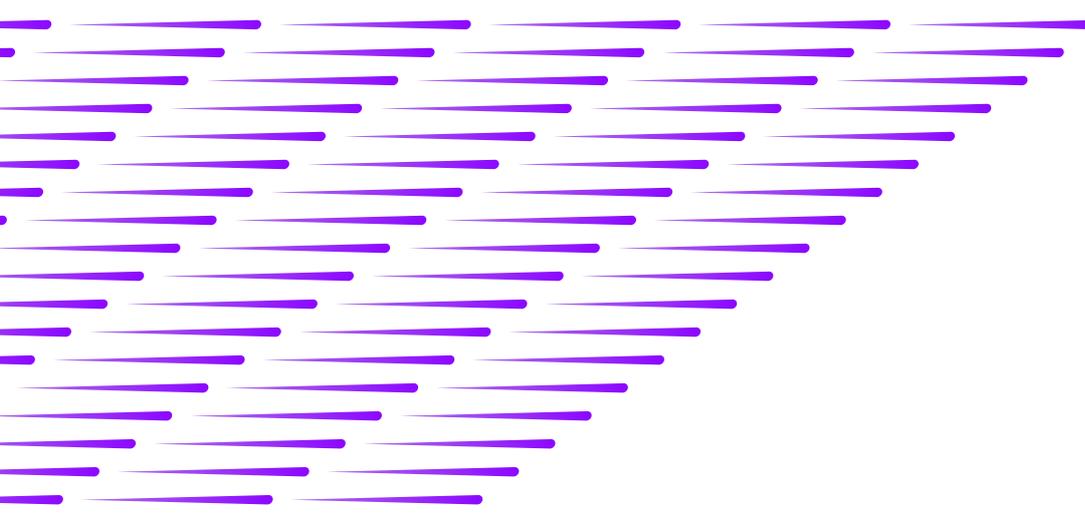


energia
NO TRANSPORTE

Diesel Verde

*Uma opção de baixo carbono para
caminhões e ônibus rodoviários*



CNT | Confederação
Nacional do
Transporte

Ficha Técnica

Presidente da CNT
Vander Francisco Costa

Vice-Presidentes da CNT

Transporte Rodoviário de Passageiros
Eudo Laranjeiras

Transporte Rodoviário de Cargas
Flávio Benatti

Transporte Aquaviário de Cargas e de Passageiros
Raimundo Holanda Cavalcante Filho

Transporte Ferroviário de Cargas e de Passageiros
Benomy Schmitz Filho

Infraestrutura de Transporte e Logística
Paulo Gaba Junior

Diretor Executivo da CNT
Bruno Batista

Diretora Executiva Adjunta da CNT
Fernanda Rezende

Equipe Técnica da CNT

Gerência Ambiental
Erica Marcos
Raflem Santos

Revisão: Anna Guedes

Diagramação: Marília da Silva Ferreira e Sávio Marques

Atendimento: Vanessa Montenegro

Estratégia de divulgação: Gerência Executiva de Comunicação

Diesel verde: uma opção de baixo carbono para caminhões e ônibus rodoviários. – Brasília: CNT, 2024.

42 p. : il. color. – (Energia no Transporte)

ISBN 978-85-68865-20-0 (Impresso)

ISBN 978-85-68865-19-4 (PDF)

1. Diesel verde – combustível. 2. Diesel verde – fonte energética – legislação. 3. Diesel renovável. 4. Energia – fontes alternativas. 5. Transporte rodoviário - sustentabilidade. I. Confederação Nacional do Transporte.

CDU 665.75:502.13

Sumário

Apresentação	5
O que é o diesel verde?	6
Legislação vigente	13
Principais fontes	18
Mapeamento do diesel verde	21
Aplicações no modo rodoviário	26
Saldo de emissões	33
Vantagens x desafios	38
Referências	39



Apresentação

A Confederação Nacional do Transporte (CNT) tem, dentro da sua agenda ambiental, a visão de ser a principal promotora de ações voltadas ao desenvolvimento sustentável do setor de transporte e da qualidade de vida de seus trabalhadores no Brasil.

Uma das principais medidas da Confederação nesse sentido é viabilizar o acesso dos transportadores a informações estratégicas de temas relevantes, como novas tecnologias e fontes de energia mais limpas, e às práticas ambientalmente sustentáveis. Para isso, a CNT elabora conteúdos técnicos a fim de entregar conhecimento ao transportador e à sociedade sobre práticas que levem à descarbonização do setor.

Assim, a CNT publica a série **Energia no Transporte**, com o intuito de disseminar material preciso sobre **diferentes fontes energéticas** que podem ser utilizadas no transporte rodoviário para auxiliar o segmento a diminuir a sua dependência de combustíveis fósseis, como o diesel. Os estudos abordam, ainda, temáticas como legislações vigentes, saldo de emissões e vantagens e desafios para cada fonte.

Com o presente trabalho, a CNT expressa o reconhecimento da importância da atividade transportadora no desenvolvimento sustentável do país e na construção de um setor ainda mais responsável ambientalmente, entregando melhor qualidade de vida ao transportador e à sociedade.

Vander Costa
Presidente da CNT



O que é o diesel verde?

O **diesel verde**, também conhecido como diesel renovável, é um combustível líquido produzido a partir de resíduos ou biomassa, com a estrutura química semelhante à do seu equivalente de origem fóssil – o diesel mineral. Esta característica classifica-o como um combustível *drop-in*^a, com capacidade de substituir o óleo diesel derivado de petróleo nos motores de veículos pesados (ônibus e caminhões), sem a necessidade de modificações nos sistemas de motor. O combustível fóssil derivado do petróleo representa a maior parcela de consumo energético dos segmentos do transporte rodoviário de cargas e de passageiros e a sua substituição gradual por fontes renováveis, como o diesel verde, é de extrema importância devido ao compromisso assumido pelo Brasil mediante as Contribuições Nacionalmente Determinadas^b, que preveem a redução de 53% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2030 (em relação ao ano base de 2005) e o atingimento de emissão nula até 2050, conforme estabelecido no Acordo de Paris, do qual o Brasil é signatário^[1].

No que tange à constituição química do diesel verde^[2], como demonstrada no **Infográfico 1**, é importante evidenciar que os seus elementos são idênticos aos do óleo diesel mineral (com a presença de hidrocarbonetos que contemplam moléculas de hidrogênio e de carbono) e sua estrutura leva a ganhos relevantes para os veículos de ciclo diesel como a eficiência na combustão e a diminuição de viscosidade cinemática^c.

Esses benefícios originam-se a partir da presença de ramificações na molécula do diesel verde (indicadas dentro da linha tracejada azul, no **Infográfico 1**), que representam o aumento no índice de cetano^d do combustível e melhoram, conseqüentemente, o seu tempo de ignição, resultando em uma combustão completa^[3]. Se o tempo de ignição é maior do que o seu ponto ótimo (com atraso), pode

^a Biocombustíveis funcionalmente idênticos aos seus equivalentes fósseis.

^b As Contribuições Nacionalmente Determinadas são metas de redução de emissões de GEE estabelecidas no Acordo de Paris – assinado em 2015 por 195 países membros da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, na sua sigla em inglês). O acordo tem o compromisso de limitar o aumento da temperatura média global a 1,5 °C acima dos níveis de emissão pré-industriais. Acesso em: 29 fev. 2024. Link de acesso: antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html

^c Segundo a ANP, a viscosidade é um parâmetro que influencia o processo de queima do combustível na câmara de combustão. Alta viscosidade pode resultar em maior esforço na bomba injetora, provocando redução de eficiência do veículo e acúmulo de resíduos no sistema de motor. Quando a viscosidade é excessivamente baixa, pode ocorrer vazamentos no sistema de alimentação. Assim, o combustível deve ter em sua especificação uma faixa de valores máximo e mínimo. Acesso em: 01 mar. 2024. Link de acesso: www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/2021/copy_of_2021/cp-23-2021/nt-10-2021.pdf

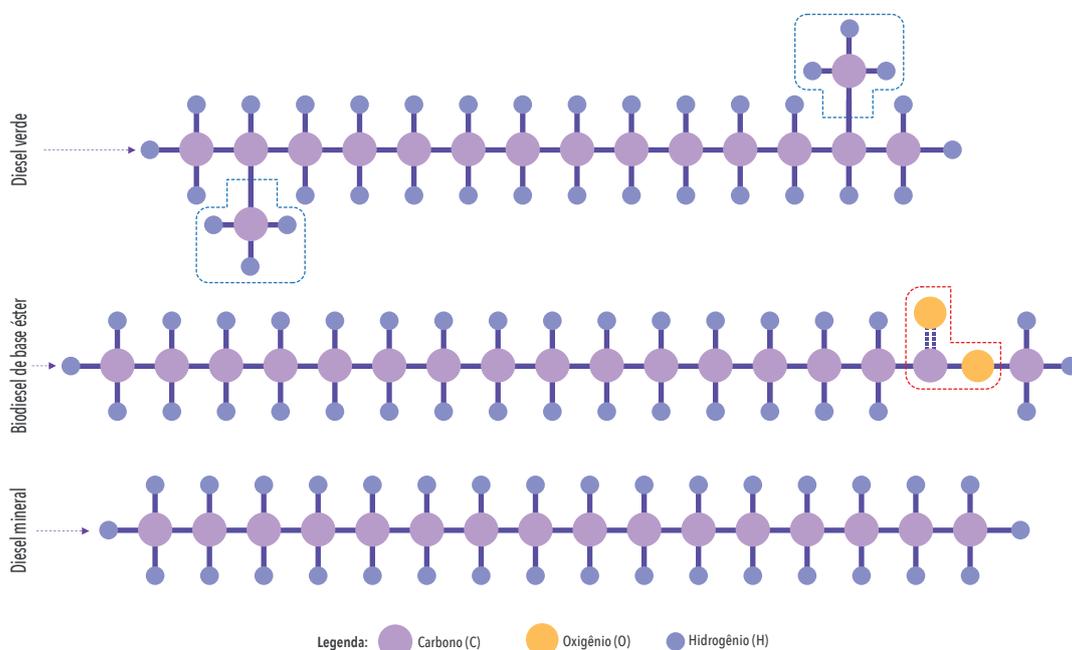
^d De acordo com Zeman *et al.* (2019), o número de cetano indica a reatividade do combustível durante a sua queima. Quanto maior for este número, mais eficiente e constante será a combustão. Acesso em: 17 jan. 2024. Link de acesso: www.mdpi.com/2073-4344/9/4/337

ocorrer uma combustão incompleta dos hidrocarbonetos (HC), gerando mais emissões de material particulado (MP) e HC, além de comprometer a eficiência energética do veículo ao diminuir a sua potência. Além do cetano, o diesel verde possui outras características, como o baixo teor de enxofre e compostos aromáticos^e, que levam à redução das emissões de HC, monóxido de carbono (CO) e MP – poluentes danosos à saúde humana e ao meio ambiente^[4].

No contexto dos combustíveis líquidos para motores a diesel, é importante diferenciar o biodiesel de base éster^f de outros biocombustíveis, como o diesel verde. O biodiesel apresenta características químicas distintas das moléculas de óleo diesel mineral, pois possui na sua fórmula átomos de oxigênio, como ilustradas dentro da linha tracejada vermelha, no **Infográfico 1**. Essa propriedade leva à absorção da umidade do ar, formando água na sua composição com o passar do tempo, comprometendo, assim, a qualidade do insumo e as peças mecânicas automotivas que sofrem corrosão^[5].

INFOGRÁFICO 1

Esquema simplificado das moléculas de combustíveis líquidos utilizados em veículos do ciclo diesel



Fonte: Elaboração CNT, com base em Chia *et al.* (2022). Acesso em: 15 jan. 2024. Link de acesso: mdpi.com/1996-1073/15/8/2835

^e Compostos orgânicos com propriedades químicas que, quando em combustão, podem emitir gases tóxicos.

^f Misturado compulsoriamente ao óleo diesel brasileiro, na proporção em volume de 14%, em março de 2024.

Quanto à definição nacional de diesel verde, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio de legislação específica⁹, determinou que este ativo energético é um tipo de combustível composto por hidrocarbonetos parafínicos^h, produzido a partir de cinco métodos (rotas) com matérias-primas distintas, mencionadas na lista a seguir e detalhadas mais adiante.

Processos de produção de diesel verde:

- I. hidrotratamento de óleos vegetaisⁱ, de algas e de microalgas ou gordura animal;
- II. gás de síntese^j proveniente de biomassa, via procedimento Fischer-Tropsch^k;
- III. fermentação de carboidratos presentes em biomassas;
- IV. oligomerização^l de etanol ou isobutanol^m; e
- V. hidrotermólise catalítica de óleos vegetais (*in natura* ou residual), de algas, de microalgas e de gordura animal.

O processo I, que consiste no hidrotratamento, é o mais difundido globalmente para a produção de diesel renovável, já sendo encontrado em escalas industriais e com estado de desenvolvimento avançado. Neste método, óleos vegetais e gordura animal são pré-tratados para a remoção de impurezas (metais, fósforo e nitrogênio) e, posteriormente, hidrotratados na presença de hidrogênio (H_2), o que tornará a sua estrutura química semelhante ao diesel mineral. O H_2 é, também, responsável pela remoção das ligações duplas de oxigênio das moléculas de óleos e gorduras animais, contribuindo com a sua aplicabilidade nos veículos movidos a diesel^[1,6].

