

Prognóstico do impacto ambiental das emissões veiculares em Moçambique: Uma análise quantitativa do uso de combustíveis fósseis e a crescente importação de veículos já usados

Prognosis of the environmental impact of vehicular emissions in Mozambique: A quantitative analysis of the use of fossil fuels and the growing import of used vehicles

Pronóstico del impacto ambiental de las emisiones vehiculares en Mozambique: Un análisis cuantitativo del uso de combustibles fósiles y la creciente importación de vehículos usados

Recebido: 07/04/2024 | Revisado: 07/10/2024 | Aceito: 07/11/2024 | Publicado: 07/14/2024

Jorge Nhambiu

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2905-2402>

Eduardo Mondlane University, Mozambique

E-mail: nhambiu@uem.mz

Fernando Chichango

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0613-921X>

Zambeze University, Mozambique

E-mail: fernando.chichango@uzambeze.ac.mz

Resumo

Esta pesquisa visa quantificar as emissões de gases de efeito estufa dos veículos e discutir os impactos da substituição de combustíveis fósseis por gás natural veicular em Moçambique. Utilizando a metodologia COPERT 5.7 (EMISIA) e também a de EMEP/EEA Guidebook proposta pela Agência Europeia do Ambiente (EEA), o estudo fornece dados detalhados sobre a frota de veículos de 2013 a 2020, incluindo consumo de combustível e emissões de vários gases. As descobertas destacam a necessidade de manutenção e adesão aos padrões de emissão para reduzir a poluição. O uso de gás veicular requer técnicas de manuseio cuidadosas para prevenir o vazamento de metano. A implementação de diretrizes globais de qualidade do ar é uma emergência nacional. A pesquisa sugere a eletrificação do transporte e a produção de "hidrogênio verde" como estratégias para reduzir as emissões. No entanto, a transição energética é um desafio complexo que requer uma abordagem multifacetada e estudos futuros nesta área são essenciais.

Palavras-chave: Gás natural; Eletrificação do transporte; Hidrogênio verde; Políticas públicas.

Abstract

This research aims to quantify the greenhouse gas emissions from vehicles and discuss the impacts of replacing fossil fuels with natural gas in Mozambique. Using the COPERT 5.7 (EMISIA) methodology and also the EMEP/EEA Guidebook proposed by the European Environment Agency (EEA), the study provides detailed data on the vehicle fleet from 2013 to 2020, including fuel consumption and emissions of various gases. The findings highlight the need for maintenance and adherence to emission standards to reduce pollution. The use of vehicular gas requires careful handling techniques to prevent methane leakage. The implementation of global air quality guidelines is a national emergency. The research suggests the electrification of transport and the production of "green hydrogen" as strategies to reduce emissions. However, the energy transition is a complex challenge that requires a multifaceted approach and future studies in this area are essential.

Keywords: Natural gas; Electrification of transport; Green hydrogen; Public policies.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero de los vehículos y discutir los impactos de reemplazar los combustibles fósiles con gas natural en Mozambique. Utilizando la metodología COPERT 5.7 (EMISIA) y también la Guía EMEP/EEA propuesta por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), el estudio proporciona datos detallados sobre la flota de vehículos de 2013 a 2020, incluyendo el consumo de combustible y las emisiones de varios gases. Los hallazgos destacan la necesidad de mantenimiento y adherencia a los estándares de emisión para reducir la contaminación. El uso de gas vehicular requiere técnicas de manejo cuidadosas para prevenir la fuga de metano. La implementación de directrices globales de calidad del aire es una emergencia nacional. La investigación sugiere la electrificación del transporte y la producción de "hidrógeno

verde" como estratégias para reduzir las emisiones. Sin embargo, la transición energética es un desafío complejo que requiere un enfoque multifacético y los estudios futuros en esta área son esenciales.

Palabras clave: Gas natural; Electrificación del transporte; Hidrógeno verde; Políticas públicas.

1. Introdução

A disponibilidade de recursos energéticos em todo o universo não é uniforme, alguns países têm muitas fontes não renováveis, e outros têm um alto potencial energético de fontes renováveis, mesmo que não esteja sendo explorado em sua plenitude, o caso de Moçambique, o país está abençoado com enormes recursos energéticos, renováveis e não renováveis (Cristóvão et al., 2021). Este tema aborda o estudo das emissões veiculares em Moçambique, um país que atualmente depende, em quase 100%, de gásóleo e gasolina no setor de transporte. Ele também leva em consideração o potencial do gás natural do país e a tendência crescente de importação de carros já usados.

O sistema rodoviário é um dos principais meios de transporte de pessoas e mercadorias nas zonas rurais e urbanas e, é vital para o desenvolvimento de um país em crescimento económico, o caso de Moçambique. No entanto, apesar da importância do papel de transporte rodoviário é prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. É importante lembrar o caso concreto da China, este país tem enfrentado um sério problema de poluição do ar há décadas, especialmente em suas cidades muito populosas e com indústrias altamente ativas (Carbinatto, 2020). Contudo, nos últimos anos o país tem feito progressos significativos na redução da poluição do ar. Entre 2013 e 2020, a China conseguiu reduzir em 40% a quantidade de partículas nocivas no ar (Amerise, 2022).

Apesar dessas melhorias, a poluição do ar na China ainda é um problema grave. Um estudo revelou que até 30 milhões de pessoas podem ter morrido precocemente na China entre os anos de 2000 e 2016 por conta da poluição do ar (Carbinatto, 2020). Uma das variáveis de controlo para a redução observada, para além da construção de novas usinas a carvão, foram as restrições de uso de automóveis com motores combustão de petróleo.

Os poluentes atmosféricos veiculares afetam principalmente as vias respiratórias e podem impactar negativamente a saúde em longo prazo (CETESB, 2021). Além disso, eles também podem causar danos nos ecossistemas, incluindo a oxidação de estruturas da vegetação, que entre muitas outras consequências pode originar a queda prematura das folhas em algumas espécies ou ainda, o apodrecimento precoce de alguns frutos (APA, 2021).

O cenário verificado na China e em outros países com desafios de redução da poluição do ar é o mesmo que poderá se verificar em Moçambique onde, regista-se um crescimento exponencial do número de veículos, na sua maioria já usados, se nenhuma medida for tomada com urgência. A comunidade científica, em particular os especialistas em meio ambiente, têm demonstrado uma preocupação crescente com esta questão pois, as mudanças climáticas, associadas ao aquecimento global do planeta são causadas em 25% pela emissão de poluentes veiculares segundo BBC News Brasil (2024) e IPCC (2024).

Considerando que muitos países já estão substituindo paulatinamente os combustíveis fósseis por biocombustíveis, gás veicular e eletricidade no setor de transporte, Moçambique ainda utiliza gasolina e gásóleo a 100% nos veículos, embora já tenha aprovado o decreto de substituição ou mistura desses combustíveis com biocombustíveis. Este assunto está dividindo opiniões entre os agentes da sociedade civil moçambicana, como é o caso da Confederação das Associações Económicas de Moçambique (CTA), que prorrogou em 2023 o início da implementação para 2024 devido à necessidade de investimento e revisão do decreto (Chirrinzane, 2023). Vale lembrar que o referido decreto de Política e Estratégia dos Biocombustíveis foi aprovado pelo Conselho de Ministros em maio de 2009 e, estabelecia a meta até 2011, para o início da obrigação de mistura de combustíveis fósseis com biocombustíveis (Chichango, 2014).

Caso a situação continue assim em Moçambique, o país pode não cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) números 7 e 13 (ODS 13: Ação Contra a Mudança Global do Clima e ODS 7: Energia Acessível e Limpa),

principalmente nas metas 7.2 e 7.3 (Meta 7.2: Aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global até 2030 e Meta 7.3: Dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética até 2030), preconizados na Agenda 2030, da qual Moçambique é membro signatário (ONU, 2015; Chichango et, al., 2024).

Contudo, o objetivo deste estudo é de quantificar as emissões de gases veiculares, concretamente aqueles que tem impacto no efeito estufa. Também são analisados os impactos na redução dos gases veiculares a gasóleo e a gasolina quando são substituídos por gás natural veicular, numa tentativa de antever a situação de transição energética em Moçambique no sector de transportes. Na sequência, também é discutido o prognóstico do impacto ambiental dessas práticas e são exploradas as possíveis soluções sustentáveis para o futuro.

Referencial Teórico

A poluição veicular é uma questão ambiental de grande relevância que afeta cidades globalmente, incluindo Maputo, em Moçambique. A poluição do ar representa um desafio significativo para muitas metrópoles ao redor do mundo, sendo os veículos uma das principais fontes, conforme mencionado anteriormente. Diversos estudos publicados estabelecem uma correlação entre a poluição atmosférica e uma série de problemas de saúde, incluindo complicações respiratórias e cardiovasculares, impactos no crescimento fetal, aumento na taxa de mortalidade e hospitalizações, especialmente entre idosos e crianças. Os gases poluentes que contribuem para esses impactos são detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Poluentes com impacto nos seres humanos causados por combustão interna de veículos.

Poluente	Descrição	Referência
Monóxido de carbono (CO)	O monóxido de carbono (CO) é um gás levemente inflamável, inodoro e muito perigoso devido à sua grande toxicidade. É produzido pela queima em condições de pouco oxigênio (combustão incompleta).	Drumm et al., 2014; APA, 2021.
Dióxido de carbono (CO ₂)	O dióxido de carbono (CO ₂) é um composto químico formado por moléculas, cada uma com um átomo de carbono ligado covalentemente a dois átomos de oxigênio. É mais denso que o ar atmosférico. É gasoso à temperatura ambiente tem um poder de reter grandes quantidades de calor na atmosfera.	APA, 2021.
Ozônio (O ₃)	O ozônio (O ₃) é um alótropo triatómico do oxigênio muito menos estável que o diatómico O ₂ . É uma molécula composta por três átomos de oxigênio. É um gás altamente reativo, incolor e inodoro nas concentrações ambientais. Resulta da reação de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio na atmosfera na presença da radiação solar.	APA, 2021
Óxido de nitrogênio (NO _x)	Os óxidos de nitrogênio, também conhecidos como NO _x , são compostos químicos formados pela combinação de nitrogênio e oxigênio. Tóxico para ser humano; forma chuva ácida na atmosfera.	APA, 2021
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	O dióxido de azoto ou dióxido de nitrogênio é um composto químico constituído por dois átomos de oxigênio e um de azoto; a sua fórmula química é NO ₂ . É um dos diversos óxidos de nitrogênio.	Vesilind & Morgan, 2011; APA, 2021.
Material particulado (MP)	O material particulado refere-se a partículas sólidas ou líquidas suspensas no ar. Essas partículas variam em tamanho, composição e origem. É considerado um poluente atmosférico prejudicial à saúde humana. Problemas Respiratórios; Doenças Cardiovasculares; Câncer;	CCB, 2024; Menezes, 2015; Vesilind & Morgan, 2011; APA, 2021
Carbono Elementar (EC)	É uma componente do material particulado emitido principalmente pela combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa. O EC é um indicador importante de poluição do ar, pois pode afetar a saúde respiratória e contribuir para o aquecimento global	EEA, 2016
Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)	São uma ampla gama de compostos químicos que se evaporam facilmente à temperatura ambiente e podem ter origens naturais ou antropogénicas. No tráfego rodoviário, os VOCs são emitidos principalmente durante a evaporação de combustíveis e pelo escape dos veículos. Eles são precursores de ozônio troposférico e podem contribuir para a formação de smog fotoquímico, além de terem potenciais efeitos na saúde humana	COPERT, 2024

Fonte: Autores.

Na Tabela 1 pode -se notar que nem todos os gases poluentes veiculares contribuem para efeito estufa, porem tem um

impacto ambiental drástico no meio ambiente principalmente nos seres humanos.

Medidas para a redução de emissões veiculares

O Objetivo #13 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) é focado em tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos. Este objetivo reconhece a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. As projeções indicam que a emissão global de gases de efeito estufa devem atingir seu pico entre 2020 e, no máximo, antes de 2025, em modelos que limitam o aquecimento a 1,5°C ou 2°C. Ambos os cenários recomendam diminuições rápidas e significativas nas emissões ao longo das décadas entre 2030 e 2050. Adicionalmente, o Acordo de Paris, um acordo internacional significativo na luta contra as mudanças climáticas, estabelece como meta a redução das emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, até 2030.

Naturalmente, o meio ambiente absorve os átomos de carbono presentes no dióxido de carbono. No entanto, a intensidade das emissões está excedendo a capacidade de absorção dos oceanos, solos e florestas. Em média, esses sistemas naturais conseguem remover cerca de 9,5 a 11 giga toneladas (Gt) de carbono. Infelizmente, não estão conseguindo absorver quantidades tão grandes quanto as que estão sendo emitidas (da Graça, 2020).

Existem várias medidas em execução em todo o mundo para reduzir os impactos da poluição veicular desde educativas até obrigatórias: Nas cidades de Nova York e Londres estão implementando sistemas de pedágio urbano para reduzir o tráfego e melhorar a qualidade do ar. Em Nova York, a iniciativa pretende reduzir o trânsito no centro da cidade em 15 a 20% e levantar bilhões de dólares para melhorar o seu sistema de metrô (Bourke, 2024).

De acordo com Bourke, (2024), uma das medidas é a expansão da Zona de Emissões Ultra baixas de Londres, onde são cobrados carros que não atendem a determinados padrões de controle de emissões. Em Paris, na França, o objetivo é proibir os carros movidos a gasolina até 2030.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2021-2030, com a meta de prevenir pelo menos 50% das mortes e lesões no trânsito até 2030. O plano inclui ações para tornar as caminhadas, o ciclismo e o uso do transporte público mais seguros (OMS, 2021).

Estudos de Macedo et al., (sd) relatam que uma mudança tecnológica nos motores dos veículos pode reduzir os impactos ambientais e econômicos dos transportes. Além disso, a promoção do uso do transporte coletivo e dos modos suaves, juntamente com a adoção de padrões de emissão e restrições técnicas em veículos, são possíveis soluções para mitigar as emissões de CO₂.

