

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AB-DIESEL: UMA REVISÃO NA LITERATURA

AUTORES:

Bruna Assunção Antunes Rebouças
Aline Mara Maia Bessa
Raniere Dantas Valença
Frederico Ribeiro do Carmo

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal Rural do Semi-Árido

AB-DIESEL: UMA REVISÃO NA LITERATURA

Resumo

As misturas ternárias de álcool, biodiesel e diesel são uma alternativa energética promissora para o transporte com motores de combustão interna por compressão (motores diesel). Essas misturas combinam as vantagens de cada combustível, oferecendo melhoria da eficiência energética, aumento da lubricidade e redução de gases como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), e material particulado. Realizou-se, como foco, um estudo de revisão bibliográfica que envolvem essas misturas, também chamadas de “AB-Diesel”, com ênfase nos tipos de álcool utilizados, nas características do biodiesel produzido, e nas proporções das misturas com diesel, comparando-as entre si, observando os desafios e perspectivas para uso e aumento da eficiência de biocombustíveis. Os resultados da revisão bibliográfica sugerem que as misturas ternárias de álcool, biodiesel e diesel contribuem para a redução dos impactos ambientais causados pela emissão de gases poluentes como NO_x, CO e material particulado. Além disso, essas misturas com a mesma concentração de oxigênio podem melhorar a eficiência da combustão, no entanto, podem diminuir ligeiramente a potência e o torque do motor. Uma característica relevante para uma mistura combustível é a homogeneidade. Portanto, o estudo da miscibilidade da mistura diesel, biodiesel e álcool é de extrema importância para a aplicação direta em motores do ciclo diesel. Finalmente, também é explorada a comparação de desempenho energético de diesel e biodiesel. Foi constatado que as características de combustão da mistura melhoravam com a adição de 5% a 20% de álcool.

Palavras-chave: AB-Diesel, Biocombustível, Alternativa energética, Misturas Ternárias.

Abstract

Ternary mixtures of alcohol, biodiesel and diesel are a promising energy alternative for transport with compression internal combustion engines (diesel engines). These mixtures combine the advantages of each fuel, offering improved energy efficiency, increased lubricity and reduction of gases such as CO and HC, and particulate matter. The focus was on a bibliographical review study involving these mixtures, also called “AB-Diesel”, with emphasis on the types of alcohol used, the characteristics and matrix of the biodiesel produced, and the proportions of the mixtures with diesel, comparing them with each other, observing the challenges and perspectives for using and increasing the efficiency of biofuels. The results of the literature review suggest that ternary mixtures of alcohol, biodiesel and diesel contribute to reducing environmental impacts caused by the emission of polluting gases such as NO_x, CO and particulate matter from diesel engines. Furthermore, these mixtures with the same oxygen concentration can improve combustion efficiency and reduce emissions, but may slightly decrease engine power and torque. A fuel must be homogeneous, which is why the study of the miscibility of the diesel, biodiesel and alcohol mixture is extremely important for direct application in diesel cycle engines. Finally, the comparison of energy performance of diesel and biodiesel is also explored. It was found that the combustion characteristics of the mixture improved with the addition of 5% to 20% alcohol.

Keywords: AB-Diesel, Biofuel, Energy alternative, Ternary Mixtures.

Introdução

As crescentes preocupações com a mudança climática no século XXI e a finitude dos recursos fósseis estão impulsionando investimentos em fontes de energia mais limpas e renováveis. Países ao redor do mundo estão buscando reduzir sua dependência de combustíveis fósseis, incentivando o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, como veículos elétricos e energia solar, além de combustíveis alternativos e misturas ricas em biocombustíveis, diminuindo o consumo e a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases poluentes, como CO_x, NO_x, SO_x e cinzas. Como foco desse trabalho, observando os desafios e perspectivas para uso e aumento da eficiência de biocombustíveis, é realizado um estudo de revisão de trabalhos que envolvem misturas ternárias de álcool, biodiesel e diesel, também chamado de “AB-Diesel”, com ênfase nos tipos de álcool utilizado, nas características e matriz do biodiesel produzido, e nas proporções das misturas com diesel.

