



PERSPECTIVAS CRÍTICAS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE *DISTILLERS CORN OIL* NO CONTEXTO BRASILEIRO

Victor Hugo Souza de Abreu

Mariane Gonzalez da Costa

Tássia Faria de Assis

Rejane Silva Rocha

Luís Otávio Días de Paula

Arsénio Massautso Simoco Laissone

Márcio de Almeida D'agosto

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

O setor de transporte é um dos principais responsáveis pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), sendo estratégico para atingir metas de redução dessas emissões. Para diminuir a dependência do diesel, uma fonte significativa de GEE, e fortalecer a segurança energética, o Programa Nacional de Produção de Biodiesel sugere a produção de biodiesel a partir de óleo residual. O óleo residual, conhecido como *Distillers Corn Oil* (DCO) em inglês, é um subproduto da produção de etanol de milho com potencial para mitigar impactos socioambientais do setor de transportes e promover o desenvolvimento sustentável. Este estudo visa realizar uma revisão sistemática da literatura para evidenciar as vantagens da produção de biodiesel a partir do DCO via rota enzimática. Além disso, busca identificar os desafios dessa tecnologia e propor estratégias para superá-los, considerando o contexto específico do Brasil e seu potencial para adotar essa solução inovadora no setor de biocombustíveis.

ABSTRACT

The transportation sector is one of the main contributors to Greenhouse Gas (GHG) emissions, making it a strategic component in achieving emission reduction targets. To reduce dependence on diesel, a significant source of GHG, and strengthen energy security, the National Biodiesel Production Program suggests producing biodiesel from residual oil. Residual oil, known as Distillers Corn Oil (DCO) in English, is a byproduct of ethanol production from corn, with substantial potential to mitigate the socio-environmental impacts of the transportation sector and promote sustainable development. This study aims to conduct a systematic literature review to highlight the advantages of producing biodiesel from DCO via the enzymatic route. Additionally, it seeks to identify the challenges associated with this technology and propose strategies to overcome them, considering Brazil's specific context and its potential to adopt this innovative solution in the biofuels sector.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento do interesse em fontes de energia renovável para descarbonização global, o biodiesel, produzido a partir de diferentes matérias-primas, sobretudo as residuais, tem o potencial de substituir total ou parcialmente o óleo diesel fóssil, em motores de caminhões, tratores, camionetas e automóveis, oferecendo uma série de vantagens significativas no contexto do desenvolvimento sustentável, tanto para o transporte de carga, quanto para o transporte de pessoas (De Assis *et al.*, 2022; Ministério de Minas e Energia, 2024). Conforme destacado por Veljković *et al.* (2018), essa transição para o uso de energias renováveis no setor de transportes desempenha um papel crucial na redução do impacto ambiental relacionado a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Poluentes Atmosféricos (PA), bem como esgotamento dos recursos naturais, associado à queima de combustíveis fósseis. Além disso, o biodiesel reduz os riscos de contaminação do solo e da água (Acharya *et al.*, 2019) e aumenta a segurança energética (De Assis *et al.*, 2022). Neste sentido, este estudo tem como objetivo investigar o óleo de milho residual, conhecido em inglês como *Distillers Corn Oil* (DCO). Sendo um subproduto da indústria do etanol, o DCO não é destinado ao consumo humano e, portanto, não compromete a segurança alimentar. Desta forma, busca-se realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a produção em larga escala de biodiesel a partir do óleo residual por rota enzimática, destacando suas principais vantagens, bem como os desafios associados e

as estratégias para mitigá-los. Além disso, é discutido o potencial dessa tecnologia no Brasil, um dos maiores produtores de milho globalmente.

2. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos deste estudo, adota-se uma revisão sistemática da literatura. Inicialmente, selecionam-se bases de dados científicas relevantes, como *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*. A busca inclui termos específicos como "*Distillers Corn Oil*", "DCO", "*biodiesel production*" e "*enzymatic route*". Os critérios de inclusão englobam estudos publicados nos últimos dez anos (preferencialmente), escritos em inglês, português ou espanhol, e que abordem diretamente ou indiretamente a produção de biodiesel a partir de DCO. Esta seleção permite compilar um conjunto abrangente de estudos relevantes para análise. Em seguida, os estudos selecionados são avaliados quanto à qualidade metodológica e relevância para o tema. Analisam-se os avanços tecnológicos na produção de biodiesel utilizando o óleo de milho residual via rota enzimática, com foco na eficiência dos processos, rendimentos obtidos e impactos ambientais. Além disso, identificam-se os principais desafios e limitações encontrados na literatura internacional, buscando compreender as barreiras que ainda precisam ser superadas para a implementação eficaz dessa tecnologia. Por fim, realiza-se uma análise crítica do potencial de aplicação do DCO no contexto brasileiro. Consideram-se fatores econômicos, como custos de produção e viabilidade financeira, bem como aspectos ambientais e regulatórios específicos do Brasil.

3. OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA PRODUÇÃO

Inegavelmente, o biodiesel tem sido apontado como uma alternativa promissora para substituir ou complementar os combustíveis convencionais, utilizando matérias-primas naturais ou recursos biológicos renováveis em seu processo de produção (Luque *et al.*, 2010; Moreira *et al.*, 2020), em função de diversas vantagens, conforme são detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1: Benefícios da produção de *Distillers Corn Oil* para o desenvolvimento sustentável.

Benefícios	Descrição
Solução necessária	O DCO, como todos os outros biocombustíveis, nasceu basicamente como uma solução para a crise internacional do petróleo e principalmente por causa dos problemas ambientais que o planeta enfrenta atualmente.
Sustentabilidade e Aproveitamento de Resíduos	O DCO é um subproduto da indústria do etanol, aproveitando um resíduo que poderia ser descartado ou subutilizado. Isso contribui para a economia circular, promovendo o uso eficiente dos recursos e reduzindo a quantidade de resíduos gerados.
Diversificação da Matriz Energética	O uso de biodiesel em geral diversifica a fonte de combustíveis utilizados no setor de transporte, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis e aumentando a segurança energética.
Segurança Alimentar	Como o DCO não é destinado ao consumo humano, sua utilização na produção de biodiesel não afeta a segurança alimentar, sendo especialmente importante em comparação com outros biocombustíveis que utilizam óleos comestíveis, como o óleo de soja ou de palma.
Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa	O biodiesel produzido a partir de DCO pode contribuir para a redução das emissões de GEE em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais. O uso de biocombustíveis ajuda a mitigar a mudança do clima ao diminuir a dependência de combustíveis fósseis e ao promover fontes de energia renovável.
Valor Econômico Adicional	A produção de biodiesel a partir de DCO pode agregar valor econômico adicional à indústria do etanol, diversificando suas fontes de receita, aumentando a rentabilidade das plantas de etanol e incentivando investimentos adicionais no setor.

Benefícios	Descrição
Potencial de Desenvolvimento Tecnológico	O desenvolvimento de tecnologias para a conversão enzimática do DCO em biodiesel pode impulsionar Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no campo dos biocombustíveis, levando a processos mais eficientes e sustentáveis, beneficiando toda a cadeia logística de biocombustíveis.
Compatibilidade com Infraestrutura Existente	O biodiesel produzido a partir de DCO pode ser utilizado em motores diesel existentes com pouca ou nenhuma modificação, facilitando sua integração na infraestrutura de transporte atual e reduzindo os custos associados à adaptação de veículos e sistemas de distribuição.
Contribuição para a Economia Local	A produção de biodiesel a partir de DCO pode estimular a economia local, criando empregos e promovendo o desenvolvimento de indústrias relacionadas, sendo particularmente benéfico para comunidades rurais e regiões com forte presença da indústria do etanol.

