

# “Diesel verde”: menos emissões, mais sustentabilidade!

No mundo contemporâneo, diante das atividades antrópicas que contribuem para o aumento de gases estufa (GEEs) na atmosfera, especialmente aquelas ligadas à queima de combustíveis fósseis ou processos industriais, torna-se urgente a necessidade da descarbonização no planeta, para que se possa alcançar a neutralidade climática na atmosfera terrestre.<sup>1,2,3</sup>

Cada vez mais, presenciamos severos desastres ambientais ocasionados pelas mudanças climáticas devastarem lares e afetarem comunidades inteiras. Tomemos como exemplo os recentes incêndios na Califórnia, que destruíram mais de 10.000 residências e foram responsáveis pela morte de quase trinta pessoas.<sup>1,2</sup>

Acompanhados pela perda de múltiplas vidas, humanas e não humanas, os fenômenos ambientais decorrentes das mudanças climáticas provocam diversos e significativos danos ambientais e socioeconômicos, intensificando desafios globais associados à sustentabilidade do planeta.<sup>1,2</sup>

Para reduzir os efeitos das mudanças climáticas, o foco deve ser direcionado à descarbonização, visando uma concentração segura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera e garantindo a reabsorção da maior parte desse gás pelo planeta. Em outras palavras, a emissão de CO<sub>2</sub> deve ser limitada à capacidade de absorção do planeta. Nesse sentido, é necessária uma transição energética das fontes não renováveis e poluentes para fontes renováveis e não poluentes.<sup>3</sup>

O Brasil é o quinto país do mundo que mais emite GEEs para a atmosfera com aproximadamente 3,1% das emissões globais, ficando atrás apenas da China (26%), Estados Unidos (11%), Índia (7%) e Rússia (4%).<sup>4</sup> Segundo dados publicados pelo Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG), o Brasil emitiu em 2023 cerca de 2,3 bilhões de toneladas brutas de CO<sub>2</sub>e (gás carbônico equivalente), reduzindo em 12% o volume emitido em relação ao ano anterior (2,6 bilhões).<sup>4,5</sup> Desse total, estima-se que a maior parte (46%) seja proveniente de atividades relacionadas a mudanças do uso da terra e florestas, com aproximadamente 1,06 bilhões de toneladas.<sup>4,5</sup> A seguir, destaca-se o setor agropecuário com estimativas da ordem de 631 milhões de toneladas (28%), e o setor de energia e de processos industriais e uso de produtos (PIUP) com valores estimados da ordem de 511 milhões de toneladas (22%), e 91 milhões (4%) do setor de resíduos (figura 1).<sup>4,5</sup>

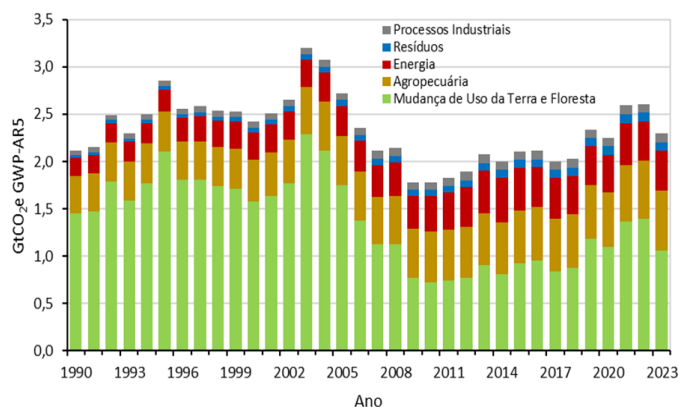


Figura 1. Emissões brutas brasileiras de gás carbônico em bilhões de toneladas equivalente ou Gigatoneladas equivalente (GtCO<sub>2</sub>e).<sup>5</sup>

Dentre o setor de energia e PIUP, a queima de combustíveis fósseis – derivados do petróleo como diesel e gasolina – pelos sistemas de transportes alcançou, em 2023, o maior consumo da nossa história com valores estimados da ordem de 224 milhões de toneladas, correspondendo a 44% do total das emissões deste setor e um aumento de 3,2% em relação a 2022.<sup>5</sup> Em contrapartida, tais valores não foram ainda maiores devido ao aumento da participação de fontes renováveis de energia no setor de transportes como os biocombustíveis (etanol e biodiesel) – alcançando, em 2023, 22,5% do total de combustíveis consumidos no país. Estima-se que o uso de biodiesel aumentou cerca de 19% em relação ao ano de 2022, e do etanol em 6%.<sup>5</sup>

