Dataset Reports 3:1 (2024)
ISSN 2965-1182

REVIEW ARTICLE

DATASET REPORTS

Panorama da produção de biodiesel no Brasil: situação atual e perspectivas

Overview of biodiesel production in Brazil: current situation and perspectives

Glaucio Gualtieri Honório [a*]

[a] Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 20950-000, Rio de Janeiro, Brasil.

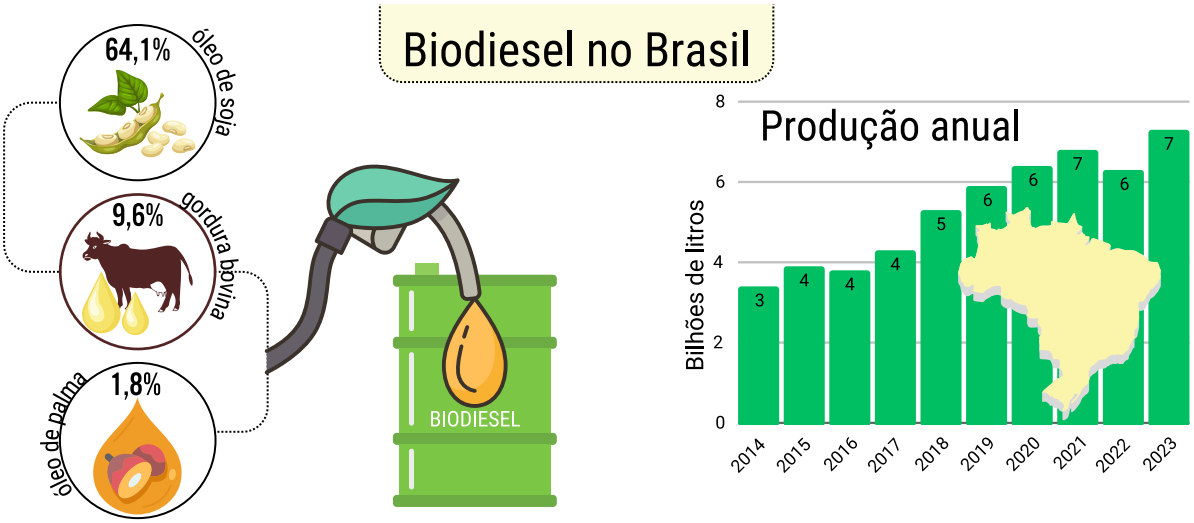
Resumo
A demanda energética e os problemas ambientais devido a queima de combustíveis fósseis impulsionam o mundo na busca por fontes renováveis de energia, com destaque para o biodiesel, que é obtido a partir de óleos de matérias primas como soja e outras oleaginosas, além do óleo de fritura usado, alguns resíduos agrícolas e microalgas. O presente trabalho busca traçar um panorama do biodiesel no Brasil, e avaliar a viabilidade do uso de outras matérias primas para a sua produção em larga escala.

Palavras-chave: Biodiesel. Energia renovável. Biocombustíveis. Bioenergia. Produção de biodiesel.

Abstract
The demand for energy and environmental issues due to the burning of fossil fuels drive the world in search for renewable energy sources, with emphasis on biodiesel, which is obtained from oils of raw materials such as soybeans and other oilseeds, as well as used cooking oil, some agricultural residues, and microalgae. This study aims to provide an overview of biodiesel in Brazil and assess the feasibility of using other raw materials for large-scale production.

Keywords: Biodiesel. Renewable energy. Biofuels. Bioenergy. Biodiesel production.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Glaucio G. Honório. E-mail address: glaucio.honorio@eng.uerj.br
Submitted: 16 December 2024; Accepted: 18 December 2024; Published: 19 December 2024.
© The Author(s) 2024. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

A cada ano cresce a demanda mundial por energia, que tem se transformado em um dos grandes desafios da sociedade atual. Segundo a *International Energy Agency* (IEA) esse aumento poderá de superior a 3% no ano de 2024, e a maior parte dessa energia é obtida a partir da queima de combustíveis fósseis, que são o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. (IEA, 2023). Aliada a alta dos preços do barril de petróleo, a queima de combustíveis fósseis e seus problemas ambientais vem imprimindo à humanidade a necessidade da busca por fontes renováveis e sustentáveis de energia (Lôbo et al., 2009).

Desde a Revolução Industrial o planeta Terra vem experimentando um aquecimento acima do normal, aquecendo nos últimos tempos cerca de 0,2°C a cada década (tendo aquecido 1,1ºC desde 1850), sendo impossível alcançar a antiga meta de frear o aumento em 1,5°C (em relação aos níveis pré-industriais) até 2100, meta firmada em 2015 na COP 21, que ficou conhecida como Acordo de Paris. O ano de 2023 quebrou recordes de temperatura média do planeta, sendo considerado o ano mais quente da história. As consequências das mudanças climáticas são extremamente graves, podendo se tornar irreversíveis, como o aumento do nível dos mares, eventos climáticos extremos, a desertificação de grandes áreas, perda da biodiversidade, eventos que já acontecem com frequência em algumas partes do mundo, sobretudo no Brasil.