Fonte: Baseado em De Sousa (2010), Veljković *et al.* (2018), Moreira *et al.* (2020), Ambaye *et al.* (2021), Pirner, Palmer & Reizman (2022), Khalaf & Salih (2021), Winkler-Moser *et al.* (2023) e De Abreu *et al.* (2024).

Contudo, como em qualquer processo inovador, a produção de biodiesel também enfrenta desafios, de acordo com os desafios destacados na Tabela 2.

Tabela 2: Desafios para comercialização do *Distillers Corn Oil* em larga escala.

Desafio	Descrição	Como reduzir?
Qualidade e Consistência do DCO	A qualidade e a composição do DCO podem variar dependendo do processo de produção do etanol e da matéria-prima utilizada, afetando a eficiência do processo de conversão em biodiesel.	Implementar padrões de qualidade para o DCO e utilizar técnicas de pré-tratamento para garantir uma composição mais consistente. Monitorar regularmente a qualidade do DCO recebido pode ajudar a ajustar os processos de produção de biodiesel conforme necessário.
Eficiência da Conversão Enzimática	A conversão de DCO em biodiesel via rota enzimática pode ser menos eficiente ou mais cara em comparação com outros métodos de produção.	Investir em P&D para melhorar a eficiência das enzimas utilizadas no processo. A engenharia de enzimas e o uso de biocatalisadores mais robustos podem aumentar a taxa de conversão e reduzir os custos operacionais.
Custo das Enzimas	As enzimas necessárias para a conversão enzimática do DCO podem ser caras, impactando a viabilidade econômica do processo.	Desenvolver e utilizar enzimas mais baratas ou métodos de produção enzimática de menor custo. A reutilização de enzimas e a implementação de processos enzimáticos contínuos também podem reduzir os custos a longo prazo.
Escalabilidade do Processo	Escalar o processo de produção de biodiesel a partir de DCO para níveis industriais pode apresentar dificuldades técnicas e econômicas.	Realizar estudos piloto para identificar e resolver problemas em pequena escala antes de expandir a produção. Parcerias com indústrias e empresas de engenharia podem fornecer os recursos e a expertise necessários para uma escalabilidade bem-sucedida.
Compatibilidade com a Infraestrutura de Distribuição	Integrar o biodiesel de DCO na infraestrutura de distribuição existente pode exigir adaptações e investimentos adicionais.	Colaborar com distribuidores de combustíveis e reguladores para adaptar a infraestrutura existente de forma gradual. Oferecer incentivos fiscais e subsídios governamentais para facilitar as adaptações necessárias.

Fonte: Baseado em Veljković *et al.* (2018), Pirner, Palmer & Reizman (2022) e De Abreu *et al.* (2024).

Nota-se que, observando-se a Tabela 2, superar os desafios da produção e comercialização do DCO exige uma abordagem integrada que envolve avanços tecnológicos, políticas públicas eficazes e a colaboração de vários setores da sociedade, incluindo governos, indústrias e instituições de pesquisa. Além disso, a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental devem ser consideradas em todas as etapas da produção de biodiesel.

4. POTENCIAL BRASILEIRO PARA PRODUÇÃO DO DCO

O Brasil possui um grande potencial para a produção de DCO devido a vários fatores favoráveis, conforme elencados na Tabela 3.

Tabela 3: Vantagens brasileiras para produção de *Distillers Corn Oil*.

