

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS MORRINHOS

KALYSON DIEGO SOUZA MORAES

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

MORRINHOS – GO

2024

KALYSON DIEGO SOUZA MORAES

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Licenciatura em Química do
Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos
como requisito parcial à obtenção do grau de
Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Deomar Plácido da Costa

MORRINHOS – GO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

M827r Moraes, Kalyson Diego Souza.

Revisão bibliográfica sobre combustíveis renováveis. / Kalyson Diego Souza Moraes. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2024.

55 f. : il. color.

Orientador: Dr. Deomar Placido da Costa.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Licenciatura em Química, 2024.

1. Eficiência energética. 2. Automóveis - Consumo de combustível. 3. Veículos a motor - Frotas. I. Costa, Deomar Placido da. II. Instituto Federal Goiano. III. Título.

CDU 662.7

Fonte: Elaborado pela Bibliotecária-documentalista Morgana Guimarães, CRB1/2837

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 **KALYSON DIEGO SOUZA MORAES**
Data: 07/10/2024 20:25:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente
DEOMAR PLACIDO DA COSTA
Data: 08/10/2024 22:02:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 61/2024 - CCEG-MO/CEG-MO/DE-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos treze dias do mês de setembro de 2024, às 13:30 horas, na sala 01 do prédio da Química, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Deomar Plácido da Costa (orientador), Carla de Moura Martins (membra) e Alexandre Divino de Souza (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “Revisão bibliográfica sobre combustíveis renováveis” do discente Kalyson Diego Souza Moraes, matrícula nº 2020104221550066, do Curso de Licenciatura em Química do IF Goiano – Campus Morrinhos. A palavra foi concedida ao discente para a apresentação oral do seu TC. Em seguida, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do discente, com nota final igual a 9,1. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Me. Alexandre Divino de Souza

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Profa. Dra. Carla de Moura Martins

Membra

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Deomar Plácido da Costa

Orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Carla de Moura Martins, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/09/2024 12:36:09.
- Alexandre Divino de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/09/2024 15:08:45.
- Deomar Plácido da Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/09/2024 13:54:24.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 633666
Código de Autenticação: c870d319d8



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

Kalyson Diego Souza Moraes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciado em Química.

RESUMO

As discussões sobre a poluição do ar têm ganhado destaque mundial nas preocupações sobre o futuro da humanidade. Anualmente, conselhos ambientais se reúnem para construir novas propostas e metas para alcançar a redução da emissão de poluentes além de promoverem fontes renováveis de energia. Nestes conselhos, os veículos automotores, globalmente usados, têm significativa parcela nas emissões de gases do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO₂). Esses esforços refletem uma crescente conscientização quanto à prioridade de diminuir os impactos ambientais que são causados pelos transportes motorizados e também de promover um desenvolvimento sustentável no setor automotivo. Revisões bibliográficas contínuas são fundamentais para entender o progresso e também os resultados das pesquisas focadas nos combustíveis líquidos, eficiência energética e avanços dos combustíveis renováveis. Os objetivos deste trabalho foram realizar uma revisão bibliográfica acerca dos combustíveis líquidos renováveis e os avanços destes com relação a defesa do meio ambiente, verificar o quantitativo de pesquisas relacionados ao tema na plataforma Science Direct no período de 2019 à 2023, além de fazer uma prospecção sobre os promissores combustíveis renováveis levantando pontos positivos e negativos dos possíveis candidatos à combustíveis renováveis de forma qualitativa. Os resultados mostraram que o continente asiático foi o continente com maior representatividade em número de artigos, com destaque da Índia que somou 21 artigos. Embora tenham sido revisados diversos artigos com proposta de novos combustíveis, muitos ainda eram misturas de combustíveis, sendo por exemplo um novo tipo de combustível produzido que fosse adicionado ao diesel ou gasolina. Foi observado que 16% dos artigos analisados trataram de combustíveis focados na reutilização de material residual, seja esse industrial ou doméstico. Esse sim poderia abarcar toda a cadeia ecológica que está em pauta na atualidade, já que o lixo residual é um problema em todas as escalas, seja ambiental no descarte incorreto, seja no econômico em razão do custo do tratamento, seja sanitário por conta de tratamento inadequado. Outrossim é que a grande maioria dos combustíveis estudados envolveram mistura de biocombustíveis com matéria prima vegetal e outros quatro artigos trataram de estudar os efeitos de aditivos que foram combinados ou com novos combustíveis sugeridos obtidos de fontes renováveis ou também nos combustíveis fósseis comumente utilizados.

Palavras-chave: Combustível renovável. Automotivo. Eficiência energética. Emissão.

ABSTRACT

Discussions about air pollution have gained worldwide prominence among concerns about the future of humanity. Annually, environmental councils meet to build new proposals and set goals to reduce pollutant emissions, in addition to promoting renewable energy sources. In these councils, motor vehicles, widely used globally, have a significant share in greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide (CO₂). These efforts reflect growing awareness of the priority to reduce the environmental impacts caused by motorized transportation and to promote sustainable development in the automotive sector. Continuous literature reviews are essential to understand the progress and outcomes of research focused on liquid fuels, energy efficiency, and advances in renewable fuels. The objectives of this work were to conduct a literature review on renewable liquid fuels and their advances concerning environmental protection, to verify the number of research studies on the subject in the Science Direct platform from 2019 to 2023, as well as to conduct a prospective analysis on promising renewable fuels by qualitatively assessing the positive and negative points of potential renewable fuel candidates. The results showed that Asia was the continent with the highest representation in terms of the number of articles, with India standing out, contributing 21 articles. Although various articles proposing new fuels were reviewed, many were still fuel blends, such as a new type of fuel being added to diesel or gasoline. It was observed that 16% of the analyzed articles dealt with fuels focused on the reuse of waste materials, whether industrial or domestic. This could indeed encompass the entire ecological chain currently under discussion, as residual waste is a problem on all scales, whether environmental due to improper disposal, economic due to the cost of treatment, or sanitary because of inadequate treatment. Furthermore, the vast majority of the fuels studied involved blending biofuels with plant-based raw materials, and four other articles focused on studying the effects of additives combined either with newly suggested fuels derived from renewable sources or with commonly used fossil fuels.

Keywords: Renewable fuel. Automotive. Energy efficiency. Emission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos combustíveis segundo a fase e modo de obtenção.....	10
Figura 2: Esquema de uma unidade de destilação	12

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Artigos selecionados do ano de 2019 da base Science direct.....	22
Quadro 2: Artigos selecionados do ano de 2020 da base Science direct.....	27
Quadro 3: Artigos selecionados do ano de 2021 da base Science direct.....	31
Quadro 4: Artigos selecionados do ano de 2022 da base Science direct.....	36
Quadro 5: Artigos selecionados do ano de 2023 da base Science direct.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado da busca pelas palavras chaves.....	18
Gráfico 2: Artigos x Continente	43
Gráfico 3: Tipos de combustível estudado	44
Gráfico 4: Principais resultados x Quantidade	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
B100	Diesel puro
Bar	Unidade de pressão
CHP	Combined Heat and Power
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBu10	Mistura butanol/diesel 10:90
DBu15	Mistura butanol/diesel 15:85
DBu5	Mistura butanol/diesel 5:95
DEE	Éter dietílico
DTBP	Peróxido de di-terc-butila
E15	Mistura de 85% gasolina e 15% etanol denominada E15
E20	Volume de 20% de etanol e 80% de mistura de gasolina
E85	Mistura de etanol 85% e decane
ES20	20% de solução de etanol adicionado de borohidreto de sódio e 80% de gasolina

ETBE	Éter etílico terc-butílico fóssil
G100	Gasolina pura
GNC	Gás natural comprimido
GTL	Combustível gás-líquido
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
HC	Hidrocarbonetos
HVO	Óleo Vegetal Hidrotratado
J50D10Bu	Mistura de 50% em volume de biodiesel de jojoba, 40% de diesel e 10% de n-butanol
JB20	Mistura de <i>Jatropha curcas</i> de 20% em volume
JB40	Mistura de <i>Jatropha curcas</i> de 40% em volume
JB60	Mistura de <i>Jatropha curcas</i> de 60% em volume
KOH	Hidróxido de potássio
MOB20	Mistura de <i>Moringa oleifera</i> de 20% em volume
MOB40	Mistura de <i>Moringa oleifera</i> de 40% em volume
MOB60	Mistura de <i>Moringa oleifera</i> de 60% em volume
MOME	Mistura de éster metílico de óleo de Mahua
NEDC	Novo Ciclo Europeu de Condução
Neste MY	Diesel renovável finlandês
NO _x	Óxidos de nitrogênio
PAHs	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
PODE	Éster polioximetilenodimetílicos
ppm	Partes por milhão
PROCONVE	Programa de controle de emissões veiculares
RD10	Mistura de diesel com 10% de óleo de palma
RD30	Mistura de diesel com 30% de óleo de palma
RME	Biodiesel derivado de óleo de colza
TGME	Éter monometílico de trietilenoglicol
TiO ₂	Óxido de titânio
v/v	Volume/volume
WLTC	Ciclo mundial harmonizado de testes de veículos rápidos
ZnO	Óxido de zinco
ZnO	Óxido de zinco

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	Objetivo geral	8
1.2	Objetivos específicos	8
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Combustíveis	9
2.2	Petróleo	11
2.3	Gasolina	13
2.4	Etanol.....	13
2.5	Diesel	15
2.6	Biodiesel	15
3.	METODOLOGIA.....	17
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
4.1	Ano de 2019.....	18
4.2	Ano de 2020.....	23
4.3	Ano de 2021.....	28
4.4	Ano de 2022.....	32
4.5	Ano de 2023.....	38
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Temas acerca da poluição do ar têm sido abordados amplamente nas discussões sobre o futuro da humanidade. Novas propostas e novas metas são lançadas ano a ano visando a diminuição da emissão de poluentes e também colaborações quanto à busca de novas fontes ditas limpas. Entretanto essa mudança não ocorre do dia para noite. Os veículos automotores são amplamente usados no mundo todo, e colaboram para a emissão de gases do efeito estufa que desencadeiam uma série de processos que são direcionados ao bem estar da humanidade.

O principal gás do efeito estufa é o dióxido de carbono, CO₂, e é um dos produtos da queima de combustíveis fósseis que movem esses motores à combustão, estando também presente em diversos setores industriais (Araújo; Oliveira, 2020).

No Brasil, o Programa de controle de emissões veiculares (PROCONVE) que está dentro da pasta do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) tem o objetivo de reduzir níveis de emissão de poluentes, proporcionar programas de inspeção veicular e trabalhar para a melhoria do meio ambiente no âmbito dos veículos (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2022).

Para se alcançar os objetivos do PROCONVE foram estabelecidos alguns padrões de emissões para todos os tipos de veículos comercializados em território brasileiro, onde esses são divididos em veículos leves, de sigla L, e veículos pesados, sigla P. O PROCONVE passou por várias fases durante a atualização da indústria automobilística brasileira, e no ano de 2022 o Conama instituiu a nova fase do PROCONVE, a PROCONVE L7 e P8. Essas novas fases instituídas trouxeram avanços e também novas tecnologias no que diz respeito a emissão de poluentes, proporcionando a redução da formação dos compostos de oxidação na atmosfera dos grandes centros urbanos, sobretudo o gás ozônio, O₃ (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, [s. d.]).

Além dessas leis de emissões, é possível observar que no Brasil o programa PROÁLCOOL foi um programa que teve um grande papel para a redução da produção de gases de efeito estufa. Esse programa, além das propostas ambientais, foi desenvolvido para que se evitasse a grande dependência de outros países exportadores de petróleo. No período de implantação do programa, 1975 a 2000, a produção de veículos movidos a álcool alcançou a incrível marca de cerca de 5,6 milhões de veículos. Além disso, este mesmo programa proporcionou o acréscimo de uma porcentagem de até 25% de etanol na gasolina (BIODIESELBR, 2006).

Contudo, as buscas por novas fontes energéticas para veículos automotores têm se tornado maiores num contexto global, juntamente com a eficiência energética e processos catalíticos e químicos para um melhor aproveitamento e rendimento dos combustíveis. Assim, a revisão bibliográfica acerca dos mais diversos conteúdos já produzidos sobre combustível líquido é importante para que se saiba como andam as pesquisas feitas e quais estão sendo os resultados apresentados quanto à eficiência energética dos combustíveis e também sobre os aspectos químicos que são aperfeiçoados. Além do mais, essa pesquisa é uma das formas de se identificar as tendências e também as inovações sobre combustíveis líquidos assim como possibilitar uma visão mais ampla sobre as lacunas que ainda existem nessa linha de pesquisa servido de proposta à novas pesquisas que visem alcançar tanto o desenvolvimento dessas novos combustíveis renováveis quanto à pesquisas políticas, econômicas e ambientais desse assunto.

1.1 Objetivo geral

- Fazer uma prospecção sobre os promissores combustíveis renováveis, qualitativamente e quantitativamente.

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar, qualitativamente, os possíveis candidatos a combustíveis renováveis para a nova matriz energética.
- Verificar na base de dados plataforma Science Direct o quantitativo de pesquisa sobre o tema, dos últimos 5 anos, a partir de palavras chaves previamente definidas.
- Avaliar de forma qualitativa quais as vantagens e as desvantagens do uso dos combustíveis propostos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico tratará sobre os combustíveis utilizados em automotores à combustão, além dos aspectos químicos referentes à cada um dos tipos de combustíveis apresentados.

2.1 Combustíveis

O combustível é toda substância natural ou derivada do natural, tanto no estado sólido, líquido ou gasoso que, combinado com oxigênio, produz uma reação química com liberação de energia (Lagemann, 2016). São usados combustíveis nos 3 estados físicos, o sólido como por exemplo o carvão, o gás como o hidrogênio e também líquido como a gasolina, diesel, etanol etc. Os combustíveis podem ser classificados quanto a sua origem, fóssil ou vegetal. Os combustíveis de origem fóssil são chamados também de combustíveis não renováveis já que eles derivam de restos de animais e matéria orgânica e não podem ser repostos em um tempo humanamente hábil. Já os combustíveis de origem vegetal são chamados de combustíveis renováveis pois sua matéria prima, vegetal ou animal, pode ser reposta em um período de tempo menor, eles também são chamados de biocombustíveis (Da Silva *et al.*, 2022). Esses biocombustíveis por sua vez liberam quantidades de carbono significativamente menores em seus ciclos de vida em comparação com os combustíveis fósseis (Macedo, 2018).

A Figura 1 é um diagrama que apresenta uma relação de combustíveis quanto a sua fase, tipos de combustível e também modo de obtenção:

Figura 1: Classificação dos combustíveis segundo a fase e modo de obtenção

COMBUSTÍVEIS	Sólidos	Naturais	Madeira	Lenha Serragem Cavacos Nó de pinho	Resíduos de Fabricação e de extração
			Turfa		
			Linhito		
			Antracito		
	Artificiais		Hulha		Combustíveis coloidais (mistura de moinha car- vão e óleos combustíveis)
			Carvão vegetal		
			Coque de carvão		
			Coque de petróleo		
	Líquidos	Naturais	Briquetes		
			Petróleos		
		Artificiais	Óleo de xisto		
			Derivados do petróleo		
Gaseosos	Naturais		Alcatrão		Gases naturais-Metano
			Álcool		
	Artificiais				
			Hidrogênio		Hidrogênio Butano e Propano (gases de petróleo liquefeitos) Gás de iluminação (gás de rua) Gás de coqueria (usinas siderúrgicas) Gás de óleo - Gás de nafta Gás de gasogênio (gás pobre) Gás de alto forno Gás de água (gás azul)

Fonte 1: (Pagliuso, 1984)

Os combustíveis líquidos, alvo deste trabalho, são os mais comuns e amplamente usados na sociedade e são aqueles compostos principalmente de hidrocarbonetos os quais, a depender do tipo, influenciarão na forma e acontecimento da combustão.

