

## TECNOLOGIA QUÍMICA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: DESENVOLVIMENTO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DO ÓLEO DE LINHAÇA (*LINUM USITATISSIMUM L.*)

Theo Álex Souza dos Santos<sup>1</sup>, Darisson Araujo Fernandes de Sousa<sup>2</sup>,  
Edna Andreina Ferreira Silva<sup>3</sup>, José Carlos Oliveira Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba, Cuité, Brasil  
(theo.alex@estudante.ufcg.edu.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, Brasil.

**Resumo:** A busca por fontes energéticas sustentáveis tem estimulado o uso de oleaginosas não convencionais na produção de biocombustíveis. Este trabalho avaliou a produção de biodiesel a partir do óleo de linhaça (*Linum usitatissimum L.*), através da transesterificação metílica e etílica, com ênfase na caracterização físico-química e na comparação com os padrões da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Foram analisados parâmetros como acidez, sabão, saponificação, peróxidos, densidade, cinzas, umidade, voláteis e viscosidade. Os resultados mostraram que o óleo apresentou valores incompatíveis para consumo humano, enquanto os biodieseis atenderam parcialmente às exigências, com destaque para o etílico, que apresentou menores valores de acidez, cinzas e umidade. Ainda assim, a densidade e o teor de cinzas permaneceram acima dos limites, evidenciando a necessidade de purificação. Conclui-se que o óleo de linhaça possui potencial como matéria-prima para biocombustíveis, desde que sejam aplicados ajustes tecnológicos para garantir conformidade e viabilidade comercial.

**Palavras-chave:** Biodiesel; óleo de linhaça; sustentabilidade energética.

### INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais e a urgência de mitigar as mudanças climáticas têm impulsionado a busca por fontes alternativas e renováveis de energia. Nesse contexto, os biocombustíveis têm ganhado destaque como soluções promissoras para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e mitigar a emissão de gases de efeito estufa (IEA, 2023). A escassez progressiva dos combustíveis fósseis, aliada à instabilidade no suprimento global e ao aumento dos preços do petróleo, reforça a necessidade de diversificar a matriz energética por meio de fontes sustentáveis e menos impactantes ao meio ambiente (Demirbas, 2008). A extração e o refino do petróleo, além de consumirem grandes quantidades de energia e água, estão frequentemente associados a acidentes ambientais, como vazamentos, contaminação de solos e poluição atmosférica por compostos voláteis (Santos et al., 2020).

O biodiesel surge, nesse panorama, como um produto versátil e ambientalmente favorável. Sua produção a partir de matérias-primas renováveis,

especialmente óleos vegetais, oferece vantagens como biodegradabilidade, baixa toxicidade e redução das emissões atmosféricas. Além disso, é compatível com os motores a diesel convencionais, podendo ser usado de forma pura ou em mistura com diesel fóssil (Ma; Hanna, 1999). O desenvolvimento de biocombustíveis também possibilita a descentralização da produção energética e o aproveitamento de cultivos adaptáveis às condições regionais, gerando benefícios econômicos e sociais.

Dentre os óleos vegetais promissores, o óleo de linhaça (*Linum usitatissimum*) tem se destacado devido à sua elevada concentração de ácidos graxos poli-insaturados, especialmente o ácido  $\alpha$ -linolênico, o que favorece sua conversão em ésteres metílicos por meio da transesterificação (Knothe, 2010; Lotero et al., 2005). Além das propriedades químicas favoráveis, a linhaça é uma cultura adaptável a diferentes regiões e requer menor uso de fertilizantes e pesticidas em comparação a outras oleaginosas, o que reforça sua viabilidade econômica e ambiental (Sharma et al., 2020). Estudos recentes confirmam que o óleo de linhaça apresenta boa estabilidade oxidativa, sendo comparável a óleos já utilizados na



produção de biodiesel (Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2023).