Cabe esclarecer que, atualmente, o composto H_2 é produzido majoritariamente a partir de fontes fósseis, aumentando, portanto, as emissões de GEE associadas à produção do diesel verde^[7]. Para garantir uma produção mais sustentável desta fonte energética, é recomendável a utilização do **hidrogênio renovável**ⁿ (H_2 renovável) além da importante inserção de diferentes biomassas renováveis,

⁹ Resolução ANP nº 842/2021, que estabelece a especificação do diesel verde, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que o comercializem em território nacional.

^h Segundo artigo do Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, os hidrocarbonetos parafínicos são compostos químicos de pouca complexidade, com átomos de carbono e de hidrogênio. Eles são encontrados nas frações de destilação do petróleo e convertidos, na indústria petroquímica, em derivados energéticos, como o óleo diesel. Acesso em: 12 jan. 2024. Link de acesso: editorarealize.com.br/artigo/visualizar/10272yj

ⁱ Podendo ser *in natura* ou advindo de um processo que o tornou residual.

^j Gás cuja mistura é composta por H_2 , CO e CO_2 .

^k A síntese de Fischer-Tropsch é uma conversão química na qual CO e H_2 , presentes no gás de síntese, são convertidos em água e hidrocarbonetos com diferentes pesos moleculares. Acesso em: 01 mar. 2024. Link de acesso: netl.doe.gov/research/carbon-management/energy-systems/gasification/gasifipedia/ftsynthesis

^l É a combinação de moléculas menores (monômeros) para formar moléculas maiores (hidrocarbonetos) até atingir a fórmula do diesel verde.

^m Composto orgânico incolor com fórmula química $C_4H_{10}O$ (família dos álcoois) e leve odor de etanol. Suas principais aplicações são nas indústrias de plastificantes, tintas e vernizes. Acesso em: 01 mar. 2024. Link de acesso: <https://atlantaquimica.com.br/index.php/service/alcool-etilico-anidro/>

ⁿ Combustível produzido a partir de reação eletroquímica em que energia elétrica renovável (solar, eólica, biomassa ou hidráulica) é aplicada em eletrolisadores com água para que suas moléculas (H_2O) sejam separadas em H_2 e oxigênio (O_2). A CNT publicou, em 2023, um estudo sobre o H_2 e suas aplicações no modo rodoviário de transporte. Acesso em: 17 fev. 2024. Link de acesso: www.cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-lanca-publicacao-sobre-combustivel-renovavel-para-a-descarbonizacao-do-transporte

com manejo produtivo ambientalmente responsável, a fim de evitar o desflorestamento que leva ao comprometimento da biodiversidade e dos ecossistemas nas áreas de plantio e colheita.

Após o seu hidrotreatamento, o líquido é submetido ao processo de isomerização^o, no qual as suas moléculas são reorganizadas para aprimorar as propriedades desejáveis dos combustíveis líquidos do ciclo diesel, visando a uma combustão mais eficiente. A última etapa deste processo consiste no fracionamento^p do composto, chamado de óleo vegetal hidrotreatado (HVO, da sua sigla em inglês de *hydrotreated vegetable oil*). O HVO pode ser separado em **diesel verde** – ativo energético utilizado na mobilidade de veículos rodoviários de cargas e de passageiros – e outros subprodutos, tais como bioquerosene (combustível aéreo), biogasolina (combustível para veículos leves), bionafta (aplicações industriais) e biopropano (gás de cozinha)^[1,6].

A tecnologia necessária para a produção de diesel renovável, a partir do **processo I**, já se encontra disponível mediante a utilização compartilhada da infraestrutura de refino de petróleo para produzir simultaneamente diesel mineral e diesel verde. No Brasil, existem 19 refinarias com capacidade produtiva instalada de 2,3 milhões de barris por dia^q, sendo considerado o oitavo maior parque de refino do mundo. Essas instalações contam com equipamentos capazes de realizar o hidrotreatamento de óleos e gorduras e efetuar o fracionamento de HVO para obtê-lo na forma pura ou para gerar demais subprodutos^[8]. Existem, no país, metodologias industriais petroquímicas que processam os óleos mineral e vegetal, conjuntamente, produzindo, assim, uma mistura de combustível com uma parcela renovável e outra não renovável, conhecido como diesel R ou coprocessado^r.

No **Infográfico 2**, logo a seguir, é possível observar um diagrama que demonstra diferentes processos produtivos do diesel verde a partir de matérias-primas diversificadas. Para o Brasil, a pluralidade de rotas tecnológicas é altamente benéfica, pois contribui com o aumento de oferta de fontes de energia ao setor de transporte e estabilidade de preços do combustível, favorecendo, assim, um mercado mais resiliente a externalidades como conflitos geopolíticos, pandemias e outras circunstâncias que podem afetar a segurança energética nacional^[1,6,8-10].

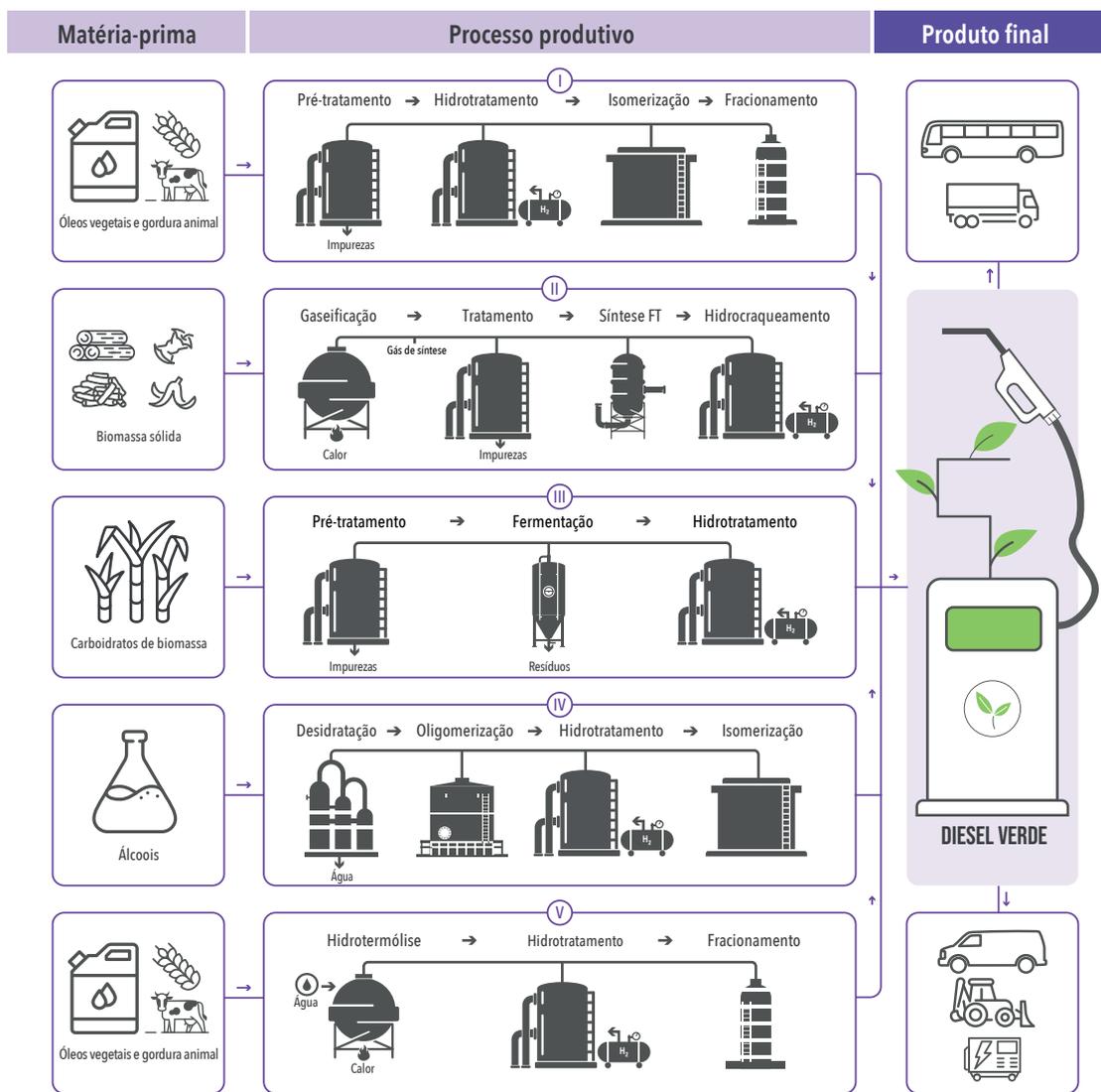
^o Processo utilizado para melhorar a qualidade dos combustíveis em que as cadeias lineares das moléculas de hidrocarbonetos são reorganizadas para obter uma cadeia com ramificações, alterando a estrutura molecular do composto químico.

^p Procedimento que remove os gases residuais da mistura formada após o hidrotreatamento. Após essa etapa, é realizada a destilação da mistura com o intuito de separar a fração correspondente ao diesel verde e demais combustíveis.

^q Segundo a Petrobras, um barril equivale a 158,98 litros, ou 0,15898 metro cúbico (m³). Acesso em: 29 fev. 2024.
Link de acesso: comunicaciadesantos.petrobras.com.br/glossario

^r A Petrobras já fabrica o chamado diesel R, por meio de tecnologia patenteada que processa o diesel de petróleo junto com conteúdo renovável, podendo ser comercializado em diferentes parcelas, como o Diesel R5, com 5% de conteúdo advindo do processamento conjunto de óleos vegetais. Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: petrobras.com.br/quem-somos/diesel-r5

INFOGRÁFICO 2 Processos tecnológicos de obtenção de diesel verde



Fonte: Elaboração CNT, com base em (i) EPE (2020); (ii) Neves e Harder (2021); (iii) Hu, Yu e Lu (2012); e (iv) Fu e Turn (2019).

Acessos em: 22 jan. 2024. Links de acesso: (i) tinyurl.com/mr2rdzbw; (ii) tinyurl.com/ymkh5463; (iii) tinyurl.com/y9fsvuj; e (iv) tinyurl.com/jmen3zsxx

Nota: FT significa Fischer-Tropsch; gaseificação é o processo de conversão de biomassa sólida em gases, mediante a aplicação de calor na presença de água e oxigênio; hidrocrackeamento é a quebra de moléculas na presença de catalisadores e hidrogênio, com altas temperaturas e pressões; fermentação ocorre na presença de microorganismos geneticamente modificados que transformam os carboidratos de biomassa em produtos similares aos derivados de petróleo; e hidrotermólise é a quebra de moléculas através da utilização de água sob altas temperaturas.

De forma resumida, conforme **Infográfico 2**, o diesel verde também pode ser produzido a partir da queima de biomassa sólida (resíduos, aparas de madeiras e talos de palha), o que gera o gás de síntese, de acordo com o **processo II**. Este gás é, então, submetido ao processo de Fischer-Tropsch na presença de catalisadores (ferro e cobalto), em que é transformado em hidrocarbonetos e, após a quebra destas moléculas, na presença de hidrogênio (hidrocraqueamento), é convertido em **diesel verde**^[9].

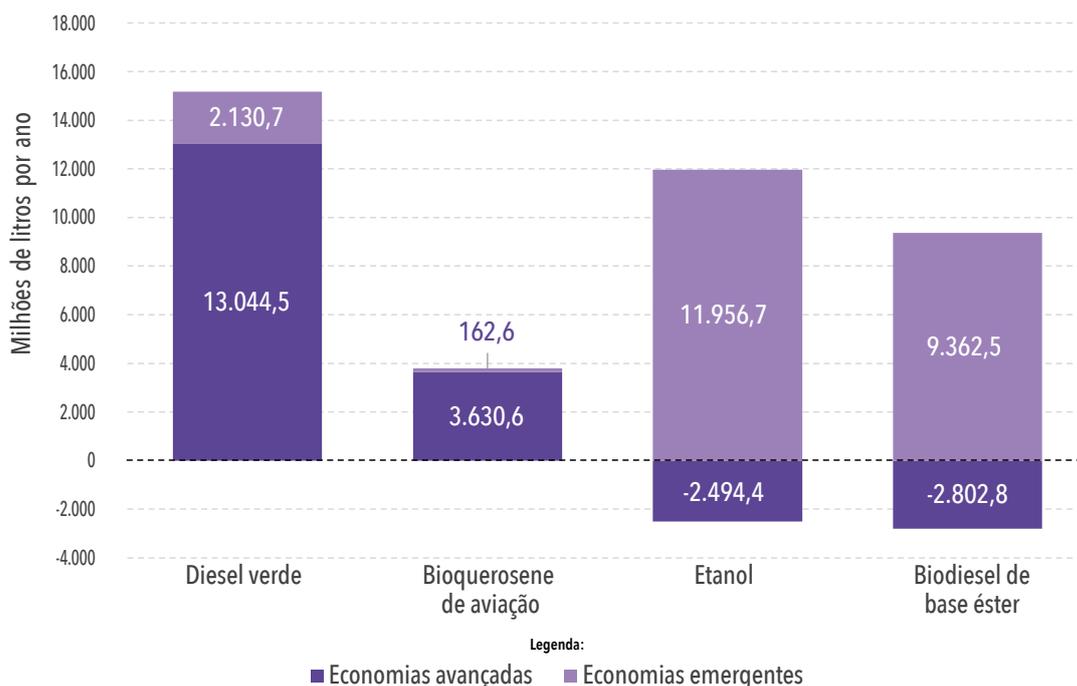
Outras metodologias menos utilizadas em escala industrial, também demonstradas no **Infográfico 2**, envolvem, por exemplo: **processo III** – a conversão de carboidratos de biomassa (açúcares), mediante o processo de fermentação, na presença de microrganismos geneticamente modificados; **processo IV** – a transformação de álcoois, como o etanol, a partir da remoção da água presente em suas moléculas e combinação de cadeias para formar hidrocarbonetos, que posteriormente são hidrotratados e fracionados em biocombustíveis; e **processo V** – a utilização de calor e água (hidrotermólise) para transformar óleos vegetais e gordura animal em hidrocarbonetos, que são tratados na presença de H₂ e fracionados em reatores para se obter o diesel verde^[6,10]. Todas as metodologias mencionadas convergem na produção do diesel renovável.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, na sua sigla em inglês para *International Energy Agency*)^[11], o diesel verde é o terceiro biocombustível mais produzido mundialmente. Em 2022, sua oferta alcançou 13,3 bilhões de litros, correspondendo a cerca de 8,0% de todo o consumo global de biocombustíveis. Já no que se refere à demanda, o diesel verde tem a maior projeção de crescimento frente aos demais biocombustíveis, no período de 2022 a 2027, conforme **Gráfico 1**.