No Brasil fica sob a responsabilidade da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a regulação, contratação e fiscalização das atividades econômicas ligadas a indústria do petróleo, gás natural e dos biocombustíveis. Faz parte do papel dessa administração a regulação da produção de diversos combustíveis, armazenamento, distribuição

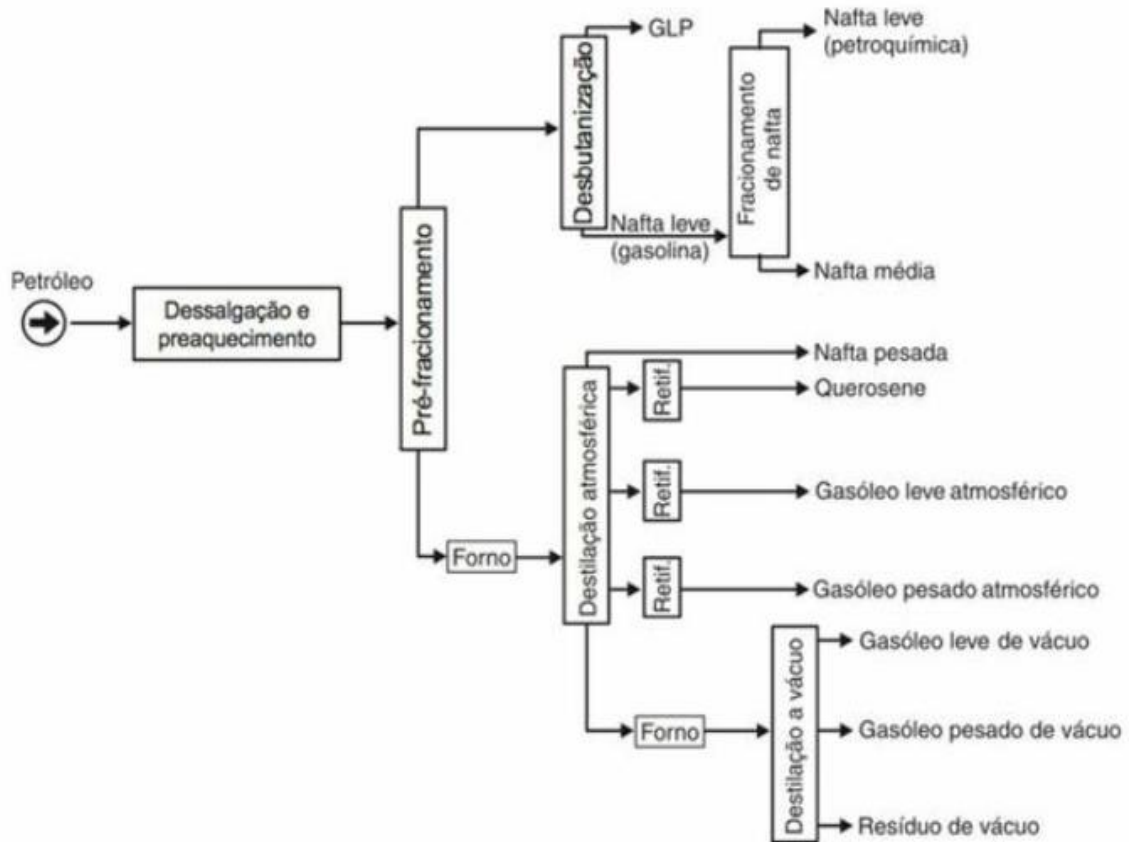
e revenda dos combustíveis, além do monitoramento da qualidade de combustíveis e da precificação (Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis, 2020).

2.2 Petróleo

O petróleo é uma mistura densa de hidrocarbonetos sendo encontrado em diversas reservas geológicas, seja em profundidades marítimas ou também de solos. Ele é encontrado em estados sólido, líquido ou gasoso, onde cada um desses tem a sua finalidade específica. Em 2023 os cinco maiores produtores de petróleo foram os Estados Unidos, Arábia Saudita, Rússia, Canadá e Iraque que ficaram responsáveis pela metade da produção mundial de petróleo. O Brasil, nesse mesmo ano, ocupou a 8ª posição (Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2023). A Petrobras, Petróleo Brasileiro S.A., obteve em 2011 o recorde de empresa que mais faturou na América Latina no ramo de petróleo. Ela utiliza alta tecnologia nas suas operações de exploração e também nas produções em águas abertas, sendo campeã da planta de produção de petróleo cru mais profunda do mundo. E desde então, descobriu duas grandes bacias de petróleo, a Bacia de Santos e a Carioca (Miguel; James, 2012).

O petróleo passa por um processo de refinamento dando origem a alguns produtos, como gasolina, gás natural, parafina entre outros. Esse processo é realizado por uma refinaria, que tem seu esquema simplificado abaixo na Figura 2:

Figura 2: Esquema de uma unidade de destilação



Fonte 2: (Farah, 2013)

No Brasil, a maior parte dos campos de extração está em plataformas marítimas entre os estados do Espírito Santo e Santa Catarina, de modo que a maioria das reservas nacionais de petróleo é do tipo pesado, ou seja, formado em grande parte por hidrocarbonetos insaturados e aromáticos. O processo de refino do petróleo varia conforme o tipo de óleo extraído, já que sua composição varia conforme as condições geológicas existentes no momento da sua formação. A forma mais comum de classificar o petróleo é quanto à sua densidade. É classificado como leve quando o petróleo apresenta menor quantidade de compostos parafínicos com densidade que varia de 0,708 a 0,825 e classificado como pesado quando é formado em sua maioria por hidrocarbonetos insaturados e aromáticos com densidade entre 0,876 a 0,934. No Brasil, com exceção do pré-sal, as reservas de petróleo são em sua maioria constituídas de óleo pesado de elevada viscosidade e acidez total (Godoi, 2022).

A maior fonte de economia do petróleo está nos seus derivados, por isso, o petróleo é também chamado de ouro negro, já que o óleo bruto tem pouco valor agregado e assim é necessário o refino para a produção de combustíveis e também diversos insumos que possuem uma gama infinita de aplicações (Godoi, 2022).

2.3 Gasolina

A gasolina é um combustível destinado ao uso em motores de veículos quatro tempos, ciclo Otto, produzindo, após a combustão, energia mecânica. Ela é um dos produtos do processo de refinamento do petróleo, sendo composta de uma mistura de hidrocarbonetos sendo eles: alcanos, cicloalcanos, hidrocarbonetos aromáticos, alcenos, compostos sulfurados, nitrogenados e também oxigenados, os quais interferem positivamente ou negativamente na qualidade da gasolina. A mistura do etanol à gasolina foi instituída devido às características de octanagem dos alcoóis fazendo assim, a substituição do chumbo tetraetila que é prejudicial à saúde (Godoi, 2022).

Num processo de combustão normal, a mistura de gasolina e ar deve sofrer uma queima uniforme e suave em cada cilindro do motor após acontecer a ignição. Essa queima pode não ocorrer de maneira uniforme devido a presença de parafinas e também naftenos que possuem uma octanagem menor. Entretanto, o desempenho da gasolina é determinado por alguns fatores como a volatilidade, qualidade de combustão e também a estabilidade. O fator da volatilidade diz respeito aos diferentes compostos da gasolina que são formados majoritariamente de hidrocarbonetos que vão de 4 até 12 carbonos, além da presença de compostos sulfurados, nitrogenados e também metálicos, esse último em menor quantidade. Álcoois e éteres também são adicionados para favorecer aspectos de antidetonagem e também octanagem (Godoi, 2022).

No Brasil existem 4 tipos de gasolina disponíveis para a comercialização. A gasolina A é aquela produzida nas refinarias e centrais petroquímicas ou formuladores, e diz respeito a gasolina que não contém na sua composição etanol anidro. Essa gasolina é vendida para os distribuidores de combustível que fazem a adição de etanol anidro em proporção estabelecida e esta gasolina passa a ser classificada como tipo C. Dentro desses dois tipos de gasolina, existem ainda as terminações premium e comum. A premium é gasolina que possui as propriedades de octanagem superiores às da gasolina do tipo comum. Vale destacar aqui que a gasolina aditivada não deve ser confundida com gasolina premium. A gasolina aditivada nada mais é do que a gasolina do tipo C que pode ser premium ou comum com um acréscimo de detergente ou dispersante que servem para manter o motor limpo e minimizar a formação de depósitos (Agência Nacional do Petróleo, 2020).

2.4 Etanol

O etanol utilizado é composto de dois carbonos, cinco hidrogênios e uma hidroxila, sendo a fórmula molecular C_2H_5OH . Ele é produzido através do processo de fermentação de

açúcares encontrados em produtos naturais como milho, beterraba e cana de açúcar. Esses processos de fermentação e fabricação do etanol são realizados desde os tempos antigos, mas ainda hoje, boa parte ainda é feita pelo processo de fermentação (Bastos, 2007). No Brasil existe uma lei que regulamenta a adição de até 27,5% de etanol anidro na gasolina de acordo com o decreto 10.940/2022. Essas misturas de gasolina e etanol são utilizadas em veículos fabricados para funcionar com gasolina, contudo, carecem de algumas modificações no motor, como o aumento na taxa de compressão, atraso do ponto de ignição, utilização de velas com maior capacidade de dissipar o calor entre outras modificações (Lora; Venturini, 2012). Essas modificações, por sua vez, não são bem executadas para que os motores possam usar esse combustível e aliado à grande incidência de adulteração de combustíveis, esses motores passam a apresentar problemas precoces.

O etanol tem algumas desvantagens se comparado à gasolina, como, por exemplo um menor poder calorífico, ou seja, o etanol libera menos energia por unidade de massa se comparado à gasolina, o que provoca o aumento do consumo específico. Entretanto, com a sua octanagem maior, ele pode gerar um aumento de potência, quando o motor trabalha com taxa de compressão mais alta (Lora; Venturini, 2012).

No Brasil, a maior fonte de produção do etanol é proveniente da cana de açúcar, mas, ele pode ser produzido a partir de beterraba, sorgo açucarado, milho, cevada, malte, trigo, aveia, centeio, arroz, batata, batata-doce e raiz de girassol. Essas variantes na produção de etanol são relevantes em diferentes países a depender da região, clima e economia. Dentre os principais países produtores de etanol, a Índia, Brasil e China usam como matéria prima a cana de açúcar, já os Estados Unidos, o milho, assim como a China, e a União Europeia tem sua produção mais diversificada, usando beterraba açucareira, sorgo e trigo (Lora; Venturini, 2012).

Vale ainda destacar as rotas tecnológicas de produção do etanol. Essas diferenças são relacionadas as suas etapas de obtenção. O etanol de primeira geração necessita apenas da hidrólise e fermentação, já o de segunda geração, apresenta, além dessas fases, a fase de pré-tratamento e a fase de purificação. No etanol de segunda geração, são necessárias essas duas fases a mais devido a sua produção a partir do bagaço da cana de açúcar, e essa produção se torna ambientalmente interessante e favorável visto que o bagaço é normalmente descartado,

mas no de segunda geração ele é reaproveitado (Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto, 2020).

2.5 Diesel

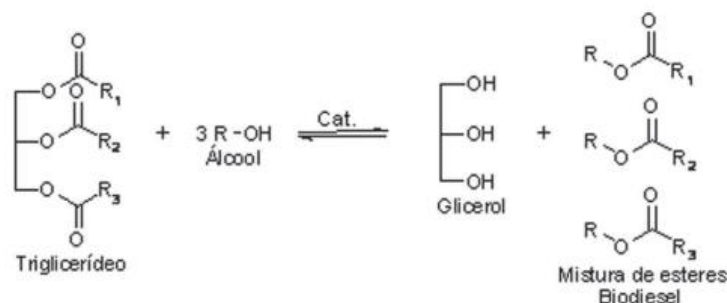
O óleo diesel ou diesel é um combustível que é composto somente de carbono e hidrogênio, ou seja, um hidrocarboneto. Entretanto, é acrescido de enxofre, nitrogênio e oxigênio em concentrações baixas. Esse combustível é utilizado em alguns motores de combustão interna como por exemplo os motores de compressão que funcionam no ciclo diesel, que são muito comuns em motores grandes como os de caminhões, locomotivas, barcos e maquinários agrícolas (Lagemann, 2016).

O diesel é uma mistura de vários produtos obtidos nas unidades de destilação, como querosene, diesel leve e pesado, nafta pesada entre outros produtos. No Brasil, existem quatro tipos de diesel produzidos nas refinarias, sendo eles diesel S1800, S500, S50 e S10, que são classificados de acordo com seu teor de enxofre, sendo 1800, 500, 50 e 10ppm, respectivamente. Além desta classificação, existe outra que diz respeito ao tipo de processamento, onde o tipo A provem do processamento de petróleo e de gás natural e o B onde se acrescenta o biodiesel em teores estabelecidos. No Brasil, o diesel usado como combustível automotivo é o mesmo usado como combustível industrial, contudo o uso automotivo tem diversas especificações para que esse produza um bom desempenho nos motores (Garcia, 2013).

2.6 Biodiesel

O biodiesel é um substituto do diesel comum sendo caracterizado por ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos que são obtidos a partir de uma reação de transesterificação. Essa reação acontece com os triglicerídeos que estão presentes em gorduras animais ou óleos vegetais, como por exemplo o óleo de soja ou o de palma, juntamente com álcool usando catalisador básico para efetuar a reação exemplificada na Figura 3. Durante a reação, o álcool quebra as ligações entre o glicerol e os ácidos graxos formando três moléculas de ésteres.

Figura 3: Reação de transesterificação de triglicerídeos com álcool



Fonte : (Santos; Pinto, 2009)

Portanto, ele é um combustível de fonte renovável e limpa pois não contém em sua estrutura compostos aromáticos e sulfurados que são responsáveis pela formação de chuvas ácidas. Uma das vantagens do biodiesel frente ao diesel é a menor produção de material particulado na combustão e também a redução do dióxido de carbono devido ao ciclo de produção desse combustível (Santos; Pinto, 2009).

O diesel puro é denominado de B100, contudo, geralmente ele é misturado ao diesel comum. Por definição, o biodiesel se torna um substituto do diesel de petróleo, sendo produzido de fontes renováveis. A grande compatibilidade do biodiesel com o diesel comum o torna uma alternativa capaz de suprir grande parte de veículos a diesel já existentes no mercado sem que haja qualquer investimento ou desenvolvimento nos motores (Ramos et al., 2003 apud Gallo, 2003). Contudo, após o crescente percentual de biodiesel presente no diesel brasileiro, existem diversos relatos de mau funcionamento dos motores diesel que já estão em rodagem. A mistura com biodiesel favorece a oxidação do combustível, diminuindo a sua qualidade e produzindo compostos indesejáveis (Samora, 2021). Ambientalmente, a substituição do diesel pelo biodiesel, mesmo que em proporções pequenas, já promove uma redução significativa do padrão de emissões de matérias particulados, onde a longo prazo, proporções maiores serão eficazes no declínio dos casos de problemas de saúde relacionados a poluição do ar. Outrossim é a eficiência do motor que passa a produzir menores níveis de ruídos e também melhora a eficiência da combustão (Ramos et al., 2003 apud Gallo, 2003).

