

Potenciais do diesel verde produzido por hidrotratamento de óleos vegetais

DOI: 10.5281/zenodo.14768403

Hellen Ferreira da Silva^{a*}

Green diesel, produced through the hydroprocessing of vegetable oils, emerges as a promising alternative to petroleum-derived diesel, exhibiting reduced greenhouse gas emissions and physicochemical properties similar to those of fossil diesel. Its adoption is facilitated by being a drop-in fuel, allowing its use in existing engines without the need for modifications. The advancement of green diesel aligns with global sustainability goals, promoting a cleaner and more responsible energy transition.

O diesel verde, produzido por meio do hidrotratamento de óleos vegetais, surge como uma alternativa promissora ao diesel derivado do petróleo, apresentando emissões reduzidas de gases de efeito estufa e propriedades físico-químicas similares às do diesel fóssil. Sua adoção é facilitada por ser um combustível *drop-in*, o que permite seu uso em motores existentes sem a necessidade de adaptações. O avanço do diesel verde está alinhado com as metas globais de sustentabilidade, promovendo uma transição energética mais limpa e responsável.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: hellenferreiradf@gmail.com

Palavras-chave: Diesel verde; biocombustíveis; hidrotratamento; sustentabilidade.

Recebido em 27 de dezembro de 2024,

Aprovado em 08 de janeiro de 2025,

Publicado em 31 de janeiro de 2025.

Introdução

Em um mundo marcado por desafios ambientais e uma crescente demanda por fontes de energia sustentáveis, a busca por alternativas renováveis se torna cada vez mais urgente.¹ Embora as energias renováveis eólica e solar já estejam sendo implementadas em várias regiões do Brasil, o petróleo continua a ser um recurso essencial, sendo amplamente utilizado em setores como alimentação, transporte e aviação. A formação do petróleo leva milhões de anos, e sua exploração em larga escala resulta em impactos ambientais e em uma dependência de uma fonte não renovável. Adicionalmente, a emissão de gases de efeito estufa (GEE), como Dióxido de Carbono (CO₂) e Monóxido de Carbono (CO), se intensificou nas últimas décadas, levando à necessidade de políticas públicas e iniciativas para edulcorar essas emissões.²

Neste contexto, os biocombustíveis emergem como alternativas promissoras. Entre eles, o biodiesel, obtido por transesterificação ou esterificação, apresenta a vantagem de utilizar matéria-prima renovável. No entanto, suas desvantagens, como viscosidade e a necessidade de adaptações nos motores, limitam seu uso.^{1,3} Além disso, a utilização de biomassas alimentícias para sua produção, por exemplo a soja, pode elevar os custos do alimento no mercado interno.⁴

O diesel renovável, ou diesel verde, surge como uma solução mais eficaz, utilizando fontes de biomassa não alimentícias e, portanto, minimizando esses problemas. Produzido a partir de processos que eliminam os GEE como subprodutos durante a reação, o diesel verde apresenta emissões de CO₂ significativamente reduzidas, além de possuir propriedades físico-químicas que muitas vezes superam as do diesel fóssil, como um número de cetano elevado.^{1,6} O diesel verde pode ser obtido por diversas rotas, sendo o hidrotratamento de óleos vegetais o processo mais amplamente utilizado. É um processo químico de uma reação onde visa eliminar grupos funcionais insaturados pela adição de hidrogênio a temperatura e pressão controladas. O diesel verde obtido por hidrotratamento de óleo vegetal é chamado de HVO (*Hydrotreated vegetable oil*) e de processo de produção consiste em tratar o óleo vegetal com hidrogênio na presença de catalisador e tem como produto os hidrocarbonetos (HVO), água e os gases propano, etano e metano.

O desenvolvimento do diesel verde também se alinha com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em especial os objetivos 7, 9, 11, 12 e 13 que tratam de energia limpa, inovação, comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis e ação contra a mudança global do clima, respectivamente.⁵ Assim, a exploração do potencial do diesel verde produzido por hidrotratamento de óleos vegetais é

uma estratégia essencial para promover um futuro mais sustentável e responsável em termos energéticos.