De acordo com Bonacorso (2021) o óleo diesel é uma mistura de hidrocarbonetos de longa cadeia e sua combustão resulta em emissões de material particulado (MP), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e de óxidos de nitrogênio (NO_x), os quais contribuem com as mudanças climáticas e o aquecimento global, além de poder resultar em prejuízos a saúde humana. A adição de compostos oxigenados, como biodiesel e álcoois, ao óleo diesel possibilita a redução da emissão de poluentes, porém pode causar separação de fase entre os combustíveis e resultar em consequências severas para a operação do motor.

Um combustível AB-Diesel é composto por álcool (geralmente etanol ou metanol), biodiesel (derivado de óleos vegetais ou gorduras animais) e diesel convencional. Essas composições, quando adequadamente formuladas, têm o potencial de otimizar as características de queima e, conseqüentemente, reduzir emissões indesejáveis, como o dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (PM), resultando em benefícios ambientais substanciais. (Silveira et al. 2014)

Como uma mistura monofásica, homogênea e estável é requerida para o uso comercial dos combustíveis, o estudo do equilíbrio líquido-líquido (ELL) é relevante. A importância do ELL é analisar se os componentes de uma mistura de composição global conhecida, a temperatura constante, formam uma solução bifásica e, assim, calcular as composições de cada fase em equilíbrio (Bonacorso, 2021). No contexto dos biocombustíveis, o ELL tem aplicações importantes na produção, na purificação e na caracterização de misturas de biodiesel, álcool e diesel. Por exemplo, o ELL pode ser utilizado para prever a formação de duas fases líquidas em um processo de separação, ou para determinar a solubilidade de um componente em uma mistura.

O conhecimento sobre o equilíbrio de fases é de extrema importância para projetos e operações de separação e purificação de produtos. Nos últimos anos, o impacto ambiental de substâncias tem se tornado um aspecto importante para o desenvolvimento correto dos processos químicos (Souza, 2018). Este trabalho visa realizar uma revisão da literatura especializada, concentrando-se na análise detalhada do estado atual da pesquisa referente à implementação e otimização de misturas ternárias de álcool, biodiesel e diesel. As abordagens investigativas abrangem aspectos diversos, incluindo métodos de produção, características termodinâmicas, comportamento de combustão em motores e impactos ambientais.

Metodologia

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é definida como o processo de coleta, conhecimento, compreensão, análise, síntese e avaliação de um conjunto de artigos científicos a fim de criar um estado da arte acerca de um determinado tópico ou assunto examinado (LEVY; ELLIS, 2006). A revisão bibliométrica da literatura (RBS) é definida como a técnica de investigação que tem por fim a análise do tamanho, crescimento e distribuição da bibliografia em um determinado campo do conhecimento (Pilkington e Meredith, 2009). O Quadro 01 apresenta o protocolo para a revisão sistemática.

QUADRO 01 – Protocolo para revisão sistemática da literatura

Pergunta da pesquisa	Como a mistura AB-Diesel pode contribuir para a redução de emissão de gases de efeito estufa sendo viável como combustível?
Base de dados	Scopus, Scielo, Scisearch Direct
Campos de busca	Título Resumo Palavras-chave
Strings de busca	TITLE-ABS-KEY (alcohol AND biodiesel AND diesel AND ternary AND blend)
CrITÉRIOS de inclusão	Artigos Data de publicação: a partir de 2014 Idioma: Inglês
CrITÉRIOS de exclusão	Artigos não alinhados ao tema proposto

Fonte: Autoria Própria

Com a utilização das principais plataformas de artigos científicos e revistas da área, procurou-se na literatura trabalhos temáticos que envolvessem misturas ternárias com álcool, biodiesel e diesel e que fossem analisados parâmetros dessas misturas, como equilíbrio das misturas (ou de fase), comportamento da mistura em motores a ignição em relação ao diesel e emissões. A seleção dos artigos seguiu critérios estritos para garantir a relevância e qualidade da informação. Foram considerados artigos publicados nos últimos dez anos, escritos em inglês, que abordassem de forma aprofundada a composição, propriedades e desempenho de misturas ternárias de álcool, biodiesel e diesel. Para tanto, realizou-se uma pesquisa de cunho bibliográfico, do tipo revisão comparativa, que segundo Almeida (2011), tal pesquisa busca relações entre conceitos, características e ideias, muitas vezes unindo dois ou mais temas.