3. METODOLOGIA

A metodologia escolhida para a realização desse projeto de pesquisa é a de revisão bibliográfica com análise quantitativa, o que permite analisar a tendência dos artigos estudados, e temática dos resultados a partir de palavras chaves previamente definidas. A metodologia de análise temática consiste em uma análise qualitativa de dados para identificar, analisar, interpretar e relatar padrões a partir de dados qualitativos. Essa metodologia é bem parecida com os procedimentos que são usados corriqueiramente em uma análise qualitativa, então o pesquisador, neste caso, desenvolvedor do projeto, procura dados, padrões e possíveis questões que são de interesse à pesquisa, culminando com um relatório dos temas e de dados (Souza, 2019).

Ainda nessa mesma perspectiva, a análise temática é dividida em 6 fases, as quais podem ser separadas em: Familiarização com dados; geração de códigos iniciais; busca de temas; definir e nomear temas e por fim, produzir o relatório. E, acrescida à essas fases, definição de palavras chaves, mapeamento e quantificação dos temas já pesquisados sobre o assunto. É possível observar que esse tipo de análise é bastante transversal em muitos temas, o que conduz a uma pesquisa ampla e bastante flexível (Souza, 2019).

Esse trabalho se objetivou em pesquisar diversos artigos que tratavam do tema nos últimos 5 anos, sendo assim, foram escolhidos 50 artigos de pesquisa, que foram divididos em 10 artigos por ano. A base usada na seleção desses artigos foi a Science Direct, onde foram buscados os artigos usando as palavras chaves: *renewable* (renovável), *source* (fonte), *engine* (motor), *alternative* (alternativo) e *fuel* (combustível). Para a pesquisa dessas 5 palavras chaves foi usado o conector de pesquisa 'AND'. Além das palavras chaves, foram utilizados outros filtros, sendo o tipo de artigo definido como *Research Article* (Artigo de Pesquisa), e dentro das áreas temáticas foram marcadas as opções *Energy* (Energia), *Environmental Science* (Ciência Ambiental), *Engineering* (Engenharia), *Chemical Engineering* (Engenharia Química), *Chemistry* (Química). Os 10 artigos escolhidos são os 10 primeiros organizados pela plataforma em ordem de relevância. Vale ressaltar que todos os artigos selecionados foram de língua inglesa.

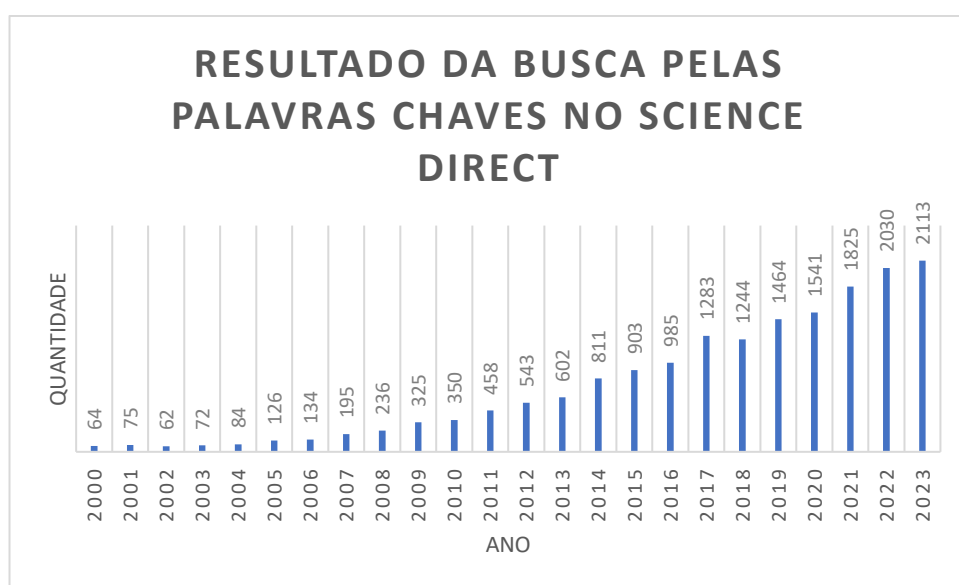
Além dos filtros utilizados, uma pré-seleção dos artigos foi feita, descartando artigos que estivessem voltados para trabalhos aeronáuticos, naval e também elétricos, sendo escolhidos apenas os 10 primeiros, em ordem de relevância, que estivessem tratando de veículos automotores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da metodologia de pesquisa adotada neste trabalho, essa seção apresenta um breve resumo dos artigos estudados bem como mostra de forma sistemática os principais resultados de cada artigo.

O Gráfico 1 apresenta o quantitativo de artigos que foram publicados na base Science Direct que estão dentro dos filtros e palavras chaves escolhidas, mostrando um panorama geral.

Gráfico 1: Resultado da busca pelas palavras chaves



Fonte: Autoria Própria

Observando o gráfico foi possível inferir que a partir do ano de 2010 houve um aumento bastante elevado na produção dos artigos que tratassem do assunto buscado, mostrando assim uma grande preocupação pela busca de novas fontes renováveis de combustíveis e uma maior preocupação ambiental e social voltada a exploração e também consumo do petróleo e seus derivados combustíveis.

4.1 Ano de 2019

Dos artigos selecionados no ano de 2019, obteve-se os seguintes trabalhos e resultados.

No trabalho de Cadrazco, Santamaría e Agudelo, (2019) foram avaliados a reatividade de oxidação, nanoestrutura, morfologia e composição química do material particulado produzido após a combustão do diesel renovável de óleo de palma em um motor diesel automotivo. Neste estudo, foram avaliados o diesel de ultrabaixo teor de enxofre e as misturas do diesel renovável com o diesel comum, sendo denotadas RD10 e RD30 para os valores de

10% e 30% de óleo de palma no diesel, respectivamente. Perceberam que a fuligem apresentada pelo motor quando usando o diesel padrão apresentava-se em maior quantidade em comparação com as misturas, o que pode estar associado ao fato de que o diesel renovável poderia reduzir a diluição do óleo do motor por conta do ponto de ebulição final mais baixo. Na combustão das misturas observou-se um aumento da temperatura dos gases de escape devido ao alto número de cetano o que também explica a menor radiação de fuligem, resultados que indicam aspectos positivos no desempenho dos filtros de partículas diesel.

Yusri et al. (2019) por sua vez investigaram de forma experimental os efeitos das características das propriedades do combustível no motor nas características de combustão e nas emissões de escape, onde um motor diesel foi testado em proporções percentuais de volume butanol/diesel de 5:95, 10:90 e 15:85 denotados DBu5, DBu10 e DBu15 respectivamente. Observaram que os combustíveis em mistura produzem menor potência em comparação com o diesel puro, D100, ressaltando que misturas de butanol/diesel em proporções mais baixas podem recuperar uma potência positiva do motor. Quanto às emissões, relataram que Óxidos de nitrogênio (NOx) foram produzidos durante a combustão, contudo, diminuíram as emissões de monóxido de carbono (CO) para todas as misturas, já que o butanol, rico em oxigênio com base no peso molecular do butanol aumentou a eficiência da combustão, produzindo uma combustão mais completa, o que também explica a diminuição dos hidrocarbonetos não queimados (HC).

O'Connell et al. (2019) investigaram o desempenho, o comportamento da combustão e as emissões do escape de um motor tipo Calor e energia combinados (CHP) bicombustível que operou com biometano como combustível principal e mistura de 50% de diesel e 50% de éster polioximetilenodimetílicos (PODE). O PODE é um combustível com maior volatilidade e inflamabilidade se comparado ao diesel. Com um maior valor de cetano, a combustão mais rápida e mais quente aumentou os níveis de NOx, entretanto hidrocarbonetos não queimados, monóxido de carbono e partículas diminuíram. Na análise da combustão, observaram uma maior taxa de liberação de calor ao injetar a mesma quantidade energética de PODE50 em comparação com o biometano puro, reduzindo o material particulado.

No estudo de Biswal et al. (2019) foi investigado a adequação do óleo da casca de limão para a aplicação de ignição por faísca por injeção direta, contrastando as características de pulverização deste com um combustível de referência, isooctano. O óleo da casca de limão apresenta um valor calorífico muito semelhante a um combustível de referência ideal para um motor a gasolina, assim como tendência antidetonante e índice de octanas muito bons. O

tamanho da cota e sua velocidade desempenham um papel crucial na combustão do combustível líquido, e conforme os resultados obtidos, sugere-se um pré-aquecimento do óleo da casca de limão para que esse corresponda às características de atomização do isooctano, já que o óleo da casca de limão apresenta uma atomização ligeiramente fraca por conta da alta viscosidade, tensão superficial e densidade.

Com o objetivo de investigar as características de desempenho e emissão usando mistura de etanol 85% denominado E85 e decano como combustível alternativo, Patel, Azad e Khan (2019) realizaram uma investigação numérica para prever o desempenho e as emissões de um motor diesel. O resultado mostrou que o E85 reduziu significativamente as emissões e apresenta um motor diesel ecologicamente correto, menos prejudicial e alternativo. Já o decano apresentou emissões mais baixas se comparado ao diesel, mas superiores ao E85. No estudo, observou-se que em relação as emissões de NO_x, o diesel é o que menos emite, já em emissões de monóxido de carbono, o uso da mistura E85 reduz em mais de 50% comparado ao diesel e o decane, além de reduzir também emissões de CO₂ e por possuir menor número de hidrocarbonetos sendo um combustível mais leve, apresenta menor emissão de hidrocarbonetos não queimados.

Neste estudo, EL-Seesy e Hassan (2019), para melhorar as características de combustão e emissão de um motor diesel, óxido de titânio (TiO₂) nas concentrações 25 e 50 mg/L foram utilizados como aditivos numa mistura de 50% em volume de biodiesel de jojoba, 40% de diesel e 10% de n-butanol denotada de J50D10Bu. Com essa mistura, os resultados mostraram uma diminuição significativa de monóxido de carbono e também hidrocarbonetos não queimados em valores de 30% e 50% respectivamente com a adição do óxido de titânio se comparada à mistura J50D10Bu pura, contudo, notou-se que as emissões de NO_x aumentaram devido ao aumento da pressão no cilindro causado pela adição das nanopartículas. Outra razão que pode influenciar esse resultado na combustão foi a grande proporção entre a área superficial e o volume das nanopartículas o que aumentou a transferência de calor entre as partículas e as gotículas do combustível. Percebeu-se também a redução do tempo de queima, o que diminuiu uma combustão incompleta.

Mofijur et al. (2019) estudaram a produção de biodiesel residual de cozinha como combustível alternativo para motores diesel. Produzido através do processo de transesterificação utilizando o catalizador base hidróxido de potássio (KOH), observaram que o índice de cetano do biodiesel é mais que o do diesel, assim como a densidade. Com a utilização desse combustível alternativo, foi reduzido em 28,30% as emissões de CO se

comparado ao diesel, tendência que é justificada pelo maior teor de oxigênio e a menor relação carbono/hidrogênio em comparação com o diesel. As emissões de material particulado também diminuíram devido a menor quantidade de compostos aromáticos presentes no biodiesel. Entretanto, devido à maior temperatura de combustão do biodiesel, houve um aumento nas emissões de NOx. Para um melhor balanço, concluíram que 20% de biodiesel de óleo de cozinha residual poderia substituir parcialmente o diesel o que diminuiria a poluição do ar.

No trabalho de Pirjola et al. (2019) foram investigadas as emissões de gases de escape incluindo a concentração do número de partículas e distribuição de tamanho, juntamente com a composição química dessas partículas a partir de um automóvel de passageiros de classificação Euro IV, que é um padrão de emissões de poluentes, comparando três tipos de combustível, diesel europeu, diesel indiano e o diesel renovável finlandês (Neste MY) em dois ciclos de condução, o Novo Ciclo de Condução Europeu (NEDC) e o Ciclo Mundial Harmonizado de Testes de Veículos Rápidos (WLTC). As principais diferenças observadas estavam no teor de enxofre, hidrocarbonetos aromáticos e índice de cetano. Foi relatado que todos os três combustíveis, quanto às emissões de NOx, ficaram abaixo de 250mg/km (EURO IV) e o diesel Neste MY e o indiano obtiveram resultados melhores, abaixo de 180mg/km (EURO V). Quanto ao diesel Neste MY, suas emissões de fuligens foram menores se comparado aos outros dois combustíveis, o que se explica pelo maior teor de hidrocarbonetos aromáticos dos combustíveis indiano e europeu.

Geng et al. (2019) realizaram testes num motor diesel do tipo common rail turboalimentado de 6 cilindros afim de observar as características de combustão e as emissões de partículas das misturas de combustível biodiesel/n-butanol. Foi observado que o teor de oxigênio acelera a velocidade de combustão e promove uma liberação concentrada de calor das misturas de combustível. Essa concentração maior de oxigênio pode aliviar a deficiência de oxigênio da área local na câmara de combustão, resultando uma redução das emissões de fuligem com o aumento da proporção de butanol. Nos resultados experimentais, mostrou-se que sob várias cargas do motor, todas as misturas de butanol com biodiesel proporcionaram uma combustão mais rápida, sendo a adição benéfica para concentrar a liberação de calor, e por possuir menor densidade, menor viscosidade cinemática e melhor evaporação, o n-butanol melhora a qualidade da atomização das misturas de combustível. Com o uso do biodiesel foi observado um aumento médio de 13,13% nas emissões NOx devido ao maior teor de oxigênio, mas em contrapartida, suas emissões de fuligens foram reduzidas em até 5,11% a depender da carga do motor. E acrescenta-se que por ter um radical hidroxila, mas nenhum radical

aromático, o n-butanol pode reduzir os precursores dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos diminuindo também os precursores da fuligem.

Estudando as propriedades físico-químicas dos combustíveis no funcionamento de um motor alimentado com Misturas De Óleo Diesel E Ésteres Metílicos De Ácidos Graxos De Óleo De Colza (FAME), Kurczyński e Łagowski, (2019) mediram as concentrações de componentes nocivos dos gases de escape, como hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono e dióxido de carbono além da quantificação de material particulado. Neste, ao alimentar o motor com a mistura de combustível, foram obtidos menores valores máximos de torque e potência, entretanto, foram alcançados valores menores de concentração de material particulado nos gases de escape e também de monóxido de carbono, indicando uma combustão mais eficiente, completa. O aumento do percentual de volume do combustível FAME de 20% para 30 % produziu aumento nas emissões de hidrocarbonetos e também um aumento distinto no óxido de azoto dos gases de escape.

O Quadro 1, resume os principais pontos de cada um dos artigos selecionados no ano de 2019, trazendo de forma sistemática informações sobre as pesquisas feitas.