A União Europeia (EU) tem desenvolvido e promovido políticas de transporte rodoviário eficientes, seguras e sustentáveis, que minimizam o impacto ambiental. As normas europeias de emissão (normas Euro) estabelecem os limites para as emissões de gases de escape e os novos veículos devem ser desenvolvidos usando tecnologias de controle de emissões para cumprir os padrões estabelecidos (Macedo et al., sd).

Outra medida foi feita na forma de recomendação pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, que recomenda aos países a regulamentação de veículos usados para reduzir impactos negativos e adotar tecnologias mais limpas (ONU, 2024).

Medidas para redução de emissões

Estas são algumas das medidas identificadas em alguns países, no entanto, existem estratégias locais e específicas que abrangem a redução da poluição ambiental em geral, como são os casos apresentados a seguir:

1. A pressão dos pneus e a manutenção do motor e de outros componentes essenciais do carro influenciam diretamente o seu consumo e a emissão de gases poluentes.

2. Promoção de veículos elétricos, pois os veículos elétricos não emitem gases de escape, o que pode reduzir significativamente a poluição do ar.

3. Melhoria do sistema de transporte público eficiente, pois pode reduzir o número de veículos na estrada, diminuindo assim a poluição do ar.

4. Promoção de modos de transporte não motorizados, como andar a pé ou de bicicleta, são formas eficientes de transporte que não produzem emissões poluentes de gases de escape.

5. Descentralização do poder económico e judicial das cidades para as zonas rurais. Além disso, a despadronização dos horários de serviços ou atendimento pode ser benéfica. Com essas ações, pode-se evitar o tráfego e as 'horas de ponta' de para a cidade.

Desafios para Moçambique

Em relação a Moçambique, existem vários desafios e oportunidades para a redução da poluição veicular, como é o caso de:

1. A implementação de políticas de gestão ambiental mais eficazes é necessária para combater a poluição ambiental.

2. A fraca coordenação e ausência de mecanismos de governança para o combate à degradação ambiental podem ser um desafio.

Oportunidades existentes

Para lidar com esses desafios, o governo de Moçambique tem implementado várias políticas e programas. Por exemplo, o projeto MOVE incorpora em seus planos de atividade e investimento a resolução de assuntos transversais que impactam negativamente a mobilidade urbana, incluindo o crescimento das emissões de gases de efeito estufa no transporte urbano e a elevada poluição sonora. No entanto, existem algumas oportunidades, como é o caso de:

1. Campanha para a transição para uma economia circular, onde os resíduos são minimizados e os recursos são reutilizados, pode oferecer oportunidades para reduzir a poluição.

2. O país é um grande produtor de matéria orgânica que é potencial matéria-prima para a produção de bioetanol (Chichango & Cristóvão, 2024), que é uma alternativa viável para a substituição ou mistura com combustíveis fósseis.

2. Movimentos de educação ambiental e conscientização que podem desempenhar um papel crucial na promoção de práticas sustentáveis.

3. Parcerias com países desenvolvidos para receber pagamentos de um fundo fiduciário do Banco Mundial para reduzir as emissões, entre outras.

Apesar de nos últimos anos terem sido verificadas algumas melhorias na eficiência do consumo de combustível, estas emissões ainda estão a aumentar, principalmente devido ao aumento do tráfego rodoviário de mercadorias e passageiros. Segundo a APA (2021), o transporte rodoviário é fundamental para alcançar a transição para emissões nulas de gases com efeito de estufa até 2050.

Danos causados

Os efeitos das mudanças climáticas são uma realidade em todo mundo, em particular para Moçambique. Moçambique, como muitos países africanos, é particularmente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas devido à sua localização geográfica e à dependência da economia em sectores sensíveis ao clima, como a agricultura e a pesca. Os eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ciclones, estão se tornando cada vez mais frequentes e intensos, afetando negativamente a segurança alimentar, saúde humana, infraestrutura, economia e os ecossistemas locais (Meque, et al., 2023).

É crucial que sejam tomadas medidas para mitigar esses efeitos e adaptar-se às mudanças climáticas, tanto em nível local quanto global. Isso inclui a redução das emissões de gases de efeito estufa, a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, o fortalecimento da resiliência das comunidades e a promoção de políticas de desenvolvimento sustentável.

Quantificação dos poluentes

A estimativa da poluição rodoviária envolve vários fatores e métodos, como as condições de condução, a qualidade do combustível e as características do veículo, como o tipo de motor, o sistema de controle de emissões e a tecnologia utilizada, são fatores determinantes para as emissões (Macedo et al., sd). Os métodos para a estimativa de emissões são, entre outros, computacionais, destacam-se 11 aplicativos a citar:

BRevê.py calcula as emissões veiculares de frotas brasileiras de veículos.

COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport) com diferentes versões atualizadas, é um aplicativo calculador de padrão de emissões de veículos da União Europeia (UE). O COPERT utiliza dados como a população de veículos, quilometragem, velocidade e temperatura ambiente para calcular emissões e consumo de energia específicos para um país ou região (2024a).

SigaVerde é um projeto que nasceu da colaboração entre a Raster e o Via Green Institute. Ambas as marcas compartilham valores em comum: a busca por melhorar a logística por meio da tecnologia e a preocupação com o meio ambiente. O SigaVerde visa promover uma logística mais sustentável, fornecendo informações essenciais para transportadoras. Por meio do cálculo de emissões de CO₂ por viagem, as transportadoras podem entender seu impacto ambiental, buscar compensações, qualificar-se para desenvolvimento sustentáveis e reduzir custos com frotas mais eficientes e duradouras. A iniciativa também se alinha às políticas de ESG (Ambiental, Social e Governança) e às demandas da sociedade por responsabilidade ambiental (SigaVerde, 2024).

QUALAMET é um modelo desenvolvido com o objetivo de obter um diagnóstico sobre o impacto das emissões veiculares na qualidade do ar em regiões urbanas do sudeste do Brasil e suas vizinhanças. Ele utiliza dados ambientais coletados e modelagem atmosférica para estudar cenários (Freitas et al., sd).

Vehicle Emissions Inventory (VEIN) calcula emissões de poluentes por veículo, via e horário. Ele usa dados sobre o fluxo de tráfego, velocidade e fatores de emissão dos modelos em circulação para calcular os níveis de emissões por trecho de via, horário e ano de produção dos veículos (Bernardes, 2018).

Simuladores de Tráfego, são usados em conjunto com modelos de emissões para executar inventários de emissões. Os inventários de emissões são importantes para a avaliação da eficácia das políticas de transporte que visam a redução das emissões veiculares (Jacondino, 2005).

EMFAC (EMission FACtors), desenvolvido pela California Air Resources Board, este software é usado para estimar as emissões de poluentes e gases de efeito estufa de veículos rodoviários na Califórnia.

MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, este software é usado para estimar as emissões de poluentes e gases de efeito estufa de veículos rodoviários.

TREM (Traffic Emissions Model), é um modelo de emissões de tráfego rodoviário que foi avaliado em um estudo de caso na cidade de Aveiro (Vicente et al., 2018).

VSP (Vehicle Specific Power): Este é outro modelo de emissões de tráfego rodoviário (Vicente et al., 2018).

Contudo, o critério de escolha de um dos métodos depende de vários fatores, incluindo a localização geográfica, o tipo de veículos em questão, a disponibilidade de dados, a precisão necessária e o objetivo do estudo. Para uma análise mais detalhada e precisa, pode ser necessário o uso de um simulador de tráfego em conjunto com um modelo de emissões.

Transição de combustíveis fósseis para gás natural

As medidas de redução de poluição rodoviária, estendem-se para além de regulamentos e introdução de motores mais eficientes e elétricos, para a mudança do tipo de combustível. A transição de combustíveis fósseis (como gasolina e diesel) para veículos movidos a gás natural é uma tendência global crescente. Esta mudança também é motivada pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas. O gás natural é considerado uma "energia de transição" mais limpa em comparação com outros combustíveis fósseis.

Segundo a publicação do Gasogénio (2023) veículos movidos a gás natural comprimido (GNC) têm emissões significativamente inferiores às da gasolina e do gasóleo. Por cada metro cúbico de gás comprimido a 100 km, emitem 17,7 g/km de CO₂. Além disso, o gás natural comprimido tem as emissões mais baixas por TJ de combustível.

Moura (2021), a mistura de 17% de gás renovável no combustível de origem fóssil possibilita uma redução entre 30% e 38% das emissões de dióxido de carbono em comparação com o uso de gasolina ou gasóleo.

No mundo, muitos países estão adotando políticas para promover o uso de gás natural em veículos. Por exemplo, a União Europeia estabeleceu metas ambiciosas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, parte das quais envolve a transição de veículos movidos a gasolina e diesel para veículos movidos a gás natural.

Segundo estudo realizado por Da Graça (2020) confirmou que os veículos a Gás Natural apresentam emissões mais reduzidas do que os combustíveis a gasóleo e gasolina, todavia, constatou que não era viável economicamente a aquisição de veículos a gás natural, assim como, como o nível do custo de combustível em Portugal.

A transição para veículos movidos a gás natural pode trazer vários benefícios para Moçambique. Além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, o gás natural é geralmente mais barato do que a gasolina ou o diesel, o que pode resultar em economias significativas para os motoristas. Além disso, a transição para o gás natural pode ajudar a reduzir a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis importados, melhorando assim a segurança energética.

Contudo, diversos estudos que analisam o ciclo de vida das emissões do Gás Natural Veicular (GNV) destacam a necessidade de cautela no manuseio deste combustível. O grande desafio do GNV são as emissões 'upstream' de escopo. Caso ocorra um vazamento de 1% a 2% do volume total do GNV durante o processo de manuseio, seja no abastecimento ou em qualquer outra etapa, a quantidade de emissões de CO₂ dos veículos movidos a GNV poderão ultrapassar as dos veículos a diesel (Stinergy, 2024).

No entanto, é importante notar que a transição para veículos movidos a gás natural é apenas uma parte da solução para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Outras medidas, como a aquisição de veículos dentro de padrões de emissões aceitáveis, melhoria da eficiência energética dos veículos, a promoção do transporte público e a adoção de tecnologias de veículos elétricos, também são necessárias para alcançar uma mobilidade sustentável.

Contudo, a transição energética de combustíveis fósseis para veículos movidos a gás natural é uma parte crucial dos esforços globais e nacionais para combater as mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável. No entanto, é importante lembrar que essa transição deve ser gerenciada de maneira a minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios para as pessoas e o meio ambiente.

2. Metodologia

A metodologia utilizada para estimar as emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte rodoviário em Moçambique, com base nos dados oficiais do parque automóvel e no aplicativo COPERT 5.7 (2024), envolveu uma abordagem específica proposta pela Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2016) e pelo Programa Cooperativo de Monitorização e Avaliação de Emissões (EMEP). Este procedimento fornece orientações detalhadas para calcular as emissões de gases com efeito de estufa.

A outra abordagem usada foi de EMEP/EEA Guidebook proposta pela Agência Europeia do Ambiente (EEA) e pelo Programa Cooperativo de Monitorização e Avaliação de Emissões (EMEP). Ela fornece orientações detalhadas para calcular as emissões de gases com efeito estufa.

Os dados foram computados no CORPET (Computer Program to Calculate Emissions from Road Transport) COPERT (2024a) é um software amplamente utilizado para estimar as emissões veiculares. Ele considera fatores como tipo de veículo, distância percorrida, consumo de combustível e características específicas dos poluentes (CO, CO₂, CH₄). O aplicativo COPERT 5.7 (EMISIA) é uma versão específica desse software dedicada ao cálculo de emissões veiculares.

O estudo focou na quantificação e na análise dos poluentes responsáveis pelo efeito estufa, Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄) e as Partículas finas (PM_{2.5}) que apesar de serem emissões veiculares, não são GEE. Esses poluentes têm impacto direto no aquecimento global e na qualidade do ar.

Cada Gás de Efeito Estufa (GEE) contribui de maneira distinta para o aquecimento global devido às suas composições moleculares únicas. Para avaliar essas contribuições, utiliza-se o conceito de Potencial de Aquecimento Global (GWP). O GWP mede o impacto relativo de cada GEE em comparação com o dióxido de carbono (CO₂). Esse valor é expresso em CO₂ equivalente (CO₂eq). A Tabela 2 apresenta alguns gases e seus coeficientes de GWP.

Tabela 2 - Gases de efeito estufa e seu potencial em relação ao dióxido de carbono.

Gás de Efeito Estufa (GEE)	GWP (CO ₂ equivalente)	Tempo de Permanência (anos)	Fonte Antropogénica
Dióxido de carbono (CO ₂)	1.0	100-1000	Combustão de combustíveis fósseis, desmatamento.
Monóxido de Carbono	1.0	1	Combustão incompleta de combustíveis fósseis
Metano (CH ₄)	25.0	12	Agricultura (pecuária), aterros sanitários, produção de gás natural.
Óxido nitroso (N ₂ O)	298.0	114	Agricultura (uso de fertilizantes), processos industriais.
Ozônio (O ₃)	NE	Variável com altitude e localização	NE
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	23900.0	3200	Indústria elétrica (gás de isolamento)
Clorofluocarbonos (CFCs)	NE	Décadas a séculos	Uso industrial histórico
Hidrofluocarbonos (HFCs)	NE	Décadas a séculos	Refrigerantes, ar condicionado
Perfluocarbonos (PFCs)	NE	Séculos	Fabricação de semicondutores

Fonte Adaptado de Borsari, (2005a).

Dados de entrada para o cálculo emissões no COPERT 5.7

COPERT 5.7 (EMISIA) requer uma série de dados de entrada. Embora os detalhes específicos possam variar dependendo do cenário e modelagem, alguns dos tipos comuns de dados de entrada que o COPERT 5.7 (2024). Existem diferentes metodologias no modelo para calcular as emissões:

Tier 2: Esta metodologia considera a quantidade da frota e os quilômetros percorridos por veículo por tecnologia.

Tier 3: É uma abordagem mais detalhada, onde os fatores de emissão também dependem do perfil de temperatura, padrão de condução, padrão de estacionamento e outros parâmetros de atividade.

