

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



TÍTULO DO TRABALHO:

DIESEL RENOVÁVEL OBTIDO DA DESOXIGENAÇÃO CATALÍTICA DE ÓLEO VEGETAL OU GORDURA ANIMAL: REVISÃO

AUTORES:

João Brandão Junior ¹, Osvaldo Chiavone-Filho ², Humberto N. M. Oliveira ² e Renata Martins Braga ²

INSTITUIÇÃO:

1 – Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
2 – Docente do Programa em Engenharia Química, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

DIESEL RENOVÁVEL OBTIDO DA DESOXIGENAÇÃO CATALÍTICA DE ÓLEO VEGETAL OU GORDURA ANIMAL: REVISÃO

Resumo

O diesel renovável, também conhecido como *green diesel* ou óleo vegetal hidroprocessado (HVO, em inglês), distingue-se do biodiesel por sua composição, predominantemente composta por hidrocarbonetos saturados e sem a presença de heteroátomos, especialmente o oxigênio. Esta composição química confere ao diesel renovável maior estabilidade química e maior densidade energética em comparação ao biodiesel. Entre as diversas rotas de produção do diesel renovável, destaca-se o hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA, em inglês) pela eficiência e viabilidade econômica. Este processo envolve a desoxigenação catalítica de óleos vegetais ou gorduras animais utilizando hidrogênio, resultando em um biocombustível quimicamente semelhante ao diesel fóssil. Essa semelhança permite a mistura do diesel renovável com o diesel fóssil em qualquer proporção, sem necessidade de ajustes nos motores. No Brasil, atualmente são adicionados 14% (v/v) de biodiesel ao diesel fóssil, com previsão de aumento para 15% (v/v) em 2025. A soja é a oleaginosa mais produzida no país, sendo amplamente cultivada nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste, oferecendo baixo custo de produção, regularidade no volume produzido e facilidade de conversão em biocombustíveis. O armazenamento do biodiesel requer cuidados especiais devido à sua menor estabilidade química, pois os ésteres são mais suscetíveis à oxidação quando expostos ao ar, e sua natureza higroscópica favorece o desenvolvimento de bactérias e a formação de borras. Em contrapartida, o diesel renovável oferece vantagens significativas para a manutenção dos motores, minimizando problemas como entupimento de filtros, bombas e bicos injetores, além de aumentar a vida útil dos veículos e possuir um índice de cetano superior ao do biodiesel e do diesel convencional. Este trabalho de revisão visa apresentar pesquisas da literatura sobre a síntese do diesel renovável através do processo de desoxigenação catalítica de óleos vegetais. As condições estudadas de temperatura, pressão, razão óleo/catalisador, tempo de reação, catalisadores, suportes e respectivas conversões são classificadas e discutidas. A revisão identifica catalisadores aplicáveis, sejam eles mono ou bimetálicos de níquel, molibdênio, cobalto e tungstênio, bem como suportes mesoporosos. A partir da análise dos trabalhos reportados, foi concebido um projeto de uma unidade de laboratório para a síntese de diesel renovável utilizando óleo de soja. Este trabalho contribui para a compreensão e desenvolvimento de projeto para produção de diesel renovável, oferecendo alternativas sustentáveis e eficientes em comparação ao diesel fóssil e ao biodiesel.

Palavras-chave: green diesel; diesel renovável; desoxigenação; HVO; hidroprocessamento; hidrogênio.

Abstract

Renewable diesel, also known as green diesel or hydroprocessed vegetable oil (HVO), is distinguished from biodiesel by its composition, predominantly consisting of saturated hydrocarbons and lacking heteroatoms, especially oxygen. This chemical composition gives renewable diesel greater chemical stability and higher energy density compared to biodiesel. Among the various production routes for renewable diesel, the hydroprocessing of esters and fatty acids (HEFA) stands out for its efficiency and economic viability. This process involves the catalytic hydrodeoxygenation of vegetable oils or animal fats, resulting in a biofuel chemically similar to fossil diesel. This similarity allows renewable diesel to be blended with fossil diesel in any proportion without the need for engine adjustments. In Brazil, 14% (v/v) of biodiesel is currently added to fossil diesel, with a planned increase to 15% (v/v) in 2025. Soybean is the most produced oilseed in the country, being widely cultivated in the South, Southeast, Northeast, and Midwest regions, offering low production costs, regular production volume, and ease of conversion into biofuels. Biodiesel storage requires special care due to its lower chemical stability, as esters are more susceptible to oxidation when exposed to air, and its hygroscopic nature favors the development of bacteria and sludge formation. In contrast, renewable diesel offers significant advantages for engine maintenance, minimizing problems such as clogging of filters, pumps,