Apesar da significativa participação dos biocombustíveis em nossa matriz energética, o sistema de transportes apresenta ainda um grande potencial para a descarbonização. Dentre as diversas soluções apontadas para a redução das emissões por esse setor destacam-se o aumento da produção do próprio biodiesel e etanol, bem como a incorporação de novos biocombustíveis.<sup>5,6</sup>

Por biocombustíveis devemos entender como todo combustível obtido a partir da biomassa, isto é, a partir de toda matéria orgânica, seja ela de origem vegetal ou animal. Por exemplo, os produtos e os resíduos provenientes das atividades agropecuárias e de agroindústrias. Além de serem obtidos a partir de fontes renováveis os biocombustíveis se destacam por sua sustentabilidade e menor impacto ambiental quanto à liberação de gases estufa e óxidos ácidos, já que se trata de um combustível de ciclo fechado, isto é, quase a totalidade do CO<sub>2</sub> liberado na sua produção e consumo (combustão), é absorvida, ou melhor, compensada pelo processo de fotossíntese. Por isso, pode ser classificado como um processo de baixa emissão de carbono e até de carbono zero.<sup>7,8</sup>

O Brasil é um exemplo para todo o mundo na produção de biocombustíveis tais como o etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH), etanol-2G, biodiesel (éster metílicos ou etílicos) e o biogás (CH<sub>4</sub>). Mesmo com o recorde histórico alcançado em 2023 com a produção e consumo de quase 43 bilhões de litros de etanol e biodiesel (somados), o país ainda tem potencial para aumentar a sua produção.<sup>9</sup> Num futuro próximo, além desses vislumbra-se a produção e a incorporação de outros biocombustíveis à matriz energética brasileira, tais como: diesel verde ou HVO (hidrocarbonetos de cadeia longa), biometano (CH<sub>4</sub>), hidrogênio verde H<sub>2</sub>V, metanol verde (CH<sub>3</sub>OH), entre outros.<sup>7,8</sup>

Neste trabalho destaca-se a produção do diesel verde também conhecido como diesel renovável ou de diesel R5 (nome dado pelo Petrobrás para a mistura formada por 5% v/v de diesel verde e 95% v/v de diesel comum ou diesel mineral ou diesel do petróleo) ou ainda de HVO (sigla em inglês para óleo vegetal hidrogenado) obtido de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. Apesar de o Brasil estar engatinhando na sua produção, países da Europa e os Estados Unidos já tem o mesmo incorporado a sua matriz energética, sendo o 3º biocombustível mais produzido em todo mundo.<sup>9</sup> No caso dos Estados Unidos, no ano de 2023, a produção do diesel verde superou pela primeira vez a produção de biodiesel. Enquanto a produção de diesel verde alcançou 9,81 milhões de m<sup>3</sup>, a do biodiesel foi de 6,43 milhões.<sup>10</sup> Além disso, a participação do biodiesel no mercado americano em 2023 caiu de 52,2% para 39,6%, provavelmente devido a algumas vantagens técnicas do diesel verde em relação ao biodiesel.<sup>10</sup> No Brasil, dados mais recentes divulgados pela Petrobras indica a produção/consumo de 10 milhões de litros por mês do diesel R5, o que corresponde a 120 milhões de litros anuais. Transformando esses valores em metro cúbico e sabendo que apenas 5% da mistura final obtida correspondem ao diesel verde – os outros 95% correspondem ao diesel mineral – a produção anual brasileira de diesel verde é da ordem de 6 milhões de litros ou de 6 mil m<sup>3</sup>.<sup>11,12</sup>