Benefícios	Descrição
Compromisso nacional de redução das emissões de GEE	A produção de DCO emerge como uma oportunidade crucial para o Brasil no contexto da descarbonização. Com o compromisso nacional de reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 50% até 2030, em relação aos níveis de 2005, conforme estabelecido no 4º Inventário Nacional, o setor de transportes brasileiro enfrenta a necessidade urgente de adotar soluções sustentáveis.
Grande Produção de Milho	O Brasil é um dos maiores produtores de milho do mundo, fornecendo uma matéria-prima abundante para a produção de etanol e, consequentemente, de DCO. A vasta produção de milho assegura uma oferta contínua de grãos para as destilarias de etanol, gerando volumes significativos de DCO como subproduto.
Crescimento da Indústria de Etanol de Milho	A indústria de etanol de milho no Brasil está em expansão, com investimentos crescentes em novas plantas e tecnologias. Esse crescimento aumenta a produção de DCO, uma vez que o óleo é um subproduto do processo de destilação do etanol.
Infraestrutura Agroindustrial Desenvolvida	O Brasil possui uma infraestrutura agroindustrial bem desenvolvida, com uma rede robusta de usinas de etanol, instalações de armazenamento e logística de transporte. Essa infraestrutura facilita a produção, coleta e distribuição de DCO para as plantas de biodiesel.
Compromisso com Energias Renováveis	O Brasil tem um forte compromisso com energias renováveis e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Políticas governamentais e incentivos fiscais para biocombustíveis promovem o desenvolvimento e a utilização de biodiesel, incluindo o produzido a partir de DCO.
Tecnologia e Inovação	O país possui instituições de pesquisa e empresas inovadoras no setor de biotecnologia e bioenergia. Essas entidades estão desenvolvendo novas tecnologias para melhorar a eficiência da produção de biodiesel a partir de DCO, incluindo avanços em processos enzimáticos e biocatalíticos.
Mercado Interno e Exportações	O mercado interno brasileiro para biocombustíveis é grande e em crescimento, impulsionado por uma demanda crescente por fontes de energia sustentáveis. Além disso, o Brasil tem o potencial de exportar biodiesel de DCO para outros países, aproveitando seu posicionamento estratégico e acordos comerciais internacionais.
Recursos Naturais e Condições Climáticas Favoráveis	As condições climáticas favoráveis do Brasil permitem várias colheitas de milho por ano em muitas regiões, garantindo uma produção contínua de matéria-prima. Isso proporciona um fornecimento estável de milho para a produção de etanol e DCO.
Políticas de Incentivo e Subsídios	O governo brasileiro oferece diversos incentivos e subsídios para a produção de biocombustíveis, incluindo programas específicos como o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e o Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Biodiesel (PDPB), bem como a criação da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel (RBTB) para apoiar a produção de biodiesel. Esses incentivos podem incluir benefícios fiscais, financiamento a baixo custo e apoio à pesquisa e desenvolvimento.

Neste contexto, para maximizar os benefícios destacados na Tabela 1, minimizar os desafios elencados na Tabela 2 e potencializar a produção de DCO no Brasil, conforme aspectos apresentados na Tabela 3, o Centro de Pesquisa e Caracterização de Petróleo Bruto e Combustíveis (Coppecomb) e o Laboratório de Transporte de Cargas (LTC) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) estão desenvolvendo o “Estudo de Pré-Viabilidade Econômico-Financeira e Ambiental para o aumento da escala de produção de biodiesel a partir do óleo residual da produção de etanol de milho por meio da rota enzimática”. O estudo é dividido em 4 fases principais, sendo elas: (1) projeto piloto para aprimoramento da produção de biodiesel a partir de DCO; (2) Coleta, análise e tratamento de dados primários e secundários; (3) Estudo de pré-viabilidade econômico-