Assim, a busca por tecnologias de baixo impacto ambiental tem sido uma prioridade. Fontes alternativas de energia como solar, eólica, hidrelétrica, maremotriz, biomassa, dentre outras surgem como a principal arma no combate a emissão de GEE (gases do efeito estufa) para a atmosfera devido a queima de combustíveis derivados do petróleo. Em seu último relatório, o *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* apontou que existem desenvolvimentos bastante promissores em tecnologias de baixo carbono. Apesar dos esforços, eles ainda não são suficientes para manter o aquecimento global em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, e com isso as mudanças podem se tornar irreversíveis em alguns ecossistemas ao redor do mundo (IPCC, 2023).

O uso de matéria-prima de fontes renováveis pela indústria tem sido essencial para o desenvolvimento sustentável da nossa sociedade. A conversão de biorrenováveis em commodities químicos, destacando os biocombustíveis, tem mobilizado cientistas de indústrias e universidades por todo o mundo (Beatriz et al., 2011). Um exemplo em aplicação é o biodiesel. O biodiesel é um combustível composto por alquil ésteres de ácidos graxos produzidos através do processo de transesterificação de óleos e gorduras. Comparado ao diesel de petróleo, apresenta a vantagem de não ser tóxico, além da melhor qualidade de suas emissões (ANP, 2012). A produção deste biocombustível acontece a partir da transesterificação de triglicerídeos de óleos e gorduras com álcoois de cadeia curta, geralmente o metanol, embora o etanol possa ser utilizado, na presença de um catalisador ácido, básico ou enzimático. A reação fornece uma mistura de ácidos graxos (o biodiesel) além de subprodutos, o qual o glicerol (ou glicerina) é o principal (Knothe et al, 2006).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de biodiesel. O programa PROBIODIESEL lançado em 2002, introduziu o biocombustível na matriz energética brasileira. Em 2005 determinou-se que até 2008 o diesel comum deveria conter uma mistura de até 2% v/v de biodiesel (B2). Essa mistura passou a ser de 5% v/v em 2010, com perspectivas de crescimento ao longo dos anos (ANP, 2012). Em 2021 o percentual estava em 13%, mas foi reduzido para B10 no ano de 2022. O aumento gradual da mistura foi retomado em 2023, e a previsão é de misturas B14 em 2024 e B15 em 2025 (ANP, 2023).

O país se destaca na produção de biodiesel principalmente devido a sua grande diversidade de grãos que podem ser utilizados na produção de óleos vegetais, com destaque para a soja. Além da soja, milho, girassol, amendoim, algodão, canola, mamona, babaçu, palma (dendê), macaúba e sebo bovino constituem as chamadas matérias primas de primeira geração (1G, biocombustíveis derivados de matéria prima alimentícia) (Silva et al., 2021). Há uma crescente nos últimos anos em pesquisas envolvendo a produção de biocombustíveis 2G (obtidos a partir de resíduos como o óleo de fritura) e 3G, obtidos a partir da biomassa extraída de algas e microalgas, porém o custo elevado ainda impede sua produção em larga escala (Honorio, 2023).

O governo federal vem incentivando a produção de biodiesel no país através de diversos programas, como o PNPB (Programa Nacional da Produção e Uso do Biodiesel), além da reestruturação do Selo Biocombustível Social, criando investimentos para o setores agrícola e de combustíveis no país (MME, 2024). No ano de 2022 o país ficou atrás apenas de União Europeia, Estados Unidos e Indonésia na produção de biodiesel, com 11% da produção, de acordo com os dados da **Tabela 1**. Em 2023, o país atingiu o recorde de quase 7,5 bilhões de litros produzidos. Com os incentivos do governo, a previsão é de alcançar novos recordes na produção em 2024. A capacidade de produção brasileira atualmente é de 14,7 bilhões de litros de biodiesel, porém a previsão é de uma produção de 9 bilhões de litros em 2024.

Tabela 1 Principais produtores mundiais de biodiesel no ano de 2022.

País	Produção	
	Bilhões de litros	%
União Europeia	19,2	32
Estados Unidos	11,9	20
Indonésia	10,3	17
Brasil	6,6	11
China	2,4	4
Outros	8,8	16

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi traçar um panorama das pesquisas voltadas a produção de biodiesel no país, sobretudo nos últimos anos, além das matérias primas utilizadas e da viabilidade técnica e econômica da produção em larga escala de biodiesel a partir de outras matérias primas, sobretudo o biodiesel de terceira geração (3G).

2. Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão da literatura, com base em uma pesquisa criteriosa onde foram obtidos dados nacionais com foco na produção de biodiesel a partir de diversas matérias-primas. Para a execução do trabalho foram utilizados os seguintes banco de dados: SciELO e Scopus, visando apenas trabalhos produzidos no Brasil (nos idiomas português, espanhol e inglês) no período compreendido entre 2019 e 2023 e revisados por pares.

Foram utilizados os seguintes descritores: “biodiesel”, “produção de biodiesel”, “biocombustíveis”, e seus correspondentes em inglês (“biodiesel”, “biodiesel production”, “biofuels”). Para otimizar a busca pelos bancos de dados foi utilizada também a técnica de truncagem, que corresponde na combinação dos descritores através da palavra AND, onde cada descritor foi combinado 2 a 2 com as principais matérias-primas produtoras de biodiesel no Brasil: “soja”, “milho”, “girassol”, “amendoim”, “canola”, “mamona”, “babaçu”, “palma”, “macaúba”, “sebo bovino”, e também com matérias primas alternativas como

"óleo de fritura", "microalga", de modo que a busca se tornasse mais precisa.

Do total de estudos encontrados, a seleção aconteceu segundo alguns critérios de elegibilidade, que incluíram trabalhos produzidos no Brasil, sendo aceito somente os idiomas português, espanhol e inglês, artigos indexados e originais publicados em revistas científicas, no período entre 2019 e 2024. Para saber se os trabalhos aprovados deveriam ou não ser incluídos, foi adotado o seguinte procedimento:

1. Conferiu-se se o resumo possui informações importantes referentes a produção de biodiesel.
2. Quando o resumo não forneceu informações suficientes, foram analisadas as conclusões.
3. Não sendo suficiente, foi lido o trabalho completo.
4. Por fim, os trabalhos selecionados foram estudados integralmente para a confecção deste estudo.

Pós seleção, o material escolhido compreendeu um total de 36 artigos científicos, que foram estudados integralmente para a confecção deste trabalho.

3. Resultados e Discussão

3.1 Seleção dos trabalhos

Mundialmente podemos encontrar muitos trabalhos relacionados a produção de biodiesel. Uma busca simples dos descritores "biodiesel" e "produção de biodiesel" retornou um total de 45200 trabalhos publicados. No período compreendido entre 2019 e os primeiros meses de 2024, o número de publicações foi de 5150 artigos científicos em todo o mundo. No Brasil totalizaram-se 877 trabalhos publicados no mesmo período. Grande parte dos trabalhos estão voltados ao desenvolvimento de metodologias que buscam aprimorar a produção do biodiesel ou relacionados a sua viabilidade econômica. Os trabalhos que atenderam aos critérios de elegibilidade totalizaram 133, dos quais 36 foram selecionados, excluindo-se duplicidades e artigos dedicados a revisão de literatura relacionadas a produção do biodiesel a partir de uma matéria prima específica. Apesar da soja ser a principal matéria prima para a produção de biodiesel no país, a maioria dos estudos no período avaliado está concentrada na produção do biocombustível a partir da biomassa proveniente de microalgas, aproximadamente 75%, conforme pode-se observar na **Fig. 1**.

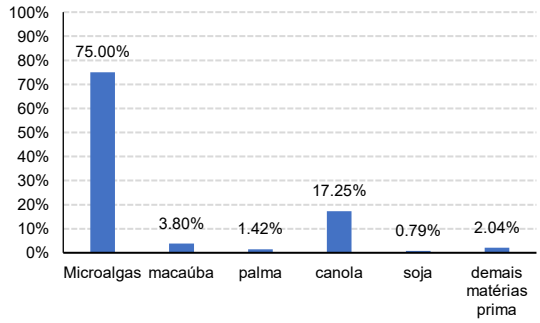


Fig. 1 Matérias primas estudadas para a produção de biodiesel no período compreendido entre 2019 e 2024.

3.2 Desenvolvimento

De acordo com dados divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), no ano de 2023 o Brasil produziu 7,34 bilhões de litros de biodiesel nas 49 usinas produtoras espalhadas pelo país, volume 20% maior que no ano anterior. O recorde anterior havia sido no ano de 2021, com 6,8 bilhões de litros produzidos (ANP, 2023). A **Fig. 2** apresenta os dados referentes a produção anual de biodiesel nos últimos 10 anos.