Por se tratar de uma pesquisa bibliográfica, utilizou-se de um cenário virtual por meio de plataformas científicas de busca, a saber: Science Direct, SciELO, Scopus, através da busca pelas palavras chaves, como: “Ternary Blend”; “Alcohol, biodiesel and Diesel”; “Equilibrium liquid-liquid of Ternary Blends”; “Alternative Fuels”. Foram incluídos: obras científicas em formato de artigo científico em inglês, publicadas de 2013 a 2023. Em que foram escolhidos trabalhos que envolvessem misturas de Álcool, biodiesel e diesel para uso em motores a combustão com foco nas proporções, estudos de equilíbrio, comportamento dos motores e controle das emissões. A pesquisa nos bancos de dados escolhidos se deu através de acesso on-line no período de junho à julho de 2024. Após a realização da pesquisa, foi possível encontrar o total de 1.834 artigos. Na sequência foram aplicados os seguintes filtros, e acrescentando palavras-chave como “ternary blend” e “Alternative Fuels”, limitando a 103 artigos, a após exclusão de duplicidade, somente artigos na língua inglesa e fonte de publicação e aderência do título do artigo ao tema da pesquisa, encontrou-se 88 artigos, os quais foram selecionados para análise detalhada.

Resultados e Discussão

Singh et al. (2024) conduziu uma pesquisa sobre a produção de petróleo bruto a partir de aguapé e sua conversão em biodiesel, utilizando o aditivo de álcool n-pentanol para melhorar o desempenho do motor diesel e reduzir as emissões. O n-pentanol foi adicionado às misturas de biodiesel-diesel para aprimorar a qualidade de combustão e eficiência. Os resultados experimentais mostraram que o combustível WHB20D75P5 teve o melhor desempenho, com BSFC de 0,26 kg/kW-h, BTE de 29,5%, emissões de HC de 29 ppm, emissões de CO de 0,28 vol%, emissões de NOx de 330 ppm e emissões de CO₂ de 2,21 vol% em carga máxima. Comparado com o diesel, houve redução de 3,27% e melhoria de 7,27% no BTE para as misturas D100 e WHB20D80, respectivamente. As emissões de HC e CO também foram reduzidas para o combustível WHB20D75P5. Além disso, Singh investigou os efeitos

de adicionar n-pentanol (5% e 10% por volume) à mistura WHB20D80. Os resultados indicaram que o BSFC aumentou em 8,33% e reduziu em 21,21% em relação ao D100 e WHB20D80, respectivamente, para a mistura WHB20D75P5. O BTE foi impactado de forma semelhante, com redução em relação ao D100 e melhoria em relação ao WHB20D80. As emissões de HC, CO, NOx e CO₂ também foram reduzidas para as misturas com adição de n-pentanol.