financeira e ambiental, para garantir a competitividade do DCO no mercado brasileiro; e (4) Comunicação dos resultados do estudo para todas as partes interessadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fundamental reconhecer que a produção de biodiesel a partir de *Distillers Corn Oil* (DCO) representa uma oportunidade significativa para o Brasil, alinhada com sua posição de liderança na produção de milho e etanol. Essa iniciativa não apenas contribui para a diversificação da matriz energética e a segurança energética nacional, mas também oferece benefícios ambientais ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover práticas sustentáveis na indústria de transportes. No entanto, enfrenta desafios significativos, como a necessidade de aprimorar a eficiência da conversão enzimática, garantir a qualidade e consistência do DCO, e integrar o biodiesel na infraestrutura de distribuição existente. Superar esses desafios exigirá colaboração entre governo, indústria e pesquisa, além de investimentos contínuos em tecnologia e inovação. Com políticas adequadas de incentivo e um ambiente favorável ao desenvolvimento de biocombustíveis, o Brasil está bem-posicionado para aproveitar plenamente o potencial do DCO e consolidar sua liderança global na produção sustentável de biodiesel.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil) pelo apoio financeiro por meio do processo 405875/2022-3, no projeto intitulado "Estudo da pré-viabilidade econômico-financeira e ambiental do aumento da escala de produção de biodiesel a partir de óleo residual da produção de etanol de milho via rota enzimática, Chamada CNPq/MCTI/FNDCT nº 18/2022".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acharya, N.; Nanda, P.; Panda, S.; Acharya, S. (2019) A comparative study of stability characteristics of mahua and jatropha biodiesel and their blends. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* 31:184–190. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2017.09.003>
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., Bonilla-Petriciolet, A., Prasad, S., van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2021). Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 290(April). DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112627
- De Abreu, V. H. S.; Da Costa, M. G.; De Assis, T. F.; Rocha, R. V.; de Paula, L. O. D., Laissone, A. M. D.; D'agosto, M. A. (2024). *Enzymatic Biodiesel Synthesis: Transforming Waste Oil into Renewable Energy. Recent Advances in Transportation Theory to Practice*.
- de Assis, T. F., Monteiro, T. G. M., de Abreu, V. H. S., D'Agosto, M. D. A., & Santos, A. S. (2022). Enabling the Green Bonds Market for Sustainable Transport Projects Based on the Measure/Monitoring, Reporting and Verification Method. In *Carbon Footprints of Manufacturing and Transportation Industries* (pp. 1-24). Singapore: Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-7226-3_1
- Khalaf, A. M., & Salih, N. Y. (2021). Study of enzymatic production of biodiesel using vegetable oils and commercial ethanol. *Eurasian Chem. Commun*, 3, 665-677. DOI: 10.22034/ecc.2021.294283.1200
- Luque, R., Lovett, J. C., Datta, B., Clancy, J., Campelo, J. M., & Romero, A. A. (2010). Biodiesel as feasible petrol fuel replacement: a multidisciplinary overview. *Energy & Environmental Science*, 3(11), 1706-1721. DOI: 10.1039/c0ee00085j
- Ministério de Minas e Energia. (2024). Brasil Biodiesel. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/biodiesel>.
- Moreira KS, Moura Júnior LS, Monteiro RRC, et al (2020) Optimization of the Production of Enzymatic Biodiesel from Residual Babassu Oil (*Orbignya* sp.) via RSM. *Catalysts* 10:414. DOI: 10.3390/catal10040414
- Pirner, C. S., Palmer, N. A., & Reizman, I. M. (2022). Techno-economic assessment of a bioprocess for long-chain dicarboxylic acid production from vegetable oils: a case study for distillers corn oil. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13.
- Sousa, I. R. B. G. de (2010) Produção de biodiesel etílico por via enzimática a partir de óleo de milho transgênico. Master Thesis, Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto
- Veljković, V. B., Biberdžić, M. O., Banković-Ilić, I. B., Djalović, I. G., Tasić, M. B., Nježić, Z. B., & Stamenković, O. S. (2018). Biodiesel production from corn oil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 531-548. DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.024
- Winkler-Moser, J. K., Hwang, H. S., Byars, J. A., Vaughn, S. F., Aurandt-Pilgrim, J., & Kern, O. (2023). Variations in phytochemical content and composition in distillers corn oil from 30 US ethanol plants. *Industrial Crops and Products*, 193, 116108. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.116108