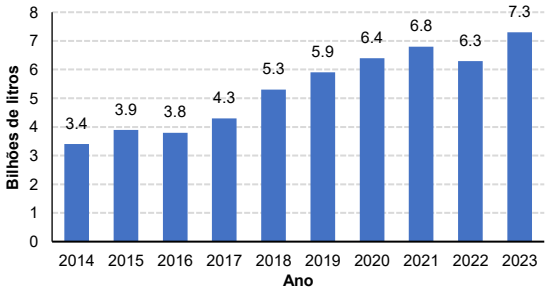


Fig. 2 Produção anual de biodiesel no Brasil nos últimos 10 anos.

A principal matéria prima para a produção de biodiesel no Brasil é a soja. Segundo dados da ANP, no ano de 2023, cerca de 64% do biodiesel produzido no país (aproximadamente 4,7 bilhões de litros) foi a partir do óleo de soja, seguido pela gordura bovina, com 5,8% (aproximadamente 426 milhões de litros). A razão para tamanho domínio está no fato da soja ser a oleaginosa com maior escala de produção, com uma cadeia produtiva bem estruturada. A soja possui alto desenvolvimento tecnológico aliado a uma excelente logística de distribuição (seu cultivo é adaptado para todo o território nacional), o que possibilita abastecer usinas em todas as partes do país. Somado a esses fatos, é um dos produtos mais fáceis de exportar, oferecendo um rápido retorno do investimento (ANP, 2023). Apesar de ser uma fonte de matéria prima importante, outras oleaginosas vem ganhando destaque na produção do biodiesel no Brasil.

Uma oleaginosa que vem ganhando espaço para a produção de biodiesel é a macaúba, sendo considerada a principal matéria prima do futuro. Estudos mostram que a macaúba produz de 6 a 8 vezes mais óleo que a soja por hectare/ano, além de possuir uma excelente pegada de carbono. O potencial da macaúba como fonte de óleo para a produção de biodiesel vem sendo avaliada desde 2013, mas somente nos últimos anos os estudos se intensificaram. Antoniassi et al. (2020) avaliaram selecionados genótipos dessa planta como fonte de óleo para a produção de biodiesel. Alguns genótipos apresentaram alto teor de ácido oleico, estando mais propícios para a produção do biocombustível. Outro destaque da produção é o óleo de palma (dendê), que possui alta produtividade em algumas regiões do país (Carvalho et al., 2021). No ano de 2023, foram produzidos pouco mais de 100 milhões de litros a partir dessa matéria prima. A **Fig. 3** apresenta o quanto cada matéria prima contribuiu com a produção de biodiesel no país no ano de 2023.

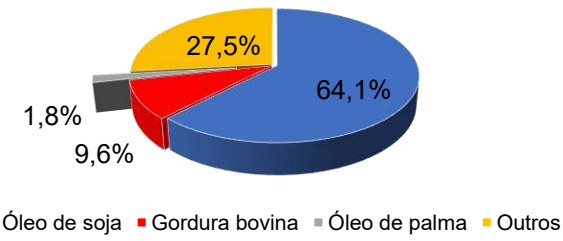


Fig. 3 Matérias primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil no ano de 2023.

Importante frisar que durante o processo de produção de biodiesel são produzidos alguns subprodutos, e a geração dos efluentes dessa produção chama atenção em alguns estudos (Postaue et al., 2022). O resíduo de maior destaque é a glicerina,

que pode ser absorvida por diversas indústrias, porém o crescimento na produção de biodiesel tem deixado o mercado saturado desse produto. Algumas propostas surgem na literatura no intuito de promover um melhor reaproveitamento da glicerina. Destaque para o uso na codigestão anaeróbia com diversos outros resíduos, aumentando a eficiência na produção de outro biocombustível, o biogás. Vasconcelos et al. (2019) observaram que incrementos de glicerina a reatores anaeróbios levou a uma aumento na produção de bactérias responsáveis pela produção de metano. Kitamura et al. (2022) estudaram a codigestão da glicerina com melaço de soja, atingindo uma elevada eficiência na produção do biometano, 75% superior a mesma produção na ausência do glicerol. Outros estudos corroboram os resultados, onde a glicerina foi utilizada em condições controladas em processos de codigestão a diversos resíduos agrícolas, como a vinhaça citrícola (Rodrigues et al., 2021), efluente de abatedouro (Lins et al., 2021), dejetos aviários (Silveira et al, 2021), esterco de galinha (Schwingel et al., 2019), pois o seu excesso pode inibir a produção do biometano, conforme comprovado por Adames et al. (2022). A glicerina também foi importante na obtenção de biogás a partir do lodo de esgoto, conforme estudos publicados por Holanda et al (2021) e Guedes et al (2023).