Ainda que o potencial do óleo de linhaça como matéria-prima para biocombustível já seja conhecido, alguns desafios técnicos precisam ser superados para sua adoção em larga escala. Sua alta viscosidade inicial e a instabilidade oxidativa, por exemplo, demandam ajustes nas condições de reação e o uso de catalisadores mais eficientes ou aditivos antioxidantes, a fim de garantir a qualidade e a durabilidade do produto final (Gui et al., 2008; Yücesu et al., 2020; Atabani et al., 2013). Nesse sentido, avanços tecnológicos como o uso de catálise heterogênea, lipases e aquecimento por micro-ondas têm sido investigados, com resultados promissores na redução do tempo de reação e geração de resíduos (Abdullah et al., 2021).

No Brasil, a promulgação da Lei nº 11.097/2005, que instituiu o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), foi um marco para o setor, promovendo a pesquisa com oleaginosas alternativas e incentivando a inclusão da agricultura familiar na cadeia produtiva (Brasil, 2005). A Embrapa Agroenergia, em parceria com a Finep, tem liderado projetos voltados ao desenvolvimento de culturas como macaúba, pinhão-mansão, dendê, babaçu, inajá e tucumã, com o objetivo de ampliar o portfólio nacional de oleaginosas e reduzir a predominância da soja, que ainda representa cerca de 70–75 % da matéria-prima utilizada para biodiesel (Laviola apud Embrapa, 2025).

Embora ainda pouco difundido no país, o óleo de linhaça reúne características promissoras para sua inserção na matriz de biocombustíveis e lubrificantes renováveis. Seus desafios tecnológicos, como a estabilidade oxidativa limitada e a viscosidade relativamente alta, podem ser superados por meio de ajustes nas condições reacionais, uso de catalisadores adequados e aditivos antioxidantes (Gui et al., 2008; Atabani et al., 2013). Além disso, sua adaptabilidade a diferentes climas e a baixa exigência de insumos reforçam seu potencial como cultura viável para sistemas de agricultura familiar. Outro aspecto relevante é o aproveitamento integral da biomassa da linhaça. O farelo residual, rico em proteínas e lignanas, pode ser valorizado em sistemas de biorrefinaria para a produção de biochar, biogás, bioadsorventes e até ração animal e bioplásticos (Jain et al., 2019; El-Baz et al., 2022). Essa abordagem multiproduto amplia a sustentabilidade econômica e ambiental do cultivo, agregando valor a cadeias produtivas locais e reduzindo desperdícios.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar o processo de produção de biodiesel a partir do óleo de linhaça, com foco na eficiência da reação de

transesterificação, nas propriedades físico-químicas do produto final e na comparação com os padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente, como os da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Além disso, pretende-se discutir o potencial do óleo de linhaça não apenas como combustível, mas como insumo para formulação de lubrificantes biodegradáveis, contribuindo para a diversificação energética e a valorização de culturas agrícolas sustentáveis.

## MATERIAL E MÉTODOS

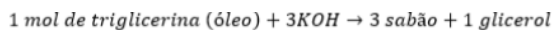
O óleo de linhaça refinado, produzido por uma indústria brasileira, foi adquirido no comércio local. Por se tratar de um óleo refinado, não necessitou de tratamento prévio antes das reações às quais foi submetido. A pesquisa laboratorial foi conduzida por três alunos bolsistas do Programa de Educação Tutorial de Química (PET-Química), sob a orientação do tutor do programa, nas instalações do Laboratório de Química Ambiental e Biocombustíveis. Os reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram preparados conforme as normas analíticas específicas, a partir de reagentes de grau PA.