Para o presente estudo optou – se pela metodologia Tier 2 por melhor se ajustar aos dados de entrada e por existir muitas incertezas. Os dados de entrada para quantificação dos poluentes veiculares são os seguintes:

Condições ambientais

Os dados como temperatura ambiente, humidade e a altitude, podem afetar as emissões do veículo. Neste passo são

solicitadas as informações referentes as temperaturas máximas, mínimas e a humidade relativa do local onde se pretende estimar os poluentes (Figura 1). Esses dados são fundamentais na quantificação dos dados de emissão por estarem relacionados a partida dos motores no estado frio ou no estado estável (quente) durante o percurso.

Figura 1 - Exemplo de dados de entrada sobre condições ambientais do local.

Month	Min Temperature [°C]	Max Temperature [°C]	Humidity [%]
January	0	0	0%
February	0	0	0%
March	0	0	0%

Fonte: Retrato de tela do COPERT 5.7.

Na Figura 1 nota -se que os dados podem ser importados ou exportados de uma planilha Excel para facilitar o preenchimento automático em casos de grandes quantidades de dados.

3. Resultados e Discussão

Frota de automóveis

A população de veículos analisados foi no período de 2013 a 2020, período segundo o INATRO o país teve mais importações de veículos automóveis usados. Até 2020 o país tinha um registo de 1,112,855 Viaturas, conforme ilustra a Tabela 3 de distribuição de registos ao longo do país.

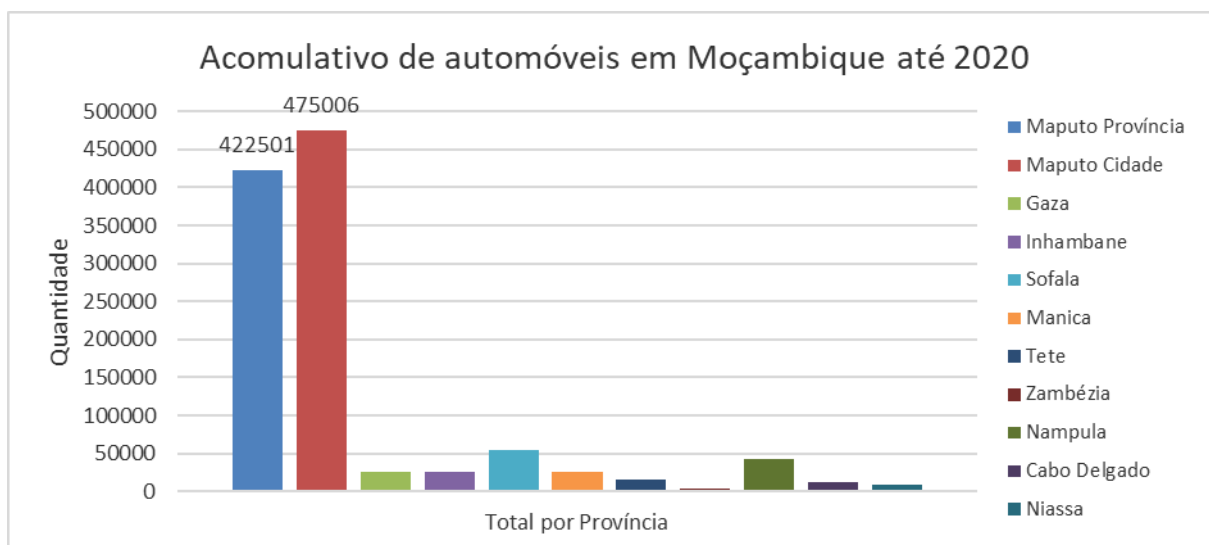
Tabela 3 - Parque automóvel em Moçambique até 2020.

Parque Automóvel até 2020						
Província	Ligeiro	Pesado	Trator	Reboque	Motos	Total
Maputo Província	298007	83397	1521	9428	30148	422501
Maputo Cidade	355483	83157	2606	6692	27068	475006
Gaza	17488	5895	111	421	2321	26236
Inhambane	19887	3742	36	497	1053	25215
Sofala	18331	17286	1899	3941	13574	55031
Manica	12834	8178	582	967	3305	25866
Tete	6965	4211	184	974	2970	15304
Zambézia	836	1469	191	81	1732	4309
Nampula	23592	10924	1049	1563	4988	42116
Cabo Delgado	7150	3593	260	281	1196	12480
Niassa	4169	2691	92	150	1690	8792
Total	764742	224543	8531	24995	90045	1112855

Fonte: Autores, adaptado de dados do INATRO.

A distribuição de registo dos veículos esta apresentada na Figura 2. Estes dados são de registo de automóveis a partir do ponto de entrada ou da emissão das matrículas.

Figura 2 - Perfil de distribuição de registo de automóveis em Moçambique até 2020.

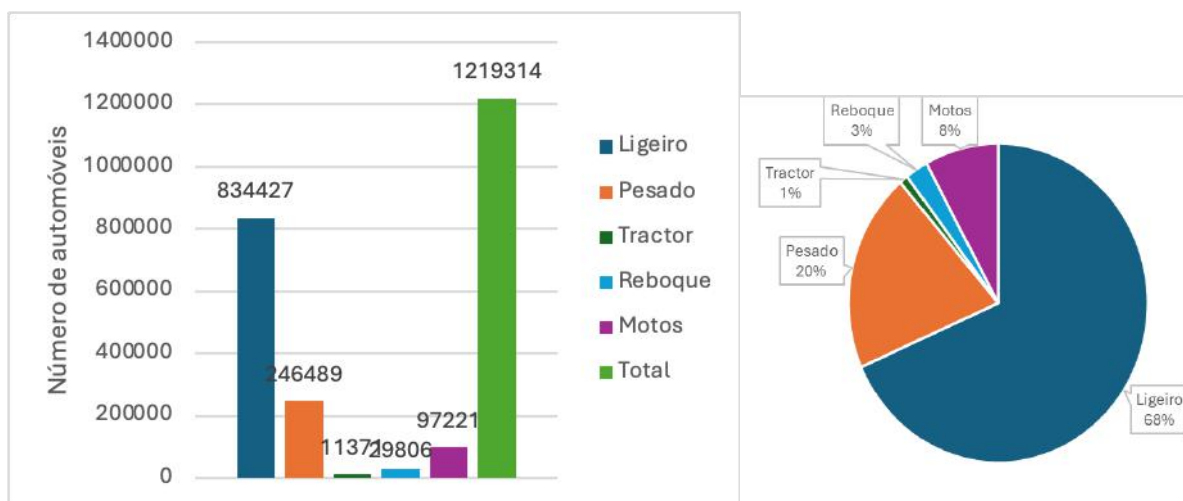


Fonte: Adaptado dos dados do INATRO.

Nesta Figura 2, é notório que a cidade de Maputo é a mais preferida, seguido da província com o mesmo nome para a emissão ou troca de matrículas de veículos e, a cidade Quelimane na Zambézia é a menos escolhida.

Os valores acumulados de automóveis em Moçambique, apresentados pelo INATRO, estão agrupados em categorias de ligeiros, pesados, tratores, reboque e motociclos. As quantidades e as respetivas percentagens são apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Acumulativo de automóveis em Moçambique de 2013 a 2022 e respetivas concentrações em percentagens.

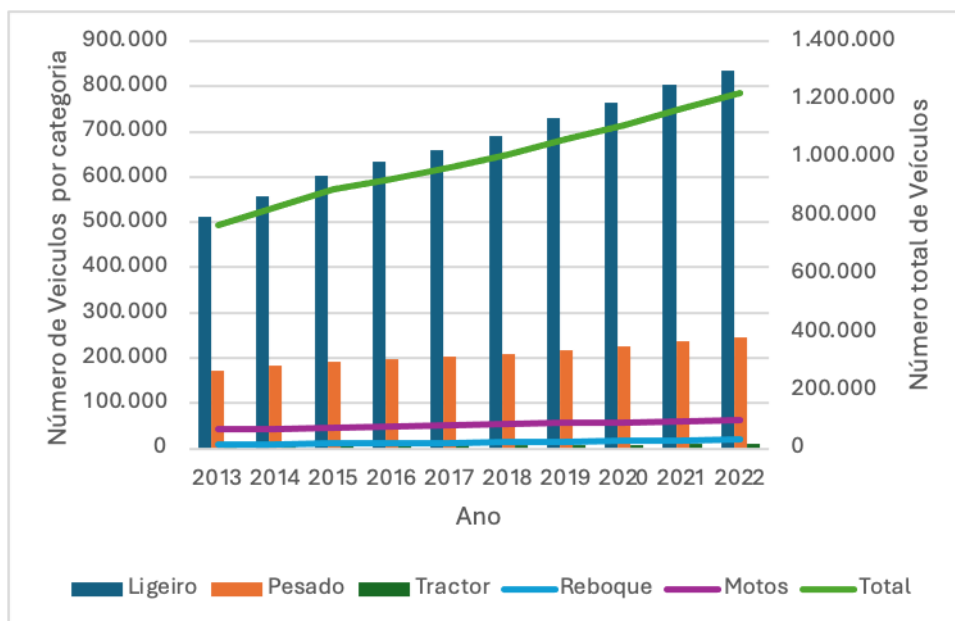


Fonte: Adaptado dos dados do INATRO.

Da Figura 3 nota -se que os veículos ligeiros estão em maior percentagem do que as restantes categorias. E os tratores estão em menor número em Moçambique.

Em termos de perfil de crescimento do parque automóvel, a Figura 4 apresenta o perfil de crescimento das categorias registadas de 2013 a 2020.

Figura 4 - Perfil de crescimento do parque automóvel em Moçambique.



Fonte: Adaptado dos dados do INATRO.

Na Figura 4 nota-se que a categoria de ligeiro é que evoluiu mais em relação as outras categorias apresentadas

Condições de desempenho dos motores

A quantificação das emissões de poluentes de transportes rodoviários a diesel e gasolina num histórico de 2013 e 2022 é discutido com resultados obtidos do modelo computacional COPERT 5.7 (2024a). Neste foi adotado a metodologia Tier 2. Os poluentes quantificados foram monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), partículas finas (PM_{2.5}) e Carbono Elementar (EC).

O comportamento de um motor de combustão interna em diferentes regimes de temperatura resulta em diferentes rendimentos. As informações de clima são fundamentais para a distinção das emissões em diferentes regimes, emissões quentes e frias, que tem uma diferença substancial nas emissões. As concentrações da maioria dos poluentes que se registam durante a fase de arranque do motor frio são, muitas vezes, maiores relativamente ao regime estável (quente) e torna necessário uma metodologia de aproximação diferente de modo a estimar *over-emissions* durante esta fase (Moura (2023)). Todavia, o valor das emissões pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$E_{total} = E_{quente} + E_{frio} \quad (01)$$

Onde:

- Valor total de emissões de qualquer poluente;
- Emissões durante operação do motor em regime estável quente;
- Emissões durante a operação do motor em regime transiente (emissões frias).

Condições do clima

A informação das condições climáticas usadas no estudo são da Cidade de Maputo onde se registou mais veículos, os dados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - De la de Condições Ambientais anuais na cidade de Maputo em 2020.

Mês	Temperatura média (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Umidade (%)
Janeiro	25.5	22.9	28.5	76
Fevereiro	25.8	23.1	28.8	75
Março	25.2	22.5	28.4	76
Abril	23.4	20.3	26.7	73
Mai	21.6	18.1	25.7	70
Junho	19.9	16.1	24.2	67
Julho	19.3	15.4	23.6	67
Agosto	20.5	16.6	25	65
Setembro	21.9	18.1	26.1	66
Outubro	22.6	19.3	26.3	71
Novembro	23.7	20.7	27.1	74
Dezembro	25.1	22.2	28.4	74

Fonte: Adaptado de <https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/maputo/maputo-535/> A cessado em 12 de Junho de 2024.

Quantidade de combustível vendido

Outro dado requerido no Software é a estatística da energia consumida pela frota, neste item é especificado a quantidade de energia veicular em Terra Joule (TJ) seja gasolina, diesel, gás natural veicular etc. Para o caso concreto de Moçambique o Diesel e a gasolina em 100% são os combustíveis veiculares usados no país. A Tabela 5 apresenta as quantidades e os respetivos factores de conversões para Terra Joule (TJ).

Tabela 5 - Combustível consumido no país para o sector de transporte de 2013 a 2020.

Ano	Gasóleo [m3]	Gasolina [m3]	Gasóleo [TJ]	Gasolina [TJ]
2013	970,365.00	277,226.00	34,933.14	8,039.55
2014	1,101,601.00	309,593.00	39,657.64	8,978.20
2015	881,169.00	350,910.00	31,722.10	10,176.40
2016	1,079,201.00	398,350.00	38,851.20	11,552.20
2017	1,158,423.00	408,773.00	41,703.20	11,854.40
2018	1,209,383.00	410,899.00	43,537.80	11,916.10
2019	1,217,284.00	410,322.00	43,822.20	11,899.30
2020	975,927.00	384,729.00	35,133.40	11,157.10
Total	8,593,353.00	2,950,802.00	234,769.90	68,555.50

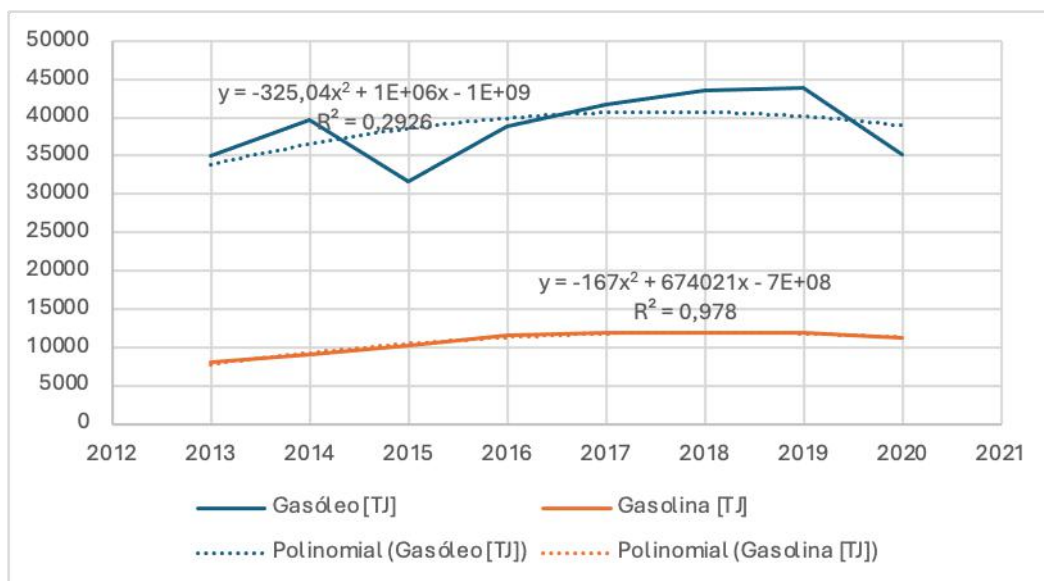
Fonte: Autores.