Estudos recentes apontam na direção de uma maior sustentabilidade na produção do biodiesel, e a matéria prima de maior destaque é o óleo de fritura. O descarte incorreto de resíduos de óleo de fritura traz grandes prejuízos ao meio ambiente. Um litro de óleo tem a capacidade de poluir 1 milhão de litros de água, aproximadamente 14 anos de vida (Huettel, 2022). No ano de 2023, aproximadamente 2,9% da produção de biodiesel no país ocorreu a partir do óleo de fritura usado (ANP, 2023). Coelho et al. (2020) desenvolveram uma metodologia para a produção de biodiesel a partir do óleo de fritura usado através de uma rota etílica, ou seja, com o etanol. Também visando uma produção mais sustentável, Medeiros et al. (2019) utilizaram resíduos de processamento de pescados termicamente tratados, produzindo biodiesel por três métodos diferentes: aquecimento, agitação e ultrassom. Os processos apresentaram rendimento superior a 92%. Segundo os autores, além da produção, existem ganhos em retirar do meio ambiente um resíduo com alto potencial de contaminação, bem como promover ações sociais e econômicas em comunidades de pescadores.

Lourenço et al. (2021) desenvolveram um estudo onde o biodiesel é obtido a partir do farelo de grãos de arroz, um resíduo obtido durante a etapa do processamento do grão. Até o momento de produção do trabalho, segundo os autores, a literatura carecia de estudos relacionados a este resíduo agrícola (um total de 4 trabalhos), que mostrou-se viável para a produção de biodiesel. Uma alternativa sustentável dentro do contexto agrícola, ambiental e sócio econômico.

Os estudos mais promissores dos últimos anos estão relacionados a produção de biodiesel a partir de microalgas, por uma série de razões. A principal vantagem se dá pelo cultivo independente da época do ano, não precisando de extensas áreas, podendo ocorrer em raceway (lagoas abertas) ou fotobiorreatores (Sousa et al 2021). Além do mais, o crescimento de microalgas não compete com a produção alimentícia, apresentam eficiência na retirada de CO2 da atmosfera e produzem quantidades elevadas de lipídeos com impacto ambiental mínimo (Nazari et al., 2021). Apesar das vantagens apresentadas, a produção de biodiesel a partir de microalgas ainda não é economicamente viável, e estudos têm sido desenvolvidos no intuito de reverter essa situação. Uma alternativa tem sido o cultivo de microalgas em efluentes domésticos e industriais, como as do gênero Chlorella. Araujo et al. (2020) estudaram o cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* em meios de cultura contendo ureia, fosfatos e vitaminas em proporções diferentes a fim de avaliar a influência dos nutrientes no crescimento das microalgas, observando que apesar da taxa de crescimento das microalgas ser maior com maior quantidade de nutrientes, o teor de óleo segue caminho inverso, ou seja, a produtividade de óleo compensa usando uma menor quantidade de nutrientes. Burgel et al. (2022) avaliaram o potencial biotecnológico das microalgas do gênero *Desmodemus* coletadas na represa do Iraí, no Paraná. Os estudos mostraram um grande potencial do gênero na obtenção de biocombustíveis, não apenas o biodiesel, mas também bioetanol. Além do biodiesel, a biomassa obtida de microalgas é útil na produção de outras fontes de energia, tais qual o bioetanol, o biogás, o bio óleo e o biochar. Além da extração de matéria prima da biomassa de microalgas, há estudos relacionando as mesmas a painéis biofotovoltaicos na produção de energia solar (Honorio, 2023).

Em um estudo de revisão da literatura, Matos (2021) apresentou uma série de espécies de microalgas com potencial para a produção de biodiesel, destacando as espécies *Chlorella* sp., *Scenedemus* sp., *Chlamydomonas reinhardtii*, *Botryococcus braunii* e *Spirulina* sp. Além da produção de biodiesel, o trabalho explorou a biorremediação de águas residuais através do cultivo de microalgas. Em outro trabalho de revisão, Sousa et al. (2021) havia apresentado a possibilidade da obtenção de biomassa a partir de várias espécies para a produção de biodiesel, mostrando ser essa uma matéria prima bastante viável e promissora, porém carece de estudos de otimização para abaixar os custos de produção em larga escala. Muito desse custo está na etapa de extração dos lipídeos da massa produzida, e grande parte dos trabalhos vem buscando técnicas alternativas neste processo. Alguns trabalhos envolvendo a produção de biodiesel a partir de microalgas estão resumidos na **Tabela 2**.

Tabela 2 Alguns trabalhos acadêmicos envolvendo a produção de biodiesel a partir de microalgas no período entre 2019 e 2023.