Ainda de acordo com a IEA, existe a previsão de um aumento anual de demanda em cerca de 15 bilhões de litros, tanto em países com economias avançadas quanto em emergentes. Esse crescimento representa, aproximadamente, 43% da demanda global por biocombustíveis, projetado até 2027^[12]. Além disso, contata-se no **Gráfico 1** uma desaceleração na demanda dos biocombustíveis mais tradicionais – como o biodiesel de base éster e o etanol –, em economias avançadas, de cerca de 5,3 bilhões de litros ao ano, devido aos incentivos à evolução da produção de diesel verde e à sua compatibilidade físico-química com veículos a diesel.

GRÁFICO 1

Crescimento da demanda por biocombustíveis em economias avançadas e emergentes (2022 a 2027)



Fonte: IEA (2022), com adaptações da CNT. Acesso em: 23 jan. 2024. Link de acesso: [iea.org/reports/renewables-2022/transport-biofuels](https://www.iea.org/reports/renewables-2022/transport-biofuels)

O custo mais elevado no processo produtivo do diesel verde, comparado ao diesel mineral e ao biodiesel de base éster, representa um desafio principalmente em economias emergentes. No entanto, na medida em que os países implementarem políticas públicas de incentivos para avançar a sua produção do diesel renovável, o seu preço se tornará mais competitivo e acessível aos transportadores.

Para efeitos comparativos, segundo o Departamento de Energia do governo norte-americano, em janeiro de 2024, na Califórnia, o preço médio de revenda foi de US\$ 5,37 por galão⁵ de diesel verde, sendo 2,3% mais caro que o preço do diesel mineral no mesmo estado (US\$ 5,25)^[13].

⁵ Um galão equivale a aproximadamente 3,785 litros.

LEGISLAÇÃO VIGENTE

A formulação da legislação brasileira para inserir o diesel verde na matriz energética foi iniciada, apenas, em 2019. Isso deve-se, em grande parte, à ausência de definições claras nas leis e resoluções sobre os conceitos técnicos de biocombustível, biodiesel e diesel renovável^t. Além disso, para que haja a oferta efetiva dessa fonte no país, os formuladores de políticas públicas precisam estimar a capacidade de produção em escala, a fim de atender a demanda nacional com segurança; contudo, essa etapa ainda está em fase de desenvolvimento no Brasil.

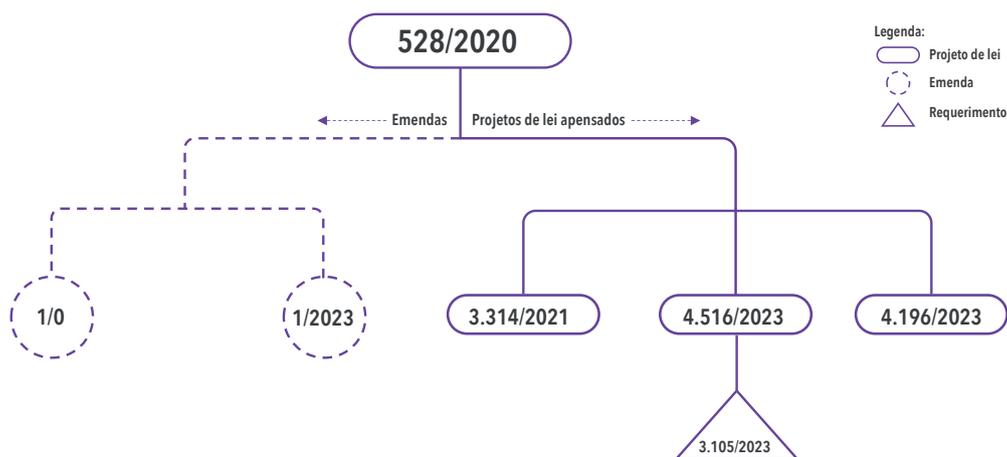
Além da falta de uma lei para inserir o diesel renovável como energia alternativa no Brasil, há também a carência de uma resolução que autorize as montadoras a homologarem seus motores com esse combustível. Esses são desafios importantes, já superados no cenário internacional, como na Europa e nos Estados Unidos, atrasando o país na sua independência energética. Neste contexto, o **Infográfico 3** apresenta o **Projeto de Lei (PL) 528/2020** e seus projetos derivados que estão em andamento e visam iniciar a oferta do diesel verde em escala nacional^[14].

No citado PL, propõe-se o estabelecimento inédito da definição de diesel renovável no Brasil como um combustível produzido a partir de biomassa e composto principalmente por hidrocarbonetos^u, para uso em **motores a combustão interna com ignição por compressão**, podendo ser chamado, também, de diesel verde. Adicionalmente, o PL 528 recebeu emendas durante a sua tramitação, sendo a primeira denominada **EMC 1/0**, proposta pela Comissão de Minas e Energia (CME) com o objetivo de destacar que essa fonte é um biocombustível, evitando confusões técnicas com outros combustíveis, como o coprocessado da Petrobras, que advém de matéria-prima majoritariamente fóssil.

^t A Lei nº 11.097/2005, que trata sobre a introdução do biodiesel na matriz energética, conceitua o termo "biodiesel" como qualquer biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão. Desta forma, o diesel verde se enquadraria na definição de biodiesel. Entretanto, segundo a Resolução da ANP nº 45/2014, que especifica as propriedades do biocombustível, a definição de biodiesel considera apenas o combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação, excluindo, assim, o diesel verde de seu escopo.

^u Devem ser considerados os hidrocarbonetos alifáticos que não possuem anéis aromáticos em sua composição, ou seja, aqueles que contêm na sua cadeia aberta átomos de carbono e hidrogênio.

A segunda emenda, denominada **EMC 1/2023**, foi igualmente proposta pela CME e visa à inclusão de uma definição mais abrangente de biocombustível no contexto de obrigar a adição de uma parcela renovável ao óleo diesel. De acordo com essa emenda, o termo “biocombustível” engloba qualquer substância derivada de biomassa renovável obtida em rotas tecnológicas distintas, incluindo o verde, o coprocessado e o biodiesel. A justificativa para essa proposta é a de estimular a competição entre as fontes energéticas e expandir a disponibilidade de biocombustíveis no Brasil, de tal forma que qualquer parcela renovável poderá ser considerada diesel renovável.

INFOGRÁFICO 3**Árvore de apensados ao PL 528/2020**

Fonte: Elaboração CNT, com base em Câmara dos Deputados (2024). Acesso em: 27 jan. 2024.
Link de acesso: camara.leg.br/propostas-legislativas/2238434/arvore-de-apensados

Outros projetos de lei foram anexados ao PL 528/2020, conforme mostra o **Infográfico 3**, incluindo o PL 3.314/2021, que trata das medidas de incentivo à produção e à utilização de biocombustíveis avançados renováveis (como o diesel verde e o bioquerosene de aviação) e inclui definições técnicas específicas para cada fonte.

Neste mesmo PL, foram definidos percentuais de mistura obrigatória de diesel verde ao óleo diesel, em qualquer parte do território nacional. O percentual começaria em **2% a partir de 2026**, chegando

a 5%, em 2029. Apesar dessa participação tímida na matriz energética nacional, o documento permite o uso de diesel verde em maiores proporções para segmentos como **transporte público; ferroviário; aéreo; navegação interior**; equipamentos e veículos destinados à **extração mineral e à geração de energia elétrica; tratores; e veículos agrícolas**.

Adicionalmente, o PL 3.314/2021 possui um artigo que considera os produtores de diesel verde aptos para emitir Créditos de Descarbonização (CBIOS), os quais devem ser adquiridos pelas distribuidoras de combustível fóssil. O crédito é utilizado para comprovar o atendimento das metas compulsórias anuais de redução de emissões de GEE no âmbito do programa RenovaBio^v.

Dois outros importantes projetos apensados ao PL 528/2020 são os PLs 4.516 e 4.196 de 2023, os quais abordam um assunto convergente: a criação do **Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV)**. O primeiro, conhecido como **Combustível do Futuro**, dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono, mediante a integração do PNDV com diferentes programas, como o Rota 2030^w, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV)^x e o RenovaBio.

O PNDV visa fomentar a pesquisa, a produção, a comercialização e o uso de diesel verde no Brasil. Nele, será de responsabilidade do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) determinar a sua participação volumétrica mínima obrigatória, cabendo à ANP definir os percentuais de adição obrigatória de diesel verde ao óleo diesel, em cada estado e no Distrito Federal, seguindo as diretrizes informadas no **Infográfico 4**.

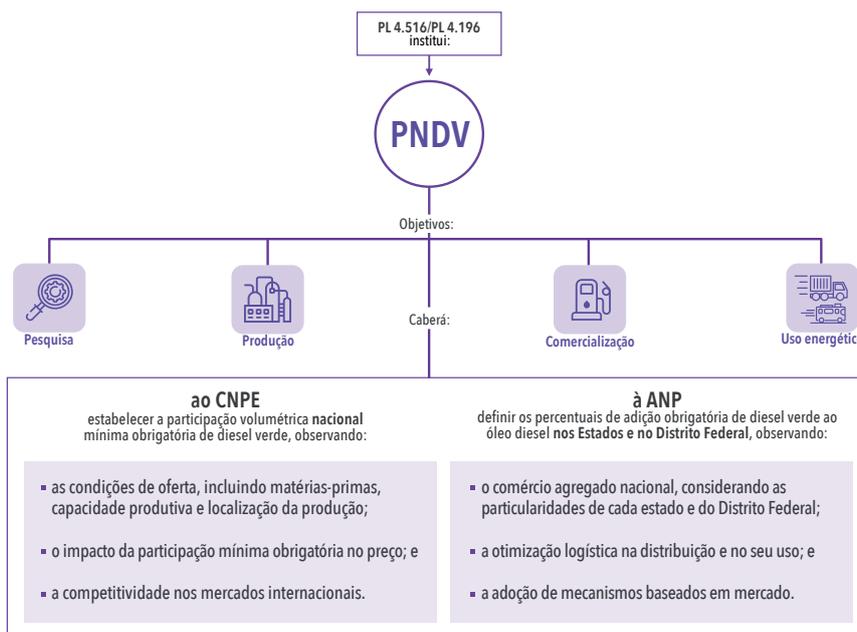
^v Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), o RenovaBio representa uma política voltada para o aumento da produção e utilização de biocombustíveis na matriz energética brasileira. Um de seus eixos é contextualizado na emissão de CBIOS. Estes créditos devem ser utilizados pelos distribuidores de combustíveis fósseis para atingir metas de descarbonização anuais. Acesso em: 28 jan. 2024. Link de acesso: www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1

^w O programa foi estabelecido pelo governo brasileiro, a fim de delinear diretrizes para a fabricação de automóveis em solo brasileiro. É compreendido por um conjunto de normas em que os fabricantes de automóveis devem seguir, com o objetivo de alcançar maior eficiência energética nos veículos vendidos no país.

^x O PBEV tem por objetivo medir, padronizar e registrar o nível de eficiência energética de veículos etiquetados para promover a informação ao consumidor final.

INFOGRÁFICO 4

Objetivos e competências do Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV)



Fonte: Elaboração CNT, com base em Câmara dos Deputados (2024). Acesso em: 27 jan. 2024.
Link de acesso: camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2388242

Já o PL 4.196/2023, que igualmente sugere a criação do PNDV, tem o foco de incentivar investimentos em infraestrutura de produção, priorizar a economia local e reduzir a dependência de fontes não renováveis. A relevância desta pauta se intensificou no governo com a apresentação do requerimento de urgência (REQ 3.105), em 2023, que buscou acelerar na Câmara de Deputados a tramitação de todo arcabouço legal já elaborado quanto ao tema^[14].

No âmbito técnico, em maio de 2021, a ANP lançou, mediante a Resolução ANP nº 842, as especificações do diesel verde e as obrigações quanto ao seu controle de qualidade^[15]. De acordo com a citada resolução, fica proibida pela agência reguladora a sua comercialização quando os limites de cada propriedade não forem alcançados.