and injectors, in addition to extending the life of vehicles and having a higher cetane number than both biodiesel and conventional diesel. This review aims to present research from the literature on the synthesis of renewable diesel through the catalytic deoxygenation of vegetable oils. The studied conditions of temperature, pressure, oil/catalyst ratio, reaction time, catalysts, supports, and respective conversions are classified and discussed. The review identifies applicable catalysts, whether mono or bimetallic nickel, molybdenum, cobalt, and tungsten, as well as mesoporous supports. Based on the analysis of the reported works, a conceptual design for the synthesis of renewable diesel using soybean oil was conceived. This work contributes to the understanding and development of a project for renewable diesel production, offering sustainable and efficient alternatives compared to fossil fuels and biodiesel.

Keywords: green diesel; renewable diesel; deoxygenation; HVO; hydroprocessing; hydrogen.

Introdução

No Brasil, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) estabelece diretrizes para a adição de biocombustíveis aos combustíveis fósseis. Atualmente, a gasolina contém 27%, v/v, de etanol anidro, enquanto o diesel fóssil recebe 14%, v/v, de biodiesel (B100), com previsão de aumento para 15% em abril de 2025 e 20% em 2030 (Alves, 2024). O país possui uma diversidade de biomassas oleaginosas com diferentes composições químicas e graus de saturação, sendo a soja a cultura mais utilizada devido ao seu elevado emprego de recursos tecnológicos, ampla presença no território e principal produto de exportação do agronegócio brasileiro (Da Silva César *et al.*, 2019).

O biodiesel é um combustível biodegradável feito de fontes renováveis como gorduras animais e óleos vegetais e resulta da transesterificação de triglicerídeos com álcoois de cadeia curta (Brandão Junior *et al.*, 2023; Caporusso *et al.*, 2023; Ramos *et al.*, 2017). O biodiesel é quimicamente diferente do diesel de petróleo, que é composto por hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos e aromáticos (Orozco *et al.*, 2017). O aumento da proporção de biodiesel na mistura com diesel pode gerar impactos econômicos e técnicos significativos, como problemas relatados por motoristas devido à alta concentração de biodiesel (B100) na mistura (Feldman, 2024). Além disso, o armazenamento do biodiesel requer cuidados especiais por sua menor vida útil e suscetibilidade à oxidação e absorção de água, favorecendo o desenvolvimento de bactérias e a formação de borras (Piovesan; Miranda, 2024; Texaco, 2024; XP3, 2024).

Apesar de ser uma fonte renovável e possuir vantagens como biodegradabilidade e menor emissão de poluentes, o biodiesel apresenta limitações, como menor conteúdo energético e instabilidade química comparada ao diesel de petróleo (Gerpen; He, 2014). O diesel renovável é um biocombustível de segunda geração que responde à demanda por combustíveis líquidos sustentáveis e à necessidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Esse biocombustível é composto principalmente por n-alcenos. O diesel renovável pode ser produzido pela desoxigenação de óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais, utilizando elevadas temperaturas e pressões na presença de catalisadores. Este processo pode ocorrer na presença ou não de hidrogênio (Caporusso *et al.*, 2023).