Ao contrário do biodiesel que apresenta restrições quanto à sua porcentagem na mistura com o diesel mineral, não podendo ultrapassar a 20%, e exigindo assim, acima deste, modificações no motor – atualmente a legislação brasileira autoriza a mistura de até 14% v/v do biodiesel ao diesel mineral – o diesel verde pode ser adicionado em qualquer quantidade ao diesel mineral, ou mesmo utilizado puro, sem necessitar qualquer modificação no motor ou adaptação tecnológica. Outra vantagem em relação ao biodiesel é que a sua combustão não leva a formação de borra, resina ou umidade e assim não necessitando de limpezas periódicas do motor. Além dessas, o diesel verde é mais estável quimicamente, o que permite o seu armazenamento por longos períodos sem a necessidade de constante monitoramento como acontece com o biodiesel.<sup>7,8,13</sup> Do ponto de vista ambiental também apresenta inúmeras vantagens: a redução de 50 a 90% na emissão de CO<sub>2</sub>, de 33% de material particulado, 9% de óxidos de nitrogênio (Nox), 24% de monóxido de carbono (CO) e de 30% de hidrocarbonetos.<sup>7,8,14</sup>

Com relação a sua composição química, o diesel verde é muito semelhante ao diesel mineral, isto é, uma mistura de hidrocarbonetos saturados de cadeia longa (C<sub>12</sub> a C<sub>20</sub>), porém de origem vegetal ou animal e não do petróleo. Também se difere do biodiesel – ésteres de ácido graxo e metanol ou etanol – formado a partir de uma reação chamada de transesterificação.<sup>7,8</sup> A figura 2 apresenta as fórmulas estruturais gerais dos componentes do diesel verde e do biodiesel.

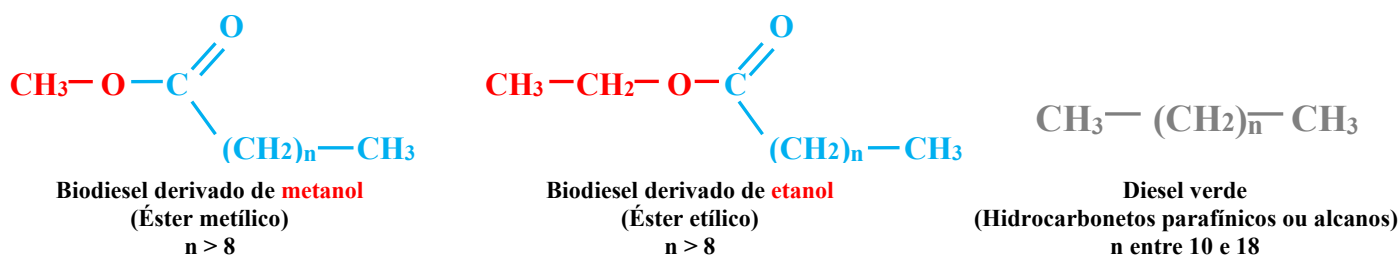


Figura 2. Representação das fórmulas estruturais gerais para as moléculas componentes do biodiesel e do diesel verde.

O diesel verde é um combustível renovável que pode ser obtido de 4 métodos diferentes: hidrotratamento de óleo vegetal ou animal, processo Fischer-Tropsch, processos fermentativos e oligomerização de álcoois.<sup>7,8,15,16</sup>

Desses, destaca-se a produção do HVO por meio do hidrotratamento de óleos vegetais, cuja equação química da reação é mostrada na figura 3.<sup>7,8,15,16</sup>

