.
- Sampaio Filho, J. (2022). Metodologia top-down para mensurar a redução de emissões de gases de efeito estufa na troca do combustível de queima em uma refinaria situada no pim. *Impact Projects*, 1(2), 99-114. Disponível: <https://periodicos.unifesspa.edu.br/index.php/impactprojects/article/view/2086>. Acesso: 23 mar. 2024.
- Silva M. de O. Avaliação da qualidade do ar (no₂, co, o₃) na cidade de maceió/al utilizando o modelo atmosférico wrf/chem Maceió-Al 2018. Tese (mestrado) - Universidade Federal de Alagoas 2018.
- Silva S. L. F. Transporte público em Maceió: Garantia ou violação de Direito? – Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Universidade Federal de Alagoas 2020.
- Silva, G. F. P.. Análise das concentrações de poluentes atmosféricos sobre a região metropolitana de São Paulo durante o período da quarentena. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 52. 2022.
- Silva, M. O.; Lima, T. A. M.; Almeida, D. S.. (2022). Construção de um inventário de emissões veiculares para a cidade de Maceió-AL. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar* - ISSN 2675-6218, 3(7), e371697. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i7.1697>

- Silveira J. 2017. Euripedes G. Produção de biodiesel por método não convencional: catalisadores heterogêneos com propriedades magnéticas / Euripedes Garcia Silveira Júnior. – Campos dos Goytacazes, 2017. VIII, 175 f.: il. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Químicas. Campos dos Goytacazes, 2017.
- Thuiller G. 2000. Histoire solaire et climatique, Published by BELIN.
- Valente Filho, A. J. M.; Coutinho, E. C.; Gutierrez, L. A. C. L.; Pães, G K. A. (2022). análise de impactos atmosféricos gerados durante a obra BRT (Bus Rapid Transit) na avenida Augusto Montenegro, Belém-PA. *Revista Espaço E Geografia*, 22(2), 609:645. Disponível: <https://periodicos.unb.br/index.php/espacoegografia/article/view/40228>. Acesso: 20 mar. 2024.
- Vesentini, W. J, 2023. *Geografia: serie brasil*. Volume único. São paulo: ática.
- Vieira, R. N. *Poluição do ar: indicadores ambientais*. Rio de janeiro: e-papers, 2009.
- Visconde, Lucca, 2020. *Veículos elétricos e seus impactos na poluição atmosférica da Região Metropolitana de São Paulo*. Monografia (Ciências Econômicas) – Instituto de Ensino e pesquisa. São Paulo, p. 42, 2020.
- Viterbo J., E. 2011. *Sistema integrado de gestão ambiental*. São Paulo: aquariana ltda., 1998.
- Wardsauto. 2011. *The information center for and about the global auto industry*. New york, ny, usa, 2011.
- Wills, W, 2008. *Aumento da Eficiência Energética nos Veículos Leves e suas Implicações nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Cenários Brasileiros entre 2000 e 2030* Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, p.155. 2008.
- Zambrano-Monserrate, M. A.; Ruano, M. A.; Sanchez-Alcade, L, 2020. Indirect. Effects of covid-19 on the environment. *Science of the total environment*, 728, 2020. Disponível: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc7169883/>>. Acesso: 20 mar. 2024.
- Zilberman, I. 1997. *Introdução à engenharia ambiental*. Canoas: ed. Ulbra.