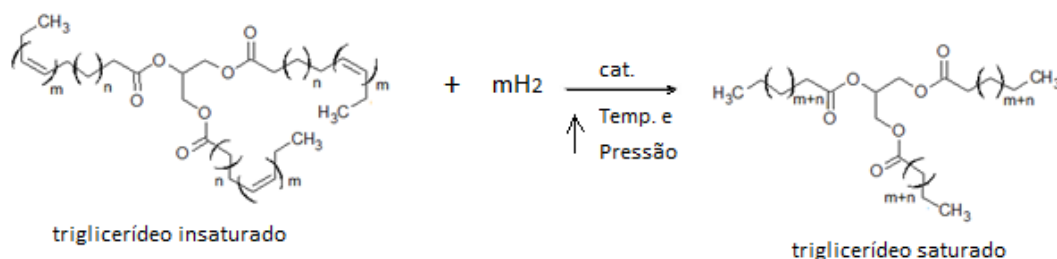
O diesel renovável oferece vantagens como redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), menor emissão de enxofre e material particulado, biodegradabilidade e menor dependência de combustíveis fósseis (Di Vito Nolfi; Gallucci; Rossi, 2021).

Metodologia

O diesel Renovável, também conhecido como *green diesel* ou óleo vegetal hidroprocessado (HVO, em inglês), é um combustível avançado produzido a partir da desoxigenação de fontes renováveis, como óleos vegetais, gorduras animais e resíduos orgânicos. O objetivo é reduzir a

dependência de combustíveis fósseis, mitigar as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental (Asikin-Mijan *et al.*, 2017).

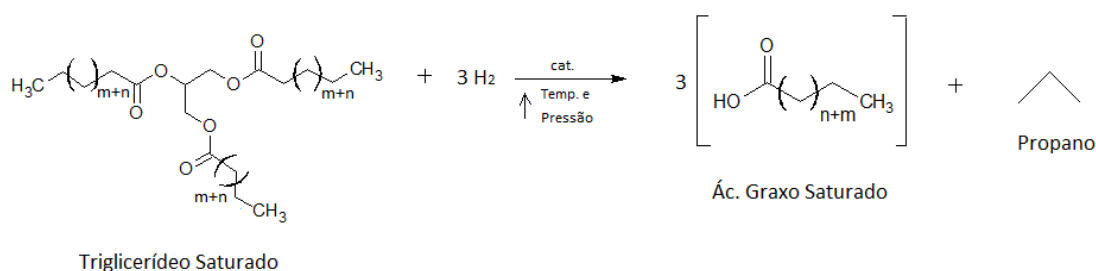
Os óleos vegetais e gorduras animais são compostos por triglicerídeos, que inicialmente sofrem hidrogenação em duas etapas: saturação do triglicerídeo (Figura 1) e a reação de hidrogenólise, que consiste na conversão do triglicerídeo saturado em três moléculas de ácidos graxos livres e uma de propano (Figura 2) (Gosselink *et al.*, 2013; Hongloi; Prapainainar; Prapainainar, 2022). Esses ácidos graxos obtidos, normalmente, possuem 12, 14, 16 ou 18 átomos de carbono (Baumann *et al.*, 1988). A desoxigenação dos óleos vegetais é um processo de hidrogenação catalítica que remove o oxigênio das moléculas dos ácidos graxos, formando hidrocarbonetos, principais componentes dos biocombustíveis (Di Vito Nolfi; Gallucci; Rossi, 2021).



Fonte: Di Vito Nolfi *et al.* (2021), adaptada.

Figura 1. Reação catalítica de saturação dos triglicerídeos sob elevada temperatura.

Em seguida, o triglicerídeo saturado sofre uma clivagem nas ligações carbono-oxigênio (C-O) na presença de hidrogênio (H_2) e um catalisador adequado, resultando na formação dos ácidos graxos constituintes e liberação do propano como subproduto, conforme a Figura 2 (Veriansyah *et al.*, 2012). Esse processo ocorre sob elevadas pressões (20 a 50 bar) e temperaturas (200 a 300 °C) (Asikin-Mijan *et al.*, 2017; Di Vito Nolfi; Gallucci; Rossi, 2021; Vázquez-Garrido *et al.*, 2021).

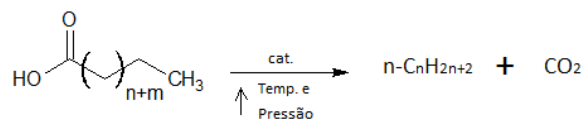


Fonte: Di Vito Nolfi *et al.* (2021), adaptada.