Para a obtenção do biodiesel, foi realizado o processo de transesterificação. Inicialmente, determinou-se a massa molar média do óleo de linhaça a partir do seu índice de saponificação. Para isso, uma amostra de 1,0 g do óleo foi pesada e transferida para um erlenmeyer de 250 mL, ao qual foram adicionados 25 mL de solução de potassa alcoólica. O sistema foi acoplado a um condensador de bolas e aquecido suavemente por 1 hora, com o objetivo de promover a completa saponificação do óleo. Após o resfriamento, foram adicionadas algumas gotas de fenolftaleína à mistura, que foi titulada com solução de HCl 0,5M até o desaparecimento da coloração rosada. Paralelamente, realizou-se um ensaio branco, repetindo o mesmo procedimento, porém sem a presença da amostra de óleo, com o intuito de corrigir possíveis interferências. O índice de saponificação foi determinado com base na equação específica, levando-se em consideração os volumes de ácido consumidos na titulação da amostra e do branco. O índice de saponificação foi então calculado por meio da equação:

$$\text{Índice de Saponificação} = (B - A) \cdot N \cdot 56,1 / W$$

onde: A: volume da solução de HCl 0,5M utilizando na titulação da amostra (mL); B: volume da solução de HCl 0,5 M utilizando na titulação do branco (mL);

N: normalidade da solução de HCl; W: massa da amostra (g). A partir do índice de saponificação, pode-se calcular a massa molar do óleo:



$$X \text{ ————— } 3 \cdot (56,1 \text{ g/mol}^{-1})$$

$$1 \text{ g ————— Índice de Saponificação}$$

Com base na massa molar média do óleo de linhaça, calcularam-se as quantidades de álcool (metanol ou etanol) e catalisador (KOH) para a transesterificação, utilizando uma razão molar óleo/álcool de 1:6 e 0,7% de KOH em relação à massa do óleo. A reação foi realizada a 45 °C por 1 hora, temperatura escolhida para evitar a evaporação do álcool e a saponificação prematura dos triglicerídeos.

**Figura 1:** Processo de Transesterificação dos Biodiesel Etílico.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

Após a reação, a mistura foi transferida para um funil de separação para a decantação das fases. A fase superior, contendo os ésteres etílico (biodiesel), foi separada da fase inferior, composta por glicerol, sabões, excesso de álcool e base. A fase inferior foi descartada, e a superior, purificada.

**Figura 2:** Processo de decantação do biodiesel etílico do óleo de linhaça.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

Em seguida, foi realizada a lavagem do éster etílico (biodiesel de óleo de linhaça) com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01 M.

Foram efetuadas três lavagens com água destilada e duas lavagens com a solução de HCl 0,01 M. Para verificar a eficiência da lavagem ácida, utilizou-se fenolftaleína como indicador. Após as lavagens, adicionou-se sulfato de magnésio anidro com o objetivo de remover a água residual presente no éster.

**Figura 3:** Processo de lavagem do biodiesel etílico do óleo de linhaça.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

O mesmo processo foi realizado para a transesterificação do biodiesel pela rota metílica, conforme Figuras 4, 5 e 6.

**Figura 4:** Processo de Transesterificação dos Biodiesel Metílico.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

**Figura 5:** Processo de decantação do biodiesel Metílico do óleo de linhaça.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

Figura 6: Processo de lavagem do biodiesel Metílico do óleo de linhaça.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

Para a determinação do índice de acidez, foi utilizado um erlenmeyer de 250 mL, no qual foram pesados 5 g da amostra e adicionados 30 mL de uma mistura de solventes previamente neutralizada (15 mL de tolueno + 15 mL de álcool isopropílico). A fim de facilitar a dissolução da amostra, a mistura foi levemente aquecida. Em seguida, adicionaram-se 2 a 3 gotas de indicador fenolftaleína, e a solução foi titulada com KOH 0,1 N até o aparecimento de uma coloração rosa persistente por, no mínimo, 30 segundos. O mesmo procedimento foi realizado sem a amostra, com o objetivo de determinar o valor do branco. O índice de acidez foi calculado com base na equação correspondente:

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{(A - B) * N * 56,1}{W}$$

onde A: volume da solução de KOH 0,1N utilizado na titulação da amostra (mL); B: volume da solução de KOH 0,1N utilizado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de KOH; W: massa da amostra (g).