Neste contexto, o Quadro 1, a seguir, apresenta as principais diferenças de propriedades físico-químicas estabelecidas pelo Brasil e presentes no combustível produzido pela Neste^[16], considerada a maior biorrefinaria deste insumo no mundo, sediada na Finlândia.

Quadro 1 Comparativo entre os limites das propriedades físico-químicas do diesel verde na legislação brasileira e os valores reais do biocombustível produzido pela Neste

Característica	Unidade	Limites (Res. ANP 842)	Diesel Verde (Neste)
Número de cetano (mín.)	-	51,0	> 70,0
Massa específica a 20 °C	kg/m ³	761,2 - 806,5	780,0
Ponto de fulgor (mín.)	°C	38,0	> 70,0
Viscosidade Cinemática a 40 °C	mm ² /s	2,0 - 4,5	3,0
Destilação - 95% volume recuperado (máx.)	-	370,0	295,0
Lubricidade a 60 °C (máx.)	µm	460,0	< 460,0
Total de aromáticos (máx.)	% (m/m)	1,1	Abaixo do limite de detecção
Teor de enxofre (máx.)	mg/kg	10,0	≤ 5,0
Teor de cinzas (máx.)	% (m/m)	0,01	< 0,001
Contaminação total (máx.)	mg/kg	24,0	< 12,0
Corrosividade ao cobre (3h a 50 °C)	-	Classe 1	Classe 1
Estabilidade à oxidação (máx.)	g/m ³	25	< 2,0

Fonte: Elaboração CNT, com base em (i) ANP (2021) e (ii) NESTE (2020). Acessos em: 29 jan. 2024. Links de acesso: (i) in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-842-de-14-de-maio-de-2021-320059616 e (ii) www.old.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf

Nota: kg/m³ = quilograma por metro cúbico; °C = grau Celsius; mm²/s = milímetro quadrado por segundo; µm = micrômetro; m/m = porcentagem em massa; mg/kg = miligrama por quilograma; g/m³ = grama por metro cúbico; e classe 1 = resultado do teste de corrosão ao cobre aplicado em tira metálica utilizada para verificar alterações devido ao contato com o combustível.

Ao se observar o **Quadro 1**, é possível perceber que as especificações do combustível da Neste possuem valores bastante positivos, que levam ao aumento da eficiência energética veicular, pois apresentam altos índices de cetano e ponto de fulgor em relação às propriedades brasileiras. Ademais, contêm baixo teor de contaminação, cinzas e enxofre, o que contribui para a redução das emissões de poluentes. Por fim, o diesel verde da Neste conta com estabilidade à oxidação otimizada em comparação com o nacional, prolongando a sua vida útil.

PRINCIPAIS FONTES

A produção de diesel verde no Brasil pode ser realizada mediante rotas tecnológicas e matérias-primas distintas, conforme mencionado na seção “O que é o diesel verde?”. Os processos de hidrotratamento ou hidrotermólise de **óleos vegetais e gorduras animais** são particularmente vantajosos, dada a grande disponibilidade e diversidade dessas fontes primárias no país. Segundo dados da ANP^[17], somente em 2023, mais de 7 bilhões de litros de óleos vegetais e animais (7.546.133 m³) foram utilizados para a produção de biocombustíveis no Brasil – tais matérias-primas são igualmente aplicáveis na produção de diesel verde.

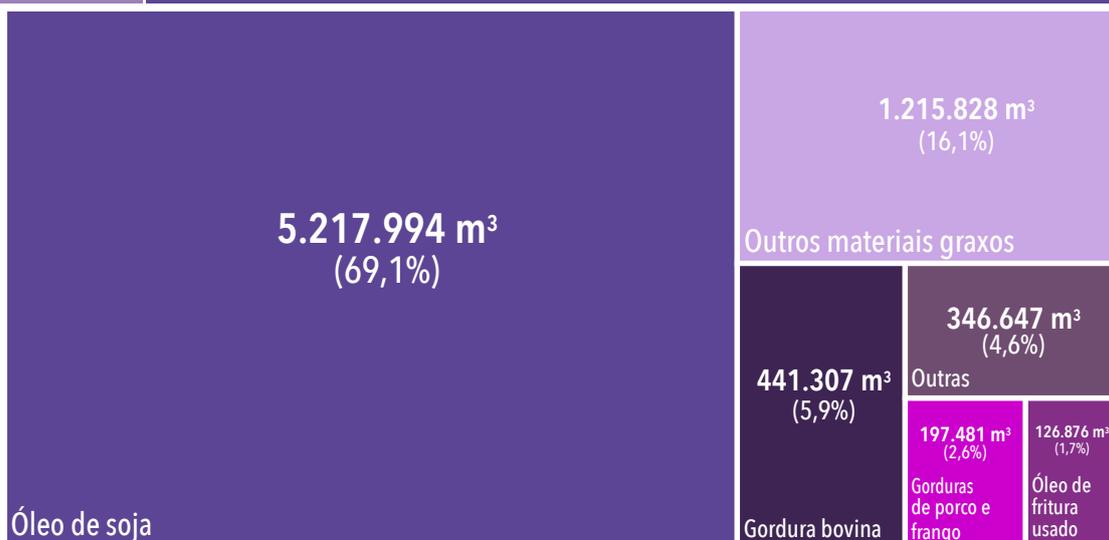
No **Gráfico 2**, mais adiante, é apresentada a distribuição, em 2023, da participação de matérias-primas na produção de bioenergia no Brasil, por tipo de fonte. O óleo de soja é predominante e representou 69,1% da produção de biocombustíveis, seguido por outros materiais graxos (16,1%), que incluem misturas de outras matérias-primas ou subprodutos gerados na produção de biocombustível. A gordura animal contribuiu com 8,5%, sendo 5,9% bovina, 1,9% suína e 0,7% de frango. Outro dado relevante é a modesta utilização de resíduos orgânicos, como o óleo de fritura usado, que correspondeu a, apenas, 1,7% do total.

A grande disponibilidade de biomassas no Brasil é positiva, especialmente ao se considerar as projeções da IEA que indicam um crescimento global na oferta de biocombustíveis a partir de óleos vegetais e gorduras animais. De acordo com a citada agência, a produção deve crescer em 7,3% nos próximos três anos^[18]. A estimativa da IEA também indica um crescimento de 14,3% na utilização de óleo de fritura usado, passando de 11,9 bilhões de litros, em 2024, para 13,6 bilhões de litros, em 2027. Esse aumento é vantajoso ambientalmente para o mundo, pois inclui resíduos alimentícios na cadeia produtiva, fomentando, portanto, a economia circular^y e maximizando a transformação de passivos ambientais em ativos energéticos e econômicos.

^y Segundo o Ministério da Educação (MEC), economia circular é o conceito que integra crescimento econômico à redução do uso de recursos naturais, com ações que levam à otimização de processos produtivos, além da mudança de comportamento em relação ao consumo e reciclagem de insumos. O objetivo é minimizar os impactos ambientais e desperdícios, tornando as cadeias produtivas mais eficientes ao reposicionar os resíduos em insumos/matérias-primas para novos produtos, prolongando, assim, seu ciclo de vida útil. Acesso em: 04 mar. 2024. Link de acesso: www.gov.br/mec/pt-br/areas-de-atuacao/ept/profissionais-futuro/economia-circular

GRÁFICO 2

Distribuição da participação de matérias-primas potenciais para a produção de diesel verde no Brasil (2023, em metros cúbicos)



Fonte: Elaboração CNT, com base em ANP (2024). Acesso em: 25 mar. 2024.

Link de acesso: gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel

Nota: materiais graxos são substâncias ricas em óleos e gorduras e possuem moléculas de origem lipídica (glicerídeos saturado e insaturado); e a categoria Outras contempla óleos de palma/dendê, algodão, colza/canola, milho e palmiste e ácido graxo de óleo de soja.

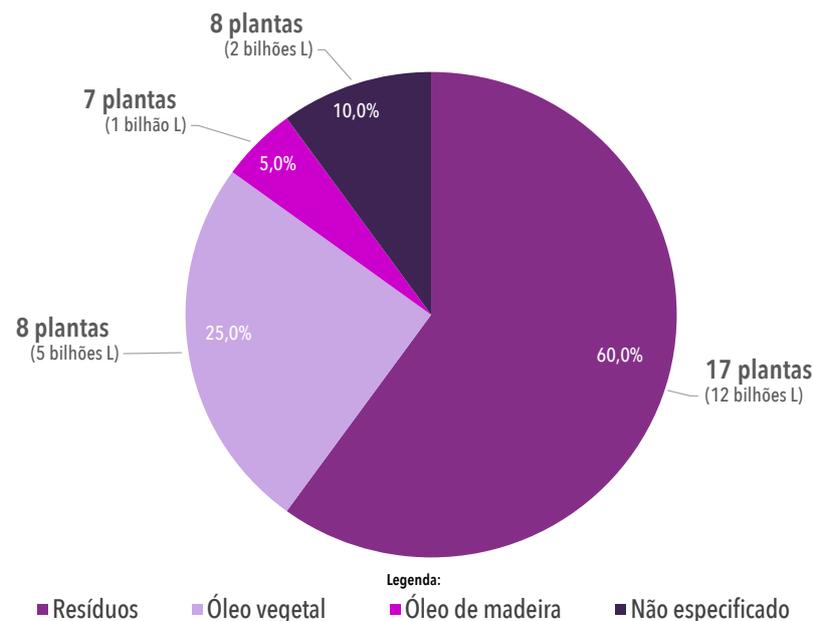
No que tange às plantas de produção, no cenário internacional, as projeções apontam para a predominância de instalações industriais dedicadas à produção de diesel verde mediante o **aproveitamento de resíduos oriundos dos setores alimentício e pecuário**. Para 2024, a IEA estima que esses resíduos representarão 60,0% dos insumos para produzir o diesel renovável^[19], alcançando um volume global de aproximadamente 12 bilhões de litros a partir de 17 plantas dedicadas e instaladas ao redor do mundo, conforme ilustra o **Gráfico 3**.

A segunda maior contribuição de fonte para produção do diesel verde advém do processamento de óleos vegetais, com 8 plantas e 5 bilhões de litros produzidos, o que corresponderá a uma participação mundial de 25,0%.

Outra parcela de contribuição por fonte na capacidade de produção é advinda do hidrotratamento de óleo de madeira, também conhecido como óleo de *pinus*. Esse material é um subproduto do processamento de madeira para a fabricação de celulose e papel e representará 5,0% da produção mundial de diesel verde, com volume de um bilhão de litros proveniente de sete instalações industriais. Para este insumo, cabe destacar que o grau de sustentabilidade depende diretamente de práticas de manejo florestal sustentáveis aplicadas na indústria madeireira, como ações de reflorestamento e conservação da biodiversidade^[20].

GRÁFICO 3

Estimativa de plantas e capacidade de produção de diesel verde por tipo de matéria-prima no mundo (2024, em litros)



Fonte: Elaboração CNT, com base em IEA (2019). Acesso em: 31 jan. 2024.

Link de acesso: iea.blob.core.windows.net/assets/a846e5cf-ca7d-4a1f-a81b-ba1499f2cc07/Renewables_2019.pdf

É importante destacar que as instalações produtoras de diesel verde variam conforme sua infraestrutura tecnológica, abrangendo categorias como unidades industriais especializadas; adaptações em refinarias de petróleo convencionais; e unidades de coprocessamento. Sob este contexto, a IEA projeta que 49,5% de toda a produção mundial de diesel verde em 2024 será originada de novas refinarias construídas especificamente para esse fim, o que evidencia uma tendência de investimento em infraestrutura dedicada à produção de biocombustíveis.

Ainda de acordo com a IEA, as refinarias convencionais de petróleo e o coprocessamento representarão 26,8% da produção global de diesel verde em 2024. Essa alternativa se mostra, inicialmente, mais atrativa sob o quesito econômico, devido à redução de custos com equipamentos e infraestrutura já existentes, quando comparadas à construção de novos parques produtivos. Espera-se, também, que os projetos em estágio inicial de construção contribuam com 23,7% da produção global, em 2024, ampliando a capacidade produtiva global de diesel verde^[19].

MAPEAMENTO DO DIESEL VERDE

A capacidade produtiva de diesel verde está predominantemente situada em países da América do Norte, Europa e Ásia-Pacífico, com destaque para o seu crescimento na participação da produção de biocombustíveis nos últimos cinco anos, conforme ilustra o **Gráfico 4**^[21].