Figura 2. Reação de hidrogenólise do triglicerídeo para obtenção de seus respectivos ácidos graxos.

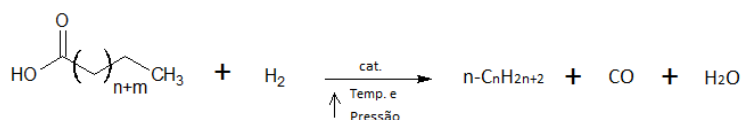
A conversão dos ácidos graxos em hidrocarbonetos pode ocorrer por meio de três reações de desoxigenação: Descarboxilação (DCX), Descarbonilação (DCN) e Hidrodesoxigenação (HDO). Na Descarboxilação, o grupo carboxila ($-COOH$) é removido dos ácidos graxos, liberando CO_2 , Figura 3. Na Descarbonilação, o grupo carbonila ($-CHO$) é removido, liberando CO e H_2O , Figura 4 (Thongkumkoon *et al.*, 2019; Veriansyah *et al.*, 2012). A Hidrodesoxigenação, por outro lado, é a única reação de desoxigenação que mantém o tamanho da cadeia de carbono do hidrocarboneto igual ao do ácido graxo original, liberando apenas H_2O , Figura 5. Nas reações de Descarboxilação e Descarbonilação, os hidrocarbonetos gerados possuem cadeias carbônicas menores que as dos ácidos

graxos originais (Asikin-Mijan *et al.*, 2017; Di Vito Nolfi; Gallucci; Rossi, 2021; Thongkumkoon *et al.*, 2019).



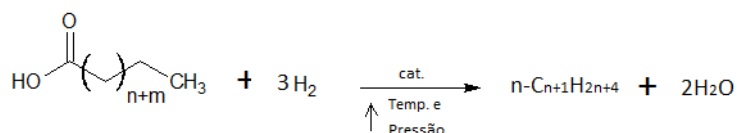
Fonte: Choi *et al.* (2018) e Di Vito Nolfi *et al.* (2021), adaptada.

Figura 3. Reação de descarboxilação do ácido graxo.



Fonte: Choi *et al.* (2018) e Di Vito Nolfi *et al.* (2021), adaptada.

Figura 4. Reação de descarbonilação do ácido graxo.



Fonte: Kubička e Kaluža (2010) e Choi *et al.* (2018), adaptada.

Figura 5. Reação de hidrodesoxigenação do ácido graxos.

Os parâmetros que influenciam a desoxigenação incluem o tipo de catalisador e suporte, temperatura do processo, pressão de hidrogênio, tempo de reação, relação óleo/catalisador e a natureza do ácido graxo.

Kubička & Kaluža (2010) realizaram a desoxigenação catalítica do óleo de colza usando catalisadores de Ni, Mo e NiMo sulfetados suportados em alumina. O catalisador NiMo/Al₂O₃ produziu hidrocarbonetos tanto por descarboxilação quanto por hidrodesoxigenação. Os pesquisadores utilizaram um reator de leito fixo, temperatura de 260-280 °C e pressão de H₂ de 3,5 MPa.

Veriansyah *et al.* (2012) sintetizaram o diesel renovável a partir do óleo de soja, utilizando diversos catalisadores em um reator de batelada. Eles realizaram dois experimentos com a razão de massa catalisador/óleo diferentes (0,044 e 0,088), sob condições de pressão de H₂ de 9,2 MPa, temperatura de 400°C e tempo reacional de 2 hora.

Kaewmeesri *et al.* (2015) utilizaram gordura de frango em um reator de leito gotejante com catalisador Ni/γ-Al₂O₃. Eles obtiveram rendimentos de hidrocarbonetos variando de 90 a 95%, com predominância de n-C₁₇. O estudo foi conduzido a uma temperatura de 330 °C, sob pressão de H₂ de 10 bar e uma vazão de H₂ de 50 cm³/min.