Na determinação do teor de sabão, em um erlenmeyer de 250 mL, foram pesados 5 g da amostra, adicionados 0,25 mL de água deionizada e a mistura foi agitada vigorosamente. Paralelamente, preparou-se uma solução contendo 0,1 g do indicador bromofenol em 50 mL de acetona previamente neutralizada. Em seguida, foram adicionados ao erlenmeyer 50 mL dessa solução recém-preparada. Na presença de sabões, observou-se a formação de duas fases, sendo a superior caracterizada por uma coloração verde-azulada. A mistura foi então titulada com solução padronizada de HCl 0,01 N até a mudança da coloração para o amarelo. O mesmo procedimento foi realizado sem a presença da amostra, a fim de determinar o valor do branco. O teor de sabão foi calculado por meio da equação correspondente:

$$\text{Teor de Sabão} = \frac{(A - B) * N * 304,4}{W}$$

onde: A: volume da solução de HCl utilizado na titulação da amostra (mL); B: volume da solução de HCl utilizado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de HCl; W: massa da amostra (g).

Para a determinação do índice de peróxido, em um erlenmeyer com tampa esmerilhada de 250 mL, foram pesados 3 g da amostra e adicionados 30 mL de uma solução de ácido acético e clorofórmio na proporção 3:2 (v/v), com leve agitação para homogeneização. Em seguida, foram adicionados 0,5 mL de solução de amido a 1% como indicador. A mistura foi titulada com solução de tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,01 N, sob agitação constante, até o desaparecimento completo da coloração azul. O índice de peróxido foi calculado por meio da equação apropriada:

$$\text{Índice de Peróxido} = (A - B) \cdot N / W$$

Em seguida, foi determinada a densidade relativa da amostra. Para isso, utilizou-se um picnômetro de 25 mL previamente limpo, seco e pesado. Inicialmente, o picnômetro foi preenchido com aproximadamente 25 mL de água destilada e novamente pesado. Em seguida, o mesmo procedimento foi realizado com a amostra, preenchendo o picnômetro com aproximadamente 25 mL do material e registrando sua massa. A densidade relativa foi calculada com base na expressão apropriada, utilizando as massas obtidas com água e com a amostra:

$$d_x = \frac{m_x}{m_{\text{água}}}$$

Onde:  $d_x$ : densidade relativa da amostra;  $m_x$ : massa da amostra (g);  $m_{\text{água}}$ : massa da água (g).

No mesmo dia, foi determinado o teor de cinzas com o auxílio de uma estufa a  $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ . Inicialmente, uma cápsula de porcelana foi seca na estufa por 1 hora e, em seguida, transferida para um dessecador para resfriamento. Após atingir a temperatura ambiente, a cápsula foi pesada e, posteriormente, foram adicionados aproximadamente 6 g da amostra. A cápsula contendo a amostra foi levada à mufla, onde permaneceu a  $550^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  por



um período de 4 horas. Após esse tempo, a cápsula foi novamente colocada no dessecador para resfriamento e, em seguida, pesada. O teor de cinzas foi calculado com base na diferença de massa, utilizando a equação apropriada:

$$\%Cinzas = \left[ \frac{(C - B)}{A} \right] * 100$$

onde: A= massa da amostra; B= cápsula de porcelana + amostra após mufla; C= cápsula de porcelana + amostra antes da mufla.

O teor de umidade e voláteis foi realizado com o auxílio de uma estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , uma placa de Petri foi seca por 1 hora. Em seguida, foi transferida para um dessecador para resfriamento. Após atingir a temperatura ambiente, a placa vazia foi pesada, e cerca de 6 g da amostra foram adicionados. A placa contendo a amostra foi levada novamente à estufa, mantida a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por mais 1 hora. Após esse período, foi colocada no dessecador até resfriar completamente e, então, pesada novamente. O teor de umidade e compostos voláteis foi calculado com base na diferença de massa, utilizando a equação apropriada:

$$\%Umidade \text{ e Voláteis} = \left[ \frac{(C - B)}{A} \right] * 100$$

onde A= massa da amostra; B= Placa + amostra após estufa; C= Placa + amostra antes da estufa.