Quadro 1: Artigos selecionados do ano de 2019 da base Science direct

Artigo	País	Combustível estudado	Principais resultados
(Cadrazco; Santamaría; Agudelo, 2019)	Colômbia	Diesel renovável de óleo de palma	• Menor produção de material particulado.
(Yusri <i>et al.</i> , 2019)	Malásia	Adição de n-butanol no diesel	• Menores emissões de NO_x, CO e HC. • Aumento das emissões de CO₂. • Diminuição da potência.
(O'Connell <i>et al.</i> , 2019)	Alemanha	Biometano e PODE	• Menor emissão de material particulado, CO e HC. • Aumento nas emissões de NO_x.
(Biswal <i>et al.</i> , 2019)	Índia	Óleo da casca de limão	• Menor taxa de evaporação. • Atomização mais fraca.
(Patel; Azad; Khan, 2019)	Austrália	Mistura de etanol 85%	• Reduz potência do motor. • Diminuição das emissões de CO, HC e CO₂.
		Decano	• Emissão de CO semelhante ao diesel. • Maior número de cetano.
(EL-Seesy; Hassan, 2019)	Egito	Óxido de titânio (25 e 50 mg/l) como aditivo.	• Maior índice de cetano e NO_x.

		Biodiesel de Jojoba, n-butanol	• Redução das emissões de CO e HC.
(Mofijur et al., 2019)	Austrália	Biodiesel produzido a partir de óleo de cozinha residual	• Menor emissão de CO e redução de 15,75% de material particulado. • Maior emissão de NOx.
(Pirjola et al., 2019)	Finlândia	Diesel renovável a partir de esgoto e resíduos	• Fuligens menores e com menor incidência. • Emissões mais baixas de NOx.
(Geng et al., 2019)	Estados Unidos	Biodiesel de óleo de cozinha residual misturado com 10% e 20% de n-butanol	• Menor emissão de fuligem. • Melhor qualidade na atomização do combustível. • Maior emissão de NOx.
(Kurczyński; Łagowski, 2019)	Polônia	misturas de óleo diesel e ésteres metílicos de ácidos graxos de óleo de colza (FAME)	• Menor potência e torque. • Menor emissão de CO e material particulado. • Maior emissão de NOx e hidrocarbonetos com mistura de 30%.

Fonte : Elaboração do próprio autor.

Como foi possível observar, os artigos do ano de 2019 trouxeram diversos combustíveis de origem vegetal e ainda que tenham usado misturas com diesel, todos conseguiram obter menor índices de emissões de gases do efeito estufa porem dois trabalhos obtiveram resultados negativos quanto ao desempenho do motor testado.

4.2 Ano de 2020

No ano de 2020 foram analisados outros 10 artigos, onde aspectos de emissões se encontram elucidados abaixo.

O estudo de Karthic et al., (2020) discutiu o desempenho, a combustão e o comportamento das emissões, variando as pressões e os tempos de injeção com um motor movido por um novo biodiesel foi a partir do óleo de *Syzygium cumini*. Para contornar a alta viscosidade dos óleos de semente puros, o método de transesterificação foi usado neste trabalho, já que o biodiesel escolhido é mais viscoso que o diesel. Nas condições de plena carga, observou-se que a mistura ar-combustível era muito pobre, levando a uma menor propagação da chama através da mistura. Entretanto na mistura de 30% de volume de biodiesel com diesel revelou-se que este emitia menos opacidade de fumaça, contudo os autores revelam que considerando o custo operacional, o biodiesel parece ser o combustível rentável com o nível mais elevado de emissões, o que pode ser melhorado com a utilização de combustíveis gasosos

em um modo bicomcombustível, o que diminui as emissões de NOx com a implementação da recirculação dos gases de escape.

A contribuição de Ayad et al., (2020) consiste em um estudo experimental e numérico dos efeitos do enriquecimento de hidrogênio do desempenho e nas emissões de um motor turboalimentado movido a etanol. Para isso, foi utilizado este tipo de motor para a realização dos experimentos e também um simulador. A adição de hidrogênio resultou em tendências de redução de dióxido de carbono, assim como também no parâmetro de consumo específico de combustível de freio que é inversamente proporcional à eficiência do motor. O hidrogênio adicionado mostrou pouca influência nas emissões de monóxido de carbono diferentemente dos hidrocarbonetos que grande redução quando o motor esteve em carga de 50%. Validando os resultados experimentais com os simulados, a diferença relativa entre os valores simulados e experimentais foi inferior a 7% em todos os casos comparados.

O trabalho de Cadrazco et al., (2020) utilizou duas configurações de chama para avaliar o impacto do diesel renovável nas características da fuligem. Observou-se uma diminuição da emissão de fuligem à medida que a fração do diesel renovável aumentou na mistura com o diesel comum, o que pode ser explicado pelas altas temperaturas das chamas de diesel renovável que causa um ambiente altamente oxidante que encolhe as partículas. Além do mais, a adição do diesel renovável aumentou o número de cetano melhorando a qualidade de autoignição do diesel e também reduziu o teor de enxofre e de aromáticos o que torna menor a nucleação das partículas e a tendência à fuligem.

O estudo de Fayad, Tsolakis e Martos, (2020) fornece uma visão sobre as características do material particulado e as interações das emissões gasosas provenientes da combustão de combustíveis alternativos sendo eles, biodiesel derivado de óleo de colza (RME) (10% etanol, 15% RME e 75% diesel) e o combustível gás-líquido (GTL). Foi observado que a mistura sugerida e o GTL produzem menor concentração de hidrocarbonetos que o óleo diesel, pois o diesel tem um teor menor de oxigênio levando à uma combustão incompleta. Nas emissões NOx, o combustível alternativo GTL se mostrou superior à mistura e ao diesel, conseguindo ter maior redução nessas emissões. Já a mistura proposta mostrou um ligeiro aumento nas emissões NOx que pode ser explicada pelo alto teor de oxigênio na mistura do combustível etanol, o que também fez com que essa mistura obtivesse menor número de partículas após a combustão. Num geral, as descobertas revelaram que a mistura de óleo de colza e o combustível GTL apresentam maior benefício na redução das emissões de material particulado em relação ao diesel. O acréscimo do etanol produz partículas com um diâmetro menor quando comparado

com combustível o gás-líquido (GTL) e também com o diesel devido ao maior teor de oxigênio já que se aumenta a oxidação das partículas formadas, o que reduz seu tamanho. As emissões gasosas tiveram reduções exceto as de NO_x, que no caso da mistura contendo etanol mostrou um ligeiro aumento se comparado aos outros combustíveis. Houve uma diminuição dos níveis de emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos com a mistura de etanol de o GTL em comparação com óleo diesel.

Na investigação de Rajak et al. (2020) o possível biodiesel foi obtido a partir dos óleos de *Moringa oleifera* e *Jatropha curcas*, sendo usados em proporções 20, 40 e 60% em volume (MOB20, MOB40, MOB60 e JB20, JB40, JB60) foram comparadas com o óleo diesel (D100), observando o desempenho, combustão e emissão dessas misturas de combustíveis em um motor diesel monocilíndrico. Descobriu-se que as misturas de *Jatropha curcas* e *Moringa oleifera* reduzem a emissão de fumaça, sendo a melhor proporção a de 20% nos resultados de desempenho, combustão e emissão, entretanto, os combustíveis misturados com *Jatropha curcas* e *Moringa oleifera* consumiram uma quantidade maior de combustível se comparado ao diesel puro e produziram uma pressão maior no cilindro devido ao maior teor de oxigênio. Em todas as cargas, as misturas de biodiesel apresentaram menores emissões de NO_x, entretanto apresentaram maiores emissões de CO₂, indicando uma combustão mais completa, e por se tratar de um combustível de origem vegetal, esse CO₂ é capturado pela planta o que torna esse ciclo mais favorável.

Verma et al. (2020) estudaram a operação bicomcombustível de um motor diesel usando biodiesel e hidrogênio, mostrando resultados que o biodiesel apresentou um grande potencial de substituição ao diesel especialmente em cargas mais baixas. A combustão foi melhorada devido ao incremento do hidrogênio no modo duplo combustível o que diminuiu as emissões de hidrocarbonetos, mas mantendo um desempenho semelhante de um motor diesel. As vantagens da operação biodiesel-hidrogênio ficaram claramente evidentes nos resultados de emissões, onde houveram reduções significativas de NO_x, CO e também de material particulado devido a sua natureza isenta de carbono.

Seraç et al., (2020) se concentraram em avaliar os efeitos no desempenho de um motor diesel de tipos de combustível preparados pela mistura de óleo de soja e uma taxa constante com diesel. Neste, o biocombustível produzido a partir de óleo de soja foi misturado ao óleo diesel em percentuais de 5% e 20% em volume. Foi observado que com o aumento da carga no motor, maiores emissões de NO_x foram registradas já que os combustíveis biodiesel têm maior teor de oxigênio que melhora a combustão, aumentando a temperatura interna do cilindro que

favorece tais emissões. Verificou-se menor emissões de hidrocarbonetos para todas as misturas, assim como emissões de monóxido de carbono. Devido ao baixo valor térmico do biodiesel houve um aumento do consumo específico de combustível de freio que é inversamente proporcional à eficiência do motor. Entretanto, nota-se que o biodiesel de soja pode ser utilizando no lugar do diesel sem quaisquer alterações no sistema de combustão do motor.

Uma investigação experimental realizada por Raman e Kumar, (2020) avaliou as características de desempenho, combustão e emissões de motor diesel de dois cilindros alimentado com mistura de éster metílico de óleo de Mahua (MOME) e diesel. Os principais desafios deste biodiesel são a redução da eficiência térmica e a maior emissão de óxidos de nitrogênio que foram contornados pela adição 20% de éter dietílico (DEE) que possui mais número de cetano e menor temperatura de autoignição. A eficiência do motor tendeu a aumentar com o aumento da quantidade de éter dietílico na mistura MOME devido a uma quantidade suficiente de oxigênio disponível para queimar completamente o combustível o que melhora ainda mais a combustão e consequentemente a eficiência do motor.

No estudo de Akcay, Yilmaz e Feyzioglu, (2020) foi verificado o efeito da adição de hidrogênio a um motor de ignição por compressão alimentado com mistura de biodiesel de óleo de cozinha residual e combustível diesel no desempenho do motor e também quanto às emissões de escapamento sendo examinado experimentalmente. Foi verificado que o hidrogênio proporcionou efeitos positivos no desempenho do motor que por operar com biodiesel sofreu piora no desempenho. Além disso a adição de hidrogênio se mostrou capaz de reduzir as emissões e também fumaça.

Com objetivo de examinar o potencial de redução de emissões em condições do mundo real ao se empregar aditivos de combustível, Dobrzyńska et al., (2020) examinaram três aditivos diferentes, sendo o Óleo Vegetal Hidrotratado (HVO) e dois aditivos comerciais contendo nanopartículas de dióxido de cério e ferroceno, sendo o HVO selecionado como combustível renovável alternativo aos biodieséis já utilizados. Com as adições de nanodióxido de cério e também as nanopartículas de ferroceno ao combustível diesel, foi observado a redução de emissão de hidrocarbonetos, óxidos de carbono, material particulado, mas com aumento das emissões de NOx, já o HVO também foi capaz de reduzir emissões de poluentes até mesmo os NOx, contudo ao mesmo tempo aumentou as emissões de partículas. A adição de HVO reduziu a densidade da mistura de combustível o que pode pausar uma diminuição na potência do motor e um aumento no consumo de combustível. Em contrapartida, o HVO foi capaz de aumentar o número de cetano, que por sua vez provoca uma diminuição significativa de poluentes.

O Quadro 2 apresenta mais 10 artigos selecionados dentro do filtro do ano de 2020, trazendo de forma concisa os principais resultados e algumas informações

Quadro 2: Artigos selecionados do ano de 2020 da base Science direct

Artigo	País	Combustível estudado	Principais resultados
(Karthic <i>et al.</i> , 2020)	Índia	Biodiesel de óleo <i>Syzygium cumini</i>	• Maiores emissões de hidrocarbonetos e NOx. • Menor emissão de CO. • Redução de 33,8% no custo operacional.
(Cadrazco <i>et al.</i> , 2020)	Colômbia	Diesel renovável de óleo de palma e diesel comum	• Aumento do número de cetano. • Melhora da qualidade de autoignição. • Redução do teor de enxofre e aromáticos. • Menor número de material particulado.
(Fayad; Tsolakis; Martos, 2020)	Iraque	Biodiesel derivado de óleo de colza (RME) (10% etanol, 15% RME e 75% diesel) e combustível gás-líquido (GTL)	• Apresentam menor número e tamanho de material particulado. • Produzem índices mais baixos de emissões.
(Rajak <i>et al.</i> , 2020)	Índia	Biodiesel obtido a partir dos óleos de <i>Moringa oleifera</i> e <i>Jatropha curcas</i> .	• Maior consumo de combustível. • Menor eficiência em desempenho. • Menores emissões de NOx.
(Verma <i>et al.</i> , 2020)	Índia	Biodiesel de <i>Jatropha Curcas</i> e hidrogênio	• Desempenho semelhante ao diesel. • Redução das emissões.
(Seraç <i>et al.</i> , 2020)	Turquia	Biodiesel à base de soja e misturas de diesel	• Menores emissões de hidrocarbonetos e CO. • Menor eficiência. • Maior emissão de NOx.
(Raman; Kumar, 2020)	Índia	Misturas de éster metílico de óleo mahua (MOME)/diesel.	• Redução de emissões de CO e hidrocarbonetos não queimados. • Menor tempo na combustão. • Maior eficiência com adição de Éter dietílico.
(Akçay; Yilmaz; Feyzioglu, 2020)	Turquia	Mistura de biodiesel de óleo de cozinha residual e combustível diesel	• Melhora a eficiência. • Diminui emissões de poluentes e fumaça.

(Dobrzyńska et al., 2020)	Polônia	Diesel padrão B7 e Óleo Vegetal Hidrotratado (HVO)	• Maior emissão de material particulado. • Menor emissão de poluentes, CO, hidrocarbonetos e NOx. • Aumento do número de cetano.
(Ayad et al., 2020)	Brasil	Enriquecimento de hidrogênio em motores alimentados com etanol	• Aumento do número de cetano. • Redução de poluentes. • Aumento nas emissões de partículas.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os 10 artigos selecionado no ano de 2020 também trouxeram resultados variados quanto as emissões de poluentes e também eficiência do motor. Ressalta-se que grande parte dos artigos apresentados demonstra uma tendencia a misturas de biodiesel onde o estudo se deu através da inserção de novos biodieseis no diesel comum.

4.3 Ano de 2021

No ano de 2021 foram analisados 10 artigos, nos quais os aspectos de emissão e eficiência são detalhados a seguir.

Haghighat Shoar, Najafi e Mosavi, (2021), com o objetivo de estudar um novo aditivo oxigenado, éter monometílico de trietilenoglicol (TGME), realizaram teste de emissões e desempenho usando um motor diesel bicomustível alimentado com gás-natural-diesel/biodiesel. Neste, o motor funcionou sob três diferentes proporções de gás-natural (60, 70 e 80%), o biodiesel foi aplicado em dois níveis de mistura (5 e 20 vol.%) e o aditivo foi utilizado em quatro níveis, sendo 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 vol.%. De acordo com os resultados das análises, o aditivo apresentou melhor desempenho em comparação com outros aditivos. A redução do consumo específico de combustível de freio, vantagem na eficiência, foi alcançada em até 16,92% usando o volume de 0,2%. Outro ponto foi o aumento da eficiência térmica de freio, que é proporcional à eficiência do motor, indicando assim que o aditivo trouxe melhorias no desempenho e, com a adição do biodiesel, as emissões de monóxido de carbono diminuíram, e com o uso de 0,1% do aditivo, a quantidade de óxidos de nitrogênio foi reduzida em até 43,15% se comparada ao diesel puro.