Thippeshnaik et al. (2023) estudou as misturas ternárias de álcoois superiores (1-heptanol e n-octanol) em biodiesel híbrido e diesel em um motor de ignição por compressão. Os resultados mostraram que as misturas ternárias podem melhorar o desempenho do motor, a eficiência de combustão e reduzir as emissões em comparação com as misturas binárias. A adição de 1-heptanol e n-octanol resultou em menores emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos não queimados, mas maior emissão de dióxido de carbono e óxido nitroso. A introdução de pequenas quantidades desses álcoois melhorou a eficiência do motor, resultando em maior pico de pressão de gás no cilindro. No entanto, percentagens mais altas levaram a uma redução nesse pico de pressão. As misturas com n-octanol mostraram menores emissões de hidrocarbonetos em comparação com o óleo diesel, mas quantidades mais altas afetaram negativamente as emissões de hidrocarbonetos. Aumentar a quantidade de n-octanol levou a misturas mais ricas e maiores teores de oxigênio. O 1-heptanol reduziu as emissões de hidrocarbonetos em comparação com o diesel, mas as emissões foram mais altas do que as misturas com n-octanol. Quanto às emissões de NOx, o diesel foi o menor em todas as condições, enquanto a adição de n-octanol aumentou as emissões de NO_x devido ao maior teor de oxigênio, resultando em condições de combustão mais fracas. A mistura B20H10 teve as menores emissões de NOx, mas ainda maiores do que o diesel puro. As emissões de CO₂ foram mais altas na mistura B20O20 devido à reação do oxigênio nativo com o monóxido de carbono. A adição de álcool reduziu as emissões de CO₂ em comparação com o B20. O 1-heptanol foi significativo na formação de CO₂. As emissões de CO foram significativamente reduzidas com a adição de álcool. Em carga máxima, as misturas com 1-heptanol e n-octanol mostraram menos emissões de CO do que o diesel puro. O n-octanol contribuiu para esse efeito devido ao maior teor de oxigênio, resultando em menos formação de CO.

Bezerra et al. (2023) investigou o uso do biodiesel como aditivo para estabilizar álcoois em misturas de diesel. Foram propostas novas formulações de combustível com base em estudos termodinâmicos de sistemas ternários contendo metanol/etanol/1-butanol + biodiesel + diesel a 300,15 K e pressão atmosférica. Os dados de equilíbrio de fases foram validados pelas equações de Othmer-Tobias e Hand. Os coeficientes de distribuição e seletividade indicaram que um aumento na cadeia de carbono fortalece a solubilidade do biodiesel. Os dados experimentais foram correlacionados com os modelos UNIQUAC e NRTL, mostrando concordância com desvios menores que 1,78%. Os valores de β_2 e S indicaram que um aumento na cadeia carbônica fortalece a solubilidade entre biodiesel e etanol. A modelagem termodinâmica mostrou boa confiabilidade dos dados experimentais. Os resultados

obtidos podem ser úteis para o desenvolvimento de novas formulações de biocombustíveis com maior potencial energético e alinhadas com medidas de descarbonização na indústria. Os dados experimentais apresentados contribuem para o projeto e otimização de processos na produção de biocombustíveis de nova geração.

Erol et al. (2023) investigou a usabilidade de misturas de combustível diesel-biodiesel e diesel-biodiesel-hexanol como alternativa ao diesel em um motor de ignição por compressão. Análises de energia e exergia foram realizadas usando os dados dos testes do motor, com cálculo do índice de sustentabilidade. A mistura binária diesel-biodiesel foi apontada como a mais adequada, com aumento de 3,8% na eficiência térmica, 5,18% na eficiência exergia e 1,44% no índice de sustentabilidade em comparação com o diesel puro em carga máxima. Por outro lado, a adição de hexanol reduziu o índice de sustentabilidade em comparação com o diesel, sendo o melhor índice encontrado em misturas B45H10. O aumento da carga do motor resultou em maior índice de sustentabilidade e eficiência exergia em todas as misturas, mas o aumento de hexanol diminuiu a eficiência térmica e exergética. As eficiências térmicas dos combustíveis D100, B50 e B25H50 em carga máxima foram 29,09%, 27,98% e 25,43%, respectivamente, enquanto as eficiências exergéticas foram 21,57%, 22,69% e 18,4%, respectivamente.