Para a determinação da viscosidade cinemática, utilizou-se um viscosímetro digital da marca Marte, modelo MUD-8 (Figura 7). O equipamento dispõe de quatro rotores com diâmetros distintos, sendo utilizado o rotor nº 1, adequado para o óleo de linhaça e os biocombustíveis. Essa viscosidade foi determinada a  $40^{\circ}\text{C}$ , sendo o aquecimento da amostra foi realizado com o auxílio de uma chapa de aquecimento, enquanto a temperatura foi monitorada por um sensor acoplado ao equipamento. A viscosidade dinâmica foi determinada fazendo a relação entre a viscosidade cinemática e a densidade das amostras.

**Figura 7:** Processo de determinação da viscosidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do índice de acidez consiste na medição dos ácidos graxos livres em uma determinada amostra, e expressa-se em miligramas de KOH necessários para neutralizar 1g de produto. Esta análise torna-se importante pois a partir dela é possível determinar a qualidade e o estado de conservação do produto, servindo como importante indicador de possíveis degradações ocorridas durante o processamento ou armazenamento (Machado *et al.*, 2006). Os resultados demonstrados na Tabela 1 mostram que o óleo analisado apresentou índice de acidez de 2,123 mg KOH/g, valor que excedeu significativamente o limite estabelecido pela Anvisa ( $\leq 0,6$  mg KOH/g), indicando degradação avançada provavelmente decorrente de oxidação, armazenamento inadequado ou matéria-prima de baixa qualidade, tornando-o impróprio para consumo humano. Em contraste, tanto o biodiesel metílico (0,244 mg KOH/g) quanto o etílico (0,112 mg KOH/g) atenderam aos padrões da ANP ( $\leq 0,5$  mg KOH/g), com o biodiesel etílico apresentando desempenho superior, possivelmente em função das propriedades do etanol utilizado no processo de transesterificação, que resultou em menor teor de ácidos graxos livres e maior estabilidade do produto final.

**Tabela 1** - Índice de Acidez do óleo de linhaça e dos Biodiesel Metílico e Etilico.

| Amostras | Índice de Acidez (mg KOH/g óleo) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|----------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo     | 2,123                            | $\leq 0,6$                       | —                        |

|                    |       |   |       |
|--------------------|-------|---|-------|
| Biodiesel Metílico | 0,244 | — | ≤ 0,5 |
| Biodiesel Etílico  | 0,112 | — | ≤ 0,5 |

Fonte: Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

A análise do teor de sabão em óleos e biodiesel mede a quantidade de sais de ácidos graxos, indicando a presença de ácidos graxos livres que podem interferir na transesterificação. Esta análise é vital para garantir a qualidade do biodiesel, otimizar o processo de produção e assegurar conformidade com normas regulatórias.

**Tabela 2** - Teor de Sabão do óleo de linhaça e dos Biodiesel Metílico e Etílico.

| Amostras           | Teor de Sabão (ppm de oleato de sódio) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|----------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 0,304                                  | ≤ 10                             | —                        |
| Biodiesel Metílico | 0,304                                  | —                                | —                        |
| Biodiesel Etílico  | 1,278                                  | —                                | —                        |

Fonte: Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

Ao analisar o teor de sabão presente nas amostras dos biodieséis e a do óleo, nota-se que a oleaginosa se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANVISA, por outro lado, não se há um parâmetro descrito pela ANP que aborda a respeito das amostras de biodiesel. Porém, ao se comparar com outras bibliografias que exaltam outras espécies de óleos, como o de *Ricinus communis* L. descrito por Ramos (2021) que detalham a respeito da sua oleaginosa e o biodiesel metílico, é possível notar que a amostra metílica teve como resultado em torno de 0,184ppm, e ao se comparar com a linhaça tem um grande aumento no teor de sabão da amostra. Os autores não destacam a respeito da amostra do biodiesel etílico, porém é notório o resultado chegando a 1,278 ppm, isso pode ter se dado no processo de purificação da amostra, ou seja, traços do catalisador que podem ter interferido na pureza da amostra.