Asikin-Mijan *et al.* (2017) conduziram um estudo utilizando óleo de pinhão manso com catalisadores de Co, Ni e Ni-Co suportados em nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNT). Os pesquisadores investigaram catalisadores específicos: Ni/MWCNT, Co/MWCNT e Ni_nCo₁₀/MWCNT, com a variável *n* variando de 5 a 40% em peso, mantendo o teor de Co fixo em 10% em peso em relação à massa do suporte. O reator de semibatelada foi, inicialmente, submetido a vácuo

para remover o ar, seguido por condições experimentais de 5 mbar de pressão de gás inerte, temperatura de 350 °C e duração de 1 hora.

Tapia *et al.* (2017) compararam o desempenho de um catalisador comercial de NiMo/Al₂O₃ com um catalisador sintetizado por eles, Ni₃Mo₁₅/CA, na desoxigenação do óleo de pinhão manso. Utilizaram um reator de batelada de 50 ml, com uma carga de 4,75 g de óleo e 0,25 g de catalisador, operando a 350 °C por 3 horas, sob uma pressão de H₂ de 90 bar.

Thongkumkoon *et al.* (2019) compararam os rendimentos dos catalisadores bimetálicos sulfetados de NiMo/γ-Al₂O₃ como o trimetálico sulfetado ReNiMo/γ-Al₂O₃ no processo de desoxigenação do óleo de palma, em um reator de batelada, a uma temperatura de 370 °C, pressão de 36 bar e com 1h de reação.

Orozco *et al.* (2017) investigaram a síntese de diesel renovável a partir do óleo de mamona. Eles desenvolveram a pesquisa em dois reatores contínuos de leito fixo com diâmetro interno de 0,9 cm e interligados em série. O primeiro reator foi submetido a uma temperatura de 270 °C e tinha a função de remover a hidroxila e fazer a saturação do ácido ricinoleico e o segundo reator operou com uma temperatura de 350 °C e tinha como função realizar a desoxigenação da matéria prima. O catalisador e a pressão de H₂ utilizados em ambos os reatores foi o NiMo/Al₂O₃ e 3,5 MPa, respectivamente.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta dados sobre a produção de diesel renovável a partir de diferentes tipos de óleos, utilizando diversos tipos de reatores e catalisadores.

Tabela 1. Processos de síntese de diesel renovável por desoxigenação catalítica citados na literatura.

óleo	reator ^a	catalisador	T (°C)	P _{H2} (bar)	rendimento (%)	Ref.
p. manso ^b	1	NiCo/MWCNT	350	-	>70	(Asikin-Mijan <i>et al.</i> , 2017)
p. manso ^b	2	Ni ₃ Mo ₁₅ /CA	350	50	80	(Tapia <i>et al.</i> , 2017)
p. manso ^b	2	Ni ₃ Mo ₁₅ /SiO ₂	350	50	60	(Tapia <i>et al.</i> , 2017)
p. manso ^b	2	Ni ₃ Mo ₁₅ /Al ₂ O ₃	350	50	40	(Tapia <i>et al.</i> , 2017)
g. frango ^c	3	Ni/γ-Al ₂ O ₃	330	50	69,8	(Kaewmeesri <i>et al.</i> , 2015)
g. frango ^d	3	Ni/γ-Al ₂ O ₃	330	50	72,9	(Kaewmeesri <i>et al.</i> , 2015)
colza	2	Ni _{0,3} Mo/Al ₂ O ₃	270	35	ND ^e	(Kubička; Kaluža, 2010)
colza	2	Ni/Al ₂ O ₃	270	35	ND ^e	(Kubička; Kaluža, 2010)
colza	2	Mo/Al ₂ O ₃	270	35	ND ^e	(Kubička; Kaluža, 2010)
soja	4	NiMo/γ-Al ₂ O ₃	400	92	92,9	(Veriansyah <i>et al.</i> , 2012)
soja	4	CoMo/γ-Al ₂ O ₃	400	92	78,9	(Veriansyah <i>et al.</i> , 2012)
palma	4	ReNiMo/γ-Al ₂ O ₃	370	35	86,95	(Thongkumkoon <i>et al.</i> , 2019)
mamona	2	NiMo/Al ₂ O ₃	350	35	98	(Orozco <i>et al.</i> , 2017)

^atipos de reator: 1 = semibatelada; 2 = contínuo de leito fixo; 3 = leito gotejante de fluxo descendente; 4 = batelada;

^bp. manso = pinhão manso;

^cg. frango = gordura de frango livre de água;

^dg. frango = gordura de frango contendo 4% (m/m) de água.