Na pesquisa de Rahaman et al., (2021) que tratou da influência da alteração do óleo diesel no desempenho do motor e nas características de emissão, os resultados apresentados

mostraram que houveram uma piora nos parâmetros de eficiência, devido à maior densidade e viscosidade e ao menor conteúdo energético das misturas de biodiesel. Contudo, a mistura biodiesel/diesel usando 20% de biodiesel e 80% de diesel, foi capaz de reduzir significativamente as emissões de material particulado, hidrocarbonetos e também monóxido de carbono, tendo resultado oposto quanto às emissões de NOx. Observou-se que esses resultados foram atribuídos aos maiores número de cetano e teores de oxigênio da mistura. Entretanto, por ser uma matéria-prima de baixo custo, o óleo de cozinha pode ser uma alternativa promissora ao combustível fóssil e que também combata as emissões nocivas.

Yakin e Behçet, (2021) analisaram três combustíveis diferentes denominados G100 (gasolina pura), E20 (volume de 20% de etanol e 80% de mistura de gasolina) e ES20 (20% de solução de etanol adicionado de borohidreto de sódio e 80% de gasolina) num motor a gasolina. Com o intuito de produzir combustíveis mistos de baixas emissões, foram criados três combustíveis, usando etanol, gasolina e borohidreto de sódio. O borohidreto de sódio é rico em hidrogênio e pode ser adicionado na gasolina como um aditivo para reduzir as emissões nocivas dos gases de escape dos veículos. Foi observado que o consumo de combustível aumentou para todos os combustíveis em comparação com a gasolina pura, entretanto, o combustível ES20 teve a menor emissão de monóxido de carbono, devido ao hidrogênio e ao oxigênio da mistura. A mesma tendência foi observada nas emissões de hidrocarbonetos, diferentemente das emissões de dióxido de carbono que aumentaram com E20 e ES20 assim como emissão de NOx pois o alto teor de oxigênio da mistura cria um aumento na pressão e temperatura do cilindro.

O objetivo da investigação de Abrar e Bhaskarwar, (2021), foi formular microemulsões livres de surfactantes em que um álcool servisse como substituto do surfactante. Neste, as microemulsões butanol-diesel-água foram formuladas para substituir até 40% (v/v) do diesel sem a utilização de um surfactante. As microemulsões conseguiram ter um consumo de combustível equivalente ou até mesmo inferior, juntamente com uma melhora no parâmetro de desempenho energético, proporcionando uma quantidade de trabalho equivalente ou até mesmo superior em comparação com o diesel, mesmo numa menor quantidade, o que reduz o consumo líquido de combustíveis fósseis. Com a utilização das microemulsões, a presença de butanol e água melhorou a combustão, permitindo uma queda substancial nas emissões de hidrocarbonetos e material particulado, juntamente com óxidos de nitrogênio, que, devido a presença de água levando à diminuição da temperatura da câmara de combustão, tiveram menores índices de emissões.

No trabalho de Viswanathan et al., (2021) foi examinado o óleo de semente de *Annona squamosa* como uma possível matéria-prima para a produção e biodiesel. O biodiesel de semente *Annona squamosa* apresentou maior viscosidade e densidade que o diesel, assim como alto ponto de inflamação e combustão, contudo mostrou ter menor poder calorífico que o diesel. Devido ao oxigênio inerente, o biodiesel apresentado demonstrou menor emissão de monóxido de carbono comparado ao diesel, assim como também nos índices de concentração de fumaça.

Elumalai et al. (2021) mostraram que ao se utilizar o óleo de linhaça pré-aquecido com adição de nanopartículas de dióxido de titânio, houve uma melhora no desempenho energético do motor. A combinação da nanopartícula ao óleo durante o processo de combustão diminui a carbonização, tornando mais eficiente. O pré-aquecimento do óleo também diminui a densidade e a viscosidade o que ajuda na atomização melhorando a homogeneidade da mistura. Dentre as misturas com adições de 50, 100, 150 e 200 ppm ao óleo de linhaça, a adição de 200 ppm apresentou uma redução drástica de monóxido de carbono, devido ao maior teor de oxigênio que em contrapartida permite que a queima rápida do combustível o que leva à um ligeiro aumento nos óxidos de nitrogênio. Somando todos os aspectos, o combustível apresentado mostrou desempenho satisfatório com notáveis reduções de emissões, provando ser um combustível alternativo promissor.

Mahmoodi et al., (2021) investigaram o efeito do biogás reformado no comportamento da combustão, desempenho e características das emissões de um motor. Uma das vantagens da eliminação do sulfeto de hidrogênio (H_2S) e do dióxido de carbono do biogás bruto e da reforma do metano é a maior concentração de hidrogênio na carga, o que leva à um aumento da pressão máxima no cilindro. O biogás reformado, foi testado em substituições de 20, 40 e 60% do óleo diesel. Devido a presença de grandes quantidades de vapor d'água e nitrogênio na carga pré-misturada, ocorreu uma diminuição nos níveis de eficiência do motor. O nível de emissão de NO_x com a mistura de biogás/diesel foi menor devido a temperatura de combustão mais baixa, onde com a utilização de 60% de biogás, a redução de NO_x chega até 50%. A comparação entre as proporções estudadas mostrou que a operação do motor com 60% de substituição é o melhor caso na razão ambiental e diminuição de potência.

Janakiraman, Lakshmanan e Raghu, (2021) realizaram uma análise experimental investigativa de um combustível ternário composto de 70% de diesel, 20% de biodiesel de *Garcinia* e 10 % de bioetanol acrescido de nanoaditivos de dióxido de titânio (TiO_2). O aditivo proposto melhorou a eficiência do motor se comparando os padrões com diesel, juntamente com uma redução drástica de monóxido de carbono, fumaça e NO_x . A presença de nanoaditivos

produziu micro explosões aumentando a trava de evaporação da mistura, incrementando a eficiência da combustão, reduzindo a taxa de consumo de energia. Pela influência do bioetanol nas misturas de combustíveis foi observada uma redução da fração de combustível não queimada, devido ao teor de oxigênio. No equilíbrio entre as necessidades energéticas e globais, a adição de 65 ppm de nanoaditivos no combustível alternativo proposto resultou numa melhor combinação.

A pressão de injeção de abertura de combustível e o tempo de injeção são parâmetros de injeção importantes e têm uma influência significativa na combustão, no desempenho e nas emissões do motor. Dessa forma, Kanth et al., (2021) buscaram melhorar o desempenho e as emissões de motores diesel utilizando parâmetros de injeção em motores que funcionaram com biodiesel de farelo de arroz em proporções de 10 e 20% acrescidos de uma taxa fixa de vazão de hidrogênio. Após os estudos, foi observado que o enriquecimento do hidrogênio com biodiesel proporciona eficiência térmica 3,3% maior, além da redução nas emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, entretanto com maiores índices de emissões de NOx.

Kumar e Lata, (2021) apresentaram os resultados após analisar o efeito do peróxido de di-terc-butila (DTBP) nos parâmetros de combustão e NOx em um motor diesel bicomcombustível com hidrogênio como combustível secundário. Observou-se que com a substituição de 14% de hidrogênio e 1% de aditivo a liberação líquida de calor e a temperatura diminuíram em 2 e 10%, respectivamente, enquanto os índices de emissão de NOx aumentaram em 60% em comparação com a operação do diesel.

O Quadro 3 destaca os pontos-chave dos artigos que foram selecionados no ano de 2021, e traz, de maneira simplificada, as informações relevantes das pesquisas realizadas.

Quadro 3: Artigos selecionados do ano de 2021 da base Science direct

Artigo	País	Combustível estudado	Principais resultados
(Haghighat Shoar; Najafi; Mosavi, 2021)	Irã	Éter monometílico de trietilenoglicol (TGME) como aditivo	• Redução das emissões de CO e NOx. • Melhoria dos parâmetros de desempenho do motor.
(Rahaman et al., 2021)	Bangladesh	Mistura de biodiesel de óleo de cozinha residual com óleo diesel	• Pior desempenho nos parâmetros de eficiência. • Aumento das emissões de NOx. • Diminuição das emissões de CO, hidrocarbonetos e material particulado.
(Yakın; Behçet, 2021)	Turquia	Gasolina pura, Mistura de etanol/gasolina 1:4, e	• Aumento do consumo de combustível.

		mistura etanol/gasolina adicionado de borohidreto de sódio	• Redução das emissões de CO e hidrocarbonetos. • Aumento das emissões de CO₂ e NO_x.
(Abrar; Bhaskarwar, 2021)	Índia	Microemulsões butanol-diesel-água	• Aumento na performance do motor. • Menores emissões. • Vantagens econômicas na substituição ao diesel.
(Viswanathan et al., 2021)	Taiwan	Biodiesel de óleo de semente de <i>Annona squamosa</i>	• Menor eficiência se comparado ao diesel. • Menores níveis de emissão de CO, fumaça e hidrocarbonetos.
(Elumalai et al., 2021)	Índia	Óleo de linhaça com nanopartículas de dióxido de titânio	• Melhoria nos padrões de eficiência do motor. • Grande redução nas emissões de monóxido de carbono.
(Mahmoodi et al., 2021)	Irã	Biogás reformado	• Perda de potência. • Redução da emissão de poluentes.
(Janakiraman; Lakshmanan; Raghu, 2021)	Índia	Combustível ternário com nanoaditivos de TiO ₂	• Melhor eficiência. • Redução das emissões nocivas.
(Kanth et al., 2021)	Índia	Biodiesel de farelo de arroz e hidrogênio	• Melhor eficiência térmica. • Redução das emissões de hidrocarbonetos e CO. • Aumento das emissões de NO_x.
(Kumar; Lata, 2021)	Índia	Adição de hidrogênio e peróxido de di-terc-butila (DTBP)	• Redução do pico de liberação de calor e temperatura. • Aumento de até 60% nas emissões de NO_x.

Fonte: Elaboração do próprio autor

4.4 Ano de 2022

Dos artigos selecionados no ano de 2022, obteve-se os seguintes trabalhos e resultados.

Seelam et al. (2022) examinaram a influência do 1-pentanol e do hidrogênio em várias características de desempenho de motores diesel de sistema de injeção direta Common Rail. O 1-pentanol apresentou melhores características de emissão e desempenho em tempos de injeção mais elevados. Devido à alta viscosidade do 1-pentanol, o alto calor latente de evaporação faz

com que se absorva uma grande quantidade de calor do cilindro. O fraco desempenho do 1-pentanol é atribuído à sua maior quantidade de energia liberada em forma de calor, viscosidade e menor número de cetano, com isso, o curso da combustão até a expansão é estendido, resultando em combustão incompleta devida à evaporação reduzida do combustível, assim é necessária uma maior quantidade de energia para produzir uma quantidade semelhante de trabalho comparado ao diesel puro. A adição de hidrogênio reduziu a pressão do cilindro em tempos de injeção avançados, sendo fruto da alta velocidade da chama e ao valor de aquecimento do hidrogênio. Com isso, foi possível melhorar padrões de eficiência do motor com a adição de hidrogênio. Como o trabalho avaliou aspectos mecânicos, foi observado que com alguns ajustes na injeção do combustível, o desempenho do motor foi melhorado, sendo possível afirmar que o hidrogênio e o 1-pentanol são, ambos, fontes de energia renováveis e sustentáveis.

Com o objetivo de reduzir 16 hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) cancerígenos gerando a partir do escapamento de motores petrodiesel, Kothiyal et al., (2022) utilizaram uma mistura de diesel verde com uma variedade de combustível biodiesel. As amostras de biodiesel foram sintetizadas em laboratório a partir de diferentes matérias-primas utilizando métodos de baixo custo. Foi observado que a concentração média de 16 PAHs diminui quando as misturas de diesel verde são aumentadas de 20% para 40% em comparação com o diesel puro. Segundo os dados apresentados, foi confirmado que o diesel verde e a mistura são dois métodos mais importantes para reduzir os PAHs cancerígenos do ambiente, sendo também que a proporção de 40:60 de diesel verde de *Jatropha curcas* /biodiesel reduzira a quantidade de PAHs. Os resultados mostraram que os níveis de emissão de PAHs com mistura de biodiesel/diesel foram inferiores aos do modo de operação diesel, melhorando também o desempenho e menores emissões.

Rajamohan et al., (2022) analisaram o desempenho e as características de emissão de um motor à diesel alimentado com misturas de bio-óleo/diesel. Neste estudo foi elaborada semente de algodão como potencial fonte renovável para produção de biocombustível substituto, sendo aplicadas as proporções de 5, 10 e 20%. O bio-óleo produzido mostrou suas propriedades físico-químicas adequadas para aplicação em motores, entretanto, observou-se uma grande diferença na viscosidade e densidade entre este e o diesel, bem como a biodegradabilidade e a estabilidade das misturas foram asseguradas através da utilização de surfactantes. O menor poder calorífico do combustível alternativo poderia causar um valor calorífico produzido no processo de combustão inferior ao do óleo diesel, além disso, quando

aumentado a proporção da mistura, observou-se um aumento na viscosidade e na tensão superficial resultando numa atomização e evaporação deficientes. Assim, o uso de 5% de bio-óleo misturado com 95% de combustível diesel poderia ser considerado com uma condição otimizada no processo de combustão.

Nos estudos de Cesur, (2022) uma mistura gasolina-metanol sendo 85% gasolina e 15% metanol foi utilizada como combustível em um motor de ignição por centelha. Além disso, água foi injetada no coletor de admissão em diferentes taxas para reduzir ainda mais as emissões e melhorar o desempenho do motor. Foi determinado que a potência efetiva diminuiu 2,5% devido ao baixo poder calorífico do metanol o que também aumentou o consumo específico de combustível em 3,5%. Quando a injeção de água foi aplicada ao motor, houve uma diminuição de até 16% nas emissões de hidrocarbonetos e de até 12% nas emissões de NOx, além do aumento no torque do motor. A injeção de água levou a uma entrada de entalpia adicional no motor. A divisão do combustível em gotículas menores resultou numa mistura muito melhor do combustível com o ar, onde a água aumentou a taxa de combustão com microexplosões e a atomização foi melhor, melhorando a combustão.

O trabalho de Wongwuttanasatian, Jankoom e Velmurugan, (2022) estudou o gás natural comprimido (GNC) misturado com o hidrogênio em diferentes proporções como uma alternativa aos combustíveis fósseis existentes. Foi observado que os consumos específicos de combustível das misturas utilizadas são inferiores ao GNC puro. Contudo, foi verificado que o aumento da proporção de hidrogênio reduziu o torque e a potência do motor, pois a adição de hidrogênio ao GNC resultou numa aceleração do ponto de ignição e, portanto, na redução da potência, assim, quando mais hidrogênio foi adicionado, menor foi o torque e a potência observados. Entretanto devido à maior velocidade da chama do hidrogênio houve uma taxa de liberação de calor mais rápida, aumentando a eficiência que o motor converteu a energia química em mecânica. Quanto às emissões, a adição de hidrogênio reduziu de forma significativa as emissões de monóxido de carbono, dióxido de carbono e também NOx. Isso se deve a combustão mais completa e eficiente auxiliada pelo hidrogênio. Ao final dos estudos, foi efetivado que a mistura de 20% de hidrogênio ao GNC mostrou o melhor compromisso entre o desempenho do motor e as questões ambientais.