Matéria prima	Estudo	Referência
Chlorella sp.	Cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* em meios de cultura contendo ureia, fosfatos e vitaminas em proporções diferentes.	Araujo et al. (2020)
Desmodemus sp	Avaliaram o potencial biotecnológico das microalgas do gênero *Desmodemus* coletadas na represa do Iraí, no Paraná.	Burgel et al. (2022)
Diversas espécies	O estudo faz uma comparação dos biocombustíveis (biodiesel e etanol) 1G com obtidos por microalgas 3G	Silva et al. (2021)
Diversas espécies	Estudo de revisão avaliando a produção de biodiesel a partir da biomassa das seguintes espécies: *Chlorella* sp., *Scenedemus* sp., *Chlamydomonas reinhardtii, Botryococcus braunii e Spirulina* sp	Matos (2021)
Scenedesmus obliquus *Chlorella vulgaris*	Apresentaram dados que o cultivo das espécies citadas em águas residuais necessitariam de áreas bem menores do que para o cultivo de oleaginosas para a produção da mesma quantidade.	Mendonça et al. (2022)
Diversas espécies	Apresentaram um estudo corroborando que o país tem grande potencial para a produção de biodiesel 3G, com a produção em larga escala carecendo de mais estudos.	Lomeu et al. (2023)
Chlorella sp.	Avaliou o rendimento da biomassa de microalgas em meio suplementado com glicerol, com a espécie estudada produzindo uma alta quantidade de lipídeos.	Amaral et al. (2022)

Segundo o Governo Federal são esperados investimentos na ordem de R$740 milhões para a produção de biodiesel ainda no ano de 2024, e a partir de 2025 investimentos na ordem de R$1,6 bilhão. Estima-se uma produção de 9 bilhões de litros de biodiesel em 2024, com aumento para até 11 bilhões de litros em 2029 (ANP, 2023). A antecipação da mistura de biodiesel ao diesel fóssil, chegando a B15 em 2025, tem impulsionado a produção deste biocombustível, o que leva a um maior interesse de pesquisadores de todo o país na busca por metodologias cada vez mais sustentáveis aliadas a um baixo custo. Pelo que se observa a soja ainda continuará sendo a

principal matéria prima para a produção do biodiesel, porém investimentos em outras oleaginosas como a macaúba e o dendê podem alavancar a produção a partir dessas.

Além de questões econômicas, a produção de biodiesel é importante para atingir algumas metas do desenvolvimento sustentável (ODS), principalmente a meta 7 (energia limpa e acessível), ajudando diretamente em outras ODS, a destacar 1, 8 e 13.

4. Conclusão

O presente trabalho traçou um panorama da produção de biodiesel no Brasil, sobretudo nos últimos anos, em um período compreendido entre 2019 e os primeiros meses de 2024. O Brasil está entre os líderes mundiais da produção de biodiesel, com recorde de produção no ano de 2023. Apesar de não dominar as publicações atuais, a soja é a matéria prima mais utilizada por uma série de fatores, que vão desde a facilidade no cultivo até a logística de distribuição. Outras oleaginosas vêm ganhando destaque no cenário do biodiesel, principalmente o dendê e a macaúba, esta considerada a principal matéria prima do futuro, podendo produzir até 8 vezes mais óleo por hectare/ano que a soja. Tal fato tem impulsionado estudos com a oleaginosa. Além das oleaginosas, o sebo bovino é uma matéria prima de relevância, sendo a segunda mais utilizada no país.

Matérias primas alternativas apresentam um crescimento nas publicações, principalmente por conta da busca por uma produção mais sustentável do biodiesel. Destaca-se matérias primas residuais, como o óleo extraído de grãos como o arroz ou da gordura de pescados e do óleo de fritura, que tem apresentado um aumento na produção do biodiesel. Tal produção a partir desses resíduos é importante, pois os retira da natureza e recoloca na cadeia produtiva.

Atenção especial tem sido dada aos subprodutos da transesterificação, sobretudo a glicerina. Uma série de estudos vem apresentando resultados importantes na codigestão de resíduos agrícolas com a glicerina na produção de biogás, obtendo elevadas concentrações de biometano. A produção de biodiesel de terceira geração, obtido a partir da biomassa de microalgas tem dominado as publicações nos últimos anos, porém, apesar da alta produtividade, carece de pesquisas para reduzir custos a fim de uma produção em larga escala. Pesquisas atuais buscam aliar o aumento na produção de biodiesel a modelos mais sustentáveis da mesma, levando em consideração não apenas fatores econômicos, mas fatores ambientais e sociais.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio de Janeiro – UERJ

Contribuições dos Autores

G.G.H.: Curadoria de Dados, Redação - Preparação do Rascunho Original; Edição, Revisão e Edição. O autor leu e aprovou o manuscrito final.

Conflitos de Interesses

O autor declara que não tem interesses conflitantes.