O índice de Saponificação indica a quantidade de hidróxido de potássio (KOH) necessária para saponificar os ésteres presentes no óleo ou biodiesel, sendo um parâmetro importante para determinar a pureza e a viabilidade desses produtos.

**Tabela 3** - Índice de Saponificação do óleo de Linhaça e dos Biodiesel Metílico e Etílico.

| Amostras           | Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 5,61                                    | 189 - 195                        | —                        |
| Biodiesel Metílico | 2,80                                    | —                                | —                        |
| Biodiesel Etílico  | 14,02                                   | —                                | —                        |

Fonte: Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

No caso do óleo analisado, o valor de 5,61 mg KOH/g óleo está significativamente abaixo dos padrões da Anvisa (189 - 195 mg KOH/g óleo), o que sugere uma possível adulteração ou a presença de contaminantes que reduziram a quantidade de ésteres disponíveis para saponificação. Esse desvio pode comprometer a qualidade do óleo e sua adequação para uso em processos industriais ou alimentícios. O biodiesel metílico apresentou um valor de 2,80 mg KOH/g óleo, enquanto o biodiesel etílico registrou 14,02 mg KOH/g óleo. A ausência de padrões específicos para biodiesel nessa tabela dificulta uma comparação direta, mas a diferença entre os dois tipos de biodiesel pode estar relacionada às características dos álcoois utilizados em sua produção. O etanol, por exemplo, pode levar a uma maior formação de ésteres, resultando em um índice de saponificação mais elevado. Comparando com a literatura, diversos estudos destacam a importância do índice de saponificação na avaliação da qualidade de óleos e biodiesel e segundo a mesma, valores de índice de saponificação muito baixos podem indicar a presença de impurezas ou a degradação do material, o que está alinhado com os achados da análise do óleo.

O índice de peróxido indica a oxidação dos óleos vegetais, e isso acaba afetando a qualidade e a estabilidade do combustível. Segundo Jorge (2009), a determinação desse índice ajuda a garantir que o biodiesel atenda aos padrões de qualidade, prevenindo problemas de desempenho e segurança. Esta análise se torna crucial pois fornece informações sobre a oxidação dos óleos vegetais utilizados como matéria-prima. A presença de peróxidos indica a degradação do óleo, o que pode comprometer a qualidade e a estabilidade do biodiesel, resultando em problemas de desempenho nos motores e na segurança do combustível.

**Tabela 4** - Índice de Peróxido do óleo de linhaça e dos biodieséis metílico e etílico.

| Amostras           | Índice de Peróxido (meq/Kg) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 0,064                       | 0,169                            | —                        |
| Biodiesel Metílico | 0,082                       | —                                | —                        |
| Biodiesel Etílico  | 0,077                       | —                                | —                        |

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

Os resultados da Tabela 4 mostram que os índices de peróxido do óleo estão abaixo do padrão estabelecido pela Anvisa para o óleo (0,169 meq/Kg), indicando baixa oxidação e boa qualidade do produto. O biodiesel metílico tem oxidação ligeiramente maior que o etílico e o óleo. Isso indica que o éster metílico pode deteriorar-se mais rápido, enquanto o óleo parece ser o mais estável. Como não há padrões regulatórios para os biodiesel, a análise limita-se a essa comparação entre as amostras, em contraponto, ao se comparar com outras bibliografias como a de Oliveira (2024), cuja análise era voltada para biodiesel a partir do óleo de canola, nota-se que os valores destacados pela autora estão muito baixos indicando uma boa matéria prima, e ao se comparar com o biodiesel da linhaça é possível ver um grande aumento dos valores em relação a oleaginosa, entretanto ambas estão com o índice de peróxido aceitáveis para a produção do biodiesel.