Factores de conversão: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros de Gasolina}$ e $1 \text{ L Gasolina} \approx 28.99 \text{ MJ}$.

Então $1 \text{ m}^3 = 28.99 \text{ GJ} = 0.029 \text{ TJ}$. Para gasóleo: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$ e $1 \text{ L} \approx 36 \text{ MJ}$; $1 \text{ m}^3 = 36 \text{ GJ} = 0.036 \text{ TJ}$.

Porque existe uma relação entre os poluentes e o tipo de combustível, foi traçado o perfil de consumo de combustível, combustível no período em referência e, constatou -se que houve um abrandamento no período de 2019 a 2021, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Estimativas de consumo de combustível entre 2013 a 2022 no sector rodoviário em Moçambique.



Fonte: Autores.

Na Figura 5 nota-se uma redução de vendas de combustível no período de 2019 a 2021, mas com tendências de aumentar nos anos restantes, isto deveu -se as restrições impostas pelo covid 19 em Moçambique. A venda de diesel reduziu mais do que a gasolina por conta do aumento do preço deste líquido por litro em relação a gasolina no período em referências.

Categoria da rota de automóveis

Do acumulativo de automóveis registados pelo INATRO, houve necessidade de enquadrar no grupo dos automóveis do software que usa Padrão europeia. O COPERT abrange uma ampla gama de categorias de veículos, incluindo carros de passageiros, veículos comerciais leves, caminhões pesados, ônibus e motocicletas, cada um com várias subclasses baseadas em características como o tipo de combustível e a tecnologia do motor. Desse modo, o perfil de veículos fornecido pelo INATRO foi reagrupado conforme a Tabela 6 em diferentes categorias e tecnologias dos veículos em circulação em Moçambique são entre outros:

Carros ligeiros: turismos de pequeno porte, médio, de cabines, executivos e de caixa aberta usando gasolina e diesel. Na categoria de pesados verificam – se camiões de medio porte (>3.5T), Minibuses de até 15 lugares e machimbombos de mais de 25 lugares. Outra categoria de ligeiros é de motocicletas que aqui foram divididos em menor cilindrada e de maior cilindrada. Conforme a Tabela 6, a maioria dos segmentos de veículos foi classificada sob a norma Euro 4 e como convencionais, pois são os automóveis mais disponíveis em Moçambique. A maior parte destes veículos, foram importados e registados em janeiro de 2005 (EURO_LEX, 2022).

Tabela 6 - Categoria dos automóveis para estimativa de emissões veiculares.

Categoria	Combustível	Segmento	Norma europeia	Quantidade [n]	Actividade. média [km/ano]	Tempo de vida [km]
Particulares	Gasolina	Turismo Pequeno	Euro 4	489,369.5	10,000.0	200,000.0
Particulares	Gasolina	Turismo médio	Euro 4	1,172,963.3	11,000.0	180,000.0
Turismo	Gasolina	Cabine dupla; simples	Euro 4	146,810.85	12,000.0	200,000.0
Turismo	Diesel	Cabine dupla; simples	Euro4	2,283,724.2	15000	200,000.00
Comerciais	Diesel	Caixa aberta	Euro 4	671,967.0	15,000.0	150,000.0
Minibuses	Gasolina	Médios >3.5T	Convencional	458,759.3	14,500.0	150,000.0
Camiões Pesados	Diesel	Médios <=7,5 t	Euro I	99,191.2	10,000.0	170,000.0
Machimbombos	Diesel	Urbano Buses Médios 15 - 18 t	Convencional	309,972.5	15,000.0	150,000.0
Motociclos	Gasolina	4 tempos CC<250 cm ³	Convencional	338397.5	8,000.0	180,000.0
Motos	Gasolina	Quatro tempos CC >750 cm ³	Euro 4	145027.5	7,000.0	180,000.0

Fonte: Autores.

Os valores de actividades e de tempo de vida das frotas foram assumidos considerando as necessidades de deslocação dentro da cidade como requisitos para o preenchimento da tabela de entradas no COPERT.

De igual forma foi assumido a informação da actividade dos automóveis, como os veículos são usados, distância por ano e, a distância em quilómetros que representa a vida útil de cada tipo de automóvel. As categorias de automóveis no COPERT são definidas de acordo com os padrões europeus de emissão veicular, conhecidos como “Euro Standards”, são regulamentos que estabelecem limites máximos para as emissões de poluentes de veículos novos na União Europeia. Isso pode incluir a distribuição da quilometragem por tipo de estrada (por exemplo, urbano, rural, rodovia) e a velocidade média.

Em geral, quanto maior a quilometragem de um veículo, maior será a quantidade de emissões produzidas. Isso ocorre porque o desgaste do motor e outros componentes do veículo pode levar a uma eficiência de combustível reduzida e, conseqüentemente, a emissões mais altas. A regulamentação europeia prevê sanções para os proprietários de veículos que não cumprem os padrões de emissões. Estas sanções podem variar dependendo do país específico dentro da União Europeia. Além disso, muitos países europeus estão implementando zonas de baixas emissões nas cidades, onde veículos mais antigos e mais poluentes podem ser proibidos ou sujeitos a taxas.

No entanto, é importante saber que as sanções geralmente se aplicam a veículos que não cumprem os padrões de emissões, e não necessariamente à quilometragem do veículo. Um veículo bem mantido com alta quilometragem ainda pode cumprir os padrões de emissões se estiver em boas condições de funcionamento. Tal facto, acontece de forma contrária em Moçambique, onde veículos com mais de 20 anos são isentos de pagar a taxa anual de imposto de veículos, independente mente do estado de manutenção, aliás, nenhum teste de poluição estão sujeitos.

Na estimativa de emissões veiculares, considerou - se a dependência do tipo de condução e do ambiente. A condução em autoestradas (*highway*) geralmente a velocidades até 130km/h resulta em menos emissões por quilómetro, do que a condução em áreas urbanas com tráfego, onde o limite de velocidades é de até 90km/h e em zonas rurais até 50km/h. Isso ocorre porque os veículos podem operar de maneira mais eficiente em velocidades constantes e mais altas, enquanto a condução urbana frequentemente envolve paradas e partidas frequentes, o que torna o desempenho dos motores menos eficientes.

No geral, consumo de combustível está diretamente proporcional a emissão de poluentes, e a velocidade tem um perfil de consumo não proporcionalmente direto. O gráfico da Figura 6 apresenta um perfil com dados hipotéticos da variação no consumo de combustível desde a partida a frio até uma velocidade instantânea de 200km/h.

Figura 6 - Perfil ideal de velocidade de um automóvel em função do consumo de combustível.



Fonte: Autores.

Do gráfico da Figura 6, pode se ver que a zona óptima, onde há menos poluição (menos consumo de combustível), está na faixa de 5 a 9 minutos a aproximadamente 50 a 70 km/h. As condições de tráfego (*Urban peak*) como tráfegos pesados, condicionam acelerações e paradas frequentes, causando aumento de emissões, pois, os motores em marcha lenta ou acelerado são menos eficientes.

Condições geográficas de condução

As condições geográficas e o estilo de condução são fatores a considerar na quantificação de emissões, uma condução agressiva com aceleração e frenagem rápidas pode aumentar as emissões. Por outro lado, está a manutenção do veículo, pois um veículo mal mantido pode ter um desempenho inferior e produzir mais emissões. Por falta de informação adicional, no presente estudo foram quantificadas emissões em diferentes ambientes zona rural, urbano, urbano com tráfego e autoestrada, ambientes padrões de emissões existentes no COPERT (2024a).

Existem variações nas emissões de veículos entre áreas urbanas, rurais e autoestrada (rodovias), que estão ligadas a elementos como densidade de habitantes, velocidades, condições das vias e padrões de tráfego específicos de cada situação. Em áreas urbanas ou cidades, a densidade populacional é alta, o que leva a “engarrafamentos”, paradas frequentes e acelerações rápidas, aumentando as emissões. O tráfego urbano lento resulta em maior consumo de combustível e, conseqüentemente, em mais emissões.

Em contrapartida, nas áreas rurais, o tráfego é menor e a quantidade reduzida de veículos nas estradas rurais diminui os “engarrafamentos” e as emissões. As vias rurais permitem velocidades mais uniformes e eficiência de combustível, pois têm menos obstáculos, economizando combustível. Nas rodovias, as velocidades uniformes otimizam o consumo de combustível, pois há menos semáforos e cruzamentos, e as estradas lisas diminuem o atrito e melhoram a eficiência.

Contudo, as emissões totais são obtidas como sendo a soma de emissões de cada local, ou seja:

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{Urbano}} + E_{\text{Rural}} + E_{\text{Autoestrada}} \quad (2)$$

Onde:

E_{Total} - Valor total de emissões de qualquer poluente;

E_{Urbano} - Emissões em áreas urbanas.

E_{Rural} - Emissões em áreas rurais;

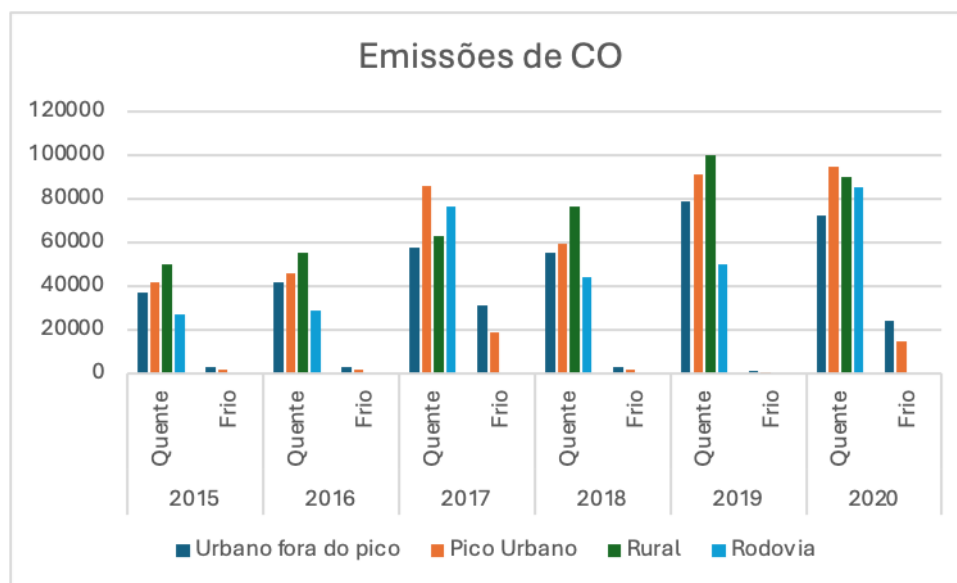
$E_{\text{Autoestrada}}$ - Emissões em autoestrada.

Emissões veiculares

Monóxido de carbono (CO)

Durante a partida a frio, o motor pode precisar de mais combustível para começar a funcionar, porque o motor frio não é tão eficiente na combustão. Isso pode resultar em um aumento temporário das emissões até que o motor atinja sua temperatura de operação normal. A combustão incompleta, resulta emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) (Aguiar et al., 2015). A Figura 7 apresenta o perfil quantitativo de CO emitido em diferentes áreas de circulação.

Figura 7 - Perfil de emissões de CO em diferentes locais.



Fonte: Autores.

Da Figura 7 nota -se que há tendência de mais emissões de CO nos “engarrafamentos” (pico urbano) e nas zonas rurais, isso pode ser devido a categoria específica da frota que circula nessas áreas. Pela geografia da Cidade de Maputo, há mais veículos a circularem nas zonas rurais do que nas zonas urbanas fora de pico urbano.

Segundo um estudo veiculado pela SciELO, foram estimadas as emissões veiculares na região metropolitana de Fortaleza, CE, para o ano de 2010. O estudo ressaltou que as motocicletas contribuíram significativamente para as emissões de CO, em virtude do elevado número desses veículos na área (Lopes et al., 2018). Isso abre uma possibilidade de se fazer um estudo para as urbes das zona centro e norte de Moçambique, onde circulam mais motocicletas do que outros veículos automóveis.

Em outra pesquisa publicada pela SciELO avaliou o impacto da pandemia de COVID-19 sobre as emissões veiculares no Brasil, incluindo as de CO. Os resultados apontaram para uma diminuição de 12,5% nas emissões de CO no intervalo de janeiro a maio de 2020, quando comparado ao mesmo período do ano anterior (Lobato et al., 2021).

No período mencionado e sob as condições estabelecidas, o presente estudo determinou as quantidades de emissões de Monóxido de Carbono (CO), resultaram em mais emissões e com motores “quentes” nas zonas rurais e nas zonas urbanas com maior tráfego, concordando com o estudo realizado pelo Ibama (2021) segundo o qual, as condições de tráfego intenso, quando os veículos estão em tráfego lento ou parados frequentemente, o motor opera em condições não ótimas, o que pode aumentar a emissão de CO.

A outra situação citada pelo Ibama (2021) a condução agressiva de acelerações e desacelerações bruscas podem levar a uma combustão incompleta e, conseqüentemente, a maiores emissões de CO. Nessas emissões de CO pode se incluir as

razões mecânicas, quando a manutenção é inadequada, como sistemas de ignição e injeção de combustível mal ajustados, podem emitir mais CO, outra possibilidade é da falha no catalisador, este dispositivo é essencial para reduzir as emissões de CO. Se o catalisador estiver danificado ou funcionando mal, as emissões de CO podem aumentar significativamente. Isso pode justificar a contribuição das motocicletas nas emissões de CO, abordado nos estudos anteriores, porque estes veículos não possuem catalizadores.