Metodologia

Para o desenvolvimento do artigo de Thais Juliane Neves foram utilizados meios de pesquisa disponíveis em fontes e plataformas online, visto que o trabalho consiste em uma revisão bibliográfica. A pesquisa foi baseada em uma revisão sistemática da literatura publicada sobre o tema, consultando as bases de dados Google Acadêmico, Periódicos Capes, Lilacs, Embase e ISI, no período de 2019 a 2021. Estudos de períodos anteriores considerados relevantes também foram incluídos. As palavras-chave centrais utilizadas foram “biodiesel”, “diesel verde” e “química verde”, assim como suas correspondentes em inglês: *biodiesel*, *green diesel* e *green chemistry*.

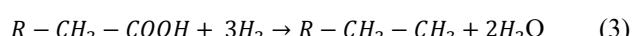
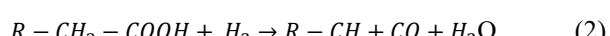
Foram reunidos estudos e dados que evidenciam o potencial da química verde na produção de biodiesel verde e a viabilidade de sua utilização em motores a diesel, considerando possíveis benefícios e limitações. Dados de diferentes trabalhos foram comparados, incluindo avaliações de rendimentos e impactos ambientais relacionados ao uso do biocombustível.

Para o desenvolvimento deste artigo, realizou-se uma busca bibliográfica específica em periódicos como Google Acadêmico, Periódicos CAPES e Web of Science, utilizando as palavras-chaves “hidrotratamento”, “diesel verde” e “biocombustível”. Informações de fontes institucionais, como a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), também foram utilizadas. O material selecionado compreende publicações de 2020 até 2024, visando oferecer uma perspectiva atualizada sobre um tema em constante evolução.

Foram analisados estudos de caso^{7,9,11} sobre a produção de diesel verde por hidrotratamento de óleos vegetais, como o óleo de soja. Os resultados das análises cromatográficas, em especial da Cromatografia Gasosa acoplada ao Espectrômetro de Massas (CG-MS), foram comparados aos espectros do combustível fóssil, foi comparado também suas características físico-químicas. Essa comparação teve como objetivo avaliar as similaridades químicas e o potencial do diesel verde como substituto viável para o diesel fóssil.

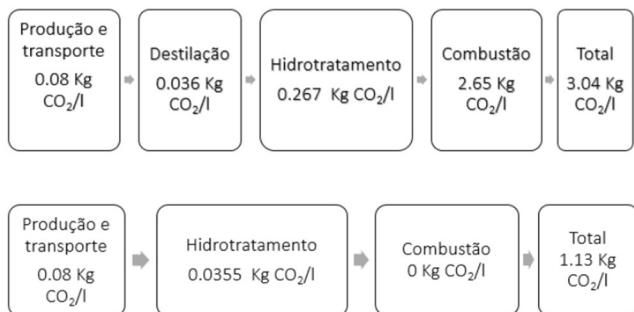
Resultados e discussão

Durante o processo de hidrotratamento, ocorrem três reações principais: hidrodesoxigenação, descarbonilação e descarboxilação. Essas reações convertem a mistura em alcanos, permitindo que o processo seja aplicado em refinarias de petróleo já existentes, sem a necessidade de modificações estruturais. Inicialmente, na presença de hidrogênio, ocorre a hidrogenação das duplas ligações. Em seguida, acontecem as desoxigenações por três rotas distintas: descarbonilação, descarboxilação e hidrodesoxigenação (ou desidratação/hidrogenação), como mostradas nas equações 1, 2 e 3.¹⁰