^eND = Não determinado; a conversão relativa do Ni_{0,3}Mo/Al₂O₃ e do Ni/Al₂O₃ foi de 2,08 e 0,65, respectivamente, em relação a conversão do Mo/Al₂O₃.

Nas pesquisas realcionadas foram utilizados diferentes tipos de óleos, de reatores e catalisadores. A temperatura de reação variou de 270°C a 400°C e a pressão de H₂ de 35 a 92 bar. No entanto, os rendimentos comprovam a viabilidade dos procesos empregados.

Veriansyah *et al.* (2012) utilizaram a maior temperatura, resultando em altos rendimentos de 92,9% e 78,9% com catalisadores NiMo/γ-Al₂O₃ e CoMo/γ-Al₂O₃, respectivamente. A ordem de conversão dos catalisadores foi: NiMo/γ-Al₂O₃ sulfetado (92,9%) > Pd/γ-Al₂O₃ (91,9%) > CoMo/γ-Al₂O₃ sulfetado (78,9%) > Ni/SiO₂-Al₂O₃ (60,8%) > Pt/γ-Al₂O₃ (50,8%) > Ru/Al₂O₃ (39,7%) com a relação catalisador/óleo de 0,044. No produto líquido, os alcanos n-C₁₇ e n-C₁₅ de cadeia linear foram

mais abundantes com os catalisadores de Ni ou Pd/ γ -Al₂O₃, enquanto o CoMo/ γ -Al₂O₃ favoreceu a isomerização e o craqueamento, produzindo hidrocarbonetos mais leves e isomerizados. A análise dos produtos mostrou que a descarboxilação foi a via reacional predominante com o catalisador Pd/ γ -Al₂O₃, enquanto a hidrodessoxigenação foi favorecida pelos catalisadores NiMo/ γ -Al₂O₃ e CoMo/ γ -Al₂O₃.

Tapia *et al.* (2017), assim como Asikin-Mijan *et al.* (2017), trabalharam com óleo de pinhão manso. No entanto, apenas os rendimentos obtidos com o catalisador suportado em carvão ativado no estudo de Tapia *et al.* (2017) foram superiores aos de Asikin-Mijan *et al.* (2017). Ambos utilizaram uma temperatura de 350 °C, mas apenas Tapia *et al.* (2017) empregou uma atmosfera de H₂ a uma pressão de 50 bar. O catalisador bimetálico NiMo foi utilizado em ambos os estudos, porém Tapia *et al.* (2017) variou a proporção dos metais e o suporte. Segundo Tapia *et al.* (2017), o melhor rendimento obtido foi de 80%, com a razão Ni de 3:15 e o suporte de carvão ativado. O tipo de suporte, como carvão ativado, sílica ou nanotubos de carbono, influenciou significativamente a atividade catalítica e os rendimentos.

Segundo Asikin-Mijan *et al.* (2017), o catalisador que demonstrou o melhor desempenho foi o Ni₂₀Co₁₀/MWCNT, com rendimento de hidrocarbonetos superior a 70% e seletividade acima de 60% para os produtos C₁₅ e C₁₇. Eles não fizeram uso de uma atmosfera reacional de hidrogênio.

Os experimentos de Thongkumkoon *et al.* (2019) mostraram que a adição do metal rênio (Re) no catalisador NiMo/ γ -Al₂O₃ aumentou seu rendimento devido ao aumento da área superficial do NiMo em 20,4%, redução do tamanho das partículas metálicas e melhor dispersão do metal no suporte.