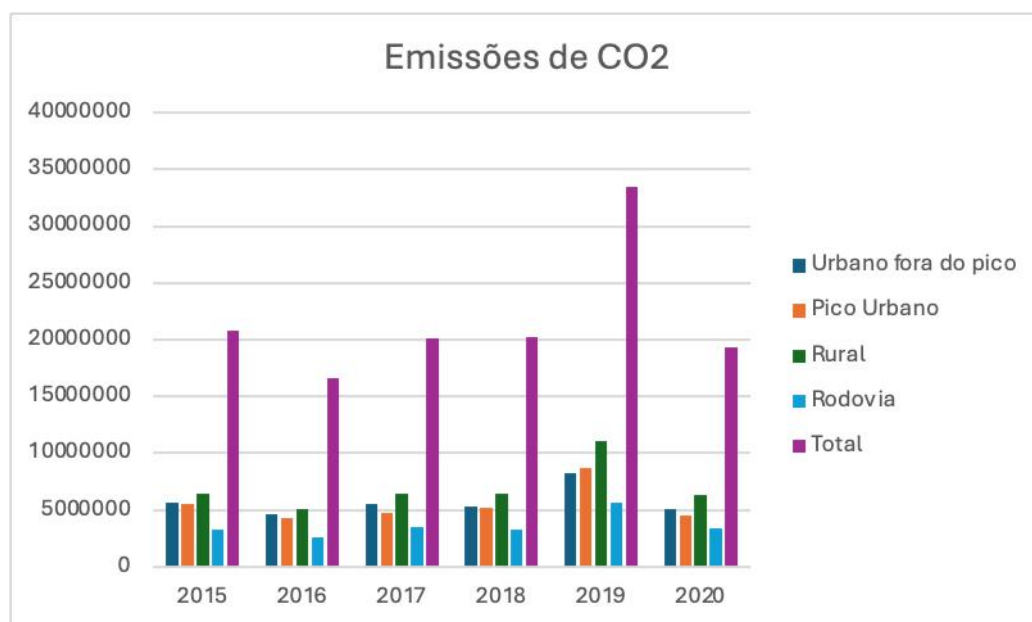
Emissão do Dióxido de Carbono (CO₂)

As emissões de CO₂ veiculares são um tema amplamente discutido em publicações e por autores especializados, com foco em como reduzir o impacto ambiental dos veículos. Autores como Cachola et al. destacam a importância das políticas públicas na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), incluindo CO₂, provenientes de veículos. No estado de São Paulo, por exemplo, a implementação da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) desde 2009 teve um impacto significativo na redução das emissões, especialmente com o aumento do uso de etanol (Cachola et al., 2022).

Um estudo publicado na SciELO analisou o impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões veiculares no Brasil. Segundo o estudo de Cachola et al., (2022) com as medidas de restrição e isolamento social, houve uma redução de 14% nas emissões de GEE, incluindo CO₂, nos primeiros cinco meses de 2020 em comparação com o mesmo período de 2019

Nas condições desta pesquisa, o resultado da quantificação das emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) emitidas no período em referência estão na Figura 8.

Figura 8 - Emissões de CO₂ veiculares de 2015 a 2020.



Fonte: Autores.

A partir da Figura 8 nota – se que houve mais emissões de CO₂ no ano de 2019 nas zonas rurais reduzindo ainda mais em 2020, isso pode – se justificar pelas restrições da COVID – 19, em que havia menos veículos nas zonas urbanas com a tendência das pessoas estarem nas zonas rurais com menos aglomerado de população. As missões totais de CO₂ até finais de 2020 tendiam diminuir pela mesma motivação, com forme estudos realizados por outros pesquisadores acima mencionados.

Um das medidas de redução de emissões de CO₂ veiculares aponta para a introdução de veículos elétricos, esta medida é vista como uma solução potencial para reduzir as emissões de CO₂. Comparados aos carros com motor de combustão

interna, os veículos elétricos podem ter um impacto significativamente menor nas emissões de CO₂ (Cachola et al., 2022)

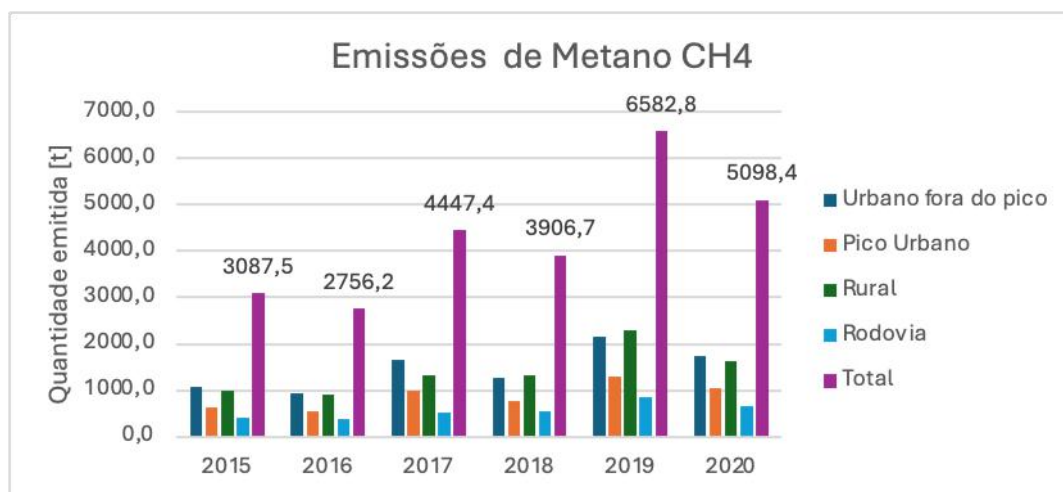
Segundo Cachola, et al., (2022) alguns autores, como David Foster Wallace, descrevem a história das emissões de CO₂ da humanidade, destacando que mais da metade das emissões ocorreram nos últimos 30 anos, o que sublinha a necessidade urgente de ação para mitigar as mudanças climáticas.

Emissão do Metano (CH₄)

As emissões veiculares de metano (CH₄) são uma preocupação ambiental significativa, pois o CH₄ é um potente gás de efeito estufa, embora as emissões de CH₄ dos veículos sejam relativamente baixas em comparação com outras fontes, elas ainda são significativas e devem ser abordadas como parte de uma estratégia global para mitigar as mudanças climáticas.

A contribuição dos veículos para as emissões de metano não é desprezível, apesar de serem mais comumente associadas às atividades agrícolas e à produção de energia a partir de fontes fósseis. O metano pode ser libertado pelos veículos tanto pela evaporação do combustível quanto, em uma escala reduzida, durante a queima do mesmo nos motores. Para o presente estudo os resultados de quantificação do metano emitido durante o período em referência estão na Figura 9.

Figura 9 - Perfil de emissões de metano veiculares.



Fonte: Autores.

Na Figura 9 as emissões aumentaram até o ano de 2019 com maior intensidade nas zonas rurais e nas rodovias. Apesar da quantidade de emissão ser relativamente baixas, o metano possui uma capacidade de intensificar o efeito estufa que é mais de 80 vezes superior à do dióxido de carbono (CO₂) durante um intervalo de duas décadas. Isso implica que até mesmo emissões mínimas de CH₄ podem resultar em um efeito significativo no aumento da temperatura global (Sic Notícias, 2024; ONU, 2024).

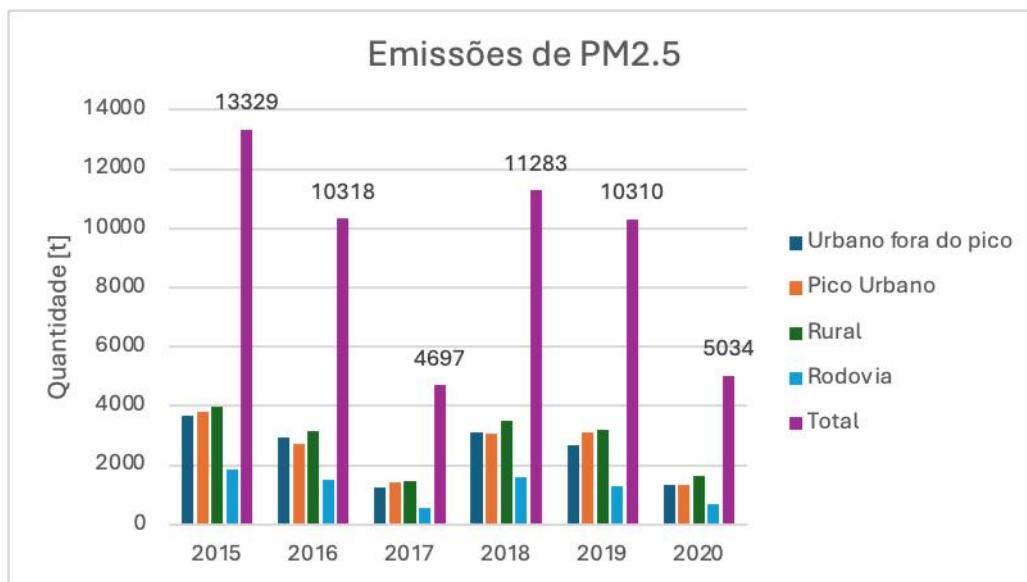
Emissão de partículas finas (PM_{2.5})

A maioria das partículas PM_{2.5} surge através de atividades humanas, como a queima de combustível por veículos, fornalhas, fogões, fábricas e usinas. As partículas finas PM_{2.5} (onde 2.5 significa diâmetro <2.5µm) emitidas pelos veículos na rodovia têm sido objeto de intensa discussão e estudo devido ao seu impacto significativo na saúde humana e no meio ambiente.

A quantificação feita neste estudo está apresentada na Figura 10. Segundo Ecoquest (2023). As partículas PM_{2.5} são suficientemente minúsculas para penetrar profundamente nos pulmões e até mesmo atingir a corrente sanguínea. A exposição a

essas partículas, seja a curto ou longo prazo, pode levar a uma série de problemas de saúde, incluindo morte prematura, aumento das internações hospitalares por problemas cardíacos ou pulmonares, bronquite aguda e crônica, crises de asma, visitas de emergência, sintomas respiratórios e dias de atividade limitada.

Figura 10 - Emissão veicular de Partículas finas (PM2.5).



Fonte: Autores.

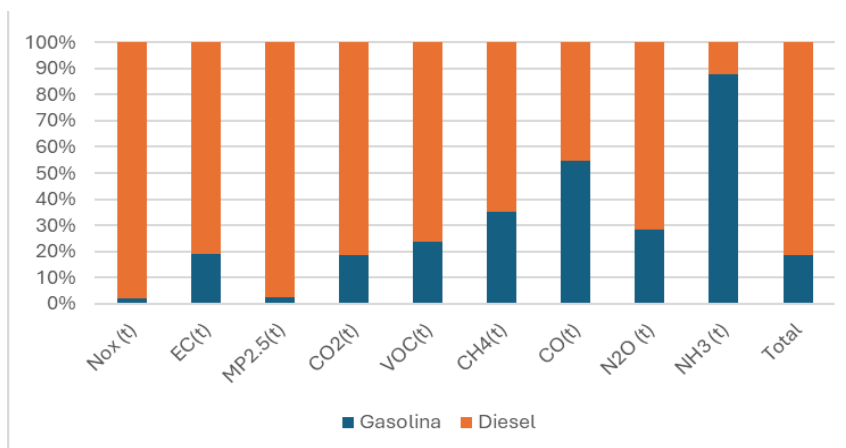
Nesta Figura 10, há uma tendência de redução de partículas PM2.5 ao longo do período em referência, essa situação pode ter sido pela introdução de combustível sem enxofre Moçambique que aconteceu em 2016 e 2017. Outra razão pode -se apontar o uso de veículos mais novos, geralmente têm tecnologias de controle de emissões mais eficazes. A substituição de veículos mais antigos por modelos mais novos e eficientes pode resultar em uma redução significativa das emissões de PM2.5.

Comparação de emissões por combustível

O diesel quanto a gasolina são combustíveis fósseis que emitem gases de efeito estufa quando queimados fez -se uma comparação das emissões dos dois combustíveis considerando certos poluentes característicos, no entanto, a quantidade de gases emitidos pode variar dependendo de vários fatores, incluindo a eficiência do motor, o tipo de veículo e as condições de condução no geral, a queima de diesel tende a emitir mais gases de efeito estufa do que a gasolina.

O resultado da comparação está apresentado na Figura 11, como há muitos factores dependentes nesta comparação, optou -se por considerar a partilha de 100%.

Figura 11 - Comparação de emissões por combustível.



Fonte: Autores.

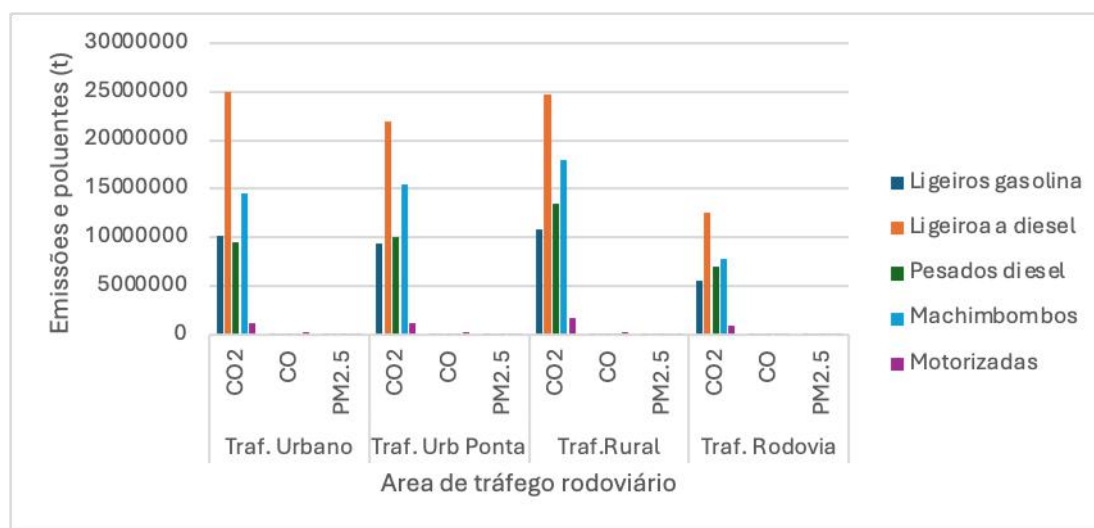
Da Figura 11 nota -se que o diesel tende a poluir mais do que a gasolina, somente os gases de NH₃, CO é que são mais emitidos por gasolina. Segundo Ge, et al., (2020) isso ocorre porque o diesel tem uma densidade energética maior, o que significa que mais energia é liberada por litro de diesel queimado em comparação com a gasolina. No entanto, os motores a diesel geralmente são mais eficientes do que os motores a gasolina, o que pode compensar parcialmente as maiores emissões de gases de efeito estufa do diesel.