Diferentemente do trabalho citado anteriormente, Cesur, (2022a) propôs avaliar os efeitos de injeção de água no desempenho e nas emissões de escapamento de um motor movido por uma mistura de 85% gasolina e 15% etanol denominada E15. Quando 20% de água foi injetada no motor, foram detectados aumentos no torque do motor em todas as velocidades. O

que trouxe melhora visto que o uso da mistura gasolina-etanol levou à uma ligeira diminuição no torque e potência do motor. Com o uso da mistura E15, a redução máxima nas emissões de hidrocarbonetos foi de 7,6%, já com a adição de água essa redução subiu para 15,3%, sendo a mesma característica observada com as emissões de NOx que, somente com a mistura E15, permitiu uma redução de 9,6%, já com a adição de água, subiu para 28%. Além disso, a utilização de água não trouxe qualquer deterioração nos parâmetros de desempenho do motor.

Li et al., (2022) trataram de comparar o desempenho, a combustão e as emissões de um motor de ignição por centelha alimentado por metanol, etanol e metano. Foi mostrado que taxa de liberação de calor do metanol é maior que a do etanol, sendo a do metano a menor delas, já que os álcoois são combustíveis oxigenados, onde o metanol tem até 50% de teor de oxigênio, o que é mais propício à combustão completa. A partir do desempenho dinâmico do motor, foi revelado que em parâmetros de eficiência, o metanol se mostrou superior ao etanol que é superior ao metano, contudo, em termos de economia de combustível do motor, o metano apresentou a melhor economia de combustível, seguido do etanol e metanol. Nas emissões, foi verificado que o metanol emitiu menos monóxido de carbono e NOx do que os outros dois, mas, em se tratando de hidrocarbonetos e dióxido de carbono, observou-se a menor emissão usando o metano.

Puricelli et al., (2022) trataram de usar uma metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar os impactos ambientais de um veículo usando quatro misturas de gasolina, que consistem em éter etílico terc-butilico fóssil (ETBE), bio-ETBE, bionafta, bioetanol, metanol, biometanol e e-metanol. Após uma seleção preliminar de alternativas de biocombustíveis, todas as misturas avaliadas garantiram potencialmente uma ligeira redução nas alterações climáticas se comparado a um veículo movido à gasolina padrão. Foi mostrado que a mistura contendo bionafta e bioetanol se mostrou a mais promissora, onde a bionafta contribuiu fortemente para a elevada poupança de gases do efeito estufa a depender da matéria prima. Num geral, o estudo demonstrou que as misturas sugeridas de combustíveis renováveis e gasolina reduziram as emissões de gases do efeito estufa ao longo do ciclo de vida de um automóvel, desde que os combustíveis renováveis utilizados sejam produzidos a partir de matéria-prima de baixo risco. Além dos estudos de combustíveis, foi avaliado um veículo com bateria média, e a título de comparação, este liberou cerca de 41% menos emissões de gases do efeito estufa se comparado com um veículo à combustão.

Balasubramanian et al., (2022) realizaram um trabalho que analisou a adição do novo óleo de *Pimpinella anisum*, erva-doce, de baixa viscosidade ao biodiesel produzido do resto de

óleo de cozinha. Observou-se que o uso do biocombustível *Pimpinella anisum* em proporções de volume mais altas produziu melhor combustão. O poder calorífico do combustível foi melhorado e também foi reduzido o período de atraso de ignição do combustível, permitindo uma combustão mais precoce. A adição do biocombustível beneficiou a redução de várias emissões, exceto NOx.

Os estudos de Thiruvengkatachari et al., (2022) investigaram a modificação do sistema de combustível ao usar o biodiesel Azolla, usando um sistema de injeção de combustível com maior flexibilidade de injeção, sendo realizado um estudo alterando a pressão de injeção de combustível. Numa pressão de injeção mais baixa, o aumento da viscosidade e da faixa de ebulição do biodiesel resultou em uma atomização deficiente, o que levou à uma mistura inadequada de ar e combustível, resultando em uma combustão deteriorada. Com o aumento da pressão de injeção, os parâmetros de desempenho do motor melhoram, permitindo redução nas emissões de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e fumaça, mas, com mais emissões de NOx. Assim, para utilizar o biodiesel de Azolla, foi mostrado a necessidade de uma pressão de injeção superior à 900 bar para obter melhores características do motor.

O Quadro 4 mostra as principais informações coletadas dos artigos selecionados do ano de 2022.

Quadro 4: Artigos selecionados do ano de 2022 da base Science direct

Artigo	País	Combustível estudado	Principais resultados
(Seelam et al., 2022)	Índia	1- pentanol e hidrogênio	• 1-pentanol é menor eficiente. • A adição de hidrogênio melhora ao desempenho do motor. • Aditivos podem melhorar ainda mais a eficiência e emissões.
(Kothiyal et al., 2022)	Índia	Diesel verde de óleo de pinhão manso	• Menores emissões de PAHs cancerígenos. • Melhor desempenho.
(Rajamohan et al., 2022)	Índia	Bio-óleo de caroço de algodão	• Deterioração das características de pulverização. • Baixo índice de cetano. • Altas emissões devido a combustão incompleta.
(Cesur, 2022b)	Turquia	Mistura gasolina-metanol + água	• O metanol torna deficiente alguns padrões da combustão.

			• Adição de 20% de água tornou mais eficiente a combustão e aspectos do motor. • Houve a redução significativa nas emissões de NOx.
(Wongwuttanasatian; Jankoom; Velmurugan, 2022)	Tailândia	GNC + hidrogênio	• Menor torque e potência observados. • Melhor conversão de energia química em mecânica. • Menor índice de emissões.
(Cesur, 2022a)	Turquia	Mistura gasolina-etanol +água	• Melhor desempenho • Menor emissão de hidrocarbonetos e NOx.
(Li et al., 2022)	China	Metanol, etanol e metano	• O metano apresenta o menor índice de consumo de combustível. • O metanol apresenta melhor desempenho. • Metanol emite menos monóxido de carbono e NOx. • Metano emite menos hidrocarboneto e CO₂.
(Puricelli et al., 2022)	Itália	Misturas inovadoras de gasolina	• Ligeira redução nas alterações climáticas. • Para competir com o veículo elétrico, é necessário o aumento da alimentação por combustíveis renováveis.
(Balasubramanian et al., 2022)	Índia	Óleo de semente de <i>Pimpinella anisum</i> e biodiesel	• Melhor combustão. • Menor emissão de CO, hidrocarbonetos e fuligem. • Ligeiro aumento nas emissões de NOx.
(Thiruvengkatachari et al., 2022)	Índia	Biodiesel de <i>Azolla</i>	• Menor emissão de hidrocarbonetos, CO e fumaça. • Maior emissão de NOx. • Necessita de uma pressão maior para melhor eficiência.

Fonte: Elaboração do próprio autor

4.5 Ano de 2023

No ano de 2023 foram analisados 10 artigos, nos quais os aspectos de emissão e eficiência são detalhados a seguir.

Yadav, Deppenkemper e Pischinger, (2023) realizaram experimentos com um motor analisando os efeitos de quatro combustíveis diferentes, compostos de éster metílico de óleo de cozinha usado, diesel, octanol, dessa forma, aspectos de desempenho do motor e emissões foram analisadas e comparadas com o combustível diesel fóssil. Todos os combustíveis renováveis mostram uma melhor eficiência do motor e em emissões mais baixas do que o diesel puro. Os combustíveis renováveis apresentaram melhor eficiência térmica, menores índices de emissões de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos quando comparado ao óleo diesel. Dos quatro estudados, três mostram destaque, sendo a mistura 60% diesel puro e 40% de diesel de biomassa que apresentou maior eficiência devido ao alto poder calorífico e número de cetano da mistura, e os combustíveis 100% octanol e a mistura 70% diesel e 30% octanol resultaram na menor quantidade de fumaça devido ao alto teor de oxigênio no combustível. O 1-octanol, um álcool, apresentou bom potencial para operação em motores diesel devido ao seu maior poder calorífico, melhor estabilidade de mistura se misturado ao óleo diesel, maior densidade e viscosidade, além de apresentar melhor lubrificação e um maior índice de cetano, que resulta em uma qualidade de ignição superior a álcoois de cadeia menor.

Também analisando o uso de 1-octanol, Betgeri, Bhardwaj e Pischinger (2023) investigaram misturas de 10%, 20% e 30% de 1-octanol em volume de diesel sob os aspectos de desempenho de ignição e combustão. Neste foi mostrado que o 1-octanol apresenta uma maior sensibilidade às mudanças de temperatura do que o diesel no que diz respeito à sua combustão na câmara de combustão, sendo assim, a sua velocidade de ignição sofreu com mudanças de temperatura. Além disso, com o aumento da porcentagem de 1-octanol na mistura, foi aumentado também o índice de eficiência térmica. Além disso, esse aumento provocou uma redução nas emissões de fumaça. Foi observado que a mistura de 30% de 1-octanol mostrou um potencial de eficiência semelhante ao do 1-octanol puro, entretanto, o uso do álcool puro mostrou reduções de até 90% de fumaça e 40% de monóxido de carbono.

Nos estudos de Mohan et al. (2023), foram tratados dos resultados experimentais quanto ao comportamento de um motor a diesel que foi alimentado com misturas de óleo de resíduos plásticos como substituto ao diesel convencional em proporções de 20, 40 e 100%, sendo modificado os tempos de injeção do combustível. Foi apresentado que, à medida que a concentração do novo combustível sugerido aumenta, o consumo de combustível também tende

a aumentar, já que a energia do óleo de plástico residual tem um valor calorífico mais baixo e uma densidade mais elevada. Como é necessária uma energia maior para quebrar as ligações aromáticas presentes na estrutura da mistura, a eficiência do motor também diminuiu. Houve também a redução da densidade e viscosidade de forma a melhorar o comportamento do combustível na pulverização, tendo um melhor aproveitamento. Dessa forma, observou-se que com a adição do óleo de resíduos plásticos no óleo diesel, a eficiência térmica foi menor, contudo, mostrou ser eficaz na redução das emissões do motor. A mistura com melhores características gerais foi a de 20% de óleo de resíduos plásticos, que embora apresentou ligeiro aumento nas emissões NO_x, reduziu emissões de fumaça e dióxido de carbono em 2,5% e 8%, respectivamente.

Apresentando mais uma fonte renovável de combustível, (Jain *et al.*, 2023) apresentaram estudos sobre o biodiesel de óleo de semente *Mesua ferrea* como substituto ao diesel. Na investigação os resultados mostraram uma ligeira queda na eficiência do motor que pode ser justificada pelo baixo valor calorífico do biodiesel. Nas emissões, o biodiesel apresentou menor índice de emissões devido ao maior teor de oxigênio presente no combustível, reduzindo até 39,67% das emissões de hidrocarbonetos a depender do tempo de injeção, que foi um dos parâmetros modificados para que o biodiesel de óleo de semente *Mesua ferrea* apresentasse melhoria nos parâmetros de desempenho e emissão. Também usando plantas como matéria prima para biodiesel, Selvanathan e Vijayaragavan (2023) investigaram o uso do biodiesel produzido a partir óleo de *Calophyllum inophyllum* em um motor bicomcombustível. Neste trabalho, propondo uma redução dos custos do processo de transesterificação do biocombustível, foram adicionados volumes de 10 ou 20% de álcool benzílico e éter dietílico às misturas de biodiesel para aumentar o desempenho destas. Devido aos maiores valores de viscosidade da mistura, o que afeta negativamente a atomização do combustível na câmara de combustão, a mistura de 20% do óleo com diesel apresentou menor eficiência, entretanto as misturas contendo os aditivos oxigenantes foram capazes de melhorar a eficiência do combustível. A adição do éter dietílico melhorou a taxa de atomização e acelerou o processo de combustão. O álcool benzílico possui um grupo de hidroxila que promove a propagação de radicais livres, o que gera uma reação química em cadeia que por sua vez, gera maior liberação de energia e velocidade da chama, melhorando a combustão. Essa mistura, apresentou reduções tanto de NO_x, quanto de fumaça.

Duan et al. (2023) exploraram a viabilidade do uso do metanol como substituto ao diesel ou também da gasolina em motores de combustão interna, analisando a partir das emissões do

escapamento de um veículo pesado. Foi observado que as emissões de NOx e material particulado são muito maiores quando os motores são alimentados por diesel ou mistura diesel-gasolina em comparação ao uso do metanol e gás natural. Isto se deve porque a temperatura da chama adiabática do diesel e da mistura diesel-gasolina é maior do que a do gás natural ou metanol, o que leva ao aumento das emissões de NOx. Foi verificado também que em condições de partida a frio, o metanol torna-se mais ineficiente na formação da mistura ar-combustível, já que também há uma maior injeção de combustível, entretanto causa um aumento das emissões de monóxido de carbono que só diminui quando o veículo atinge uma temperatura estável, realizando a conversão de monóxido em dióxido de carbono.

Ramachandran *et al.*, (2023) utilizou o óleo de tabaco como matéria prima para a fabricação de biodiesel. Neste, o óleo foi transesterificado usando um catalisador de base heterogêneo para produzir biodiesel que foi analisado suas características mecânicas, desempenho e emissão. Todas as misturas de biodiesel estudadas apresentaram uma melhor eficiência na conversão da energia térmica em energia mecânica, contudo, em plena carga as misturas emitiram mais monóxido de carbono. Os resultados mostraram que as misturas com menor concentração de óleo de tabaco conseguiram ter um melhor desempenho e produzir menos emissões se comparado às misturas com maior quantidade de óleo de tabaco e também ao diesel puro. Dessa forma, foi apresentado que o único tipo de emissões que aumentaram foi as de óxidos de nitrogênio.

Na produção de um biocombustível, Sathish *et al.*, (2023) utilizaram gordura de ovelha que sofreu o processo de transesterificação e assim foi analisado juntamente com a adição de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO). Foi verificado que a pressão máxima do cilindro era menor quando se utilizava as nanopartículas combinadas ao biodiesel. A mistura que era composta de 20% de biodiesel acrescida de 100ppm das nanopartículas apresentou uma taxa de liberação de calor maior, já que as nanopartículas de ZnO aceleraram a combustão e promoveram uma ignição completa. Assim, o biodiesel com esse aditivo utilizou efetivamente a energia química do combustível, o que aumentou a eficiência do motor. Se comparado ao diesel, o teor de oxigênio da nova mistura provocou uma redução de monóxido de carbono, que também pode ser melhorada já que o aditivo beneficiou a mistura ar-combustível melhorando a combustão. Outrossim é que as emissões de NOx são menores quando o combustível é acrescido das nanopartículas, mas ainda emitiram mais NOx que o diesel puro por ter maior teor de oxigênio.

