

O biodiesel no Brasil: Uma análise da produção, consumo e perspectivas na transição energética

Biodiesel in Brazil: An analysis of production, consumption, and prospects in the energy transition

Biodiesel en Brasil: Un análisis de la producción, el consumo y las perspectivas en la transición energética

Recebido: 11/10/2023 | Revisado: 21/10/2023 | Aceitado: 22/10/2023 | Publicado: 24/10/2023

Fabiano Rosa da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8920-9366>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: frosadasilva@gmail.com

Francis Josiane Liana Baumgardt da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3904-5383>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: francis.josiane@ufpr.br

Rosângela de Souza Santos

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9902-8162>
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasil
E-mail: rosangela.souza@mcti.gov.br

Mayara de Lima Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3903>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: mayaramendes1002@gmail.com

Benhurt Gongora

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4291-9790>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: benhurt.gongora@unioeste.br

Fabio da Silva Lisboa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8276-866X>
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: fabiolisboa@unifei.edu.br

Rodrigo Sequinel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2112-5959>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: rodrigosequinel@ufpr.br

Resumo

A humanidade depende da geração e transformação de energia para sua manutenção e desenvolvimento. Das formas de produção, as oriundas de fontes não renováveis como o petróleo são as mais utilizadas e viabilizadas economicamente. Por muito tempo a geração energética foi uma ação extrativa, que não levava em consideração os efeitos ambientais de longo prazo. No entanto, há alguns anos, muito tem sido discutido no sentido de que é pungente que sejam incorporados aspectos ambientalmente sustentáveis, fazendo uso de fonte renováveis e menos danosas ao meio ambiente. Nesse contexto, o biodiesel tem se mostrado como uma alternativa viável e muito promissora, que além de reduzir as emissões de gases poluentes e causadores do aquecimento global, é um instrumento de inserção de grupos compostos por pequenos agricultores na matriz econômica do país. Este artigo tem como objetivo analisar as principais demandas referentes à produção, consumo e perspectivas do biodiesel no Brasil a partir de uma pesquisa qualitativa de revisão narrativa, com enfoque nos preceitos ambientais, econômicos e de governança, que têm sido incessantemente debatidos, em razão das mudanças climáticas e das projeções de esgotamentos das reservas de petróleo.

Palavras-chave: Biodiesel; Transição energética; Combustível do futuro; Descarbonização.

Abstract

Humanity depends on the generation and transformation of the energy for its maintenance and development. Considering the methods of energy generation, the ones using nonrenewable sources, like petroleum, are the most used and economically viable. For many years, the energy generation was an extractive action, which did not consider the effects that this mode of production would have on the environment in the long term. However, in recently years, much has been discussed about the importance of product energy in an environmentally friendly way, and renewable sources have gained great attention for presenting fewer risks to the environment. In this context, biodiesel has proven

to be viable and a very promising alternative in contrast with the diesel provided by petroleum extraction, that reduces the pollutants gases and the ones linked to the global warming. Furthermore, biodiesel is an important instrument of social transformation, because its production can make use of raw materials produced by farmers engaged in family-based agriculture, thereby inserting these groups in the economic matrix. This article aims to analyze the demands for the production, consumption, and perspectives of biodiesel in Brazil based on a qualitative narrative review of the state of the art in the production, consumption, and use of this biofuel. It aligns environmental, social and governance aspects that has been incessantly debated due to climate changes and projections of petroleum reserves depletion.

Keywords: Biodiesel; Energy transition; Fuel of the future; Decarbonization.

Resumen

La humanidad depende de la generación y transformación de energía para su mantenimiento y su desarrollo. De las formas de producir energía, las provenientes de fuentes no renovables, como el petróleo, son las más utilizadas y viables económicamente. Durante muchos años, la generación de energía fue una acción extractiva, que no tomaba en cuenta los efectos que ese modo de producción tendría ambientalmente a largo plazo. Sin embargo, desde hace algunos años, mucho se ha discutido en el sentido de que es urgente que la generación de energía incorpore aspectos más ambientalmente compatibles con la manipulación consciente del medio de producción energética, haciendo uso de fuentes renovables y menos dañinas al medio ambiente. En este contexto, el biodiesel se ha mostrado como una alternativa viable y muy promisoría. El biodiesel es una alternativa que, además de reducir las emisiones de gases contaminantes de la atmósfera y causantes del calentamiento global, es un instrumento de inserción de grupos compuestos por pequeños agricultores en la matriz económica del país. Este artículo tiene como objetivo analizar las demandas sobre la producción, el consumo y las perspectivas del biodiesel en Brasil, basándose en una revisión narrativa cualitativa del estado del arte de la producción, el consumo y el uso de este biocombustible, teniendo él como combustible ligado a los preceptos ambientales, económicos y de gobernanza, que han sido incesantemente debatidos, en razón de los cambios climáticos y las proyecciones de agotamientos de las reservas de petróleo.