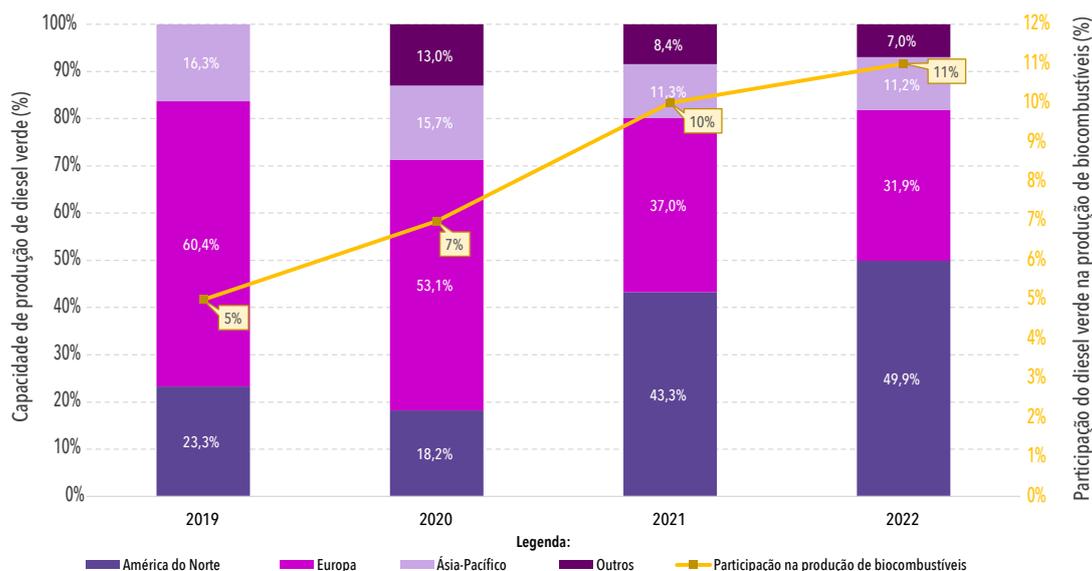
De 2019 a 2020, a Europa se destacou como a principal produtora de diesel verde, sendo responsável por 60,4% e 53,1% da produção mundial, respectivamente. Essa liderança pode ser atribuída ao avanço europeu na adoção de políticas e regulamentações ambientais focadas na diminuição de emissões de GEE. Um exemplo disso é a Diretiva de Energias Renováveis (RED, da sua sigla em inglês de *Renewable Energy Directive*), que, em sua segunda versão, implementada em 2018, estabeleceu a meta de incluir 14% de fontes renováveis no consumo total de energia para os segmentos de transporte rodoviário e ferroviário, até 2030^[22].

Em 2021 e 2022, ainda no mesmo **Gráfico 4**, a América do Norte emergiu como líder na produção global de diesel verde, alcançando uma participação na oferta global de quase 50,0%. Este crescimento foi impulsionado majoritariamente por políticas ambientais nos Estados Unidos focadas em combustíveis de baixo carbono, com destaque para a *Low Carbon Fuel Standard* (LCFS), da Califórnia. De acordo com dados do Conselho de Recursos Aéreos do estado (CARB, da sua sigla em inglês *California Air Resources Board*), o diesel verde representou, aproximadamente, 49% de todo o consumo de diesel local durante o primeiro trimestre de 2023, sendo a principal parcela consumida pelo setor transportador^[23]. Esse dado reflete que essas iniciativas governamentais podem ser bem-sucedidas quando voltadas à descarbonização de matrizes energéticas.

Outras regiões do mundo, como a Ásia-Pacífico e a América do Sul (categorizada em “Outros”) – incluindo o Brasil –, têm demonstrado contribuições nesta atividade, embora ainda apresentem uma participação modesta na produção total de diesel verde. Ainda segundo o **Gráfico 4** (linha amarela), observa-se que a contribuição do diesel verde para a produção global de biocombustíveis também tem aumentado nos últimos anos. Em 2019, o diesel renovável constituía apenas 5% do total de biocombustíveis produzidos no mundo. Já em 2022, essa parcela mais que duplicou, alcançando uma participação de 11%, em resposta à crescente demanda por combustíveis mais limpos e tecnologicamente mais avançados.

GRÁFICO 4

Capacidade de produção de diesel verde e sua participação na produção total de biocombustíveis no mundo (2019-2022)



Fonte: IEA (2021), com adaptações da CNT. Acesso em: 03 fev. 2024.

Link de acesso: iea.blob.core.windows.net/assets/18a6041d-bf13-4667-a4c2-8fc008974008/RenewableEnergyMarketUpdate-Outlookfor2021and2022.pdf

Em relação à localização e à capacidade produtiva desta fonte energética no mundo, considerando os projetos já em execução ou, apenas, anunciados, nota-se, a partir do **Infográfico 5**, a predominância novamente da América do Norte^[24]. A região conta com nove biorrefinarias, cujos potenciais de produção elevarão a produção de diesel verde estadunidense de 1,9 milhão de toneladas produzida de diesel verde, em 2020, para 12,6 milhões de toneladas, em 2025. Tal expansão, superior a 500%, posicionará o continente como responsável por 42% da produção global deste insumo.

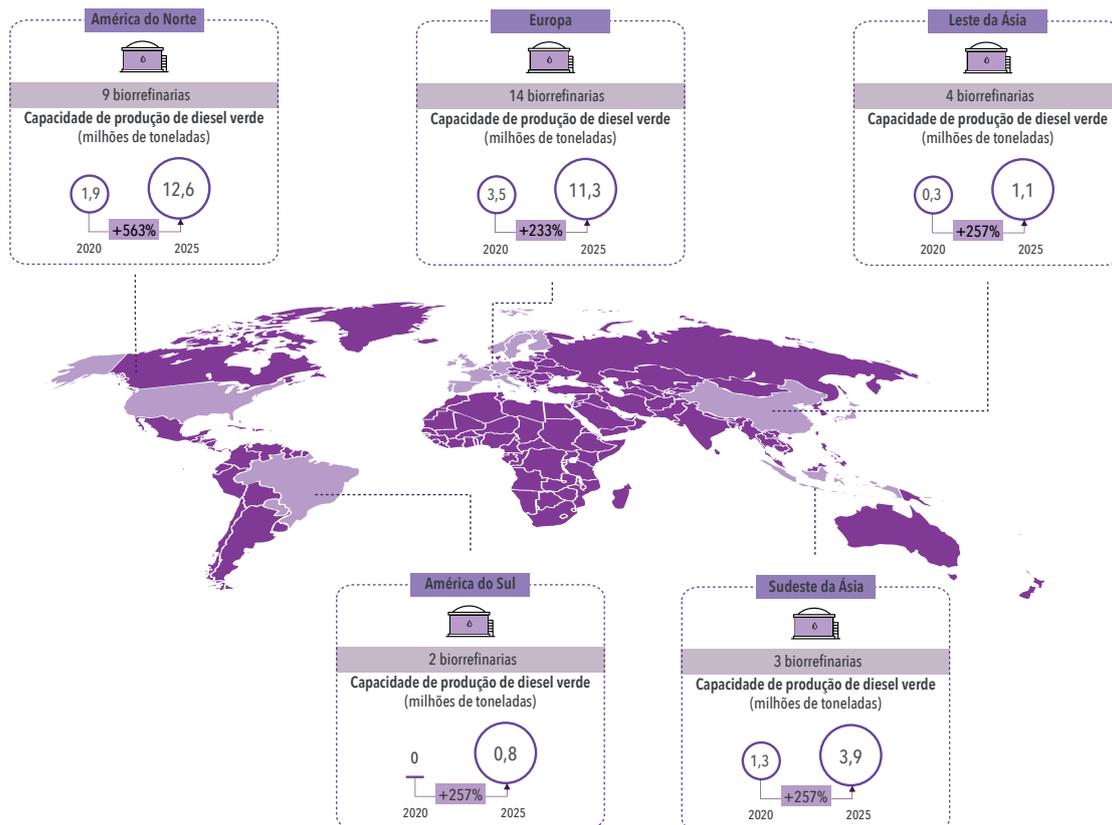
A Europa apresenta-se com o segundo maior potencial de produção para 2025, com 14 unidades produtivas. Para esta região, espera-se um aumento de mais de 200% na produção de diesel verde, em relação ao ano de referência (2020), alcançando 11,3 milhões de toneladas produzidas. Cabe ressaltar que, embora a Europa tenha mais unidades dedicadas à produção, sua capacidade produtiva é inferior à da América do Norte. Ainda assim, até 2025, os países europeus serão responsáveis pela ampla parcela de 38% da produção mundial. Juntas, ambas regiões (América do Norte e Europa) representarão mais de 80% de toda a oferta de diesel verde no mundo.

Países do Leste e Sudeste Asiáticos também desempenharão um papel importante na produção de diesel verde, com sete biorrefinarias contribuindo para a sua oferta global. A expectativa é que a capacidade produtiva da região triplique em 2025, sendo responsável por cerca de 17% do produzido no mundo – equivalente a 5 milhões de toneladas.

A América do Sul contará com, apenas, duas unidades produtoras dedicadas ao diesel verde, capazes de gerar 0,8 milhão de tonelada. No Brasil, a empresa Brasil BioFuels (BBF) e a Vibra Energia são responsáveis pelo único projeto anunciado de diesel verde nacional. Em 2025, as empresas inaugurarão a primeira biorrefinaria do país na cidade de Manaus, com capacidade anual de 500 mil toneladas de diesel verde, o que corresponderá a 62,5% da oferta total do citado continente sul-americano. Segundo as citadas empresas parceiras, a escolha de Manaus foi estratégica, visando a sua distribuição em toda a região Norte do Brasil².

² De acordo com a nota "Vibra e Brasil BioFuels ampliam a parceria e se unem em 1º projeto de produção de combustível sustentável de aviação (SAF) do Brasil", publicada pela Vibra, em 2022. Acesso em: 29 fev. 2024. Link de acesso: vibraenergia.com.br/sites/default/files/2022-04/release-vibra-BBF-SAF.pdf

INFOGRÁFICO 5 Distribuição geográfica de biorrefinarias com produção de diesel verde no mundo (2020 e 2025)



Legenda:
 Países com biorrefinarias produtoras de diesel verde
 Países sem biorrefinarias produtoras de diesel verde

Fonte: Greenea (2021), com adaptações da CNT. Acesso em: 02 fev. 2024.
 Link de acesso: [greenea.com/wp-content/uploads/2021/01/Greenea-Horizon-2030-Which-investments-will-see-the-light-in-the-biofuel-industry-1.pdf](https://www.greenea.com/wp-content/uploads/2021/01/Greenea-Horizon-2030-Which-investments-will-see-the-light-in-the-biofuel-industry-1.pdf)
 Nota: Inclui projetos de diesel verde puro e coprocessado para o transporte rodoviário - em execução ou anunciados.

Embora a capacidade de produção brasileira seja menor quando comparada com as grandes potências europeia e norte-americana, é importante ressaltar as vantagens do Brasil relacionadas à sua facilidade em fornecer matérias-primas fundamentais ao processo produtivo de diesel verde, como óleos vegetais e gordura animal. Neste contexto, o **Infográfico 6** demonstra a distribuição destes insumos da indústria de biocombustíveis^[17] por estados e regiões.

A região Sul se destaca por ter produzido mais de 3,2 milhões de quilogramas dessas matérias-primas, em 2023, com o Rio Grande do Sul se consolidando como um dos principais fornecedores. O estado

contribuiu com 24,0% de toda a oferta de óleos vegetais e gordura animal nacional, o que o posiciona como um potencial e importante participante para a cadeia de diesel verde brasileira.

Outra região relevante é o Centro-Oeste, que produziu 2,9 milhões de quilogramas de matéria-prima potencial à indústria produtora de diesel verde. Suas maiores contribuições advêm dos estados de Mato Grosso e Goiás, que estão entre os 10 principais estados do agronegócio brasileiro^{aa}. Na região Nordeste, o destaque é a Bahia, outro estado entre os 10 principais do agronegócio, devido à sua forte participação na produção de óleo de soja. Em 2023, a Bahia produziu 555,8 mil quilogramas de fontes primárias, representando 90,0% de toda a oferta da região nordestina, no mesmo período.

Nota-se, a partir das informações do **Infográfico 6**, que o Brasil possui um potencial relevante para liderar a produção mundial de diesel verde, com mais de 7,5 milhões de quilogramas de matéria-prima disponíveis, oriundas de sua extensa produção de óleos vegetais e gorduras animais. A conversão ou instalação de refinarias adequadas ao processo de hidrotreamento poderiam catalisar esse processo, permitindo ao país otimizar o potencial de suas vantagens quanto à oferta de biomassas. Essa nova conjuntura não apenas solidificaria o Brasil como um protagonista do mercado global de biocombustíveis, mas também fomentaria o cumprimento das metas internacionais de descarbonização, especialmente ao promover a **mobilidade eficiente e de baixa emissão no setor de transporte rodoviário** – um dos maiores consumidores de energia no país.

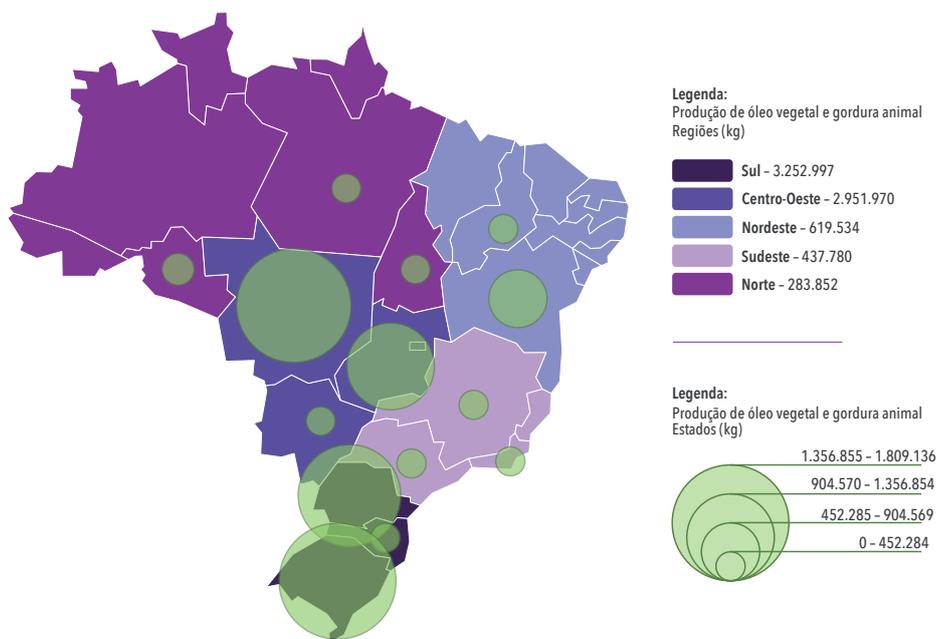
Cabe, ainda, mencionar que, recentemente, o governo brasileiro se comprometeu em investir R\$ 200 bilhões em biorrefino. Esse aporte financeiro será direcionado para o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis, incluindo bioquerosene de aviação, **diesel verde**, etanol de segunda geração^{ab}, etanol hidratado e biodiesel, além de projetos de captura e estocagem de carbono. Os recursos foram anunciados durante a 28ª Conferência das Partes das Nações Unidas (COP28) – o principal evento sobre mudanças climáticas –, em 2023, e parte deles será alocada no estabelecimento de novas refinarias de hidrotreamento, ampliando a capacidade brasileira de produção de diesel verde^[25].