Diferentemente do trabalho também sobre óleo de resíduos plásticos, Mohan, Revu Krishn et al., (2023) neste realizaram a experiência em um motor de injeção direta sem qualquer modificação no motor. Foi verificado que o combustível alternativo de óleo residual de plástico é difícil de ser pulverizado com eficácia levando muito tempo para ser utilizado devido à sua alta viscosidade. Esse combustível mostrou ter um poder calorífico mais baixo aumentando o consumo de combustível à medida que a quantidade do combustível alternativo aumenta. Entretanto, essas misturas apresentaram menos fumaça em geral, mas com aumento das emissões de NOx, assim como as emissões de dióxido de carbono que se mostraram iguais ou superiores se comparado ao diesel a depender da carga.

Lee *et al.*, (2023) realizaram estudos sobre o desempenho e emissões de um motor alimentado de combustível diesel renovável hidroprocessado. Foi observado que o combustível hidroprocessado tem uma densidade um pouco menor se comparada ao diesel e o biodiesel, entretanto apresenta maior poder calorífico que o biodiesel. O número de cetano do combustível sugerido também foi maior o que proporcionou uma melhor eficiência do motor. Quanto às emissões, foi analisado que o combustível hidroprocessado apresentou menor emissão de monóxido de carbono em determinadas condições de operação, isso se deve ao maior número de cetano que provoca uma combustão mais completa, o que também reduz emissões de dióxido de carbono que também pode ser justificado pela relação carbono/hidrogênio relativamente menores que o diesel.

O Quadro 5 traz os artigos selecionados do ano de 2023, ressaltando os principais resultados que os autores obtiveram em suas pesquisas.

Quadro 5: Artigos selecionados do ano de 2023 da base Science direct

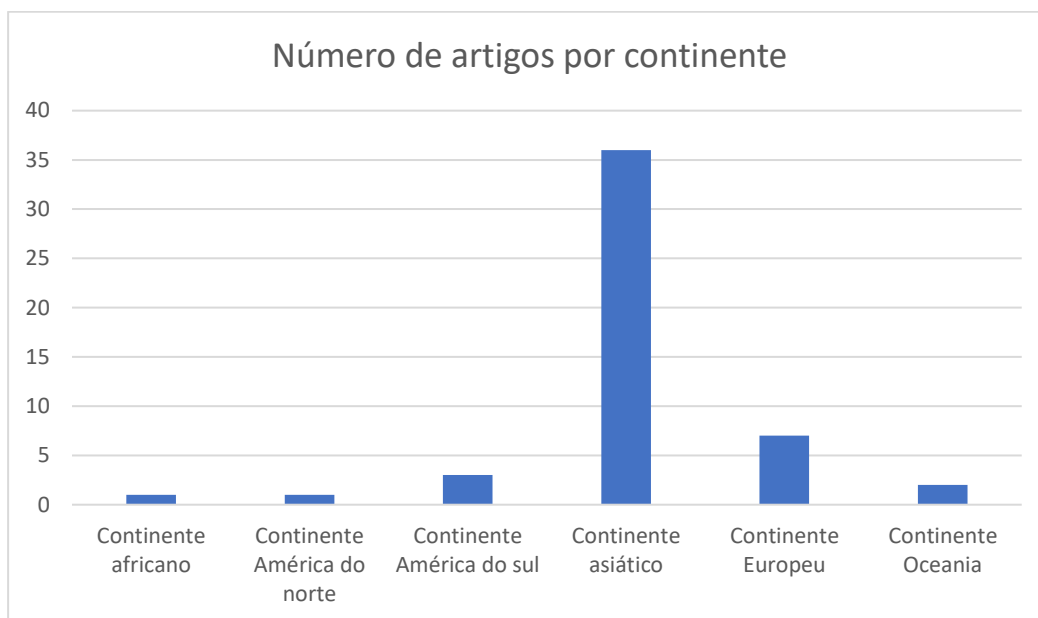
Artigo	País	Combustível estudado	Principais resultados
(Yadav; Deppenkemper ; Pischinger, 2023)	Alemanha	Misturas de Éster Metílico de óleo de Cozinha, Diesel, Octanol	• Menor índices de emissões. • Melhor eficiência. • Favoráveis ao uso em motores diesel.
(Betgeri; Bhardwaj; Pischinger, 2023)	Alemanha	Mistura de 1-octanol	• As misturas atendem as normas de número de cetano. • Houve reduções nas emissões.
(Mohan, Revu Krishna et al., 2023)	Índia	Mistura de óleo de resíduos plásticos	• Menor eficiência. • 20% de óleo de resíduos de plásticos foi a melhor mistura.

			• Reduz emissões de fumaça e CO₂.
(Jain <i>et al.</i> , 2023)	Índia	Biodiesel de óleo de semente de <i>Mesua Ferrea</i>	• Menor desempenho a depender dos parâmetros do motor. • Redução de até 39,67% de emissão de hidrocarbonetos e até 80% de monóxido de carbono.
(Selvanathan; Vijayaragavan, 2023)	Índia	Biodiesel de óleo <i>Calophyllum inophyllum</i> e aditivos	• Os aditivos melhoram o desempenho. • Houve redução tanto de fumaça quanto de NOx.
(Duan <i>et al.</i> , 2023)	China	Metanol	• Redução de NOx, hidrocarbonetos, material particulado. • Dificuldade de partida em ambientes frios.
(Ramachandran <i>et al.</i> , 2023)	Índia	Biodiesel de óleo de tabaco	• Melhor eficiência. • Todas as emissões sofreram reduções, exceto as de NOx.
(Sathish <i>et al.</i> , 2023)	Índia	Biocombustível de gordura de ovelha	• Melhor eficiência. • Redução de emissões, exceto as de NOx.
(Mohan, Revu Krishn <i>et al.</i> , 2023)	Índia	Óleo de resíduos plásticos.	• Menor poder calorífico. • Maior consumo de combustível. • Aumento das emissões NOx e CO₂, e redução de fumaça.
(Lee <i>et al.</i> , 2023)	Taiwan	Diesel renovável hidroprocessado	• Melhor eficiência e menor consumo de combustível. • Redução das emissões de monóxido e dióxido de carbono.

Fonte: Elaboração do próprio autor

Considerando a metodologia de pesquisa utilizada, os 50 artigos que foram selecionados e analisados individualmente possibilitaram destacar os principais resultados de cada um. Sendo 10 artigos por ano, a contar do ano de 2019, os artigos escolhidos foram compilados no Gráfico 2 que representa a quantidade relacionada ao continente de origem do artigo.

Gráfico 2: Artigos x Continente

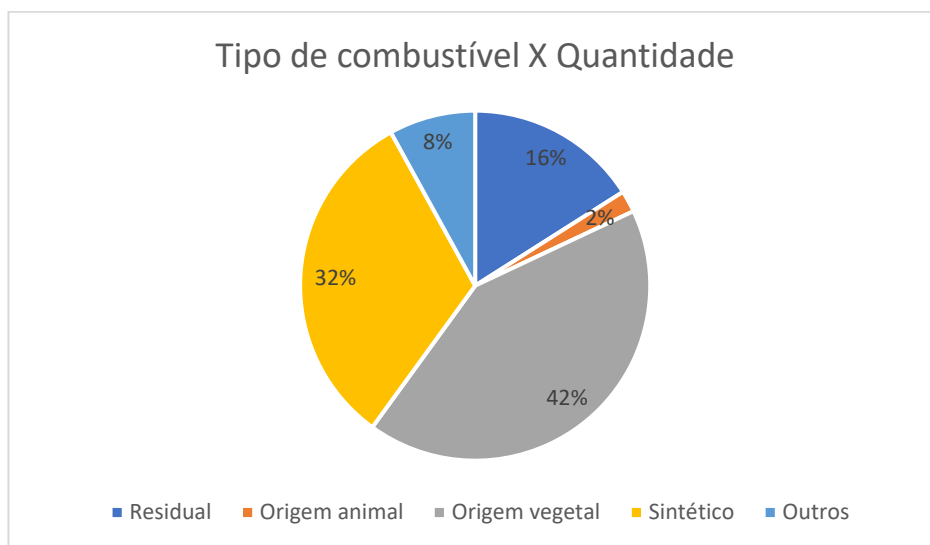


Fonte: Autoria própria

Como é possível observar, o continente asiático foi o continente com maior representatividade em número de artigos, com destaque da Índia que somou 21 artigos. Embora tenham sido revisados diversos artigos com novos combustíveis, muitos ainda eram misturas de combustíveis, sendo por exemplo um novo tipo de combustível produzido que fosse adicionado ao diesel ou gasolina.

O Gráfico 3 traz uma visão geral sobre quais os tipos de combustíveis que foram objeto de estudo dos artigos analisados.

Gráfico 3: Tipos de combustível estudado



Fonte: Elaborado pelo autor

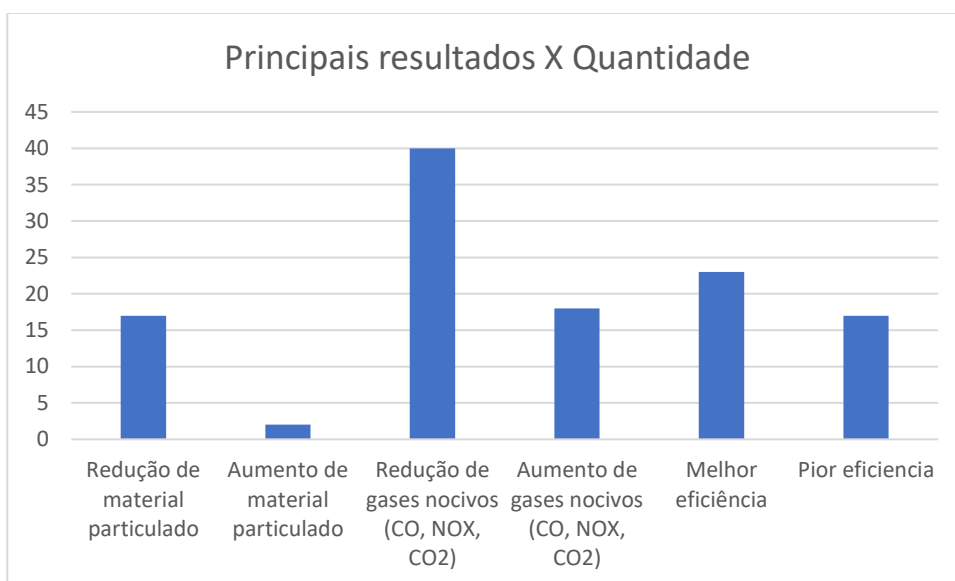
Como pode ser observado, os combustíveis de origem vegetal são a grande maioria dos combustíveis apresentados como proposta viável aos combustíveis comumente utilizados. É interessante ressaltar que não houve maiores discussões sobre o impacto causado pela produção em larga escala desses combustíveis de origem vegetal, o que cabe uma breve análise e numa prospecção futura de qual seria o cenário caso a conversão dos combustíveis fósseis às essas novas propostas fosse integral. A área cultivável certamente não iria conseguir suprir a demanda seja nacional ou global de combustíveis, e sendo o clima uma questão em pauta, não caberia nessa situação, o desmatamento para que seja aumentada a área cultivável. Outrossim seria o impacto na alimentação já que cultivares alimentícios teriam de dar lugar ao plantio voltado as plantações para produzir combustível.

Em segundo lugar estão os combustíveis sintéticos que são aqueles preparados a partir de materiais elaborados em laboratório e com misturas com outros combustíveis sejam eles renováveis ou não. Em seguida, observa-se 16% dos artigos analisados tratando de combustíveis focados na reutilização de material residual, seja esse industrial ou doméstico. Esse sim poderia abarcar toda a cadeia ecológica que está em pauta na atualidade, já que o lixo residual é um problema em todas as escalas, seja ambiental no descarte incorreto, seja no econômico por meio de tratamento, seja sanitário por conta de tratamento inadequado. A discussão acerca do combustível residual se torna mais interessante ao se debater esses pontos e também quanto á quantidade necessária para que seja abastecida uma frota considerável, além também da localização dessas indústrias que seriam responsáveis pelo tratamento e conversão

do lixo em combustível, já que o deslocamento deste também é um fator oneroso ao processo produtivo. Em último lugar estão os combustíveis de origem animal, que computou com somente 1 artigo.

De fato, poucos trabalhos apresentaram uma solução alternativa aos combustíveis fósseis. Um dos maiores problemas também observados durante as pesquisas realizadas, diz respeito ao índice de emissões de NOx. Grande parte dos artigos apresentaram reduções nos índices de emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, dióxido de carbono, entretanto, na maioria das vezes, esses vinham acompanhadas do aumento da incidência de emissões dos óxidos de nitrogênio. O Gráfico 4 traz em números a quantidade de trabalhos que atingiram 6 alvos principais, redução ou aumento de material particulado, redução ou aumento de gases nocivos, melhor ou pior eficiência.

Gráfico 4: Principais resultados x Quantidade



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

É relevante inferir que em diversos trabalhos a diminuição de todos os gases não foi possível, dessa forma, em alguns houve a diminuição da incidência de um e o aumento de outro e vice-versa.

É interessante analisar que, nos trabalhos revisados, existe uma grande preocupação ambiental e por isso a substituição dos combustíveis fósseis que são as principais emissões de gases do efeito estufa. Mas também existe um interesse econômico ou viabilidade dos combustíveis, onde esses que foram analisados, em sua grande maioria, apresentavam vantagens econômicas ou eram frutos de algum outro resíduo proveniente da atividade humana.

Nesses artigos revisados, foram observados que alguns tiveram de realizar algum tipo de ajuste em alguns parâmetros do motor para que o combustível estudado pudesse atender aos requisitos mínimos para uma boa eficiência ou para compensar aspectos do próprio combustível como densidade, viscosidade e capacidade de atomização no bico injetor. Entretanto não foi relatado modificações no processo de armazenagem do combustível, levando a entender que não há maiores dificuldades em armazenar esses combustíveis. Contudo, existem 8 artigos que trataram do enriquecimento do combustível usando misturas de combustíveis líquidos e gasosos ou só gasosos. Assim, nesses casos, haveria mudanças no sistema de armazenamento do veículo.

A grande maioria dos combustíveis estudados envolveram mistura de biocombustíveis com matéria prima vegetal. 4 artigos trataram de estudar os efeitos de aditivos que foram combinados ou com novos combustíveis sugeridos obtidos de fontes renováveis ou também nos combustíveis fosseis comumente utilizados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou uma revisão bibliográfica acerca das novas promessas de combustíveis alternativos renováveis que estão sendo estudados atualmente com a finalidade de compilar e concentrar os estudos sobre os combustíveis renováveis que foram feitos nos últimos 5 anos. Dessa forma, usando a base de dados Science Direct, foi feita a análise de 10 artigos por ano a contar do ano de 2019. Nessa análise foi possível concluir que os combustíveis de origem vegetal obtêm destaque nas pesquisas, mostrando o mesmo caminho do etanol na substituição dos combustíveis fósseis. Contudo não trazem um estudo mais aprofundado quanto ao cenário futuro de um país que faça a conversão total dos combustíveis fósseis para os renováveis, perecendo de análises sociais e também ambientais com as discutidas no tópico acima.