Palabras clave: Biodiesel; Transición energética; Combustible del futuro; Descarbonización.

1. Introdução

Em 9 de setembro de 2023 durante o encontro do G20 com as 20 maiores economias mundiais, foi lançada pelos líderes de Brasil, Argentina, Índia, Estados Unidos, Itália, Singapura, Bangladesh, Maurícias e Emirados Árabes Unidos, a Aliança Global para os Biocombustíveis (Global Biofuels Alliance, GBA), com o propósito de fomentar a produção sustentável e utilização em larga escala de biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis (GBA, 2023).

Neste mesmo sentido, o Governo Federal Brasileiro apresentou ao Congresso Nacional em 14 de setembro de 2023 o Projeto de Lei Programa Combustível do Futuro (PLPCF), que consiste em um conjunto de iniciativas para promover a mobilidade de baixo carbono, possibilitando que o país atinja as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e cumpra os diversos compromissos assumidos nos principais organismos internacionais (Tabela 1).

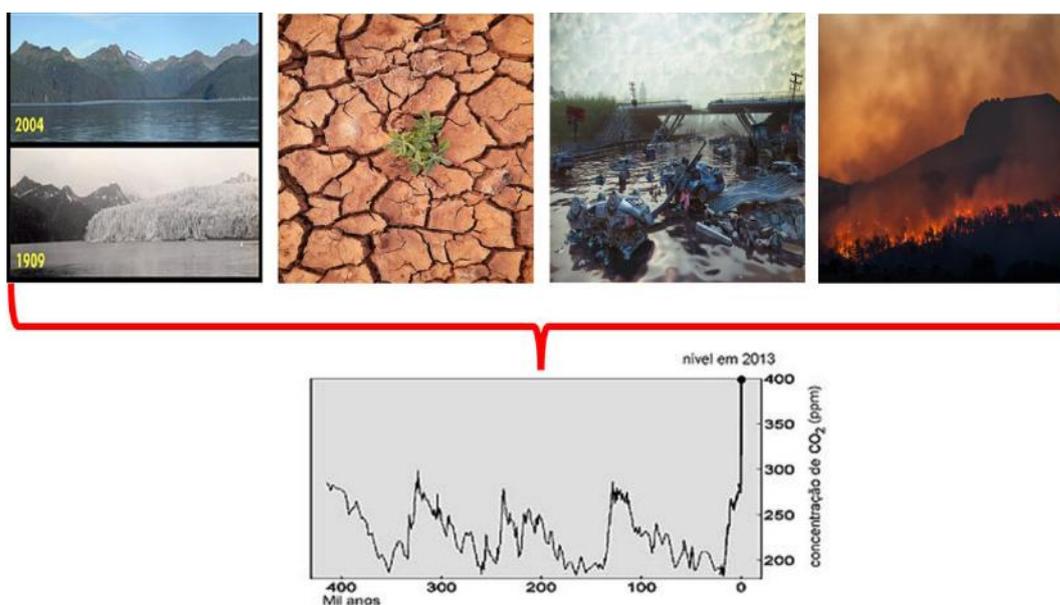
Essas ações se somam a uma série de iniciativas que visam combater os efeitos catastróficos do descontrole climático, evidenciados pelo aumento da incidência e intensidade de tempestades, ondas de calor, frio e secas em diversas cidades do Brasil e do mundo, com reais possibilidades de desertificação, devastação de lavouras, derretimento de geleiras e elevação da temperatura e níveis dos mares e oceanos. Estes efeitos decorrem principalmente do aumento da temperatura do planeta pela absorção de radiação infravermelha pelo excesso de CO₂ emitido pela queima de combustíveis fósseis e florestas (aquecimento global) (Bruce, 2014; Saraiva, 2023; Wallace-Wells, 2019). Na Figura 1 estão representados alguns desses efeitos no meio ambiente e uma curva do aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera ao longo dos anos.

Tabela 1 - Ações propostas no PLPCF.