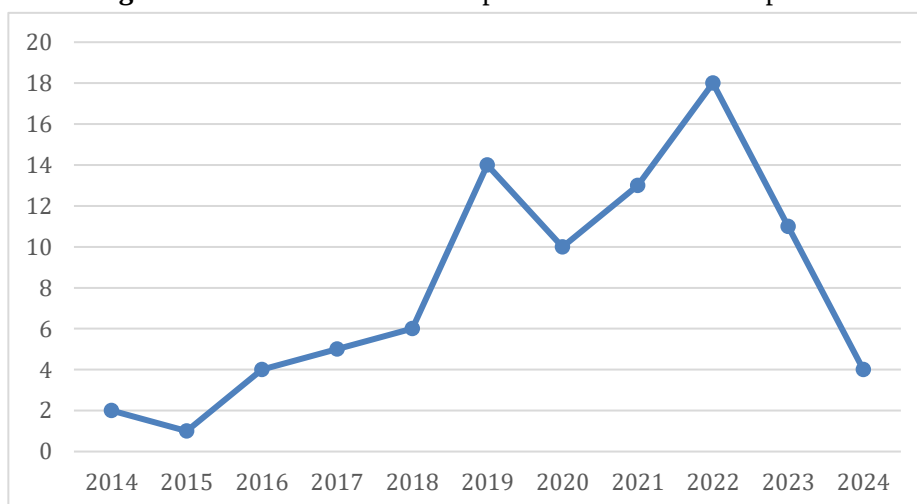
Yilbaşı et al. (2023) investigou os efeitos das misturas de biodiesel-diesel-álcool superior em um motor diesel monocilíndrico. Os testes foram feitos com cargas variáveis em uma velocidade fixa de 1500 rpm. O biodiesel foi produzido a partir de óleo de semente de cânhamo e metanol. Foram testadas misturas ternárias de combustíveis com diferentes porcentagens de diesel, biodiesel e álcool superior (pentanol, hexanol e heptanol). Os resultados mostraram que as misturas com maior teor de álcool tiveram um atraso no início da combustão. Os combustíveis com álcool mostraram menores emissões de NO_x, CO e HC não queimado, além de maior eficiência térmica, mas maior emissão de CO₂. O uso de biodiesel e álcool no diesel contribuiu para a redução de emissões de NO_x. As emissões de CO, HC, NO_x e fumaça foram menores no combustível B20 em comparação com o D100, enquanto as emissões de CO₂ e O₂ foram maiores. Ao aumentar a carga do motor, as emissões de HC, CO₂, NO_x e fumaça aumentaram, mas as emissões de CO e O₂ diminuíram. O combustível B20Pe30 apresentou as menores emissões de fumaça, CO, NO_x e HC, enquanto o B20Hp10 teve as menores emissões de CO₂ a 25% de carga do motor. As emissões de fumaça foram menores nos combustíveis com pentanol em comparação com hexanol e heptanol. Em resumo, o pentanol, hexanol e heptanol mostraram ser aditivos eficazes para reduzir as emissões sem comprometer o desempenho do motor. Eles podem ser usados como aditivos contendo oxigênio em diesel ou biodiesel.

Por fim, os efeitos de teores de álcool mais baixos e mais altos foram investigados por Zhang et al. (2021). Os experimentos foram realizados em um motor diesel monocilíndrico modificado com sistema de injeção de combustível common rail, quatro válvulas, quatro tempos e refrigerado a água.

Foi observado que as emissões de NOx diminuem significativamente com o aumento da velocidade, devido à melhor mistura do combustível-ar. O B10P10 mostrou uma queda menor de NOx em comparação com outras misturas em baixas velocidades. A taxa máxima de aumento de pressão (MPRR) apresentou uma queda consistente com o aumento da velocidade para os combustíveis testados, exceto para o B10E10, que teve uma grande perda de potência em altas velocidades. A eficiência térmica indicada (ITE) também teve um declínio com a velocidade, especialmente ao adicionar álcool às misturas de diesel-biodiesel, como o n-pentanol. O B10P10 foi o combustível que apresentou menor variação de ciclo e maior estabilidade de combustão, mesmo com o maior coeficiente de variação (COV) a 1000 rpm. Em geral, o uso de combustíveis ternários diesel/biodiesel/álcool pode ser uma opção vantajosa para motores a diesel, pois proporciona maior estabilidade de combustão e redução das emissões totais de hidrocarbonetos (THC) e monóxido de carbono (CO) em velocidades típicas de veículos.