A Equação 1 representa a reação de descarboxilação, que ocorre sem a necessidade de hidrogênio molecular. Nessa reação, o grupo carboxila é removido, resultando na formação de dióxido de carbono (CO₂) como subproduto devido à eliminação do oxigênio da cadeia de carbono. Na Equação 2, está ilustrada a reação de descarbonilação, onde o ácido graxo reage com H₂, formando monóxido de carbono (CO) e água (H₂O). Nesse processo, o oxigênio é removido da molécula, produzindo alcanos com um carbono a menos do que o ácido graxo original. Já a Equação 3 descreve a reação de hidrodesoxigenação, em que o oxigênio é removido da molécula por meio do uso de hidrogênio molecular (H₂). No caso dos ácidos graxos, essa reação reduz o estado de oxidação do carbono no grupo carboxílico, resultando na formação de hidrocarbonetos e água. Essa reação gera um hidrocarboneto com um átomo de carbono a mais em comparação às duas reações anteriores. Os resultados dessas reações são confirmados por análises de Cromatografia Gasosa e pela medição do índice de acidez dos produtos. Os subprodutos CO₂ e CO, gerados durante as reações de descarboxilação e descarbonilação, são liberados em ambiente controlado durante a produção.^{9,11} Isso contribui para que o diesel verde tenha emissões significativamente menores de gases poluentes em comparação a outros combustíveis. Na Figura 2 está indicado as emissões de CO₂ total na produção do diesel derivado do petróleo e do diesel renovável.

Figura 2. Produção total de CO₂ na produção de diesel (acima) e diesel verde (abaixo). Extraído da referência 9.



O diesel verde possui características físico-químicas importantes que destacam sua eficiência e segurança, como o ponto de fulgor, o número de cetano, a viscosidade e a densidade. O ponto de fulgor, por exemplo, é a temperatura mínima em que os vapores do combustível conseguem se inflamar na presença de uma fonte de ignição. Quanto mais alto esse valor, mais seguro é o manuseio e o armazenamento do combustível, especialmente em condições de transporte e uso. Já o número de cetano está diretamente ligado à qualidade de ignição do combustível. Ele mede o quanto rápido e fácil o combustível começa a queimar quando injetado no motor. Um número de cetano mais alto significa uma combustão mais eficiente, resultando em melhor desempenho do motor e menos emissão de poluentes.⁹ Essas propriedades estão comparadas na Tabela 1, que traz os valores do diesel verde, do diesel derivado do petróleo (regido pelo padrão ASTM D975 da ANP) e do biodiesel (regido pelo padrão ASTM D675 da ANP).^{13,14}

Tabela 1. Propriedades do diesel verde, diesel e biodiesel. Extraído da referência 9.

Propriedades do combustível	Unidade	Diesel verde	Diesel	Biodiesel
Padrão			ASTM D-975	ASTM D675
Composição	MJ/Kg		C10-21 HC	C12-22 FAME
Viscosidade 40°C	cSt	2-3	1,3-4,1	2,5-6,0
Densidade 15°C	Kg/m ³	804	848	878
Água, wt%	ppm	59	161	500
Carbono	wt%	84,9	87	77
Hidrogênio	wt%	13,2	13	12
Oxigênio	wt%	0	0	11
Número de Cetano		70-90	40-55	-
Ponto de Fulgor	°C	-	60-80	>120

A Tabela 1 mostra como as propriedades do diesel verde são muito semelhantes às do diesel fóssil. Apesar das semelhanças o diesel verde apresenta uma vantagem interessante quanto ao número de cetano ser maior que os demais combustíveis devido ao seu alto caráter parafínico, beneficiando diretamente no seu desempenho no motor. Outro ponto interessante é o teor de água e o ponto de fulgor. O diesel verde tem menos água na sua composição, o que o torna menos corrosivo.⁹ Além disso, sua estabilidade à oxidação é bem melhor do que a do biodiesel, graças ao processo de desoxigenação que reduz o teor de oxigênio no combustível.¹ Mesmo que a densidade geral desses combustíveis seja baixa, o diesel verde tem frações mais leves em comparação com o biodiesel, o que também contribui para um desempenho superior.⁶