Eixos Estruturantes	Ações
Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV)	Incentivo à produção e uso do Combustível Sustentável de Aviação (SAF), com operadores sendo obrigados a reduzir as emissões de CO ₂ em 1 % até 2027 e 10 % até 2037
Programa Nacional do Diesel Verde (PNDV)	Determina que o percentual obrigatório de adição ao diesel fóssil será definido pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) considerando a disponibilidade de matéria-prima e oferta do produto no mercado nacional
Percentual de Etanol na Gasolina (E30)	Altera o teor mínimo para 22 % e eleva o máximo para 30 %
Combustíveis Sintéticos (E-fuel)	Cria o marco regulatório dos E-fuel e delega à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a regulação
Captura e Estocagem de CO ₂	Cria o marco regulatório de atividades que envolvam a captura e a estocagem geológica de CO ₂ , atribuindo a ANP como agência reguladora

Fonte: Adaptado pelos Autores dos dados disponíveis em PLPCF (2023).

Figura 1 - Aumento dos níveis de CO₂ e desastres climáticos decorrentes do aquecimento global.



Fonte: Imagens de domínio público retiradas dos sites: <http://www.wikipedia.org> e <https://unsplash.com/pt-br>.

Neste cenário de necessidade de ações efetivas, o Brasil pode se tornar uma potência ambiental por possuir a maior e mais importante reserva de floresta tropical do mundo, ter a maior reserva de água doce disponível e uma matriz energética com utilização de mais de 40 % de fontes renováveis. Sendo um dos únicos países com ampla experiência na produção e utilização de etanol e biodiesel, combustíveis sustentáveis extraídos da biomassa e que contribuem para uma adequada transição energética (Ricupero, 2012).

2. Metodologia

No presente trabalho foi realizada uma pesquisa qualitativa de revisão narrativa por meio da análise documental do estado da arte da produção, consumo e perspectivas do biodiesel no Brasil em um cenário de oportunidades da transição energética. Neste sentido, foram realizados levantamentos bibliográficos e documentais usando a palavra biodiesel associada com produção, consumo, perspectivas, transição energética, combustível do futuro, descarbonização, crise climática e

aquecimento global, tanto nas línguas inglesa português brasileiro. As pesquisas foram realizadas nos principais bancos de dados científicos (Web of Science e Google Scholar), documentos oficiais do Governo Federal do Brasil (Gov.br - Presidência da República), normas oficiais de Agências Reguladoras (ANP e CNPE) e manifestações dos principais organismos com os quais o país assumiu compromissos na agenda ambiental (G20, ONU - Organização das Nações Unidas, IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change). Para embasar o estudo foram seguidos os fundamentos de pesquisa e sustentação acadêmica descritos por Pereira e colaboradores (2018), Queiroz & Feferbaum (2023) e Severino, 2013.

3. Biodiesel: Definição e Produção

O Biodiesel é definido como um substituto ambientalmente mais sustentável do óleo diesel, sendo produzido pela reação de transesterificação metílica ou etílica de óleos ou gorduras animais e vegetais (Figura 2), ou esterificação de ácidos graxos livres derivados do processamento de óleos ou gorduras em condições químicas adequadas (Figura 3) (Araujo, et al., 2012; Cordeiro, et. al., 2011; Domingos, et al., 2008; Kucek, et al., 2007; Pinto, et al., 2012; Ramos, et al., 2015 e 2011; Schuchardt, et al., 1998; Silva, et al., 2013).

Figura 2 - Reação da transesterificação de triacilgliceróis de origem vegetal e animal, onde R₁ representa a cadeia carbônica dos ácidos graxos ligados e R₂ o substituinte metila ou etila do álcool utilizado na síntese.

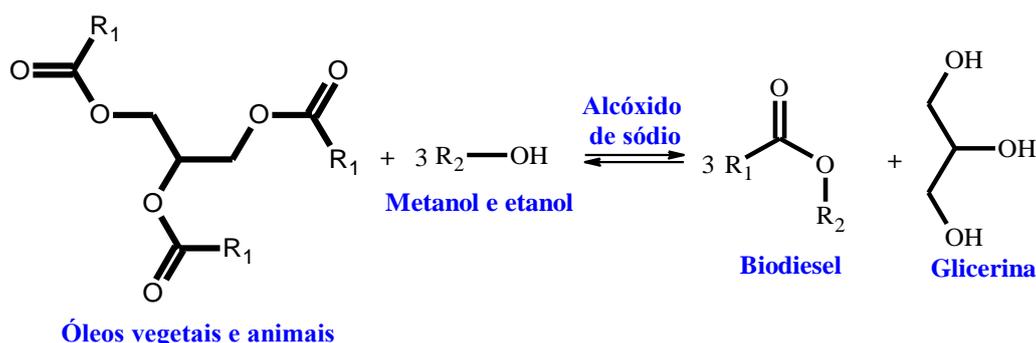
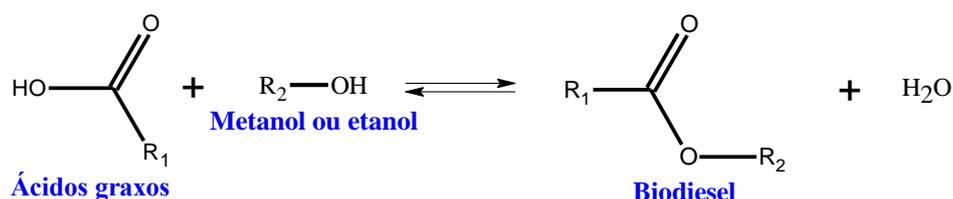