Os trabalhos avaliados englobaram misturas ternárias de biodiesel, diesel e vários tipos de álcool visando analisar as proporções ideais, avaliar a eficiência em motores e como se comportam as emissões de gases de efeito estufa. Com base nisso, nota-se a importância de estudos voltados para o AB-Diesel, já que fatores como a concentração da mistura e o tipo de álcool utilizado afetam significativamente as propriedades desse combustível, podendo ocasionar o aumento de gases de efeito estufa e outros efeitos indesejados. A figura 1 aborda sobre os anos de publicação dos trabalhos avaliados, destacando que a maior concentração destes está nos últimos seis anos, ocorrendo um pico no ano de 2019 e 2023. Este acontecimento pode estar associado a eventos que ocorreram nesta área, como o crescimento em investimento em energias limpas e biocombustíveis.

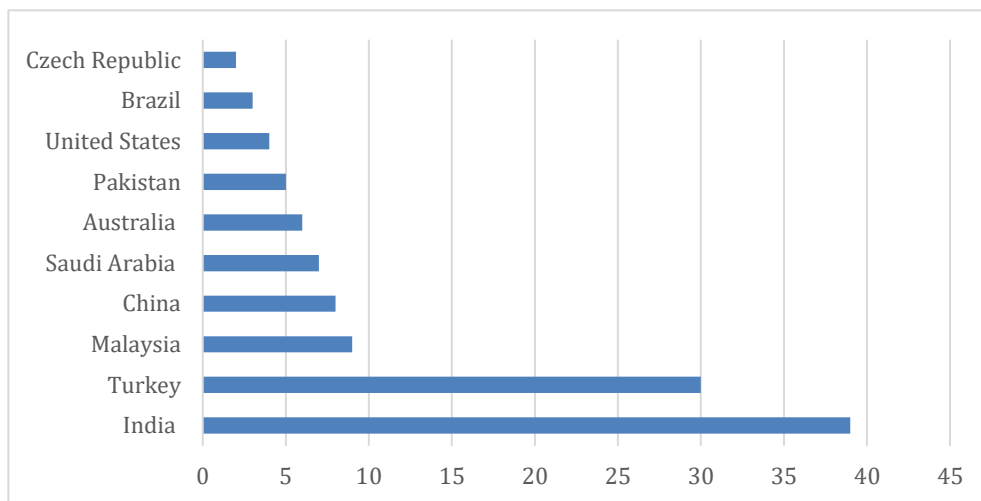
Figura 1 – Número de trabalhos publicados encontrados por ano.



Fonte: Autoria própria (2024)

Como mostrado na Figura 2, a Índia detém o maior número de publicações na base de dados do tema AB-Diesel, devido aos recentes investimentos do país associado ao uso de biocombustíveis.

Figura 2- Número de trabalhos por países nos anos de 2014 a 2024



Fonte: Autoria própria (2024)

A redução de emissões de gases poluentes é um dos principais benefícios associados ao uso de AB-Diesel. Os estudos analisados destacam uma diminuição substancial nas emissões de gases como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) quando comparado ao diesel convencional. Essa melhoria nas emissões é essencial para mitigar os impactos ambientais prejudiciais e para cumprir as regulamentações cada vez mais rigorosas relacionadas à qualidade do ar. O AB-Diesel pode desempenhar um papel fundamental na redução da pegada de carbono e no compromisso global para a mitigação das mudanças climáticas.

Conclusões

A análise comparativa dos artigos selecionados destacou a diversidade de abordagens experimentais e teóricas adotadas para investigar as misturas AB-Diesel. As misturas de combustível ternário apresentam o potencial de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a eficiência dos motores diesel. As misturas ternárias reduziram ligeiramente a potência e o torque do motor em comparação com o diesel puro. Também foi possível perceber que as emissões de NO_x foram significativamente reduzidas na maioria dos estudos. Já as emissões de CO e HC também foram reduzidas, mas em menor grau. No que diz respeito à adição de pentanol, notou-se redução na taxa de liberação de calor e o atraso de ignição. Ou seja, “as misturas ternárias reduziram ligeiramente o

desempenho do motor em comparação com o diesel puro, mas melhoraram significativamente as emissões de NOx.