Os resultados estão também de acordo com Gasogenio (2024) que concluiu em seus estudos que, em termos de comparação dos combustíveis, o diesel é o que mais emite poluentes. Por cada litro de gásóleo consumido aos 100 km, existe uma emissão de 26,1 g/km de dióxido de carbono. Além disso, um carro a diesel emite em média 8.138,15 kg de CO₂ por ano.

Comparação de emissões por categoria

Com intuito de perceber a possível relação entre categoria de veículo e áreas de circulação confrontou -se os dados e a Figura 12 apresenta os resultados.

Figura 12 - Análise da possível correlação entre a categoria da frota e área do tráfego.



Fonte: Autores.

Nesta análise conforme a Figura 12, as emissões de CO₂ estão em maior quantidade, todavia, são mais acentuados nos carros ligeiros (lembrando que esta frota está em maior número), em seguida são os machimbombos, lembrando também, que estes são a diesel, essas emissões verificam se em todos locais. Nesse contexto, não existe nenhuma correlação entre as duas variáveis analisadas.

Segundo Cancelli e Dias (2014) as emissões de GEE em veículos dependem do tipo de veículo e do tipo de combustível usado. No caso de veículos pesados, como caminhões de carga e machimbombos, tendem a emitir mais gases de efeito estufa do que veículos leves, como carros de passeio. A Tabela 7, ilustra fatores de emissão para diferentes categorias de veículos analisados.

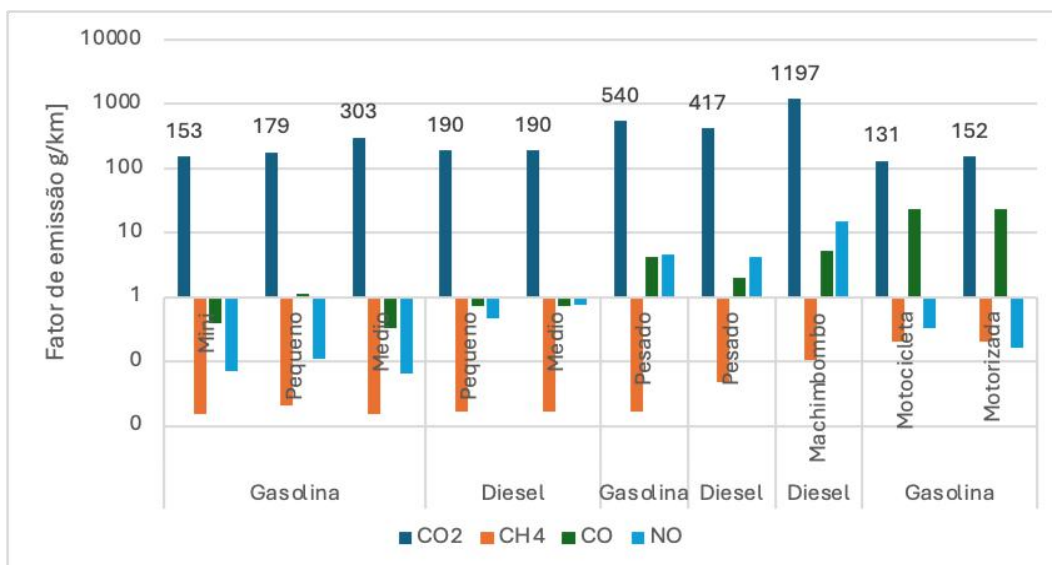
Tabela 7 - Fatores de emissão registrados para os veículos analisados no COPERT 5.7

Combustível	Categoria	Fator de emissão [g/km]			
		CO ₂	CH ₄	CO	NO
Gasolina	Mini	152.92	0.02	0.40	0.07
	Pequeno	178.74	0.02	1.14	0.11
	Médio	302.69	0.02	0.33	0.06
Diesel	Pequeno	189.65	0.02	0.72	0.47
	Médio	189.65	0.02	0.72	0.74
Gasolina	Pesado	540.23	0.02	4.12	4.61
Diesel	Pesado	417.45	0.05	1.99	4.11
Diesel	Machimbombo	1196.65	0.11	5.33	15.22
Gasolina	Motocicleta	131.05	0.20	23.32	0.33
	Motorizada	152.21	0.20	23.32	0.16

Fonte: Autores.

Da Tabela 7, é notável que os fatores de emissão para Metano são baixas em todas categorias de veículos, os fatores de emissão de dióxido de carbono são os mais elevados. Para a melhor percepção desse fenômeno, os valores correspondentes são apresentados em forma de gráfico de barras na Figura 13.

Figura 13 - Comparação de factores de emissão dos principais gases de escape por categoria e combustível.



Fonte: Autores.

Na Figura 13, nota-se que os veículos de grande porte como machimbombos, têm maior potencial de emitirem mais GEE, isso porque, têm maior fator de emissão. O uso de factor de emissão para comparação de potencial de poluição é mais justo porque é independente de número de veículos, forma de condução, etc., mas sim, da tecnologia do veículo. Essa constatação é similar da apresentada pelos pesquisadores Cancelli e Dias (2014).

O estudo efetuado por Yasar et al., (2013) na quantificação da possível diminuição de emissões veiculares que operam com diesel e gasolina na transição para gás veicular, foram monitorados SO₂, CO, NO, hidrocarbonetos e opacidade da fumaça. Na pesquisa foi observado que os motores a diesel na categoria de pesados que mudaram para GNV tiveram diminuição significativa de emissões nos parâmetros HC (14 vezes), NO (2,8 vezes) e opacidade da fumaça (3,2 vezes) e para carros ligeiros a diminuição HC (24,6 vezes), NO (2,8 vezes) e opacidade da fumaça (6 vezes). Para carros leves e motocicletas houve redução menos significativas e em particular para o NO houve aumento de emissões (Yasar et al., 2013).

Os factores de emissão apresentados para frotas a gasolina, considerando uma actividade de 5000km/ano é aproximadamente igual ao valor de emissão de CO₂ por cada litro de gasolina aos 100 km é de 23 g/km mencionado por Da Graça, (2020).

Transição energética para Gás Natural

A decisão da União Europeia (EU) de classificar o gás natural como uma fonte de energia limpa e de transição (Barata, 2022) tem gerado debates e opiniões divergentes. Alguns argumentam que essa classificação é necessária para facilitar a transição gradual de fontes mais poluentes, como o carvão, para fontes mais limpas, como as energias renováveis. No entanto, outros expressam preocupações sobre o impacto ambiental do gás natural, especialmente em relação às emissões de metano durante sua extração, transporte e uso.

O desenvolvimento socioeconómico está estreitamente relacionado à demanda por energia. O fornecimento de energia tornou-se um ponto central de atenção global, especialmente após a União Europeia classificar o gás natural como uma fonte limpa para a transição energética. Investidores têm voltado seus olhos para as reservas de gás natural em Moçambique, apesar dos desafios económicos e de desenvolvimento que o país enfrenta (Chichango & Cristóvão, 2021).

É crucial ponderar os prós e contras desta decisão, levando em consideração não apenas os benefícios imediatos, mas também as consequências a longo prazo para o meio ambiente e a saúde pública. A procura por soluções sustentáveis deve ser um esforço contínuo, e a avaliação criteriosa das opções energéticas desempenha um papel vital neste processo, principalmente o gás natural para indústria de energia assim como, para o sector de transporte.

Segundo as previsões apresentadas pela AMER e ALER (2022), a capacidade instalada de energia deverá aumentar significativamente de 2023 até 2030, com um aumento substancial na fonte solar para eletricidade. E o gás natural a ser explorado nos setores de transporte, indústria e eletricidade, com uma percentagem de aumento de 1,4% como ilustra a Figura 14. Esta previsão será extrapolada com a decisão da EU de considerar o gás natural uma fonte limpa para a transição energética.

Figura 14 - Previsão da capacidade instalada de energia em Moçambique de 2023 a 2030.



Fonte: AMER e ALER (2022)

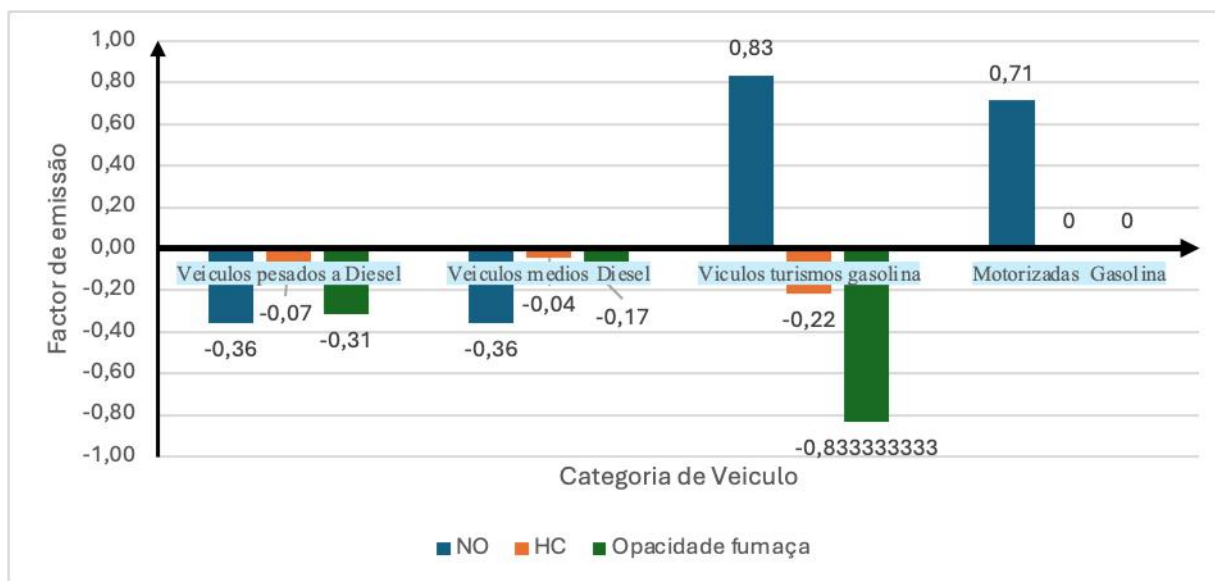
Por um lado, o metano tem uma vida atmosférica curta (20 anos) em comparação com o CO₂ (100 anos), mas por outro lado, o metano retém o calor em aproximadamente 28 vezes mais potente do que o CO₂. E que como gás de efeito estufa ao longo de um período de 100 anos. No entanto, se houver vazamento de metano, ele pode contribuir significativamente para o agravamento do efeito estufa, sendo cerca de 24 vezes mais potente que o CO₂. Por isso, o metano é responsável por grande parte do aquecimento atual, contribuindo entre 30% e 50% para o aumento das temperaturas global (ONU, 2024).

Segundo EY-Moçambique (2024), Moçambique está a fazer avanços na transição para uma economia de baixo carbono, o que é um fator importante para impulsionar o desenvolvimento sustentável e melhorar a qualidade de vida dos moçambicanos. Todavia, o panorama energético atual de Moçambique é marcado por uma dependência significativa de fontes de energia não renováveis. A transição para o GNV pode ajudar a reduzir essa dependência.

O Governo de Moçambique aprovou a Estratégia de Transição Energética (ETS), que prevê a descarbonização do sector dos transportes até 2030, através da introdução de veículos elétricos e a gás. Mais ainda, em Glasgow, Reino Unido, na Cimeira de Líderes da 26ª Sessão da Conferência dos Estados Parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, Moçambique defendeu uma transição energética para energias mais limpas e amigas do ambiente que fosse gradual e faseada de modo a minimizar o impacto no processo de desenvolvimento económico (INP, 2018). O gás natural é visto como uma energia de transição para fontes mais limpas.

Segundo o estudo realizado por Yasar et, al., (2013) que quantificou uma possível diminuição das emissões veiculares para diferentes tipos de veículos, a gasolina e a diesel convertidos em veículos a GNV, no qual foram monitorados cinco parâmetros: SO₂, CO, NO, hidrocarbonetos e opacidade da fumaça. Desse estudo obteve -se resultados que apresentados na Figura 15. Os resultados apresentam uma redução considerável de emissões veiculares na sua maioria.

Figura 15 - Fatores de emissões na transição de gasóleo, gasolina para gás natural.



Fonte: Adaptado de Yasar et al. (2013).

No Gráfico 15 é notável que as reduções nas emissões de gases de NO, HC e Opacidade de fumaça nos veículos a diesel nas categorias de pesado e, para turismos a gasolina houve uma redução de emissão de opacidade de fumaça, mais também houve aumento de emissões de NO assim como, nas motorizadas houve aumento significativo de emissões de NO.