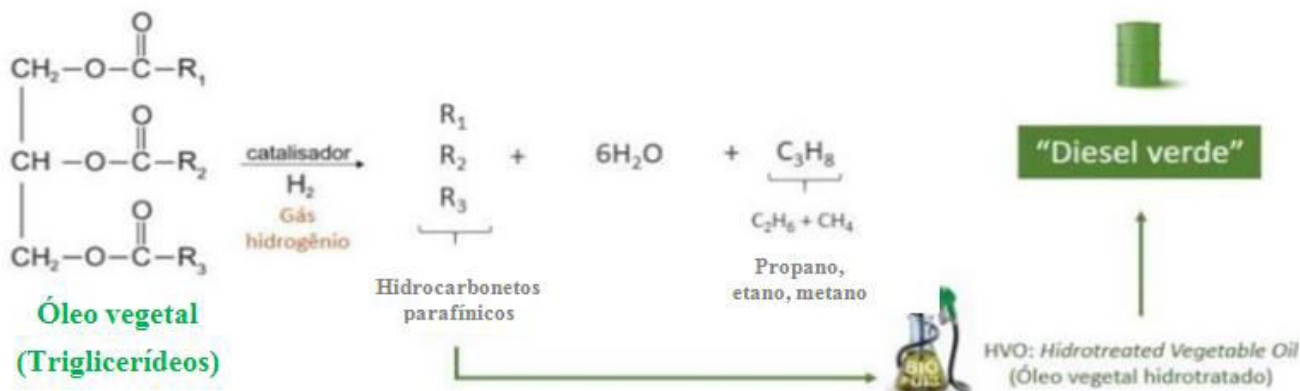
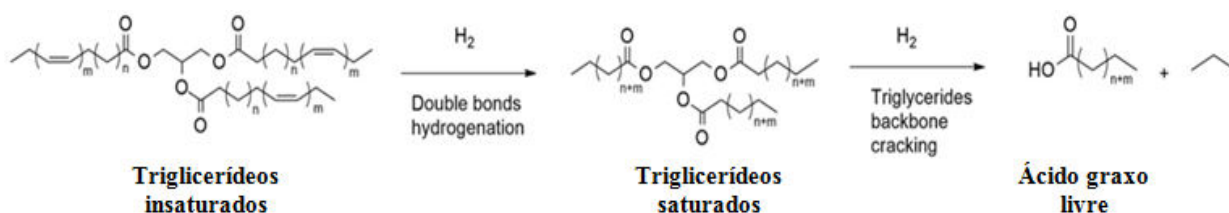


Figura 3. Produção do diesel verde ou HVO por hidrotratamento de óleo vegetal.<sup>7</sup>

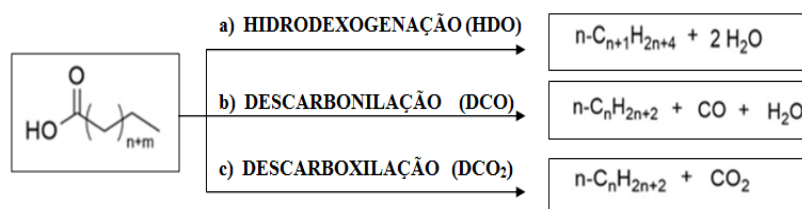
Basicamente, o processo ocorre em três etapas:

### 1) HIDROGENAÇÃO CATALÍTICA OU DESOXIGENAÇÃO CATALÍTICA (DO).

Consiste em aquecer a mistura de óleo vegetal líquido (triglicerídeos insaturados) sob atmosfera de gás hidrogênio ( $H_2$ ) em elevadas pressões e na presença de um catalisador sólido (catálise heterogênea). Em linhas gerais, o processo deve ocorrer primeiramente com a hidrogenação das ligações duplas presentes nos ácidos graxos constituintes do óleo. Nessas reações, as ligações "pi" da dupla são quebradas e em cada carbono (da dupla) são adicionados átomos de hidrogênio. A cadeia insaturada e com dobramentos, devido à isomeria do tipo cis, torna-se saturada e reta (linear). A seguir, ocorre a quebra dos triglicerídeos e a obtenção de moléculas de ácidos graxos livres (monoácidos carboxílicos de cadeia longa). Observe também que temos a formação de propano e de outros hidrocarbonetos de cadeia curta provenientes de reações secundárias que devem ocorrer com as moléculas dos triglicerídeos.<sup>15,16,17,18</sup>