Figura 3 - Reação de esterificação de ácidos graxos livres de origem vegetal e animal, onde R₁ representa a cadeia carbônica e R₂ o substituinte etila ou metila do álcool utilizado.



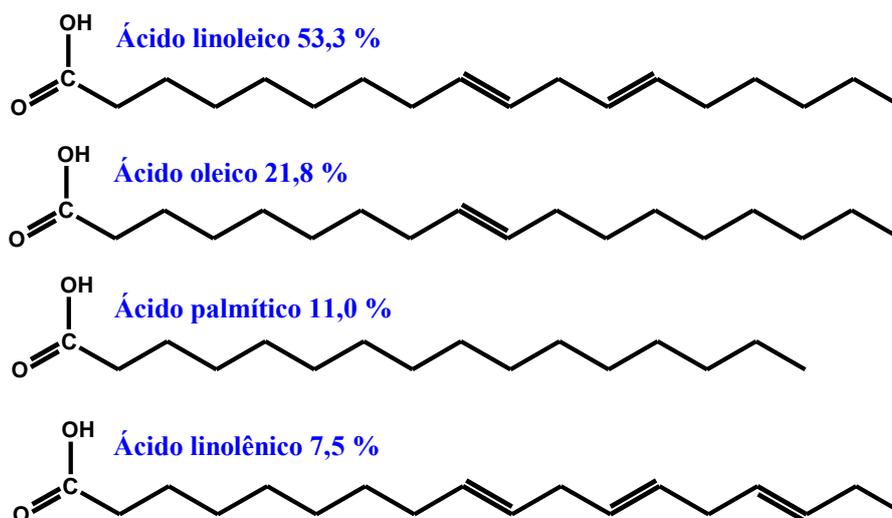
A grande maioria dos óleos e gorduras têm a sua composição formada por ácidos graxos com cadeias carbônicas de 12 a 24 átomos, variando de um material graxo para outro a porcentagem de cada um destes compostos. Na Tabela 2 é apresentado o perfil percentual médio que compõem o óleo de soja, a matéria-prima mais usada para produção de biodiesel no Brasil, sendo demonstrados na Figura 4 as estruturas dos ácidos majoritários presentes neste óleo (ácidos linoleico, oleico, linolênico, palmítico e linolênico).

Tabela 2 - Composição e principais características químicas e físicas dos ácidos graxos que compõem o óleo de soja.

Nome	Quantidade de carbonos	Saturado/ insaturado	Estado físico a 25 °C	% no óleo
Láurico	C12:0	Saturado	Sólido	0,10
Mirístico	C14:0	Saturado	Sólido	0,20
Palmítico	C16:0	Saturado	Sólido	11,0
Palmitoléico	C16:1	Insaturado	Líquido	0,20
Esteárico	C18:0	Saturado	Sólido	4,20
Oleico	C18:1	Insaturado	Líquido	21,80
Linoleico	C18:2	Insaturado	Líquido	53,30
Linolênico	C18:3	Insaturado	Líquido	7,50
Araquídico	C20:0	Saturado	Sólido	0,30
Gadolêico	C20:1	Insaturado	Líquido	0,20
Behênico	C22:0	Saturado	Sólido	0,50
Ertúico	C22:1	Insaturado	Líquido	0,30
Lignocérico	C24:0	Saturado	Sólido	0,40

Fonte: Adaptado pelos Autores dos dados disponíveis em Alander, et al. (2007).

Figura 4 - Estruturas dos principais ácidos graxos majoritários do óleo de soja.



Fonte: Autores.