Além disso, vale ressaltar que a maioria dos combustíveis estudados nos artigos eram mistos, ou sejam, eram misturas de combustíveis comumente utilizados com as novas propostas de biocombustíveis ou aditivos, o que induz o pensamento de que os combustíveis fósseis ainda que muito prejudiciais ao meio ambiente, são necessários na mudança para um caminho mais ecológico. Ademais, um dos tipos de combustíveis menos mencionados nos artigos analisados, mas que demonstra e tem um potencial ecológico mais elevado, são os combustíveis produzidos a partir de resíduos, seja industrial ou doméstico. Realizando uma prospecção futura, infere-se que a reutilização dos resíduos produzidos pela existência humana alcança diversos problemas enfrentados na atualidade, como a poluição, a contaminação e também o tratamento correto.

Contudo este também pode trazer alguns desafios como a localização dessas indústrias e também o transporte do material, além do correto tratamento e separação do que é viável ou não para a conversão em combustível.

REFERÊNCIAS

- ABRAR, I.; BHASKARWAR, A. N. Performance and emission characteristics of constant speed diesel engine fueled by surfactant-free microemulsions. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s. l.], v. 47, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Gasolina. **Ministério de Minas e Energia**: Brasil, 9 nov. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/gasolina>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Institucional. **Ministério de Minas e Energia**: Brasil, 21 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/acao-a-informacao/institucional/a-anp>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- AKCAY, M.; YILMAZ, I. T.; FEYZIOGLU, A. Effect of hydrogen addition on performance and emission characteristics of a common-rail CI engine fueled with diesel/waste cooking oil biodiesel blends. **Energy**, [s. l.], v. 212, 2020.
- ARAÚJO, A. R. M. de; OLIVEIRA, E. C. de. ANÁLISE DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS DO SETOR DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO NO BRASIL. **Revista Estudo & Debate**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 143–157, 2020. Disponível em: <http://univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/2528>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- AYAD, S. M. M. E. *et al.* Analysis of performance parameters of an ethanol fueled spark ignition engine operating with hydrogen enrichment. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 45, n. 8, p. 5588–5606, 2020.
- BALASUBRAMANIAN, D. *et al.* Exploration of combustion behavior in a compression ignition engine fuelled with low-viscous Pimpinella anisum and waste cooking oil biodiesel blends. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 331, 2022.
- BASTOS, V. D. Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, [s. l.], 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- BETGERI, V.; BHARDWAJ, O. P.; PISCHINGER, S. Investigation of the drop-in capabilities of a renewable 1-Octanol based E-fuel for heavy-duty engine applications. **Energy**, [s. l.], v. 282, 2023.
- BIODIESELBR. **PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool**. [S. l.], 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- BISWAL, A. *et al.* Lemon peel oil as an alternative fuel for GDI engines: A spray characterization perspective. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 142, p. 249–263, 2019.
- CADRAZCO, M. *et al.* Characterization of renewable diesel particulate matter gathered from non-premixed and partially premixed flame burners and from a diesel engine. **Combustion and Flame**, [s. l.], v. 214, p. 65–79, 2020.

CADRAZCO, M.; SANTAMARÍA, A.; AGUDELO, J. R. Chemical and nanostructural characteristics of the particulate matter produced by renewable diesel fuel in an automotive diesel engine. **Combustion and Flame**, [s. l.], v. 203, p. 130–142, 2019.

CESUR, I. Effects of water injection strategies on performance and exhaust emissions in an ethanol fueled gasoline engine. **Thermal Science and Engineering Progress**, [s. l.], v. 34, 2022a.

CESUR, I. Investigation of the effects of water injection into an SI engine running on M15 methanol fuel on engine performance and exhaust emissions. **Energy**, [s. l.], v. 261, 2022b.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Emissão Veicular - Proconve**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

DA SILVA, K. S. *et al.* TIPOS DE COMBUSTÍVEIS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 1439–1454, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6075>. Acesso em: 27 set. 2024.

DOBRZYŃSKA, E. *et al.* Exhaust emissions from diesel engines fueled by different blends with the addition of nanomodifiers and hydrotreated vegetable oil HVO. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 259, 2020.

DUAN, X. *et al.* Experimental investigation on exhaust emissions of a heavy-duty vehicle powered by a methanol-fuelled spark ignition engine under world Harmonized Transient Cycle and actual on-road driving conditions. **Energy**, [s. l.], v. 282, 2023.

EL-SEESY, A. I.; HASSAN, H. Combustion characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel-n-butanol blend and titanium oxide additives. *In:* , 2019. **Energy Procedia**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2019. p. 48–56.

ELUMALAI, P. V. *et al.* An experimental study on harmful pollution reduction technique in low heat rejection engine fuelled with blends of pre-heated linseed oil and nano additive. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 283, 2021.

ESCOLA DE MINAS - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **O que é o etanol de segunda geração?**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://petambiental.ufop.br/blogambiental/etanolsegundageracao>. Acesso em: 29 mar. 2024.

FARAH, M. A. **Petróleo e Seus Derivados**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2013. Disponível em: <https://toaz.info/doc-view-3>. Acesso em: 27 set. 2024.

FAYAD, M. A.; TSOLAKIS, A.; MARTOS, F. J. Influence of alternative fuels on combustion and characteristics of particulate matter morphology in a compression ignition diesel engine. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 149, p. 962–969, 2020.

GARCIA, R. **Combustíveis e combustão Industrial**. 2ªed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2013. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/49794>. Acesso em: 29 mar. 2024.

GENG, L. *et al.* Study on combustion characteristics and particulate emissions of a common-rail diesel engine fueled with n-butanol and waste cooking oil blends. **Journal of the Energy Institute**, [s. l.], v. 92, n. 3, p. 438–449, 2019.

GODOI, L. de. **Química do petróleo e seus derivados**. Curitiba: [s. n.], 2022. Disponível em:
<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/198944/pdf/0?code=ue+sgOMZXjuHCDzFhx+JN1Nfl3LVdIsrXXCuSS3NytXSOjYZwQs+8KjmDhg1D2SBqZa6Uhz62FK0OuCzu8v+LQ==>. Acesso em: 29 mar. 2024.

HAGHIGHAT SHOAR, F.; NAJAFI, B.; MOSAVI, A. Effects of triethylene glycol mono methyl ether (TGME) as a novel oxygenated additive on emission and performance of a dual-fuel diesel engine fueled with natural gas-diesel/biodiesel. **Energy Reports**, [s. l.], v. 7, p. 1172–1189, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Maiores produtores mundiais de petróleo em 2023**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo/>. Acesso em: 27 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve) — Ibama**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. Acesso em: 23 jun. 2023.

JAIN, A. *et al.* Statistical analysis of Mesua Ferrea seed oil biodiesel fueled diesel engine at variable injection timings using response surface methodology. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s. l.], v. 60, 2023.

JANAKIRAMAN, S.; LAKSHMANAN, T.; RAGHU, P. Experimental investigative analysis of ternary (diesel + biodiesel + bio-ethanol) fuel blended with metal-doped titanium oxide nanoadditives tested on a diesel engine. **Energy**, [s. l.], v. 235, 2021.

KANTH, S. *et al.* Effect of fuel opening injection pressure and injection timing of hydrogen enriched rice bran biodiesel fuelled in CI engine. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 46, n. 56, p. 28789–28800, 2021.

KARTHIC, S. V. *et al.* An assessment on injection pressure and timing to reduce emissions on diesel engine powered by renewable fuel. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 255, 2020.

KOTHIYAL, N. C. *et al.* Reduction of carcinogenic PAHs from petrodiesel engine exhaust by blending of green diesel (A new development in renewable fuels) with different biodiesel fuels. **Environmental Technology and Innovation**, [s. l.], v. 25, 2022.

KUMAR, C. B.; LATA, D. B. Effect of di-tert butyl peroxide (DTBP) on combustion parameters and NO_x in dual fuel diesel engine with hydrogen as a secondary fuel. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. 4507–4525, 2021.

KURCZYŃSKI, D.; ŁAGOWSKI, P. Performance indices of a common rail-system CI engine powered by diesel oil and biofuel blends. **Journal of the Energy Institute**, [s. l.], v. 92, n. 6, p. 1897–1913, 2019.

LAGEMANN, V. **Combustão em Caldeiras Industriais - Óleo & Gás Combustível**. 1. ed. Rio de Janeiro: 2016, 2016. v. Unico Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/42112/pdf/0?code=LORDsYWr60QBftRWqefiYFAHynqzmzWAoE9x79UWWSbzqMxRkDwQZetettCWK2ZKKTTlh9+T3gZleT3HjUVvzNg==>. Acesso em: 28 jun. 2023.

LEE, C. Y. *et al.* The production of the hydro-processed renewable diesel (HRD) and its performances from a turbo-charged diesel engine. **Energy**, [s. l.], v. 270, 2023.

LI, X. *et al.* Numerical comparative study on performance and emissions characteristics fueled with methanol, ethanol and methane in high compression spark ignition engine. **Energy**, [s. l.], v. 254, 2022.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2012. v. 1 e 2 Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/51838/pdf/0?code=QQi/ASOBYG1HlaAosx/CbemEKMMxB5Vv92th/cfNdfu6kL7ufVaOLj3hz3DZYiOEbOkIXB++6J/dbLBaleKf+w==>. Acesso em: 29 mar. 2024.

MACEDO, D. R. **O emprego de combustíveis sustentáveis na aviação civil**. 2018. - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Palhoça, 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/8106>. Acesso em: 27 set. 2024.

MAHMOODI, R. *et al.* Effect of reformed biogas as a low reactivity fuel on performance and emissions of a RCCI engine with reformed biogas/diesel dual-fuel combustion. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 46, n. 30, p. 16494–16512, 2021.

MIGUEL, A.; JAMES, N. PETRÓLEO: HISTORIA Y PERSPECTIVAS GEOPOLÍTICAS. **Julio-Diciembre**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 65–70, 2012. Disponível em: Acesso em: 27 set. 2024.

MOFIJUR, M. *et al.* Investigation of exhaust emissions from a stationary diesel engine fuelled with biodiesel. In: , 2019. **Energy Procedia**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2019. p. 791–797.

MOHAN, Revu Krishn *et al.* Alternative fuel production from waste plastics and their usability in light duty diesel engine: Combustion, energy, and environmental analysis. **Energy**, [s. l.], v. 265, 2023.

MOHAN, Revu Krishna *et al.* Energy recovery from waste plastic oils as an alternative fuel source and comparative assessment of engine characteristics at varying fuel injection timings. **Energy**, [s. l.], v. 275, 2023.

O'CONNELL, N. *et al.* PODE-blend as pilot fuel in a biomethane dual fuel engine: Experimental analysis of performance, combustion and emissions characteristics. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 143, p. 101–111, 2019.

PAGLIUSO, J. D. **Combustíveis e combustão**. São Carlos: [s. n.], 1984. Disponível em: Acesso em: 27 set. 2024.

PATEL, S.; AZAD, A. K.; KHAN, M. Numerical investigation for predict diesel engine performance and emission using different fuels. *In: , 2019. Energy Procedia*. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2019. p. 834–841.

PIRJOLA, L. *et al.* Potential of renewable fuel to reduce diesel exhaust particle emissions. *Applied Energy*, [s. l.], v. 254, 2019.

PURICELLI, S. *et al.* Life Cycle Assessment of innovative fuel blends for passenger cars with a spark-ignition engine: A comparative approach. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 378, 2022.

RAHAMAN, M. *et al.* Impact of partial alteration of diesel fuel on the performance and regulated emission of a diesel engine. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, [s. l.], v. 1, 2021.

RAJAK, U. *et al.* Financial assessment, performance and emission analysis of Moringa oleifera and Jatropha curcas methyl ester fuel blends in a single-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, [s. l.], v. 224, 2020.

RAJAMOHAN, S. *et al.* Optimization of operating parameters for diesel engine fuelled with bio-oil derived from cottonseed pyrolysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, [s. l.], v. 52, 2022.

RAMACHANDRAN, B. *et al.* An experimental analysis on performance of tobacco seed oil as an alternative fuel for diesel engine. *Alexandria Engineering Journal*, [s. l.], v. 80, p. 408–416, 2023.

RAMAN, R.; KUMAR, N. Performance and emission characteristics of twin cylinder diesel engine fueled with mahua biodiesel and DEE. *Transportation Engineering*, [s. l.], v. 2, 2020.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel. *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, [s. l.], n. 31, 2003.

SAMORA, R. **CNT e Anfavea defendem mistura de biodiesel de 10%**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/cnt-e-anfavea-defendem-mistura-de-biodiesel-de-10/>. Acesso em: 21 set. 2024.

SANTOS, A. P. B.; PINTO, A. C. Biodiesel: Uma Alternativa de Combustível Limpo. *Química nova na escola*, [s. l.], v. 31, n. 1, 2009. Disponível em: Acesso em: 28 jun. 2023.

SATHISH, T. *et al.* Energy recovery from waste animal fats and detailed testing on combustion, performance, and emission analysis of IC engine fueled with their blends enriched with metal oxide nanoparticles. *Energy*, [s. l.], v. 284, 2023.

SEELAM, N. *et al.* Influence of 1-pentanol as the renewable fuel blended with hydrogen on the diesel engine characteristics and trade-off study with variable injection timing. *International Journal of Hydrogen Energy*, [s. l.], v. 47, n. 20, p. 11068–11082, 2022.

SELVANATHAN, A.; VIJAYARAGAVAN, M. Effect on minor addition of aromatic (benzyl alcohol) and diethyl ether in Calophyllum inophyllum blended diesel fuel in a CI engine operates by hydrogen energy as a secondary fuel. **Energy**, [s. l.], v. 285, 2023.

SERAÇ, M. R. *et al.* Evaluation of comparative combustion, performance, and emission of soybean-based alternative biodiesel fuel blends in a CI engine. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 148, p. 1065–1073, 2020.

SOUZA, L. K. de. Pesquisa com análise qualitativa de dados : conhecendo a análise temática. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/245380>. Acesso em: 23 jun. 2023.

THIRUVENKATACHARI, S. *et al.* An experimental study of the effects of fuel injection pressure on the characteristics of a diesel engine fueled by the third generation Azolla biodiesel. **Chemosphere**, [s. l.], v. 308, 2022.

VERMA, S. *et al.* A renewable pathway towards increased utilization of hydrogen in diesel engines. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 45, n. 8, p. 5577–5587, 2020.

VISWANATHAN, K. *et al.* Effects of antioxidant and ceramic coating on performance enhancement and emission reduction of a diesel engine fueled by Annona oil biodiesel. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, [s. l.], v. 125, p. 243–256, 2021.

WONGWUTTANASATIAN, T.; JANKOOM, S.; VELMURUGAN, K. Experimental performance investigation of an electronic fuel injection-SI engine fuelled with HCNG (H₂ + CNG) for cleaner transportation. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, [s. l.], v. 49, 2022.

YADAV, J.; DEPPENKEMPER, K.; PISCHINGER, S. Impact of renewable fuels on heavy-duty engine performance and emissions. **Energy Reports**, [s. l.], v. 9, p. 1977–1989, 2023.

YAKIN, A.; BEHÇET, R. Effect of different types of fuels tested in a gasoline engine on engine performance and emissions. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 46, n. 66, p. 33325–33338, 2021.

YUSRI, I. M. *et al.* Evaluation of engine combustion and exhaust emissions characteristics using diesel/butanol blended fuel. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 156, p. 209–219, 2019.