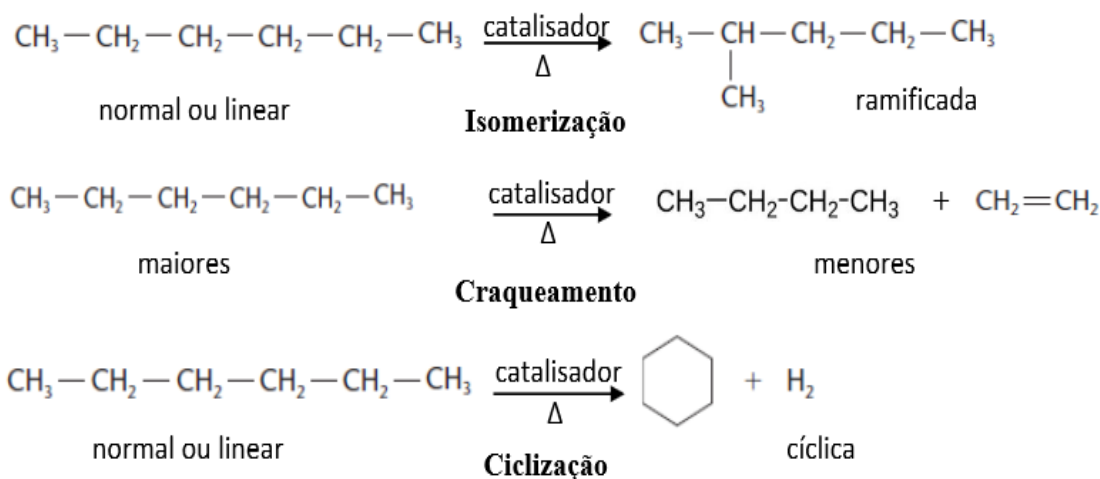


Os ácidos graxos livres obtidos podem seguir por três vias diferentes de reação, de acordo com a seletividade do processo, isto é, de acordo com a temperatura, pressão e o tipo de catalisador empregado. O produto principal obtido sempre será um hidrocarboneto que poderá ser: a) um alcano de cadeia normal com o mesmo número de átomos de carbono que o ácido graxo inicial e a liberação de duas moléculas de água, por meio de uma reação de hidrodesoxigenação (HDO); b) um alcano de cadeia normal, no entanto, com um carbono a menos do que o ácido graxo inicial devido à perda da carbonila (descarbonilação ou DCO), que é liberada na forma de CO, além de uma molécula de água; c) um alcano de cadeia normal com um átomo de carbono a menos do que o ácido graxo inicial devido à formação de  $CO_2$  por uma reação de descarboxilação ( $DCO_2$ ).<sup>16</sup>



## 2) ISOMERIZAÇÃO CATALÍTICA.

Em seguida, com o objetivo de melhorar a qualidade do diesel verde, temos uma série de reações denominadas de isomerização onde as cadeias lineares são transformadas em cadeias ramificadas, pois se tornam mais resistentes à compressão.<sup>16</sup> Tais reações, geralmente, ocorrem a elevadas temperaturas e na presença de catalisadores favorecendo assim reações de quebra da cadeia dos alcanos obtidos (craqueamento) bem como de reações secundárias (ciclização e desidrogenação). Essas últimas são muito indesejáveis, pois a formação de compostos de cadeias curtas e cíclicos, bem como de aromáticos, reduzem o poder calorífico do diesel verde.<sup>16</sup>



## 3) DESTILAÇÃO FRACIONADA.

Finalmente, por meio da destilação fracionada conseguimos separar as diferentes frações obtidas e dentre elas o diesel verde. O princípio da técnica baseia-se em aquecer a mistura de líquidos com a separação das diversas frações por meio de seus diferentes pontos de ebulição. A fração de menor ponto de ebulição (menor massa molecular) é coletada nos pontos mais altos da coluna de destilação enquanto as mais pesadas (maior massa molecular) e de maior ponto de ebulição, nos pontos mais inferiores.<sup>19</sup>

Desde a descoberta da reação de hidrogenação catalítica com o uso de um catalisador de baixo custo (níquel metálico) por Paul Sabatier (1854-1941) – químico francês e vencedor do prêmio Nobel de Química, em 1912 – inúmeras aplicações dessa reação tem sido destacadas. Além da sua utilização no clássico processo de produção de margarinas a partir de óleos vegetais, e em reações como a redução de alcinos, alcenos, ciclenos etc., a produção do diesel verde exemplifica mais uma vez, a importância dos conhecimentos da química na busca de soluções resultando em benefícios para toda a sociedade.

Estamos vivendo um momento impar em relação aos efeitos provocados pelas mudanças climáticas. É urgente que todos os países do mundo comprometam-se em reduzir suas emissões de gases estufa para garantir condições mínimas para a sua sobrevivência bem como das gerações futuras. Não existe uma solução única e mágica para isso. Na verdade, há várias soluções que permeiam todos os setores da sociedade. Dentre os sistemas de transportes e de energia, os biocombustíveis se apresentam como uma excelente alternativa e é um exemplo de como o conhecimento científico pode contribuir para a descarbonização do planeta e a sua sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cientistas alegam que mudanças climáticas pioraram incêndios em Los Angeles. <https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2025/01/29/cientistas-alegam-que-mudancas-climaticas-pioraram-incendios-em-los-angeles-entenda.ghtml>. Acesso em: 05 fev. 2025.
2. 5 imagens que explicam a rápida propagação do fogo nos incêndios em Los Angeles. <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c4gx59jvvelo>. Acesso em: 05 fev. 2025.
3. O que é descarbonização? <https://www.epowerbay.com/single-post/o-que-%C3%A9-descarboniza%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 05 fev. 2025.