O processo industrial mais utilizado atualmente para produção de biodiesel é a catálise homogênea por meio da transesterificação de óleos e gorduras com alcóxido de sódio (Figura 2). Contudo, o desenvolvimento de catalisadores heterogêneos é vantajoso e precisa ser fomentado, pois viabiliza a utilização de matérias-primas graxas mais heterogêneas e com maiores teores de acidez e umidade, além de reduzir o número de etapas de purificação, gerar menos efluentes, possibilitar a reutilização dos catalisadores e facilitar a recuperação da glicerina bruta (Cordeiro, et al., 2011; Lisboa, et al., 2023).

4. Principais Matérias-Primas Utilizadas para Produção de Biodiesel no Brasil

Ao se considerar um óleo ou gordura como matéria-prima, devem ser avaliadas principalmente as propriedades químicas e físicas do biocombustível que será obtido, visto que, estas características são herdadas do material de origem. Além

disso, deve ser considerada como fator decisório, a disponibilidade de produção para atender à demanda brasileira de milhões de litros, atrelada ao percentual mínimo obrigatório por lei atualmente de 12 % (B12 - outubro/2023). Cabe ainda destacar, que atualmente o óleo diesel de uso aquaviário é isento de biodiesel, sendo a única exceção nesta cadeia, porém existe estudo e previsão da ANP para determinar as condições de adição, o que aumentará ainda mais a demanda de biodiesel no país (ANP, 2023; CNPE, 2023).

Assim, considerando a quantidade de material graxo para atender o B12 em vigor, existe uma demanda permanente de mais de 3 milhões de m³, que atualmente só é atendida pela indústria do óleo de soja degomado, com esta matéria-prima sendo utilizada em aproximadamente 70 a 75 % da produção (ANP, 2020; Milanez, et al., 2022).

Outras matérias-primas também utilizadas em território nacional são a gordura bovina (~8-10 %), óleo de vísceras de frango (~10 %), graxa suína (~3-8 %) e óleo de peixe (~2 %), ou ainda materiais graxos misturados pelo reprocessamento de subprodutos da própria produção (~11 %), além de outros materiais empregados em escala menor, como os óleos de palma/dendê, óleo de fritura usado, óleo de algodão, óleo de milho, ácidos graxos de óleos de soja/palma/dendê, óleo de palmiste e óleo de e óleo de colza/canola (ANP, 2020; Hochscheidt, et al., 2020; Milanez, et al., 2022). Essas matérias-primas não conseguem competir com o óleo de soja em virtude das limitações impostas pela quantidade disponível para uso, problemas de qualidade, questões de sazonalidade e logística de distribuição.

5. Biodiesel: Vantagens Ambientais, Econômicas e Sociais

A utilização de biodiesel em substituição ao óleo diesel apresenta uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais. Ambientalmente, a queima de biodiesel gera emissões com baixas concentrações de materiais particulados e monóxido de carbono (CO), contribuindo para o conforto da população de grandes centros urbanos, cujas emissões automotivas são fatores de grande incômodo e de saúde pública. Além disso, diferentemente do diesel, a queima de biodiesel puro não libera SO_x (óxidos de enxofre), agentes causadores da chuva ácida. A liberação destes compostos pode resultar em chuvas com valores de pH de até 4,3 e graves efeitos na destruição da vida aquática, improdutividade de solos, deterioração de pinturas e degradação de patrimônios históricos constituídos em mármore (uma forma de carbonato de cálcio) (Bruce, 2014; Gongora, et al., 2022; McCormick, et al., 2022; Pereira, et al., 2007; Peterson & Hustrulid, 1998).

O biodiesel, quando comparado ao diesel, é extremamente favorável em relação à pegada de carbono por possuir um ciclo de CO₂ de poucos meses devido ao processo de fotossíntese das oleaginosas que fornecem as matérias-primas. Trata-se de uma grande vantagem em relação ao concorrente fóssil, que apresenta um ciclo de milhares de anos. Em contrapartida, alguns estudos realizados com modelos mais antigos de motores, demonstraram que a utilização de misturas combustíveis com mais 20 % de biodiesel pode aumentar as emissões de NO_x (óxidos de nitrogênio). Tal condição pode e vem sendo contornada com a utilização de um Agente Redutor Líquido Automotivo de solução aquosa de ureia a 32,5 % (ARLA-32) (Bruce, 2014; Gongora, et al., 2022; McCormick, et al., 2022; Pereira, et al., 2007; Peterson & Hustrulid, 1998).