Referências

Adames, L. V., Jacobus, A. P., Sakamoto, I. K., Lazaro, C. Z., Pires, L. O., & Maintinguer, S. I. (2022). Bioenergy Recovery from anaerobic co-digestion of crude glycerol and domestic sewage in-series reactor: microbial characterization and system performance. *BioEnergy Research*, *15*(4), 2145–2158. https://doi.org/10.1007/s12155-022-10417-1

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2023). *CNPE aprova resolução que restabelece o aumento para 12% da mistura de biodiesel ao diesel a partir de abril*. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/cnpe-aprova-resolucao-que-restabelece-o-aumento-para-12-da-mistura-de-biodiesel-ao-diesel-a-partir-de-abril>.

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2012). *Resolução n° 14, de 8 de junho de 2012*. Disponível em <https://www.gov.br/fnde/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/caminho-da-escola/legislacao-1#:~:text=Resolu%C3%A7%C3%A3o%2FCD%2FFNDE%20n%C2%BA%2014,de%20A%C3%A7%C3%B5es%20Articuladas%20(PAR)>.

Amaral, E. T., Alves, G., Julich, J., Silva, M. B. da, Souza Celente, G. de, Hoeltz, M., Schneider, R. de C. de S., & Benitez, L. B. (2022). Sanitary wastewater supplemented with glycerol to obtain lipid-rich microalgal biomass. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*. https://doi.org/10.18502/jehsd.v7i4.11431

Antoniassi, R., Freitas, S. C. de, Silva, T. dos S., Santiago, M. C. P. de A., Wilhelm, A. E., & Junqueira, N. T. V. (2020). Impact of genotype on fatty acid profile, oil content and nutritional value of the sweet fruits of *Acrocomia aculeata*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *42*(6). https://doi.org/10.1590/0100-29452020796

Araujo, G. S., Lopes, D. N. M., Santiago, C. da S., Silva, J. W. A. da, & Fernandes, F. A. N. (2020). Influence of nutrients on biomass and oil yield from microalgae *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Revista Ciência Agronômica*, *51*(1). https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200008

Beatriz, A., Araújo, Y. J. K., & Lima, D. P. de. (2011). Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. *Química Nova, 34*(2), 306–319. https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000200025

Burgel, G., Ribas, P. G., Ferreira, P. C., Passos, M. F., Santos, B., Savi, D. C., Ludwig, T. A. v., Vargas, J. V. C., Galli-Terasawa, L. v., & Kava, V. M. (2022). Morphology, molecular phylogeny and biomass evaluation of *Desmodesmus abundans* (Scenedesmaceae-Chlorophyceae) from Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, *82*. https://doi.org/10.1590/1519-6984.265235

Carvalho, C. M. de, Iwama, A. Y., & la Rovere, E. (2021). Scenarios for oil palm expansion in degraded and deforested lands in the Brazilian Amazon to meet biodiesel demand. *Sustainability in Debate*, *12*(2), 90–107. https://doi.org/10.18472/SustDeb.v12n2.2021.35201

Coelho, F. de L. L., Santos, I. O., Paixão, D. C., Lhamas, D. E. L., Rodrigues, G., Suffredini, D. F. P., & Medeiros, A. C. G. (2020). Produção de biodiesel de óleo de fritura residual em um módulo didático de biodiesel. *Brazilian Journal of Development*, *6*(5), 28844–28851. https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-363

Silva, M. P. D. da, Glória, J. da S., Panta, D. A. de S., & Vieira, G. E. G. (2021). Microalgas e a terceira geração de biocombustíveis: desafios atuais e perspectivas futuras. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, *8*(3), 58–76. https://doi.org/10.20873/uftv8-11171

The Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2023). Global Warming of 1,5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. New York, 09 de out. de 2023. Acessado em: 19/03/2024. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/sr15/>.

Guedes, M. T. J. C., Ribeiro, M. H. G., Soroka, V. D., Almeida, I. R., Silva, M. C. A. (2023). Efeito do glicerol como co-substrato na geração de biogás e de biometano a partir da digestão anaeróbia de resíduos de casca de laranja. In: *32° congresso da ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belo Horizonte. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/263826>.

Holanda, S. H. de B., Medeiros, R. de M., Júnior, M. J. da S., Rocha, J. de O., da Silva, R. P., de Brito, A. R., da Silva, L. A. de O., & Jucá, J. F. T. (2021). Avaliação da influência do glicerol sobre a geração de biogás de resíduos sólidos urbanos através do teste bmp. *Brazilian Journal of Development, 7*(5), 44257–44267. https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29216

Honorio, G. G. (2023). Produção de bioenergia a partir de microalgas – viabilidade técnica e econômica. In: *Anais do V Sustentare e VIII Wipis*, Campinas. https://doi.org/10.29327/sustentare-wipis-2023-311985.749491

Huettel, M. (2022). Oil pollution of beaches. *Current Opinion in Chemical Engineering*, *36*, 100803. https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100803

International Energy Agency – IEA (2023). *Demand-side Data and Energy Efficiency Indicators*: A guide to designing a national roadmap. Paris. Acesso em: 19/03/2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/demand-side-data-and-energy-efficiency-indicators>.