^{aa} Conforme matéria publicada no Estadão. Acesso em: 04 fev. 2024. Link de acesso: <http://agro.estadao.com.br/summit-agro/agronegocio-veja-os-10-principais-estados-produtores-do-brasil>

^{ab} Biocombustível produzido a partir de resíduo (bagaço da cana-de-açúcar) do processo produtivo de etanol hidratado.

INFOGRÁFICO 6

Mapa da capacidade produtiva de diesel verde a partir de óleos vegetais e gordura animal, por estados e regiões do Brasil (2023, em quilogramas)



Fonte: Elaboração CNT, com base em ANP (2024). Acesso em: 04 fev. 2024.

Link de acesso: gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel

APLICAÇÕES NO MODO RODOVIÁRIO

Conforme mencionado na seção “O que é o diesel verde?”, os veículos rodoviários que operam com motores a diesel são compatíveis com o uso de diesel verde, não necessitando de modificações mecânicas, independentemente de sua data de fabricação^[26].

As empresas fabricantes de veículos pesados já estão lançando, no mercado automotivo, modelos de caminhões e ônibus certificados para o uso de diesel renovável, como o **Meteor Optimus**, da Volkswagen (**Foto 1**), que foi projetado, fabricado e testado para operar com este biocombustível. A montadora afirma que há **reduções de emissões de CO₂ de até 90%**, considerando o escopo do poço à roda^{ac}, em relação ao uso de diesel puro.

^{ac} Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), a metodologia “do poço à roda”, também chamada de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), contabiliza todas as emissões geradas na cadeia do combustível, incluindo as etapas de geração de energia, extração, produção e uso. Acesso em: 04 mar. 2024. Link de acesso: www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/governo-entrega-projeto-de-lei-do-combustivel-do-futuro

Além disso, o modelo apresenta melhorias aerodinâmicas, como defletores e carenagens de fibra de vidro, otimizando o fluxo de ar e minimizando a sua resistência, o que contribui para a redução de consumo energético. Seu motor é o **D26**, de 13 litros, com 530 cavalos-vapor e 255 quilogramas-força por metro de torque, com preço sugerido de R\$ 828 mil no mercado brasileiro, em 2022. Ainda segundo a montadora, essas tecnologias proporcionam economia de até 8% no consumo de combustível, representando uma evolução no desempenho de eficiência energética e ambiental que leva à redução de gastos com combustível e, conseqüentemente, à diminuição de emissões de escapamento^[27].

A DAF, outra montadora de veículos pesados, lançou no mercado uma nova geração de caminhões projetados para receber abastecimento com 100% de diesel verde (**Foto 2**). Essa nova linha de veículos também promete reduzir as emissões de CO₂ em até **90%**, **contemplando o ciclo completo, do poço à roda**, ao substituir o diesel fóssil pelo biocombustível. Além da vantagem ambiental, os novos veículos da montadora não precisaram passar por modificações técnicas, apresentaram desempenho energético equivalente ao do diesel fóssil e mantiveram seus intervalos de manutenções – de até 200 mil quilômetros – quando desempenharam atividades que envolviam percursos de longa distância^[28].

A nova linha da DAF abrange modelos adaptados a uma variedade de aplicações, a saber: **série LF** – para transporte de distribuição urbana; **série XD** – para aplicações específicas, como betoneiras e guindastes; e **séries XF, XG e XG+** – para o transporte de cargas pesadas em longas distâncias^[28].



Foto 1. Divulgação/Volkswagen. 10 nov. 2022. Acesso em: 06 fev. 2024.
Link de acesso: tinyurl.com/4v3dzra9



Foto 2. Divulgação/DAF. 06 fev. 2024. Acesso em: 06 fev. 2024.
Link de acesso: tinyurl.com/54c6k7ca

No que tange ao segmento de passageiros, a montadora Scania lançou, em 2022, uma nova linha de ônibus de fretamento e de transporte urbano já adequados aos padrões técnicos e ambientais estabelecidos pela nova fase do Proconve P8^{ad} e habilitados para o uso de diesel verde. Esta nova geração contempla os modelos da **Série K (Foto 3)**, com tecnologias que reduzem em até 8% o consumo de combustível em ônibus rodoviários de fretamento, devido aos seus motores avançados e transmissões automatizadas, e uma economia de até 10% nos modelos de transporte urbano. Um ponto de destaque da referida Série são os motores já testados com o diesel verde, complementados por um sistema de injeção aprimorado, com troca de marchas mais ágeis e diminuição de 25% em eventos de reparos mecânicos^[29].

Quanto aos chassis da Série K, a Scania oferecerá configurações de 4x2, 6x2 e 8x2. As motorizações variam de 9 a 13 litros, alcançando **500 cavalos de potência**, com até seis cilindros. Os modelos rodoviários são indicados para o segmento de fretamento em distâncias curtas, médias e longas, incluindo o ramo de turismo. Já os modelos urbanos variam de 12,5 até 28,0 metros de comprimento, com capacidade para transporte de até **270 passageiros**, os quais estão disponíveis em diversas configurações, incluindo piso baixo, normal, *padrons^{ae}*, articulados e biarticulados – projetados especialmente para corredores de ônibus de trânsito rápido (BRT) –, garantindo versatilidade no transporte urbano^[29].

A Volvo também expandiu o seu portfólio de produtos ao incluir os ônibus rodoviários certificados para o diesel verde, em qualquer mistura, nos modelos **B380R, B420R, B460R e B510R (Foto 4)**. De acordo com a fabricante, esses veículos, equipados com motores que chegam a 510 cavalos de potência, apresentam uma economia de combustível de até 9%, além de reduzirem significativamente os custos operacionais da atividade transportadora. Os modelos também são projetados com sistemas que garantem trocas de marcha de forma suave e com direção leve, assegurando uma viagem confortável e segura tanto aos motoristas quanto aos passageiros.

^{ad} A Fase P8 do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), definida no âmbito da Resolução nº 490/2018, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), estabeleceu novos padrões de emissão para veículos automotores pesados. Ela entrou em vigor em 1º de janeiro de 2022 para as homologações de novos modelos de veículos e a partir de 1º de janeiro de 2023 para os demais veículos.

^{ae} Possuem capacidade para transporte de até 80 passageiros, sentados e em pé, com peso bruto total mínimo de 16 toneladas e comprimento máximo de 14 metros. Acesso em: 04 mar. 2024. Link de acesso: volvobuses.com/br/news1/blog/informacoes-e-curiosidades/classificacao-dos-onibus-no-brasil.html

Os ônibus da Volvo movidos a diesel verde são equipados com motores de 13 litros e têm peso bruto máximo variando de 19,5 toneladas, na versão 4x2, até 29,5 toneladas, para o modelo 8x2. Além dos benefícios ambientais, como a redução de até **85% nas emissões de CO₂ no motor D13K**, esses ônibus possuem tecnologias mais avançadas para aumentar a eficiência energética do trajeto. Entre essas inovações, destacam-se os radiadores duplos, instalados em lados opostos do motor, que são resfriados por ventiladores elétricos de alta eficiência. Essa configuração permite manter uma temperatura baixa e uniforme no compartimento do motor sob quaisquer condições climáticas, independentemente da região aplicada, evitando o seu superaquecimento em atividades de grande intensidade de uso que pode comprometer a eficiência energética do motor para mantê-lo resfriado^[30].



Foto 3. Divulgação/Scania do Brasil. 29 set. 2022. Acesso em: 13 fev. 2024. Link de acesso: tinyurl.com/yc3n47wb



Foto 4. Divulgação/Volvo. 11 ago. 2022. Acesso em: 13 fev. 2024. Link de acesso: tinyurl.com/46vdfm7u

Em relação à qualidade da combustão nos motores de veículos pesados, um estudo realizado na Finlândia comparou o consumo de combustível, considerando as propriedades físico-químicas de fontes líquidas renováveis como o diesel verde^{af} e o biodiesel de base éster. Neste teste, foi desenvolvido um modelo matemático com alta capacidade preditiva, construído a partir de 66 condições reais de uso do veículo, para prever o seu consumo energético em diferentes ciclos de condução^{ag}. Os resultados mostraram que o gasto de combustível aumenta de acordo com o acréscimo de teor de oxigênio presente na amostra do insumo – característica inerente ao biodiesel à base de éster –, pois essa propriedade diminui o seu poder calorífico. Constatou-se, ainda, que combustíveis com alto número de cetano, como o diesel verde, melhoram a performance do veículo devido ao aumento da reatividade química na câmara de combustão^[31].

^{af} O estudo utilizou diesel verde obtido a partir do hidrotreatamento de óleos vegetais e da síntese via Fischer-Tropsch.

^{ag} Os caminhões e ônibus pesados investigados eram equipados majoritariamente com motores na faixa de volume de cilindrada de 7 a 9 litros.

O estudo também apontou, por meio de resultados do ciclo de condução de Braunschweig^{ah}, que veículos abastecidos com diesel verde hidrotratado consomem 5% menos combustível (dado em kg/100 km), em comparação aos movidos com óleo diesel puro. Esses resultados demonstraram que o diesel verde representa uma escolha de combustível renovável tecnicamente vantajosa para veículos rodoviários, proporcionando uma das soluções que entrega eficiência energética ao transportador.

Um aspecto relevante atrelado às empresas de transporte que desejam investir em veículos movidos a fontes alternativas é o custo associado à renovação de suas frotas, já que essas tecnologias apresentam, ainda, algumas desvantagens, como alto investimento para aquisição do veículo e custo da fonte energética.

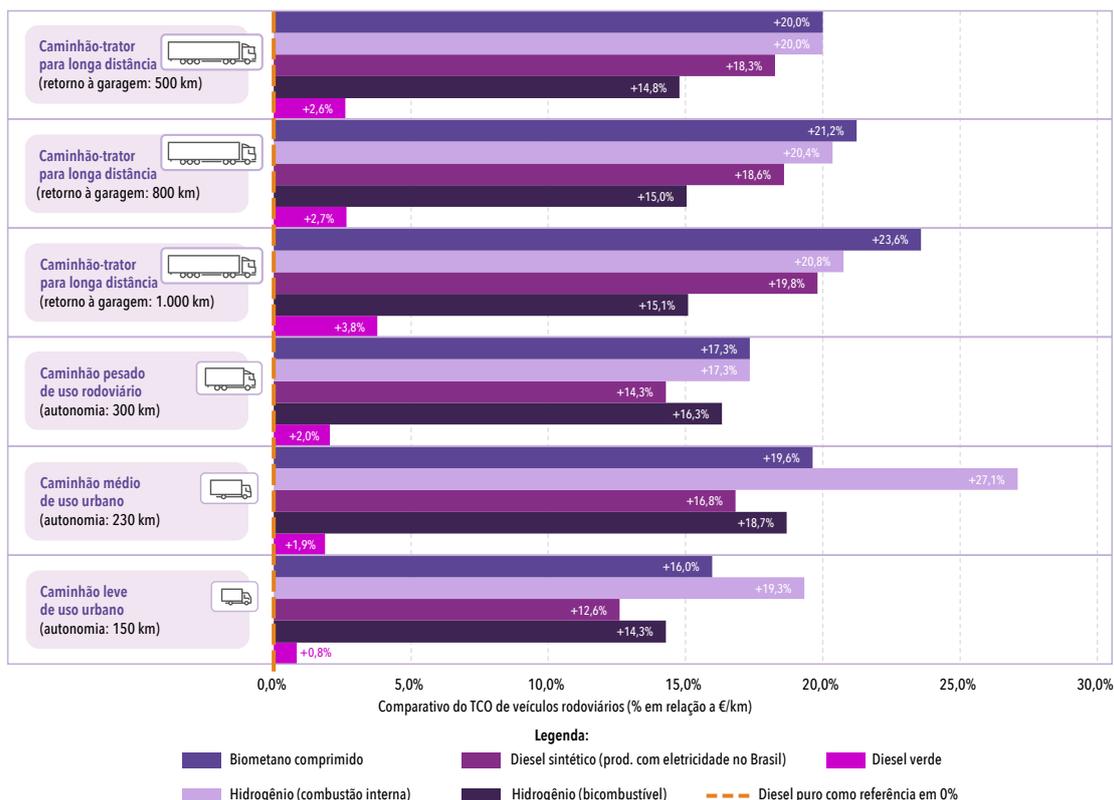
Neste contexto, o Conselho Internacional de Transporte Limpo (ICCT, da sua sigla em inglês de *International Council on Clean Transportation*) realizou um estudo sobre a viabilidade econômica para os transportadores adquirirem tecnologias veiculares de caminhões menos poluentes, em 2030, analisando o custo total de propriedade (TCO, da sua sigla em inglês de *Total Cost of Ownership*) na Europa^[32]. Cabe informar que o TCO é comumente utilizado pelas empresas de transporte para avaliar os benefícios que envolvem a aquisição ou a renovação de frota, contemplando o preço de compra e os custos operacionais associados ao veículo desejado.