O uso de gás natural veicular (GNV) como substituto aos combustíveis convencionais é uma tática eficaz para minimizar as emissões de poluentes dos veículos. O GNV, ao ser queimado, emite menos partículas finas, como PM2.5, e outros poluentes atmosféricos, comparado à gasolina ou ao diesel (Graça, 2020; Mera, 2023; Valuata, 2024). Se não forem implementadas de forma eficaz e oportuna, o cenário de poluição veicular em Maputo pode se agravar. É crucial que sejam adotadas políticas eficazes de controle de emissões veiculares e que se promova a utilização de combustíveis mais limpos para mitigar os impactos negativos na saúde pública e no meio ambiente

Adicionalmente, os automóveis que utilizam GNV tendem a ter uma eficiência energética maior, permitindo que percorram distâncias mais longas com a mesma quantidade de combustível. Isso não só diminui as emissões de poluentes, mas também pode gerar economia de custos a longo prazo. Os veículos-padrões a gasolina podem ser modificados por profissionais especializados para funcionar com GNV. Esses profissionais instalam um cilindro de gás no porta-malas e um sistema de injeção de LPG ou CNG. O Autogas ou LPG (gás de petróleo liquefeito) é o combustível alternativo mais comum disponível no mercado para carros a gasolina bicompostível, seguido pelo gás natural veicular (GNV), sendo este último amplamente utilizado na Europa.

Vários autores e pesquisadores defendem a substituição de gasolina e gasóleo por Gás Natural Veicular (GNV), argumentando que isso resulta em uma redução direta das emissões de diversos poluentes. Um artigo publicado no site da UDOP explora como o biocombustível, incluindo o gás natural, é um substituto promissor para os combustíveis derivados do petróleo, como a gasolina e o diesel (UDOP, 2021).

No estudo intitulado “Substituição de Combustíveis Fósseis por Etanol e Biodiesel no Brasil e Seus Impactos Econômicos: uma avaliação do Plano Nacional de Energia 2030”, os autores Jerónimo Alves dos Santos e Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho examinam os impactos econômicos e ambientais da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis (Santos e Filho, 2017).

A transição energética tem o potencial de atrair investimentos e promover o crescimento e o desenvolvimento

económico. O setor privado também está buscando um maior envolvimento no debate sobre a transição energética (Oeconómico, 2023).

Nesta discussão de transição energética no sector de transporte, mais pesquisas são necessárias para o fornecimento de dados concretos para tomada de decisão mais coerente sobre a necessidade de transição para GNV. Visto que há necessidade de infraestruturas especializadas para o manuseio do metano. Com isso, o setor acadêmico desempenha um papel crucial na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de energia e praticas limpas. Além disso, a academia pode ajudar a informar o público e os tomadores de decisão sobre a importância e os benefícios da transição energética.

Prognóstico da situação da Cidade de Maputo até 2030

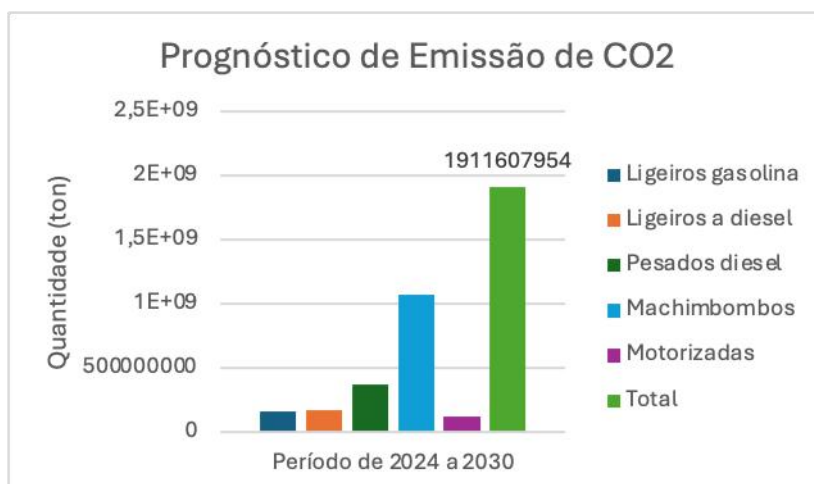
Em Maputo, cidade capital de Moçambique, a gestão das emissões de gases dos veículos é uma questão crucial. Existem várias estratégias e infraestruturas implementadas para abordar esta questão. A lembrar, um estudo realizado por Nhangal (2023), na região metropolitana de Maputo sugeriu várias abordagens para minimizar essas emissões, incluindo a inspeção regular dos veículos e a implementação de políticas económicas.

Por outro lado, foi publicado um perfil urbano de Maputo que analisa a mobilidade e o planeamento urbano, seguindo os princípios do desenvolvimento urbano sustentável. Uma avaliação das emissões de transporte em Maputo revelou que os autocarros são os principais contribuintes para o consumo de energia e consequentemente, as emissões de poluentes. Estas informações mostram que Maputo está ciente do problema das emissões de gases dos veículos e está a tomar medidas para controlar esta situação. No entanto, ainda há muito a ser feito para melhorar a situação.

Segundo o inventario realizado por Nhangal (2023), os valores quantificados de poluentes em toneladas para 2023 foram: 3.037 de CO, 12.559 de NOx, 345,109 de HC Totais, 7.534.203 de CO₂, 402 de MP e 402,53 de N₂O. Nestas quantidades, os veículos de ciclo Diesel apresentaram emissões mais significativas de poluentes atmosféricos, sobretudo de NOx, MP, CO₂ e N₂O, enquanto os veículos ciclo Otto tem elevadas emissões de HC Totais.

Cenário 1: Neste cenário considerou -se que o número de automóveis no horizonte temporal do prognóstico (de 2020 a 2030) não varia, isto é, o número veículos que aumentou é igual ao número de automóveis avariados retirados da circulação. Com base nos factores de emissão obtidos estimou -se quantidades de emissão até 2030 de acordo com agenda dos ODS das Nações Unidas. Os valores quantificados apenas para CO₂, são de 191,167,954 ton de CO₂, num horizonte temporal de 6 anos (Figura 16).

Figura 16 – Prognóstico de emissão de CO₂.



Fonte: Autores.

Do gráfico da Figura 16, pode -se confirmar que os Ônibus (Machimbombos) emitem mais CO₂ em todas categorias.

Cenário 2: Variação do numero de automóveis ao longo dos anos. Neste caso, com dados de veiculos do INATRO, estimou -se o aumento de automóveis na taxa média anual de 11% entre 2013 e 2020, e extrapolou -se com o mesmo aumento até 2030 (10 anos depois), assim o número de frota total em Moçambique será de 3,462,145.76 de automóveis, calculado na base da fórmula:

$$V = P \times (1 + r)^n \quad (03)$$

Onde:

- V é o valor final após o incremento
- P é o valor inicial (ou valor base)
- r é a taxa de incremento (em decimal)
- n é o número de períodos de incremento

Nesta situação, se cada automóvel emite 23g/km de CO₂, sendo único poluente. em tempo de vida de 5anos (dos quais 5 anos passou no país de fabrico até ser importado, e neste país vai emitir poluentes pelo menos mais 5 anos. Totalizando os 10 anos. No entanto, a estimativa de CO₂ que será emitido nestas condições pode ser calculado pela fórmula:

$$E = N_{frota} \times f_e \times p_{GWP} \times d_{ano} \times T_{vida} \quad (04)$$

Onde:

- E – Emissões totais
- f_e -- Fator de emissão;
- p_{GWP} – Fator do potencial global
- d_{ano} – actividade por ano
- T_{vida} é o número de períodos de incremento
- N_{frota} – Número de frota

Para este cenário as emissões são aproximadamente a 7,962,935.25 Ton. Este valor é inferior ao valor real, porque os outros GEE têm GWP maior do que o Carbono, o fator de emissão usado foi de motores a gasolina, sendo que os motores a diesel poluem mais como foi visto anteriormente. Mas o número calculado já mostra qual será contribuição veicular nos GEE.

Apesar da taxa absorção natural de emissões de CO₂ pelos oceanos, solos e florestas, na quantia de 9,5 a 11 Gt (Da Graça, 2020), essa absorção não pode compensar as emissões estimadas nos dois cenários acima apresentados, se considerar que outros GEE com maiores GWP não foram contabilizados nos cálculos. Essa situação coloca em alerta a necessidade de se tomar decisões urgentes para o controlo efetivo da poluição veicular que é apenas umas das fontes de GEE.

Qualidade de ar

No documento relacionado às Diretrizes de Qualidade Global do Ar (QGA), a Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2021) fornece uma atualização dos padrões anuais de QGA para PM_{2.5}, fixando-os em 5 µg/m³. O padrão de QGA de curto prazo de 100 µg/m³ permanece inalterado em relação à diretriz de qualidade do ar de curto prazo de 2005. O padrão anual de QGA estabelecido para o dióxido de nitrogênio é de 10 µg/m³. Além disso, o nível de QGA de 24 horas recomendado para o dióxido de nitrogênio é de 25 µg/m³. No caso do dióxido de enxofre, os níveis recomendados de QGA são de 40 µg/m³ para 24 horas e 10 µg/m³ para o padrão anual.

As Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) não estabelecem um limite específico para a concentração de dióxido de carbono (CO₂) em um período de 24 horas ou anual. Isso ocorre porque o CO₂, em níveis normais na atmosfera, não é considerado prejudicial à saúde humana. No entanto, em ambientes internos, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) sugere que a concentração de CO₂ deve ser mantida abaixo de 1000 ppm para evitar desconforto. Em ambientes externos, a concentração média de CO₂ é muito mais baixa, geralmente em torno de 400 ppm (APA 2021).

As diretrizes atualizadas da Organização Mundial da Saúde (OMS) para a qualidade do ar, têm como objetivo reduzir a exposição da população à poluição atmosférica e, conseqüentemente, diminuir o número de mortes prematuras relacionadas.

A OMS estima que a exposição à poluição do ar cause 7 milhões de mortes prematuras por ano. Se os países adotarem as novas diretrizes, a OMS estima que as mortes relacionadas às partículas PM 2.5, por exemplo, seriam reduzidas em quase 80% (Galileu, 2021). No entanto, a eficácia das diretrizes depende da implementação e adesão dos países a essas recomendações.

Contudo, é evidente que a implementação dessas diretrizes e a redução da poluição do ar podem variar significativamente de país para país, dependendo de uma série de fatores, incluindo políticas governamentais, infraestrutura, recursos e conscientização pública. Nesse contexto, Moçambique tem uma necessidade urgente de adotar as diretrizes de qualidade do ar com veemência, antes que seja tarde demais.

A transição energética requer a participação de todos os setores da sociedade. Desde o setor político, responsável pela tomada de decisões, ao setor privado, encarregado da implementação. A sociedade civil, como beneficiária, e as academias, responsáveis por pesquisas e propostas de soluções limpas e sustentáveis, também têm papéis fundamentais. Cada setor tem um papel único e crucial a desempenhar para garantir que a transição seja bem-sucedida e traga benefícios para todos os moçambicanos.

4. Conclusão

Este estudo aborda o impacto das emissões veiculares em Moçambique, com foco na cidade de Maputo. As descobertas indicam um risco iminente para a saúde humana devido à fraca estrutura de controle de poluição do ar e à crescente importação de veículos usados, que são isentos de taxas, apesar de suas altas emissões. Moçambique tem uma oportunidade única devido às suas grandes reservas de gás natural. No entanto, o uso de gás veicular requer infraestruturas e técnicas de manuseio cuidadosas para evitar o vazamento de metano, um gás de efeito estufa mais potente que o dióxido de carbono. A implementação das diretrizes globais de qualidade do ar é uma emergência nacional, dadas as mortes associadas à poluição do ar. É necessário criar espaço para uma transição energética eficaz no setor de transporte.

Estudos futuros são sugeridos para explorarem a eletrificação dos transportes como uma estratégia chave para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Isso pode ser alcançado através de mudanças diretas, como a proliferação de veículos elétricos, e indiretas, como a produção de "hidrogênio verde" como é apresentado no estudo de Nhambiu & Chichango (2024). No entanto, a transição energética no setor de transporte em Moçambique é um desafio complexo que requer uma abordagem multifacetada, incluindo a eletrificação dos transportes, o uso de gás veicular e a implementação de políticas públicas eficazes. Estudos futuros nesta área são essenciais para orientar as decisões e garantir uma transição energética eficaz e sustentável.

Agradecimentos

Os autores estão muito gratos ao Fundo de Desenvolvimento Institucional (FDI) de Moçambique, pelo financiamento do presente artigo e de projectos em curso na instituição.