Kubička & Kaluža (2010) observaram que quando utilizaram o catalisador Ni_{0,3}Mo/Al₂O₃, que foi o mais eficaz no rendimento, os hidrocarbonetos obtidos foram oriundos das reações de descarboxilação (DCX) e hidrodessoxigenação (HDO). O segundo catalisador de melhor rendimento, Mo/Al₂O₃, gerou exclusivamente reações de hidrodessoxigenação (HDO) e o Ni/Al₂O₃ de descarboxilação (DCX).

Kaewmeesri *et al.* (2015) observaram que usando a gordura de frango contendo 4% (m/m) de água a hidrólise do triglicerídeo ocorreu mais facilmente influenciando, assim, no rendimento. Eles observaram também que as reações de descarboxilação (DCX) e descarbonilação (DCN) ocorram em maior proporção que a reação de hidrodessoxigenação (HDO).

Os resultados de Orozco *et al.* (2017) demonstraram o maior rendimento em condições de temperatura e pressão inferiores ao trabalho de Veriansyah *et al.* (2012), ainda que operando com um óleo contendo uma hidroxila a mais na cadeia carbônica.

Esses estudos demonstram que a matéria-prima pode ser diversificada, mas todas alcançaram boa conversão com diferentes rendimentos, destacando que a eficiência do processo depende não apenas do catalisador, mas também da natureza do ácido graxo.

Conclusões

O diesel renovável é um biocombustível alternativo promissor para a matriz energética, podendo substituir o diesel fóssil. Diferentemente do biodiesel, que enfrenta problemas de oxidação e formação de borras durante o armazenamento, prejudicando a manutenção dos motores, o diesel renovável melhora a qualidade da mistura com o diesel fóssil e contribui para a redução das emissões.

A produção de diesel renovável por desoxigenação de óleos vegetais e gordura animal é um processo complexo influenciado por diversos fatores, como: tipo de catalisador, suporte, temperatura, pressão de hidrogênio, tempo de reação, tipo de reator e a natureza do óleo. Apesar disso, o processo de desoxigenação de óleos vegetais ou gordura animal é tecnicamente viável, pois converte os triglicerídeos em hidrocarbonetos semelhantes ao diesel fóssil através das reações de descarbonilação (DCN), descarboxilação (DCX) e hidrodessoxigenação (HDO).

A literatura demonstra que catalisadores bimetálicos de NiMo suportados em substratos mesoporosos são mais eficientes. Por isso, foi observado que é recomendado o uso do catalisador

NiMo/CA, já que o carvão ativado garante uma difusão mais eficiente dos reagentes, limita o craqueamento e apresenta baixo custo.

Todos os estudos analisados alcançaram resultados satisfatórios de conversão, mesmo com a variação da natureza do óleo. Com base nas pesquisas relacionadas é indicada a utilização do óleo de soja como matéria prima, por ser uma biomassa bastante disponível no Brasil e possuir baixo custo.

O maior desafio deste estudo é a otimização dos parâmetros reacionais, que são essenciais para melhorar a produção de diesel renovável, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a diversificação das fontes de energia.

Agradecimentos

Ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química, a ANP e a CAPES, pelo fomento a nossa pesquisa.

Referências Bibliográficas

ALVES, F. **Combustível do futuro: proposta autoriza até 35% de etanol adicionado à gasolina.** Disponível em: <<https://brasil61.com/n/combustivel-do-futuro-proposta-autoriza-ate-35-de-etanol-adicionado-a-gasolina-bras2411091>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ASIKIN-MIJAN, N. *et al.* Production of green diesel via cleaner catalytic deoxygenation of Jatropha curcas oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1048–1059, 2017.

BAUMANN, H. *et al.* Natural Fats and Oils—Renewable Raw Materials for the Chemical Industry. **Angewandte Chemie International Edition in English**, v. 27, n. 1, p. 41–62, 1988.

BRANDÃO JUNIOR, J. *et al.* Performance of Eversa Transform 2.0 Lipase in Ester Production Using Babassu Oil (Orbignya sp.) and Tucuman Oil (Astrocaryum vulgar): A Comparative Study between Liquid and Immobilized Forms in Fe₃O₄ Nanoparticles. **Catalysts**, p. 19, 2023.