Para o seu cálculo, foram levados em consideração custos associados à compra de caminhões, gastos médios com combustível na Europa, custos de manutenção, pedágios, impostos e taxas europeias. Os resultados, comparados aos de um veículo padrão movido a diesel tradicional, representado na linha de referência em 0,0%, são detalhados no **Gráfico 5**. As premissas adotadas para o estudo foram: **diesel verde** – produzido a partir do hidrotratamento de resíduos como óleo de cozinha; **diesel sintético** (produzido com eletricidade) – ofertado pelo Brasil a partir da aplicação da eletricidade local; **biometano comprimido** – obtido da biodigestão de resíduos; **hidrogênio combustão interna** – abastecidos com H₂ verde em motores a centelha; e **hidrogênio bicomcombustível** – abastecidos com diesel (10%) e hidrogênio (90%).

^{ah} Trata-se de um ciclo de condução, comumente utilizado na Europa, que contempla a realização de testes em dinamômetro de chassi com simulação de veículo pesado em condução urbana, com perfil de velocidade transitória média de 22,9 km/h, chegando à máxima de 58,2 km/h.

GRÁFICO 5

Comparativo de custo total de propriedade (TCO) para caminhões movidos a diferentes fontes energéticas em 2030, na Europa



Fonte: ICCT (2023), com adaptações da CNT. Acesso em: 15 fev. 2024. Link de acesso: theicct.org/publication/fs-total-cost-ownership-trucks-europe-nov23

Nota: para fins de análise comparativa, foram considerados apenas os veículos a combustão interna do estudo do ICCT.

Para caminhões de longa distância (com peso bruto total superior a 16 toneladas), a análise do TCO, em comparação com a tecnologia tradicional a diesel, apresenta resultados semelhantes para viagens de 500, 800 e 1.000 km, com retorno à base após cada percurso. Nessas opções, destacam-se os veículos movidos a diesel verde, com aumento médio de, apenas, 3,0% nos custos em comparação com os caminhões movidos a diesel fóssil. Esse acréscimo é atribuído aos altos preços de venda do diesel verde ao consumidor final. No entanto, o estudo aponta que a análise foi feita sob a premissa de uma baixa disponibilidade do diesel verde na Europa, uma situação que poderia ser diferente no Brasil, dada a sua extensa produção de óleos vegetais e gordura animal, matérias-primas necessárias para a produção deste biocombustível.

Para caminhões pesados de uso rodoviário e leves de distribuição urbana, houve um pequeno aumento de TCO nos modelos movidos a diesel verde. Destaca-se o caminhão leve com um acréscimo de custo de, apenas, 0,8%, aproximando-se da equivalência econômica de veículos com propulsão fóssil. Essa proximidade se deve à similaridade dos custos em categorias como manutenção, preço de compra, impostos e seguros.

No caso dos veículos movidos por fontes diferentes do diesel renovável, foi possível constatar um aumento médio de TCO em torno de 18% em relação aos movidos a diesel fóssil, com destaque para o caminhão médio de uso urbano. Este veículo movido a combustão de H₂ apresentou o maior aumento de custo de 27,1% em relação ao diesel fóssil, entre as tecnologias estudadas. Tal acréscimo foi impulsionado pelo alto preço estimado de H₂ e pelo maior consumo de combustível em relação às demais tecnologias.

Considerando o levantamento exposto nessa seção, estima-se que haverá, nos próximos anos, um cenário otimista para a transição energética no transporte rodoviário voltada à crescente utilização de fontes alternativas, com destaque para os veículos movidos a diesel verde devido a seus resultados positivos de desempenho na eficiência energética, baixa emissão de GEE e otimizado resultado de TCO. Tais atributos são essenciais para que o setor cumpra as suas metas de descarbonização conforme previsto em acordos internacionais assumidos pelo Brasil.

SALDO DE EMISSÕES

A utilização de diesel renovável em veículos rodoviários leva à redução de GEE, pois o carbono liberado durante a sua combustão é considerado neutro, por ser de origem renovável biogênica^{ai}. Assim, para compreender mais detalhadamente o impacto da utilização de diesel verde ao meio ambiente, a avaliação de suas emissões requer a análise completa do ciclo de vida do combustível, incluindo as etapas de produção, distribuição e utilização final, além da contabilização de demais gases poluentes não considerados de efeito estufa.

Neste contexto, um estudo realizado na Suécia apresentou o comparativo de emissões de ônibus movidos a diesel fóssil, diesel verde e eletricidade considerando todo o ciclo de vida de utilização dessas fontes. O levantamento incluiu as emissões advindas da extração e processamento de matérias-primas; da fabricação de veículos e seus componentes; da manutenção veicular; do poço à roda^{aj}; e do descarte do veículo ao final de sua vida útil^{ak}. Os resultados para cada tipo de tecnologia são demonstrados no **Gráfico 6**.

No citado estudo, utilizou-se como referência um ônibus Volvo modelo 7900, com 235 kW de potência, peso bruto de 12,5 toneladas e capacidade para transportar 95 passageiros. De acordo com os resultados do **Gráfico 6**, é possível observar que os ônibus abastecidos com diesel verde emitiram aproximadamente 64,0% menos GEE em comparação com aqueles movidos a diesel fóssil com biodiesel de base éster no teor de 7%^{ak}. Essa redução significativa ocorreu na fase do tanque à roda (TTW), onde há a neutralização do carbono emitido durante o processo de combustão de diesel verde. Este indicador passou de 69,0 gramas de dióxido de carbono equivalente^{al} por passageiro e km rodado ($\text{g CO}_{2\text{eq}}/\text{passageiro} \times \text{km}$) nos movidos a diesel fóssil para 1,7 $\text{g CO}_{2\text{eq}}/\text{passageiro} \times \text{km}$ para os abastecidos com diesel verde. Vale ressaltar que não houve 100% de redução de emissão devido à presença de outros GEE na contabilização do estudo, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O).

^{ai} Fontes biogênicas são provenientes de processos biológicos ou materiais orgânicos que absorvem carbono da atmosfera durante seu crescimento. Quando essas fontes são utilizadas como matéria-prima para produção de combustíveis, o carbono liberado durante a sua combustão é o mesmo anteriormente capturado do ambiente, tornando as emissões de carbono neutras.

^{aj} Considera o escopo da geração e distribuição de energia para operação (do poço ao tanque - WTT, da sigla em inglês *well-to-tank*) e da combustão de combustível no veículo (do tanque à roda - TTW, da sigla em inglês *tank-to-wheel*).

^{ak} No experimento, foram considerados todo o ciclo de vida do combustível (poço à roda) e o ciclo do veículo que viabilizou a sua produção e final de vida.

^{al} O dióxido de carbono equivalente é a multiplicação das quantidades emitidas de diferentes GEE pelos seus potenciais de aquecimento global, em unidade de referência ao CO_2 .

O estudo também comparou ônibus movidos a diesel renovável com elétricos híbridos *plug-in*^{am}, que utilizam diesel verde no acionamento dos motores a compressão quando a bateria elétrica descarrega. A eletricidade considerada na metodologia do estudo foi a proveniente dos Estados Unidos, onde há 60,0% de participação de fontes fósseis^{an} para a geração de energia elétrica. Como resultado, os veículos elétricos híbridos *plug-in* apresentaram emissões 27,5% superiores às dos ônibus a diesel verde, sobretudo na fase avaliada do poço ao tanque (WTT), onde são contabilizadas as emissões associadas ao carregamento elétrico. Entretanto, no contexto brasileiro, estas emissões serão menores devido à predominância de fontes renováveis na matriz elétrica nacional.

Entre os veículos analisados, o elétrico híbrido abastecido com diesel verde^{ao} apresentou menor emissão, com redução de 72% em comparação aos ônibus convencionais movidos à mistura de diesel e biodiesel (com 7% de teor). Como este modelo de veículo utiliza a energia recuperada durante as frenagens para recarregar suas baterias internas, ele acaba utilizando menos combustível líquido e, conseqüentemente, há uma redução de emissões associadas à sua combustão. No contexto de rotas urbanas – considerado na análise –, onde paradas e frenagens são frequentes, a tecnologia elétrica híbrida é ainda mais eficiente, tornando-se a alternativa mais vantajosa do ponto de vista ambiental, segundo o estudo.

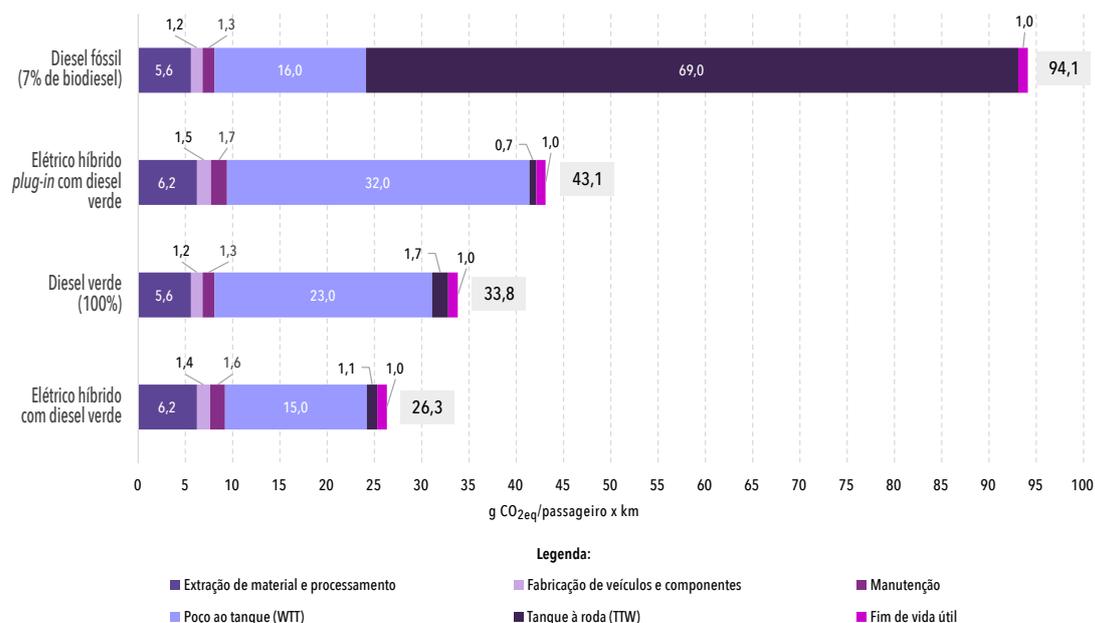
^{am} Veículos elétricos híbridos *plug-in* são veículos com motor elétrico e por combustão interna. A bateria pode ser carregada por fonte interna (energia de frenagem) e/ou externa (rede elétrica).

^{an} Segundo a Administração de Informações de Energia (EIA, na sua sigla em inglês de *Energy Information Administration*) dos Estados Unidos. Acesso em: 04 mar. 2024. Link de acesso: eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3

^{ao} Veículos com motor elétrico e por combustão interna. A bateria é carregada durante o percurso e/ou com energia de frenagem.

GRÁFICO 6

Emissões de gases de efeito estufa equivalente (gCO_{2eq}) associados ao ciclo de vida de ônibus movidos a diesel fóssil, diesel verde e eletricidade, por passageiro e km rodado



Fonte: Nordelöf, Romare e Tivander (2019), com adaptações da CNT. Acesso em: 18 fev. 2024. Link de acesso: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919302792](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919302792)

Nota: o ciclo denominado extração de material e processamento contempla emissões associadas à extração das fontes energéticas e de materiais necessários para produzir o veículo.

No que tange às emissões de demais gases poluentes nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, incluindo HC, CO, óxidos nitrosos (NO_x) e MP, além do dióxido de carbono (CO_2), um estudo conduzido no laboratório de monitoramento do Conselho de Recursos Aéreos da Califórnia (CARB, na sua sigla em inglês de *California Air Resources Board*) analisou as variações percentuais nas emissões desses gases em um veículo pesado mais antigo. Nos testes, foi utilizado um caminhão manual da marca Freightliner, modelo C15 e ano 2000, sem sistema de pós-tratamento de gases. Foram considerados os ciclos de condução urbano (velocidade média de 32 km/h) e rodoviário (velocidade média de 80 km/h), com pesos brutos totais de 19,9 e 26,7 toneladas, respectivamente, devido à variação de carga alocada no veículo^[34].

Os resultados do estudo, apresentados no Gráfico 7 revelam que, em ambos os ciclos de condução (urbano e rodoviário), o caminhão abastecido com diesel verde registrou reduções significativas nas emissões de escapamento em comparação ao veículo que utilizou diesel puro. Cabe ressaltar que, entre os combustíveis estudados, o diesel renovável foi o único que não apresentou aumento de emissões em relação ao diesel fóssil. Já os caminhões movidos a mistura com biodiesel éster (de origem vegetal ou animal) exibiram incrementos nas emissões de HC, NO_x e CO_2 .