6. Biodiesel no Brasil: Histórico e Situação Atual

Atualmente no Brasil, os níveis de emissões veiculares são regulamentados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que visa sobretudo aumentar a sustentabilidade dos combustíveis utilizados. Em relação ao óleo diesel, algumas iniciativas estão relacionadas ao teor de enxofre (S), tendo sido abolida desde 1º de janeiro de 2014 a comercialização do diesel S-1800 com no máximo 1800 mg/kg ou partes por milhão (ppm) de enxofre para uso rodoviário. Os novos limites do PROCONVE são o diesel S-10 e o S-500, de no máximo 10 e 500 mg/kg, com os novos veículos tendo seus motores adaptados para utilizar apenas o diesel S10 ambientalmente mais amigável (Petrobras, 2023).

Considerando a necessidade de contornar questões relacionadas a viscosidade do diesel menos sulfurado e aumentar a sustentabilidade do combustível usado por caminhões, ônibus, caminhonetes, geradores estacionários e usinas térmicas, desde 1º de janeiro de 2018 todo o diesel comercializado em território nacional contém um percentual obrigatório de biodiesel. Este percentual iniciou em 1º de janeiro de 2008 com 2 % (B2), com esta mistura aumentando ao longo dos anos e estando atualmente em outubro de 2023 em 12 % (B12). Em relação a este percentual, existem aumentos previstos para 15 % em 2026 (Tabela 3), inclusive com uma possível antecipação deste percentual devido ao protagonismo do país na corrida pela transição energética com energias renováveis (CNPE, 2023).

Tabela 3 - Cronograma de evolução da adição obrigatória de biodiesel ao diesel no Brasil.

Mês/ano	Percentual adição
Janeiro 2008	2 %
Julho 2008	3 %
Julho 2009	4 %
Janeiro 2010	5 %
Agosto 2014	6 %
Novembro 2014	7 %
Março 2018	10 %
Abril 2023	12 %
Abril 2024*	13 %
Abril 2025*	14 %
Abril 2026*	15 %

*Porcentagem a ser implementada. Fonte: Adaptado pelos Autores dos dados disponíveis em CNPE (2023).

O relatório mais recente da ANP mostra que no primeiro semestre de 2023 ocorreu um aumento no consumo de diesel no Brasil, com as vendas totalizando 31,2 milhões de m³ e gerando um aumento de 2,28 % em relação ao mesmo período de 2022, o maior valor para um 1º semestre desde o ano 2000, quando se iniciou a avaliação da série histórica (ANP, 2023). Chama atenção, de forma positiva, a redução de 3,50 % no volume importado de diesel em comparação com 1º semestre de 2022. Trata-se de um reflexo direto do aumento da mistura obrigatória de biodiesel no país, a qual estava congelada desde março de 2018 em 10 %, mas que foi aumentada para 12 % em abril de 2023. O incentivo à produção local traz impactos diretos em diversos ramos da economia nacional, gerando milhares de empregos e renda a brasileiros em detrimento de um capital que seria gasto no exterior, favorecendo a economia e indústria de outros países (CNPE, 2023).

7. Glicerina: o Principal Co-Produto da Produção de Biodiesel

A glicerina bruta corresponde a aproximadamente 10 % do volume de biodiesel produzido, com sua determinação servindo como parâmetro para avaliar a eficiência do processo de purificação, já que altas concentrações no biodiesel provocam problemas na mistura com o diesel, principalmente na fase de armazenamento, onde pode ser observada a separação nos tanques de estocagem. No motor, são comuns problemas como formação de depósitos, entupimento dos bicos injetores e emissões de aldeídos e outros derivados (Lobo, et al., 2009). Além disso, a glicerina possui grande interesse comercial, uma vez que após ser purificada pode ser aplicada em cadeias de maior valor agregado, como a indústria de cosméticos, farmacêutica, detergentes, fabricação de resinas, aditivos e na indústria de alimentos e fármacos (Mota, et al., 2009).

Devido ao grande destaque na produção de biodiesel, o Brasil é também um dos maiores exportadores mundiais de glicerina, em especial para a China seu maior parceiro comercial. De 2020 a 2022 o volume total exportado ficou estabilizado

em 500 mil toneladas, sendo que a partir de 2023 há expectativa de crescimento na geração de glicerina em decorrência do incentivo à produção de biodiesel (MDIC, 2023). A gliceroquímica pode configurar um segmento estratégico para atender demandas internas, com potencial para alavancar uma nova política de fortalecimento da indústria, já que é uma plataforma química da qual podem ser obtidos diversos produtos de elevado valor agregado.