Como resultado do hidrotratamento, o diesel verde apresenta emissões significativamente menores de GEE. Além disso, possui características que o tornam superior ao biodiesel, especialmente por ser um combustível *drop-in*, ou seja, pode ser utilizado diretamente em motores projetados para combustíveis fósseis, sem a necessidade de adaptações nos sistemas existentes. O diesel verde é compatível com a infraestrutura já estabelecida de transporte, armazenamento e consumo de combustíveis para motores a diesel e gasolina. Suas propriedades físico-químicas são muito semelhantes às do diesel fóssil, o que permite seu uso direto nos mesmos motores e sistemas de distribuição. Combustíveis como o biodiesel podem exigir adaptações, pois suas características como maior viscosidade ou menor estabilidade à oxidação, podem causar problemas em motores convencionais, especialmente em altas concentrações, se tornando necessário a mistura com o diesel derivado do petróleo para uma melhor eficiência e proteger o motor contra a formação de borra, resinas ou acúmulo de umidade. No Brasil, por exemplo, em 2022, o limite de mistura de biodiesel ao diesel fóssil foi fixado em 10%.⁶ Essa desvantagem não se aplica ao diesel verde, que pode ser usado puro ou misturado ao petrodiesel, oferecendo uma solução eficiente e sustentável. Mesmo quando misturado, ele continua sendo uma excelente alternativa para reduzir as emissões de gases poluentes e mitigar impactos ambientais.

Para verificar a possibilidade de substituição do óleo diesel fóssil pelos produtos obtidos pelo hidrotratamento de óleos vegetais, pode-se fazer uma análise comparativa dos produtos obtidos com diferentes óleos, em condições padrão aqui estabelecidas, através da análise de CG-MS.

Os cromatogramas podem ser acessados no artigo de Juliana Petrocchi, mostram um perfil bem semelhante das análises de diesel fóssil e dos produtos de hidrotratamento. Os principais picos do diesel coincidem com os picos dos produtos das reações, mostrando uma semelhança na composição do combustível fóssil e do biocombustível produzido a partir de diferentes fontes oleaginosas. A principal diferença está no fato de que as reações de hidrotratamento de óleos produzem, além dos hidrocarbonetos análogos aos do diesel, hidrocarbonetos de cadeia menor, o que pode ser resolvido por uma posterior destilação dos produtos.¹¹

O Brasil, como o segundo maior produtor de soja no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos,⁶ apresenta grande potencial para a produção de diesel verde. O óleo de soja, amplamente disponível no país, desponta como uma excelente matéria-prima para esse biocombustível, especialmente considerando a importância de diversificar as fontes energéticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Nos últimos anos foram feitas simulações de processos químicos industriais através do software Aspen Plus, simulando a produção do diesel verde por hidrotratamento com as matérias primas de óleo de girassol, semente de algodão, rícino, palma, milho e o óleo de soja. Como a composição da soja varia muito com a região, é valido realizar estudos sobre os potenciais do diesel verde produzido com óleo de soja brasileiro. O estudo⁷ realizou a simulação no Aspen Plus da produção do diesel renovável por hidrotratamento com óleo de soja e obteve como resultado um diesel com faixa de C10-C18 de carbonos, outros produtos de valor agregado, como biocombustíveis de aviação (C4-C12) e gases leves como propano e metano, também podem ser obtidos durante o processo. Os resultados mostraram que quase 80% do óleo foi convertido em combustível renovável e 65% em diesel renovável.⁷

A flexibilidade do diesel verde em relação às matérias-primas é outro fator que o torna atrativo no contexto brasileiro. O país, com sua grande variedade de culturas oleaginosas, oferece condições favoráveis para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva diversificada, minimizando possíveis impactos na economia interna. Reconhecendo o potencial desses novos biocombustíveis, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) editou a Resolução 13/2020, que criou um grupo de trabalho para avaliar a inclusão desses combustíveis no mercado brasileiro. Esse esforço sinaliza um avanço no compromisso com a transição energética e com a sustentabilidade no setor de transportes.⁶ O desenvolvimento do diesel verde no Brasil apresenta vantagens ambientais e

econômicas, além de alinhar o país às tendências globais de descarbonização, aproveitando a abundância de recursos naturais e a infraestrutura já existente.