Knothe, G., Van Gerpen, J., Krahl, J., Ramos, L. P. (2006). *Manual do Biodiesel*. Editora Blucher, São Paulo.

Kitamura, S. H. P., Silva, L. M. da, Batista, F. K., Mello, B. S. de, Rodrigues, B. C. G., & Sarti, A. (2022). Codigestão anaeróbia de resíduos agroindustriais (melaço de soja e glicerol) em reator anaeróbio horizontal de leito fixo. *Brazilian Journal of Development*, *8*(1), 6144–6163. https://doi.org/10.34117/bjdv8n1-416

Lins, M. A., Berger, J. S., Gonçalves, M. P., Zenatti, D. C., & Hermes, E. (2021). Efeito da adição de glicerol residual na digestão anaeróbia de efluentes de fecularia e abatedouro. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, *14*(2), e6149. https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n2e6149

Lôbo, I. P., Ferreira, S. L. C., & Cruz, R. S. da. (2009). Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, *32*(6), 1596–1608. https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044

Lomeu, A. A., Mendonça, H. V. de, & Mendes, M. F. (2023). Microalgae as raw material

for biodiesel production: perspectives and challenges of the third generation chain. *Engenharia Agrícola*, *43*(spe). https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v43nepe20220087/2023

Lourenço, V. A., Nadaleti, W. C., Vieira, B. M., & Li, H. (2021). Investigation of ethyl biodiesel via transesterification of rice bran oil: bioenergy from residual biomass in Pelotas, Rio Grande do Sul - Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *144*, 111016. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111016

Matos, Â. P. (2021). Advances in microalgal research in Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *64*. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021200531

Medeiros, E. F. de, Vieira, B. M., Pereira, C. M. P. de, Nadaleti, W. C., Quadro, M. S., & Andreazza, R. (2019). Production of biodiesel using oil obtained from fish processing residue by conventional methods assisted by ultrasonic waves: Heating and stirring. *Renewable Energy*, *143*, 1357–1365. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.079

Mendonça, H. V. de, Otenio, M. H., Marchão, L., Lomeu, A., Souza, D. S. de, & Reis, A. (2022). Biofuel recovery from microalgae biomass grown in dairy wastewater treated with activated sludge: The next step in sustainable production. *Science of The Total Environment*, *824*, 153838. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153838

Ministério das Minas e Energia – MME. (2024). *Decreto que reestrutura o Selo Biocombustível Social e fomenta a agricultura familiar entra em vigor*. Acessado em: 26/03/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/decreto-que-reestrutura-o-selo-biocombustivel-social-e-fomenta-a-agricultura-familiar-entra-em-vigor>.

Nazari, M. T., Mazutti, J., Basso, L. G., Colla, L. M., & Brandli, L. (2021). Biofuels and their connections with the sustainable development goals: a bibliometric and systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, *23*(8), 11139–11156. https://doi.org/10.1007/s10668-020-01110-4

Postaue, N., Fonseca, J. M., Bergamasco, R., & Silva, C. da. (2022). Impact of biodiesel production on wastewater generation. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, *27*(2), 235–244. https://doi.org/10.1590/s1413-415220210086

Rodrigues, C. V., Adames, L. V., Marques, R. F. C., Jacobus, A. P., Pires, L. O., & Maintinguer, S. I. (2021). Biossistemas integrados na codigestão do glicerol bruto em resíduos agroindustriais para a geração de H2 e CH4. *Matéria (Rio de Janeiro)*, *26*(2). https://doi.org/10.1590/s1517-707620210002.1262

Sousa, R. N., Rocha, M. B., Honorio, G. G. (2021). Produção de biodiesel a partir de microalgas no Brasil – Uma revisão sistemática. In: *Anais do II Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia*, Brasil. Acessado em: 26/03/2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet/381818-producao-de-biodiesel-a-partir-de-microalgas-no-brasil--uma-revisao-sistematica>.

Schwingel, A. W., Orrico, A. C. A., de Lucas Junior, J., Orrico Junior, M. A. P., Borquis, R. R. A., & Fava, A. F. (2019). Laying hen manure in anaerobic co-digestion with glycerin containing different glycerol and impurity levels. *Journal of Cleaner Production*, *215*, 1437–1444. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.125

Vasconcelos, E. A. F., Santaella, S. T., Viana, M. B., dos Santos, A. B., Pinheiro, G. C., & Leitão, R. C. (2019). Composition and ecology of bacterial and archaeal communities in anaerobic reactor fed with residual glycerol. *Anaerobe*, *59*, 145–153. https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2019.06.014