8. Considerações Finais

O cenário de urgência climática exige uma mudança de modelo que vise ao mesmo tempo manter o crescimento tecnológico, econômico, social e preservação do meio ambiente. Evidentemente, tal processo de crescimento sustentável envolve ações relacionadas a produção e consumo energético relacionado aos biocombustíveis. Devido ao fato de ser um combustível consolidado no país, o biodiesel exerce um papel fundamental na corrida pela descarbonização da matriz energética brasileira e mundial, ao mesmo tempo que desenvolve a economia nacional.

Vemos como de grande importância o estabelecimento de políticas de governo e de estado que sejam convergentes e duradouras em relação às energias renováveis. As projeções de aumento da mistura de biodiesel no diesel propostas para chegar em 15 % até 2026, devem ser acompanhadas do fomento à pesquisa relacionados a diversificação das matérias-primas, processamento da glicerina, produção de biodiesel etílico, desenvolvimento de catalisadores heterogêneos, novos antioxidantes e aditivos relacionados a estabilidade a frio. Com isso o país pode aproveitar oportunidades econômicas, sociais e políticas para se tornar uma potência em energias limpas, atuando como protagonista em ações que promovam o combate efetivo à crise climática que assola o planeta.

Referências

- Alander, J., Anderson, A. C., Bagge, C., Bringsarve, K., Hjorth, M., Johansson, M., Granroth, B., Norberg, S., Pedersen, M., Persson, M., Wennermark, B., & Wennermark, M. (2007). *Handbook: vegetable oils and fats*. Karlshamn, Sweden: AarhusKarlshamn AB.
- ANP. (2023). Produção de biodiesel - B100. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/arquivos/arquivos-producao-de-biocombustiveis/metadados-biodiesel-ago21.pdf>
- ANP. (2023). Síntese Mensal de Comercialização de Combustíveis. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://www.gov.br/lisboa/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/sinteses/scc/2023/junho.pdf>
- ANP. (2020). Perfil Nacional de Matérias-Primas Consumidas para Produção de Biodiesel. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/if/im-2020/processamento-materias-primas-2020.xlsx>
- Araujo, O. A. S., Silva, F. R., Ramos, L. P., Lenzi, M. K., Ndiaye, P. M., & Corazza, M. L. (2012). Phase behaviour measurements for the system (carbon dioxide+biodiesel+ethanol) at high pressures. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 47, 412-419. 10.1016/j.jct.2011.11.029
- Bruice, P. Y. (2014). *Fundamentos de Química Orgânica com Virtual Lab*. Pearson Education do Brasil.
- CNPE. (2023). Resolução n. 3, de 20 de março de 2023. Conselho Nacional de Política Energética. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-473383252>
- Cordeiro, C. S., Silva, F. R., Wypych, F., & Ramos, L. P. (2011). Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). *Quimica Nova*, 34(3), 477-486. 10.1590/S0100-40422011000300021
- Domingos, A. K., Wilhelm, H. M., & Ramos, L. P. Optimization of the ethanolysis of *Raphanus sativus* (L. Var.) crude oil applying the response surface methodology. (2008). *Bioresource Technology*, 99(6), 1837-1845. 10.1016/j.biortech.2007.03.063
- Gongora, B., Souza, S. N. M., Bassegio, D., Santos, R. F., Siqueira, J. A. C., Baricatti, R. A., Gurgacz, F., Secco, D., Tokura, L. K., & Sequinel, R. (2022). Comparison of emissions and engine performance of safflower and commercial biodiesels. *Industrial Crops and Products*, 179, 114680. 10.1016/j.indcrop.2022.114680
- Hochscheidt, B. D., Possamai, E. S., Silva, M. P. M., Dieter, J., Silva, F. R., & Sequinel, R. (2020). Neutralização ou esterificação como técnicas de melhoria dos insumos para produção de biodiesel. *Revista Virtual de Química*, 12(2), 325-334. 10.21577/1984-6835.20200025
- Kucek, K. T., Oliveira, M. A. F. C., Wilhelm, H. M., & Ramos, L. P. (2007). Ethanolysis of refined soybean oil assisted by sodium and potassium hydroxides. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84, 385-392. 10.1007/s11746-007-1048-2
- GBA. (2023). Launch of the Global Biofuel Alliance. <https://www.g20.org/pt/media-resources/press-releases/september-2023/gba/>