Conclusões

A produção e o uso do diesel verde no Brasil representam uma oportunidade significativa para a transição energética do país, alinhando-se às tendências globais de sustentabilidade. Com um combustível quimicamente idêntico ao diesel fóssil e a geração de propano como subproduto, o diesel verde pode ser utilizado como um substituto *drop-in* em veículos, sem necessidade de modificações nos motores. Essa característica, aliada a suas vantagens em relação ao diesel fóssil, como a redução de 85% nas emissões de GEE, elevado número de cetano e ponto de fulgor. A possibilidade de misturar diesel verde com diesel fóssil em proporções de até 20% em peso, mantendo boas propriedades para motores a diesel, amplifica ainda mais suas perspectivas de mercado. No entanto, para que a produção de diesel verde se torne competitiva em comparação ao diesel derivado do petróleo, é fundamental melhorar a economia do processo, ampliando o entendimento das condições atuais de hidroconversão de óleos vegetais.

O Brasil, com sua vasta disponibilidade de recursos energéticos possui um elevado potencial para o desenvolvimento e uso de combustíveis renováveis. A matriz energética nacional já demonstra um alto grau de renovabilidade, com destaque para o aproveitamento de biomassa por meio de diversas tecnologias. Esses fatores contribuem para a redução das emissões de gases poluentes, consolidando o diesel verde como uma alternativa viável e promissora. Portanto, o desenvolvimento do diesel verde apenas promove vantagens ambientais e econômicas para o Brasil.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de observações são de Hellen Ferreira da Silva.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio

ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 Neves, Thais Juliane, e Marcia Nalesso Costa Harder. Diesel verde: a nova era dos biocombustíveis em uma revisão. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, **11**, 2021.
- 2 Soares, I. P. Diesel Verde: Produção De Diesel Verde A Partir De Óleo De Palma Com Catalisadores À Base De Níquel, *Embrapa*, 2020.
- 3 Santos, M. r. de a., et al., Hidrodesoxigenação De Óleo De Palma Utilizando Catalisadores À Base De Níquel, *Embrapa*, 2020.
- 4 Sousa, Fabiana Pereira de, e Vânya M. D. Pasa. Síntese De Hidrocarbonetos Para Produção De Saf e Diesel verde a partir de óleos de dendê, na ausência de H₂. *editora científica digital*, 2024, 145–47.
- 5 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil, <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, (accessed 27 December 2024).
- 6 Milanez, Artur Yabe, et al. Biodiesel e diesel verde no Brasil: panorama recente e perspectivas. *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*, 2022.
- 7 Cavalcanti, Cláudia Jéssica, et al. Hidrotratamento De Óleo De Soja Para Produção De Diesel Verde. *Editora Científica Digital*, 2024, 288–291.
- 8 Alonso-Jaramillo, Jeronimo, e Leonardo Alexis Alonso-Gomez. “Comparison of CO₂ Emissions and Potential Efficiency between Biodiesel and Renewable Diesel Fuels”. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, **15**, 2024.
- 9 ALVAREZ, Nubia Maria Mora. Hidrotratamento de óleo de coco com catalisadores de Ni e Pt suportados em silica-alumina e SBA-15 para a obtenção de óleo diesel, *PUC-RIO*, 2019
- 10 de Barros, Thamiris Monteiro, Aruzza Mabel de Morais Araujo, and Amanda Duarte Gondim, Produção De Diesel Verde A Partir De Desoxigenação Catalítica Em Atmosfera Livre De Hidrogênio, *Conepetro*.
- 11 Juliana Petrocchi Rodrigues, Produção de Hidrocarbonetos a Partir de Materiais Graxos na Presença de Catalisadores de Metais Platínicos e Pressão de H₂, Universidade de Brasília, 2011.
- 12 Douvartzides, Savvas L., et al., Green Diesel: Biomass Feedstocks, Production Technologies, Catalytic Research, Fuel Properties and Performance in Compression Ignition Internal Combustion Engines. *Energies*, **12**, 2019, p. 809.
- 13 BIOCOMBUSTIVEL. ANP, 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. (accessed 27 December 2024).
- 14 BIODIESEL. ANP, 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. (accessed 27 December 2024).
- 15 Razak, Nurul Hanim, et al., Optimization of Ternary Green Diesel Blends for Diesel/Palm Methyl Ester/Alcohol Using Product Design Optimization. *Chemical Engineering Transactions*, **72**, 2019, p. 391–96.
- 16 Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo Diesel. EPE, Rio de Janeiro, 2020.