É importante notar que a adição de etanol e biodiesel ao combustível diesel também pode ter alguns efeitos negativos, como a redução da viscosidade do combustível e o aumento do ponto de congelamento. Esses efeitos negativos devem ser considerados ao desenvolver misturas de etanol e biodiesel para motores diesel.

Os combustíveis diesel, biodiesel e etanol desempenham papéis cruciais em nossa economia global e são vitais para a mobilidade e a energia. Enquanto o diesel convencional enfrenta desafios ambientais, o biodiesel e o etanol oferecem soluções mais sustentáveis e indica possibilidades economicamente viáveis (IEA, 2022). À medida que avançamos para um futuro mais limpo e com menor pegada de carbono, a pesquisa e o desenvolvimento contínuos desses combustíveis e tecnologias associadas desempenharão um papel fundamental na construção de um sistema de energia mais sustentável e limpo.

Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, e ao Núcleo de Pesquisa em Economia de Baixo Carbono- UFERSA.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. de S. **Elaboração de projeto, TCC, dissertação e tese: uma abordagem simples, prática e objetiva**. São Paulo: Atlas, 2011.

DENIZ Altinkurt M, EMRE Ozturk Y, Turkcan A. Effects of isobutanol fraction in diesel– 571 biodiesel blends on combustion, injection, performance and emission parameters. *Fuel* 572 2022;330:125554.

DIAS, Telma Porcina Vilas Boas et al. Liquid-liquid equilibrium for ternary systems containing ethylic biodiesel+ anhydrous ethanol+ refined vegetable oil (sunflower oil, canola oil and palm oil): experimental data and thermodynamic modeling. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, p. 699-706, 2015.

Erol, D., Yesilyurt, M.K., Yaman, H., and Dogan, B., Evaluation of the Use of Diesel-Biodiesel-Hexanol Fuel Blends in Diesel Engines with Exergy Analysis and Sustainability Index, *Fuel*, vol. 337, Article ID 126892, 2023.

IEA, **World Energy Investment 2023**, IEA, Paris. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023>, License: CC BY 4.0

KWANCHAREON, Prommes; LUENGNARUEMITCHAI, Apanee; JAI-IN, Samai. Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. **Fuel**, v. 86, n. 7-8, p. 1053-1061, 2007.

MANEESH Singh, PRASHANT Saini, DIVYANSHI Srivastava, SRISHTI Mishra. Effect of *n*-pentanol with novel water hyacinth biodiesel-diesel ternary blends on diesel engine performance and emission characteristics. **Vietnam Journal Chemistry**, 2024

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23ª edição. Sao Paulo: Cortez, 2007. 304 p.

Thippeshnaik G, Prakash SB, Suresh AB, Chandrashekarappa MPG, Samuel OD, Der O, Ercetin A. Experimental Investigation of Compression Ignition Engine Combustion, Performance, and Emission Characteristics of Ternary Blends with Higher Alcohols (1-Heptanol and n-Octanol). *Energies*. 2023; 16(18):6582

Vargas-Ibáñez, L. T., Díaz-Ovalle, C. O., Cano-Gómez, J. J., & Flores-Escamilla, G. A. (2023). Theoretical analysis of the spray characteristics of ternary blends of diesel, biodiesel, and long-chain alcohols inside a combustion chamber. *Fuel*, 354.

YESILYURT, Murat Kadir; YILBASI, Zeki; AYDIN, Mustafa. The performance, emissions, and combustion characteristics of an unmodified diesel engine running on the ternary blends of pentanol/safflower oil biodiesel/diesel fuel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 140, p. 2903-2942, 2020.

Zeki Yilbaşı, Murat Kadir Yeşilyurt, Mevlüt Arslan, Hayri Yaman. Understanding the performance, emissions, and combustion behaviors of a DI diesel engine using alcohol/hemp seed oil biodiesel/diesel fuel ternary blends: Influence of long-chain alcohol type and concentration. *Science and Technology for Energy Transition* **2023**, 78 , 5.

ZHANG, Dengpan et al. Assessment on the volatilization performance of partially hydrogenated biodiesel-ethanol-diesel ternary fuel blends. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, 2023