- Lisboa, F. S., Ferreira, E. B., Silva, F. J. L. B., & Silva, F. R. (2023). Structural stability and catalytic activity of calcium glycerolates in soybean oil methyl transesterification reactions. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 136, 851-865. 10.1007/s11144-023-02391-2
- Lisboa, F. S., Ferreira, B. E., Silva, F. L. B., & Silva, F. R. (2023). Catalytic activity in methyl esterification reactions and characterization of the superacid HNbMoO₆ treated with different inorganic acids. *Biofuels*, 14(7), 733-741. 10.1080/17597269.2023.2170035
- Lobo, I. P., Ferreira, S. L. C., & Cruz, R. S. (2009). Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, 32(6), 1596-1608. 10.1590/S0100-40422009000600044
- Mccormick, R. L., Alvarez, J. R., & Graboski, M. S. (2020). NOx Solutions for Biodiesel, Final Report, Report 6 in a series of 6. <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/31465.pdf>
- Milanez, A. Y., Maia, G. B. S., Guimarães, D. D., & Ferreira, C. L. A. (2022). *Biodiesel e Diesel Verde no Brasil: Panorama Recente e Perspectivas*. Rio de Janeiro, Brasil: BNDES.
- MDIC. (2023). Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/25402>
- Mota, C. J. A., Silva, C. X. A., & Gonçalves, V. L. C. (2009). Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. *Química Nova*, 32 (3), 639-648. 10.1590/S0100-40422009000300008
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM.
- Pereira R. G., Oliveira, C. D., Oliveira, J. L., Oliveira, P. C. P., Fellows, C. E., & Piamba, O. E. (2007). Exhaust emissions and electric energy generation in a stationary engine using blends of diesel and soybean biodiesel. *Renewable Energy*, 32(14), 2453-2460. 10.1016/j.renene.2006.05.007
- Peterson, C. L., & Hustrulid, T. (1998). Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels. *Biomass Bioenergy*, 14(2), 91-101. 10.1016/S0961-9534(97)10028-9
- Petrobras. (2023) Assistência Técnica. <https://petrobras.com.br/pt/assistencia-tecnica/diesel-s-10-perguntas-frequentes/#:~:text=Diesel%20S%2D10%20%C3%A9%20o,Diesel%20S%2D500%2F1800>
- Pinto, L. F., Silva, D. I. S., Silva, F. R., Ramos, L. P., Ndiaye, P. M., & Corazza, M. L. (2012). Phase equilibrium data and thermodynamic modeling of the system (CO₂+biodiesel+methanol) at high pressures. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 44 (1), 57-65. 10.1016/j.jct.2011.07.019
- PLPCF. (2023). Projeto de Lei do Programa Combustível do Futuro. <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/09/governo-entrega-projeto-de-lei-do-combustivel-do-futuro-ao-congresso>
- Queiroz, R. M. R., & Feferbaum, M. (2023). *Metodologia da Pesquisa em Direito - Técnicas e Abordagens para Elaboração de Monografias, Dissertações e Teses*. São Paulo, Brasil: Editora Saraiva Jur.
- Ramos, L. P., Silva, F. R., Mangrich, A. S., & Cordeiro, C. S. (2011). Biodiesel production technologies. *Revista Virtual de Química*, 3(5), 385-405. 10.5935/1984-6835.20110043
- Ramos, L. P., Brugnago, R. J., Silva, F. R., Cordeiro, C. S., & Wypych, F. (2015). Esterificação e transesterificação simultâneas de óleos ácidos utilizando carboxilatos lamelares de zinco como catalisadores bifuncionais. *Química Nova*, 38(1), 46-54. 10.5935/0100-4042.20140274
- Ricupero, R. (2012). Brasil, potência ambiental. <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rce/article/download/21940/20683/0#:~:text=nossas%20vantagens%20naturais,-,O%20Brasil%20%C3%A9%20uma%20esp%20%C3%A9%20de%20pot%20%C3%A9ncia%20ambiental%20porque%20tem,ener%2D%20g%20%C3%A9tica%20de%2040%25%20de>
- Saraiva, A. (2023). *Selva: Madeireiros, garimpeiros e corruptos na Amazônia sem lei*. História Real.
- Schuchardt, U., Shercheli, R., & Vargas, R. M. (1998). Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 9(3), 199-210. 10.1590/S0103-50531998000300002
- Severino, A. J. (2013). *Metodologia do trabalho científico*. Cortez Editora.
- Silva, D. I. S., Mafra, M. R., Silva, F. R., Ndiaye, P. M., Ramos, L. P., Cardozo Filho, Lucio., & Corazza, M. L. (2013). Liquid-liquid and vapor-liquid equilibrium data for biodiesel reaction separation systems. *Fuel*, 108, 269-276. 10.1016/j.fuel.2013.02.059
- Wallace-Wells, D. (2019). *A terra inabitável uma história do futuro*. Companhia das Letras.