CAPORUSSO, A. *et al.* Techno-economic Analysis of Green Diesel Production Process from Vegetable Oils. **Chemical Engineering Transactions**, v. 100, n. December 2022, p. 13–18, 2023.

CHOI, I. H. *et al.* Production of bio-jet fuel range alkanes from catalytic deoxygenation of Jatropha fatty acids on a WO_x/Pt/TiO₂ catalyst. **Fuel**, v. 215, n. November 2017, p. 675–685, 2018.

DA SILVA CÉSAR, A. *et al.* Competitiveness analysis of “social soybeans” in biodiesel production in Brazil. **Renewable Energy**, v. 133, p. 1147–1157, 2019.

DI VITO NOLFI, G.; GALLUCCI, K.; ROSSI, L. Green diesel production by catalytic hydrodeoxygenation of vegetables oils. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 24, 2021.

FELDMAN, B. **Biodiesel: combustível que pode travar o motor do seu carro.** Disponível em: <<https://www.vrum.com.br/colunistas/boris-feldman/2024/05/6857363-biodiesel-combustivel-que-pode-travar-o-motor-do-seu-carro.html>>. Acesso em: 26 maio. 2024.

GERPEN, J. H. VAN; HE, B. B. Biodiesel and renewable diesel production methods. In: IDAHO, U. OF (Ed.). **Advances in Biorefineries: Biomass and Waste Supply Chain Exploitation**. USA: Woodhead Publishing Limited, 2014. p. 441–475.

GOSSELINK, R. W. *et al.* Reaction pathways for the deoxygenation of vegetable oils and related model compounds. **ChemSusChem**, v. 6, n. 9, p. 1576–1594, 2013.

HONGLOI, N.; PRAPAINAINAR, P.; PRAPAINAINAR, C. Review of green diesel production from fatty acid deoxygenation over Ni-based catalysts. **Molecular Catalysis**, v. 523, n. September 2020, p. 111696, 2022.

KAEWMEEESRI, R. *et al.* Deoxygenation of waste chicken fats to green diesel over Ni/Al₂O₃: Effect of water and free fatty acid content. **Energy and Fuels**, v. 29, n. 2, p. 833–840, 2015.

KUBIČKA, D.; KALUŽA, L. Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 372, n. 2, p. 199–208, 2010.

OROZCO, L. M. *et al.* Second-generation green diesel from castor oil: Development of a new and efficient continuous-production process. **Chemical Engineering Journal**, v. 322, p. 149–156, 2017.

PIOVESAN, E.; MIRANDA, T. **Câmara aprova projeto dos “combustíveis do futuro”**. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/1043361-camara-aprova-projeto-dos-combustiveis-do-futuro/>>. Acesso em: 14 jul. 2024.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel: Raw materials, production technologies and fuel properties. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 317–369, 2017.

TAPIA, J. *et al.* NiMo - sulfide supported on activated carbon to produce renewable diesel. **Universitas Scientiarum**, p. 71–85, 30 mar. 2017.

TEXACO. **Biodiesel e suas vantagens para o meio ambiente**. Disponível em: <<https://blog.texaco.com.br/ursa/biodiesel-vantagens-meio-ambiente/>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

THONGKUMKOON, S. *et al.* Catalytic activity of trimetallic sulfided Re-Ni-Mo/ γ -Al₂O₃ toward deoxygenation of palm feedstocks. **Renewable Energy**, v. 140, p. 111–123, 2019.

VÁZQUEZ-GARRIDO, I. *et al.* Synthesis of NiMo catalysts supported on Mn-Al₂O₃ for obtaining green diesel from waste soybean oil. **Catalysis Today**, v. 365, p. 327–340, 2021.

VERIANSYAH, B. *et al.* Production of renewable diesel by hydroprocessing of soybean oil: Effect of catalysts. **Fuel**, v. 94, p. 578–585, 2012.

XP3. **14% de Biodiesel no Diesel: como prevenir os problemas dessa medida?** Disponível em: <<https://blog.xp3.com.br/14-de-biodiesel-no-diesel-como-prevenir-os-problemas-dessa-medida/>>. Acesso em: 20 abr. 2024.