Referências

- Aguiar, S. O., Araújo, R. S., Cavalcante, F. S. A., Bertoncini, B. V., Lima, R. K. C. & Oliveira, M. L. M. (2015) Avaliação das emissões de escapamento veicular em condições específicas do motor: partida e marcha-lenta. *TRANSPORTES* 23(3). 10.14295/transportes.v23i3.896.
- ALER & AMER. (2022). Briefing Renewables Energy in Mozambique. Retrieved May 12, 2024, from: <https://www.aler-renovaveis.org/en/activities/publications/other/briefing-renewables-in-mozambique>.
- Amerise A. (2022). Como a China conseguiu cortar pela metade a poluição do ar em 7 anos. Recuperado de <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-62053174> acessado em 1 de junho de 2014.
- APA [Agência Portuguesa do Ambiente]. (2021). Efeitos da Poluição do Ar. (2024, junho 23). Recuperado de (<https://apambiente.pt/ar-e-ruído/efeitos-da-poluicao-do-ar>).
- Barata, C. (2022). Parlamento europeu aprova classificação do gás natural e energia nuclear como sustentáveis. Recuperado de: <https://www.publico.pt/2022/07/06/azul/noticia/parlamento-europeu-aprova-classificacao-gas-natural-energia-nuclear-sustentaveis-2012679>, em 2 de julho de 2024.
- Barros, N., Fontes, T., & Brás, C. (2004) comparação das emissões de tráfego rodoviário por comparação dos factores de emissão. *BBC News Brasil*. (2024). Aquecimento global e ação humana: evidências claras. Recuperado de: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-59148373>.
- Bernardes, J. (2018). Software calcula emissões de poluentes por veículo, via e horário. Programa fornece estimativas dos poluentes emitidos por ano e modelo dos veículos, em cada trecho e horário. <https://jornal.usp.br/?p=161059>. A cessado em 21 de junho de 2024.
- Borsari, B. (2005a). Contribuição dos veículos motorizados para o efeito estufa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(2), 267-272.
- Cachola, C. S., Andrade, A. C. A. C., Lopes, L. S., dos Santos, E. M., & Peyerlo, D. (2022). O papel das políticas públicas na redução das emissões veiculares de gases de efeito estufa no estado de São Paulo. *Desenvolv. Meio Ambiente*, 59, 418-437. 10.5380/dma.v59i0.76639.
- Cancelli, D. M., & Dias, N. L. (2014). BRevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos. *Eng Sanit Ambient | Edição Especial*. 13-20 10.1590/S1413-41522014019010000284.
- Castro, C. F. C., & Strambi, O. (2008) Avaliação de emissões veiculares em corredores de ônibus: estudo antes e depois utilizando o modelo IVE. Anais do XXII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Fortaleza, Brasil. (PDF) ACESSO AEROPORTUÁRIO–ELEMENTOS BÁSICOS PARA UMA ANÁLISE. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228439228_ACESSO_AEROPORTUARIO- ELEMENTOS_BASICOS_PARA_UMA_ANALISE acessado em 20 de junho 2024.
- CCB [Centro Cerâmico Do Brasil]. (2024). Particulados e o Meio Ambiente: Impactos e Estratégias de Redução. *Semana do Meio Ambiente Blog*. Recuperado em 22 de Junho de 2024 de <https://www.ccb.org.br/pt/blog/431-particulados-o-que-sao-impactos-no-meio-ambiente-e-como-reduzi-los>.
- CETESB. (2021). Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) 2020 – 2022. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2021/01/PCPV-Plano-de-Controle-de-Poluicao-Veicular-do-Estado-de-Sao-Paulo-2020-2022.pdf>.
- Chichango, F. (2014). Análise de emissões de CO2 na produção e utilização do biodiesel de óleo de coco em maganja da costa -moçambique universidade de Brasília centro de desenvolvimento sustentável. *UnB.1(1).34*. DOI: 10.13140/RG.2.2.19169.72803.
- Chichango, F., & Cristóvão, L. (2021) Mozambique Solar Thermal Energy Technologies: Current Status and Future Trends31. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 11(5), 13-17. <https://doi.org/10.7176/JETP/11-5-024>.
- Chichango, F., & Cristóvão, L. (2024) Review of literature on methods and processes to produce bioethanol from banana peels for disinfection and sanitation of the environment in communities, central region of Mozambique. *Research, Society and Development*, 13(3), e12713344921. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i3.44921>.
- Chichango, F., Cristóvão, L., Nhambiu, J., Cumbe, F., Mavanga, G.G. (2024). Literature review of potential materials for the construction of an alternative flat plate solar collector. *Research, Society and Development*, 13(5), e0513545674. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i5.45674>.
- Chirrinzane, A. (2023). Moçambique: CTA recomenda prorrogação do prazo de introdução da mistura de biocombustíveis. Agência de Informação de Moçambique. Recuperado de: <https://aimnews.org/2023/11/29/mocambique-cta-recomenda-prorrogacao-do-prazo-de-introducao-da-mistura-de-biocombustiveis/>. Acessado em 30 de junho de 2024.
- COPERT (2024) Calculations of Emissions from Road Transport. <https://copert.emisia.com/>. Acessado em 12 de junho de 2024.
- COPERT (2024a) Computer model to calculate emissions from road traffic-europa.eu. <https://web.jrc.ec.europa.eu/policy-model-inventory/explore/models/model-copert/>. A cessado em 12 de junho de 2024.
- Cristóvão, L., Chichango, F., Massinga Jr, P., & Macanguisse, J. (2021). The Potential of Renewable Energy in Mozambique: An Overview. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 11(2), 30-37. <https://doi.org/10.7176/JETP/11-2-04>.
- Da Graça, P. D. P. (2020). Análise da viabilidade do uso de Gás Natural nos automóveis. Recuperado de https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/5214/1/MEAU%20Projet%20Pedro%20Gra%C3%A7a_27.07jul2020_com%20corre%C3%A7%C3%B5es%20finais.pdf, acessado em 20 de junho de 2024.
- De Toledo, G. I. F. M. & Nardocci, A. C. (2011). Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil Artigos Originais. *Rev. bras. epidemiol.* 14(3). 445-54. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2011000300009>.

- Drumm, F., Gerhardt, A., Fernandes, G., Chagas, P., Socolotti, M., & Kemerich, P. (2014). Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo e veículos automotores. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/viewFile/10537/pdf>. Acesso em: 17 junho 2024.
- Ecoquest (2023). PM 2,5 – O que são partículas finas e como elas impactam a sua saúde? Online <https://ecoquest.com.br/pm-25-o-que-sao-particulas-finas-e-como-elas-impactam-a-sua-saude/> acessado em 25 de junho de 2024.
- EEA [European Environment Agency]. (2016). Copert 4. EMISIA. <http://emisia.com/products/copert-4>. Acessado em 21 de Junho de 2024.
- Euro_Lex, (2022). Emissões dos veículos pesados (Euro VI): regras de certificação. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/summary/emissions-from-heavy-duty-vehicles-euro-vi-certification-rules.html> acessado em 22 de Junho de 2024.
- Freitas, E. D., Andrade, M. F., Espinosa, S. A. I., Nogueira, T., Squizzato, R., Martins, L. D., & Martins, J. A. (sd). QUALAMET: Modelagem do Impacto das Emissões Veiculares com diferentes combustíveis na qualidade do ar utilizando informações de medições ambientais e de inventários de emissões. Universidade de São Paulo; Cenpes-Petrobras; Universidade Tecnológica Federal do Paraná. <https://www.aea.org.br/premio/downloads/2021/-trabalhos/TB00034.pdf>. Acessado em 10 de Junho de 2024.
- Galileu. (2021). Poluição do ar mata 7 milhões de pessoas por ano, estima OMS. Recuperado de: <https://revistagalileu.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2021/09/>. Acessado em 2 de Julho de 2024.
- Gasogenio (2023) Emissões de CO2 por tipo de combustível. Recuperado de: <https://gasogenio.com/pt/blog/emissoes-de-co2-por-tipo-de-combustivel/> em 23 de Junho de 2024.
- Ge, M. Friedrich, J. & Vigna, L. (2020). 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors. Recuperado de: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>. Acessado em 28 de Junho de 2024. <https://news.un.org/pt/story/2024/02/1828107>. Acesso: 23 de junho de 2024.
- Ibama. (2021) Veículos comercializados a partir de 2022 emitirão menos poluentes. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2021/veiculos-comercializados-a-partir-de-2022-emitirao-menos-poluente>. Acessado em 25 de Junho de 2025.
- INP [Instituto Nacional de Petróleo]. (2018). Moçambique Defende Transição Energética Gradual Com Base no Gás Natural. Recuperado de <https://www.inp.gov.mz/pt/Noticias/>. Acessado em 10 de junho de 2024.
- IPCC [Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas]. (2024). Relatório Global do IPCC. Recuperado de: <https://brasil.un.org/pt-br/139401-aquecimento-global-atinge-n%C3%ADveis-sem-precedentes-e-dispara-alerta-vermelho-para-humanidade>.
- Jacodino G. B. (2005). Quantificação Das Emissões Veiculares Através Do Uso De Simuladores De Tráfego. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Porto Alegre. pp134. <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/GabrielBittencourtJacodino.pdf>.
- Lobato, M. F., Rodrigues, B. M. M., & Santos, A. G. dos. (2021). Impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões veiculares no Brasil no período de janeiro a maio de 2020. Eng Sanit Ambient, 26(5), 829-836. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200261>.
- Lopes, T.F.A; Policarpo, N.A., Vasconcelos, V.M.R., de Oliveira, M.L.M. (2018). Estimativa das emissões veiculares na região metropolitana de Fortaleza, CE, ano-base 2010 Eng Sanit Ambient | v.23 n.5 | set/out 2018 | 1013-1025. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018173312>.
- Macedo, E., Teixeira, J., Tafidis, P., Coelho, M. C., & Bandeira, J. M. (sd). Análise dos impactos ambientais do tráfego rodoviário em Portugal, Roménia, Espanha e Suécia. https://ria.ua.pt/bitstream/10773/23702/1/21.%20MAC_CIALP2018.pdf.
- Menezes, V. S. (2015). Impactos Ambientais do Transporte Rodoviário 1234. Retirado de <https://www.researchgate.net/publication/369261787>.
- Meque, R., Cristóvão, L. & Chichango, F. (2023). Socio-Environmental Impacts Caused by Tropical Cyclones Idai and Eloise in Sussundenga District, Mozambique. Research, Society and Development 12(14): e 72121440818. DOI: 10.33448/rsd-v12i14.40818.
- Mera, Z., Bieker, G., Rebouças, A. B., & Cieplinski A., (2023). Comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida de carros de passeio a combustão e elétricos no Brasil.
- Moura (2023). Partida a frio: o que é e qual a importância no inverno? Recuperado em: <https://www.moura.com.br/blog/partida-a-frio>. Acessado em 30 de Junho de 2024.
- Moura, C. (2021). Gás natural veicular evitou emissões de 10.000 toneladas de CO2 em 2020. Recuperado de: <https://www.turbo.pt/gas-natural-veicular-evitou-emissoes-de-10-000-toneladas-de-co2-em-2020/>. Acessado em 30 de Junho de 2024.
- Nhangal, D. A. (2023). Inventário de emissões veiculares na região Metropolitana de Maputo. Recuperado em: <http://monografias.uem.mz/jspui/handle/123456789/3539?mode=full>.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2000). COPERT III: Computer programme to calculate emissions from road transport. European Environment Agency.
- Oeconomico. (2023). Lançada Estratégia de Transição Energética 2023-2030. Recuperado de: <https://www.oeconomico.com/lancada-estrategia-de-transicao-energetica-2023-2030/>. Acessado em 3 de Julho de 2024.
- OMS [Organização Mundial da Saúde]. (2021). Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2021-2030. OMS lança Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2021-2030 | As Nações Unidas no Brasil. Acessado em 21 de Junho de 2024.
- ONU [Organização das Nações Unidas]. (2015). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>.

ONU [Organização das Nações Unidas]. (2024). Alterações climáticas: emissões de metano são 80 vezes mais responsáveis que o CO₂. Recuperado de: <https://unric.org/pt/alteracoes-climaticas-emissoes-de-metano-sao-80-vezes-mais-responsaveis-que-o-co2/>.

ONU [Organização das Nações Unidas]. (2024). Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente sobre regulação de veículos pesados usados. Recuperado de Estudo da ONU aponta que emissões de veículos pesados aumentaram em 30% | ONU News. Acessado em 20 de junho de 2024.

Pielecha, J., Merksiz, J., Kurtyka, K., & Skobiej, K. (2019). Cold start emissions of passenger cars with gasoline and diesel engines in Real Driving Emissions tests. *Combustion Engines.*, 179(4), 160-168. 10.19206/CE-2019-427.

Pielecha, J., Skobiej, K. & Kurtyka, K. (2021). Testing and evaluation of cold-start emissions from a gasoline engine in RDE test at two different ambient temperatures. *Open Engineering*, 11(1), 425-434. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0047>.

Portgás (2024) Equivalências energéticas. Recuperado de: <https://www.portgas.pt/profissionais/apoio/equivalencias-energeticas/>. Acessado em 2 de Julho de 2024.

Santos, J.A., Filho, J.B.S.F. (2017). Substituição de combustíveis fósseis por etanol e biodiesel no Brasil e seus impactos econômicos: Uma avaliação do plano nacional de energia 2030. *Pesquisa e planejamento econômico (ppe)*. 47(3). 185-216.

SIC Notícias. (2024). Metano, o outro gás com efeito de estufa tão mau ou pior que o CO₂. Recuperado de: <https://sicnoticias.pt/especiais/alteracoes-climaticas/2023-12-08-Metano-o-outro-gas-com-efeito-de-estufa-tao-mau-ou-pior-que-o-CO2-494a261a>.

SigaVerde (2024). Nós Movemos o Mundo de forma sustentável! Uma iniciativa para redução da emissão de carbono. <https://www.sigaverde.com/>. Acessado e, 5 de Junho de 2024.

Stinergy. (2024). Comparativo de Emissões: Diesel x Gás Natural. <https://stinergy.com.br/comparativo-de-emissoes-diesel-x-gas-natural/> Acessado em 30 de Junho de 2024.

TransportPolicy.net (2018). EXPLORE STANDARDS. A cessado no dia 20 de Junho de 2024 em <https://www.transportpolicy.net/>.

UDOP [União Nacional da Bioenergia], (2021). Biocombustível: entenda como o substituto dos combustíveis provenientes do petróleo, promete mudar o destino da humanidade. <https://udop.com.br/noticia/2021/10/21/biocombustivel-entenda-como-o-substituto-dos-combustiveis-provenientes-do-petroleo-como-o-gas-natural-a-gasolina-e-o-diesel-promete-mudar-o-destino-da-humanidade.html>. Acessado em 26 de Junho de 2024.

VALUATA (2024). Veicular (GNV). Recuperado em: <https://valuata.com.br/glossario/o-que-e-gas-natural-veicular-gnv/>. Acessado 30 de Junho de 2024.

Vicente, B; Rafael, S., Rodrigues, V., Teixeira, T., Bandeira, J., Coelho, M. C., Borrego, C. (2018). Análise comparativa da influência de diferentes modelos de emissões de tráfego rodoviário na qualidade do ar da cidade de Aveiro. https://ria.ua.pt/bitstream/10773/23713/1/24.%20CIALP_%40CRUISE.pdf.

Whitacker, G. M. (2019). Geopolítica dos recursos naturais estratégicos e questão agrária em Moçambique: a Vale S.A. e o extrativismo epidêmico. *Caderno de Geografia*, 29(2). 10.5752/P.2318-2962.2019v29n2p226-246.

WHO [World Health Organization]. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/345329>. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Yasar, A., Haider, R., Tabinda, A.B., Kausar, F., & Khan, M. (2013). A comparison of engine emissions from heavy, medium, and light vehicles for CNG, diesel, and gasoline fuels. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22.