Ainda no mesmo estudo da Califórnia, notou-se que os caminhões testados com diesel verde demonstraram uma diminuição de até 23,4% nas emissões de HC e 29,4% em MP durante o ciclo urbano. Essa redução é relevante, visto que a presença de poluentes na atmosfera urbana, onde há maior concentração de pessoas, é extremamente nociva à saúde humana, podendo provocar diversas patologias cardiorrespiratórias graves.

Na comparação entre os três combustíveis analisados, o diesel verde se destacou no saldo total dos gases com melhor performance ambiental, por proporcionar o maior decréscimo nas emissões, com uma redução de 77,3% no ciclo urbano e de 63,2% no rodoviário. Já os veículos alimentados com biodiesel de base éster (feito de soja, na proporção de 20%) apresentaram diminuição de 44,3% e de 37,8%, para os mesmos ciclos, respectivamente.

GRÁFICO 7

Mudança percentual das emissões de gases poluentes em caminhões pesados movidos a diesel verde e diesel fóssil adicionado de biodiesel de base éster vegetal e animal, em ciclos urbano (■) e rodoviário (■)



Fonte: Na et al. (2015), com adaptações da CNT. Acesso em: 18 fev. 2024. Link de acesso: [sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101500179X](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223101500179X)

Ao analisar o estudo apresentado, é possível observar uma maior redução de MP, especialmente no ciclo urbano, para todos os biocombustíveis. Isso ocorre devido ao baixo teor de enxofre nos biocombustíveis, contribuindo com a redução da formação de fuligem na combustão. Esse benefício pode ser constatado mediante a queda nas emissões de MP em todas as fontes avaliadas no gráfico, com um decréscimo médio de 28,1%.

Com base em todo o exposto nessa edição, conclui-se que o diesel verde é uma das alternativas promissoras no que se refere à sustentabilidade ambiental do transporte rodoviário, podendo proporcionar reduções significativas nas emissões de poluentes, além de ser tecnicamente compatível com a frota atual de caminhões e ônibus pesados movidos a diesel.

Como principal barreira na utilização do diesel verde está a sua incipiente oferta no Brasil devido à falta de políticas públicas para estimular a sua produção. Além disso, há barreiras econômicas, como elevados custos de produção e adaptações tecnológicas nas refinarias existentes para viabilizar a sua produção em escala no Brasil.

Para tornar o diesel verde mais financeiramente acessível aos usuários serão necessárias regulamentações que promovam a sua competitividade frente aos demais combustíveis para o setor de transporte, além de programas com investimentos em pesquisa e desenvolvimento para reduzir os seus custos de produção.

A abundância de matérias-primas como óleos vegetais e gordura animal no Brasil posiciona o país como um possível líder na produção e consumo de diesel verde, mas, para alcançar este posicionamento, o parque produtivo requer investimentos significativos nas infraestruturas de refinarias. Ao endereçar os desafios mencionados, o governo poderá oferecer mais uma opção de energia renovável, fazendo com que o futuro do setor de transporte não dependa exclusivamente de uma única fonte, mas, sim, de alternativas, sendo o diesel verde uma delas.

VANTAGENS

- reduz as emissões de GEE e de poluentes, contribuindo com o combate do aquecimento global e mudanças climáticas;
- dispensa modificações nos motores de veículos a diesel, por ser *drop-in*;
- apresenta propriedades físico-químicas que tornam o processo de combustão eficiente;
- conta com especificações já publicadas pelo governo brasileiro;
- aumenta a oferta de fontes renováveis para abastecimento de veículos pesados;
- incentiva a economia local ao utilizar biomassas e resíduos para a sua produção;
- aproveita infraestruturas existentes de refinarias para viabilizar a sua oferta;
- dispõe de veículos já certificados para o seu uso;
- impulsiona o Brasil em termos de liderança na produção de energia limpa; e
- aumenta a segurança energética nacional.

DESAFIOS

- tem preços mais elevados do que o combustível convencional devido ao seu complexo processo produtivo;
- apresenta pouca oferta nacional e mundial;
- depende de H₂ verde em sua produção para torná-la mais sustentável;
- carece de políticas públicas para estimular a sua produção e consumo no país;
- enfrenta um mercado de combustíveis dominado pelas fontes fósseis;
- conta com poucas empresas nacionais engajadas na sua produção em larga escala;
- requer grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento para reduzir os seus custos de produção; e
- pode provocar mudanças no uso da terra, reduzindo a vegetação capaz de absorver CO₂ (gás de efeito estufa).

REFERÊNCIAS

- [1] EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Combustíveis renováveis para uso em motores do ciclo diesel**. Rio de Janeiro: EPE, 2020. (Nota Técnica DPG-SDB nº 01/2020). Acesso em: 12 jan. 2024. Link de acesso: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nt-combustiveis-renovaveis-para-uso-em-motores-do-ciclo-diesel>
- [2] CHIA, S. R. *et al.* Indigenous materials as catalyst supports for renewable diesel production in Malaysia. *Energies*, v. 15, n. 8, p. 2835, 2022. Acesso em: 12 jan. 2024. Link de acesso: [mdpi.com/1996-1073/15/8/2835](https://doi.org/10.3390/energies15082835)
- [3] ZEMAN, P. *et al.* Hydrotreated vegetable oil as a fuel from waste materials. *Catalysts*, v. 9, n. 4, p. 337, 2019. Acesso em: 17 jan. 2024. Link de acesso: [mdpi.com/2073-4344/9/4/337](https://doi.org/10.3390/catal9040337)
- [4] PFLAUM, H. *et al.* Potential of hydrogenated vegetable oil (HVO) in a modern diesel engine. *SAE Technical Paper*, 2010. Acesso em: 17 jan. 2024. Link de acesso: [sae.org/publications/technical-papers/content/2010-32-0081](https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2010-32-0081)
- [5] MARIANO, G. C. **Produção de biodiesel supercrítico a partir de semente de soja via processo não catalítico**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2012. Acesso em: 17 jan. 2024. Link de acesso: repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103405
- [6] NEVES, T. J.; HARDER, M. N. C. Diesel verde: a nova era dos biocombustíveis em uma revisão. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, v. 11, n. 2, 2021. Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/443/373816
- [7] CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Hidrogênio renovável: uma das rotas para descarbonizar o transporte rodoviário**. Brasília: CNT, 2023 (Energia no Transporte). Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: [cnt.org.br/documento/d0b37807-75c4-494d-a296-1e050d5755b3](https://www.cnt.org.br/documento/d0b37807-75c4-494d-a296-1e050d5755b3)
- [8] MME. Ministério de Minas e Energia. **Como o petróleo vira tanta coisa?** Brasília: MME, 2023. Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: [gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/como-o-petroleo-vira-tanta-coisa](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/como-o-petroleo-vira-tanta-coisa)
- [9] HU, J.; YU, F.; LU, Y. Application of Fischer-Tropsch synthesis in biomass to liquid conversion. *Catalysts*, v. 2, n. 2, p. 303-326, 2012. Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: [mdpi.com/2073-4344/2/2/303](https://doi.org/10.3390/catal2020303)
- [10] FU, J.; TURN, S. Q. Characteristics and stability of biofuels used as drop-in replacement for NATO marine diesel. *Fuel*, v. 236, p. 516-524, 2019. Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236118315795](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236118315795)

- [11] IEA. International Energy Agency. **Transport biofuels – Emerging economies lead accelerating growth in biofuel use**. IEA, 2023. Acesso em: 22 jan. 2024. Link de acesso: iea.org/reports/renewables-2023/transport-biofuels
- [12] IEA. International Energy Agency. **Transport biofuels – Robust growth over the next five years will help meet climate and energy security goals**. IEA, 2023. Acesso em: 23 jan. 2024. Link de acesso: iea.org/reports/renewables-2022/transport-biofuels
- [13] USDE. United States Department of Energy. **Alternative Fuels Data Center – Fuel Prices**. USDE, 2023. Acesso em: 23 jan. 2024. Link de acesso: afdc.energy.gov/fuels/prices.html
- [14] CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Árvore de apensados de PL 528/2020**. Brasília: Senado Federal, 2024. Acesso em: 27 jan. 2024. Link de acesso: camara.leg.br/propostas-legislativas/2238434/arvore-de-apensados
- [15] ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 842, de 14 de maio de 2021**. Brasília: ANP, 2021. Acesso em: 29 jan. 2024. Link de acesso: in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-842-de-14-de-maio-de-2021-320059616
- [16] NESTE. **Neste Renewable Diesel Handbook**. Finlândia: Neste, 2020. Acesso em: 29 jan. 2024. Link de acesso: www-old.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf
- [17] ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**. Brasília: ANP, 2024. Acesso em: 30 jan. 2024. Link de acesso: gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel
- [18] IEA. International Energy Agency. **Is the biofuel industry approaching a feedstock crunch?** IEA, 2022. Acesso em: 30 jan. 2024. Link de acesso: iea.org/reports/is-the-biofuel-industry-approaching-a-feedstock-crunch
- [19] IEA. International Energy Agency. **Renewables 2019 – Analysis and Forecast to 2024**. IEA, 2019. Acesso em: 30 jan. 2024. Link de acesso: iea.org/reports/renewables-2019
- [20] ETIP BIOENERGY. European Technology and Innovation Platform. **Tall oil**. ETIP, 2024. Acesso em: 01 fev. 2024. Link de acesso: etipbioenergy.eu/value-chains/feedstocks/waste/tall-oil
- [21] IEA. International Energy Agency. **Renewable Energy Market Update: Outlook for 2021 and 2022**. IEA, 2019. Acesso em: 03 fev. 2024. Link de acesso: iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021

- [22] EC. European Commission. **EU Science Hub – Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II)**. EC, 2023. Acesso em: 03 fev. 2024. Link de acesso: joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en
- [23] NESTE. **Neste expands its renewable fuels supply capabilities in Southern California**. Finlândia: Neste, 2023. Acesso em: 03 jan. 2024. Link de acesso: neste.com/news/neste-expands-its-renewable-fuels-supply-capabilities-in-southern-california
- [24] GREENEA. **Horizon 2030 – The year 2021: Which investments will see the light in the biofuel industry?** Greenea, 2021. Acesso em: 04 fev. 2024. Link de acesso: greenea.com/wp-content/uploads/2021/01/Greenea-Horizon-2030-Which-investments-will-see-the-light-in-the-biofuel-industry-1.pdf
- [25] PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Em Dubai, governo federal anuncia R\$ 200 bilhões para o setor de biocombustíveis no Brasil**. Planalto: Brasília, 2023. Acesso em: 06 fev. 2024. Link de acesso: gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/em-dubai-governo-federal-anuncia-r-200-bilhoes-para-o-setor-de-biocombustiveis-no-brasil
- [26] MME. Ministério de Minas e Energia. **Relatório final sobre a inserção de biocombustíveis no ciclo diesel**. Grupo de Trabalho de Inserção de Biocombustíveis no Ciclo Diesel – Resolução CNPE nº 13/2020. Brasília: MME, 2021. Acesso em: 06 fev. 2024. Link de acesso: gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gt-da-resolucao-cnpe-13-2020/relatorios
- [27] QUATRORODAS. **VW Meteor Optimus é caminhão eficiente com visual de esportivo (2022)**. Acesso em: 06 fev. 2024. Link de acesso: quatrorodas.abril.com.br/noticias/vw-meteor-optimus-e-caminhao-eficiente-com-visual-de-esportivo
- [28] DAF. **New Generation DAF trucks ready for 100% HVO (2023)**. Acesso em: 06 fev. 2024. Link de acesso: daf.global/en-us/news-and-media/news-articles/global/2023/20-07-2023-new-generation-daf-trucks-ready-for-100-percent-hvo
- [29] SCANIA. **Scania apresenta Nova Geração de ônibus P8/Euro 6 (2022)**. Acesso em: 13 fev. 2024. Link de acesso: scania.com/br/pt/home/about-scania/newsroom/news/2024/news-article-template-simple111.html
- [30] VOLVO. **Os novos Volvo B380R/B420R/B460R/B510R (2024)**. Acesso em: 13 fev. 2024. Link de acesso: volvobuses.com/br/Rodoviario/volvo-b13r.html
- [31] WOJCIESZYK, M. *et al.* Prediction of heavy-duty engine performance for renewable fuels based on fuel property characteristics. **Energy**, v. 285, p. 129494, 2023. Acesso em: 17 fev. 2024. Link de acesso: sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223028888
- [32] ICCT. International Council on Clean Transportation. **Analyzing the economic competitiveness of truck decarbonization pathways in Europe**. ICCT, 2023. Acesso em: 17 fev. 2024. Link de acesso: theicct.org/publication/fs-total-cost-ownership-trucks-europe-nov23

[33] NORDELÖF, A.; ROMARE, M.; TIVANDER, J. Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 75, p. 211-222, 2019. Acesso em: 18 fev. 2024. Link de acesso: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919302792](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919302792)

[34] NA, K. *et al.* Impact of biodiesel and renewable diesel on emissions of regulated pollutants and greenhouse gases on a 2000 heavy duty diesel truck. **Atmospheric Environment**, v. 107, p. 307-314, 2015. Acesso em: 18 fev. 2024. Link de acesso: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223101500179X](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223101500179X)