- 4 Nível de emissões de gases de efeito estufa no Brasil cai 12% em 2023. <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/11/07/nivel-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-no-brasil-cai-12percent-em-2023>. Acesso em: 05 fev. 2025.
5. Entenda as emissões de gases de efeito estufa nos setores de energia e de processos industriais no Brasil em 2023. <https://energiaambiente.org.br/entenda-as-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-no-brasil-em-2023-20241113>. Acesso em: 06 fev. 2025.
6. Produção de biocombustíveis cresce no Brasil e alcança recorde histórico. <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202407/producao-de-biocombustiveis-cresce-no-brasil-e-alcanca-recorde-historico-1>. Acesso em: 06 fev. 2025.
7. Diesel verde: a nova era dos biocombustíveis em uma revisão. <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/viewFile/443/373816>. Acesso em: 06 fev. 2025.
8. Biodiesel e diesel verde no Brasil: panorama recente e perspectivas. [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696\\_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf). Acesso em: 08 fev. 2025.
9. O que é diesel verde ou diesel renovável? <https://www.alemadasuperficie.org/transicao-energetica/o-que-e-diesel-verde-ou-diesel-renovavel/>. Acesso em: 08 fev. 2025.
10. EUA: Produção de diesel de biomassa cresceu 38% em 2023. <https://www.canaonline.com.br/conteudo/eua-producao-de-diesel-de-biomassa-cresceu-38-em-2023.html#:~:text=01%2D05%2D2024,de%20biodiesel%20dos%20Estados%20Unidos> Acesso em: 09 fev. 2025.
11. Petrobras vende 10 mi de litros por mês de diesel R5, diz diretor. <https://www.biodieselbr.com/noticias/biocombustivel/cana/petrobras-vende-10-mi-de-litros-por-mes-de-diesel-r5-diz-diretor-250924>. Acesso em: 09 fev. 2025.
12. Exclusivo: diesel R5 (verde ou renovável) marca início da transição energética da Petrobrás no Brasil. <https://www.youtube.com/watch?v=wkYuAeapnIc>. Acesso em: 09 fev. 2025.
13. O teor do biodiesel no óleo diesel. <https://ibl.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Nota-Tecnica-O-teor-do-Biodiesel-no-Oleo-Diesel.pdf>. Acesso em: 09 fev, 2025.
14. Conceito e vantagens do uso do diesel verde nas frotas. <https://cranebrasil.com.br/conceito-e-vantagens-do-uso-do-diesel-verde-nas-frotas/>. Acesso em: 12 fev. 2025.
15. Basics of renewable diesel. [https://www.valero.com/sites/default/files/valero-documents/Basics\\_of\\_Renewable\\_Diesel\\_-\\_March\\_2020.pdf](https://www.valero.com/sites/default/files/valero-documents/Basics_of_Renewable_Diesel_-_March_2020.pdf). Acesso em: 13 fev. 2025.
16. Di Vito Nolfi, G.; Gallucci, K.; Rossi, L. Green Diesel Production by Catalytic Hydrodeoxygenation of Vegetables Oils. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 13041. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413041>. Acesso em: 13 fev. 2025.
17. How to set-up a hydrogenation reaction using palladium on carbon and a hydrogen balloon. <https://www.youtube.com/watch?v=gzYhHUVDuxA>. Acesso em: 13 fev. 2025.
18. Hydrogenation with palladium/Carbon and hydrogen gás. [https://www.youtube.com/watch?v=82DILdj\\_x8g&t=20s](https://www.youtube.com/watch?v=82DILdj_x8g&t=20s). Acesso em: 13 fev. 2025.
19. Utilização do petróleo – Destilação fracionada. <https://www.youtube.com/watch?v=VQ-x5LOsE6Y>. Acesso em: 13 fev. 2025.