**Tabela 5** - Densidade do óleo de linhaça e dos biodieseis obtidos.

| Amostras           | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 0,960                          | 0,915 - 0,925                    | —                        |
| Biodiesel Metílico | 0,938                          | —                                | 0,850-0,900              |
| Biodiesel Etílico  | 0,940                          | —                                | 0,850-0,900              |

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

Os valores de densidade obtidos para o óleo de linhaça (0,960 g/cm<sup>3</sup>) e para os biodieseis metílico (0,938 g/cm<sup>3</sup>) e etílico (0,940 g/cm<sup>3</sup>) apresentam-se superiores aos limites estabelecidos pela ANP (0,850 – 0,900 g/cm<sup>3</sup>). Isso sugere que os biocombustíveis produzidos ainda contêm impurezas ou compostos residuais que podem aumentar a densidade, como triglicerídeos não convertidos ou excesso de glicerol. Já em relação ao óleo, a densidade também se

mostrou acima da faixa indicada pela Anvisa (0,915 – 0,925 g/cm<sup>3</sup>), o que pode estar relacionado à sua composição característica rica em ácidos graxos insaturados, sobretudo o ácido linolênico, típico do óleo de linhaça.

**Tabela 6** - Teor de cinzas do óleo de linhaça e dos biodieseis obtidos.

| Amostras           | Cinzas (%) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 0,083      | —                                | —                        |
| Biodiesel Metílico | 0,168      | —                                | 0,02                     |
| Biodiesel Etílico  | 0,023      | —                                | 0,02                     |

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

O teor de cinzas foi de 0,083% para o óleo, 0,168% para o biodiesel metílico e 0,032% para o biodiesel etílico. De acordo com a ANP, o valor máximo permitido é 0,02%, de forma que todas as amostras ultrapassaram o limite regulamentar. Esse resultado evidencia a presença de resíduos inorgânicos, provenientes tanto da matéria-prima quanto do processo de síntese (catalisadores e sais). O biodiesel metílico apresentou o maior teor de cinzas, sugerindo maior retenção de impurezas durante o processo, enquanto o etílico se mostrou mais próximo ao padrão, mas ainda em desacordo.

**Tabela 7** - Umidade e compostos voláteis do óleo de linhaça e dos biodieseis obtidos.

| Amostras           | Umidade e Voláteis (%) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 0,334                  | ≤ 0,1                            | —                        |
| Biodiesel Metílico | 0,329                  | —                                | 0,02                     |
| Biodiesel Etílico  | 0,037                  | —                                | 0,02                     |

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

Os valores de umidade e voláteis foram de 0,334% para o óleo, 0,329% para o biodiesel metílico e 0,037% para o biodiesel etílico. A ANP estabelece limite máximo de 0,02%, sendo assim, somente o biodiesel etílico apresentou resultado mais próximo do aceitável, embora ainda acima do permitido. A elevada presença de umidade nas demais amostras podem estar associada à secagem insuficiente ou à absorção de água pelo caráter higroscópico dos

ésteres. Esse fator é crítico, pois o excesso de água compromete a estabilidade oxidativa e pode favorecer processos de hidrólise e formação de ácidos graxos livres.

**Tabela 8** - Viscosidade Dinâmica do óleo de linhaça e dos biodieseis metílico e etílico.

| Amostras           | Viscosidade Dinâmica (mm <sup>2</sup> /s) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 61,0                                      | —                                | —                        |
| Biodiesel Metílico | 5,80                                      | —                                | 3,0–6,0                  |
| Biodiesel Etilico  | 6,01                                      | —                                | 3,0–6,0;                 |

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

A viscosidade dinâmica é uma propriedade fundamental dos fluidos que mede sua resistência ao escoamento, refletindo o atrito interno entre as moléculas do líquido quando ele é submetido a uma força. No caso de combustíveis como óleos e biodiesel, essa característica tem grande importância prática porque influencia diretamente o desempenho do motor, a qualidade da combustão e a vida útil do sistema de alimentação de combustível. Valores muito altos de viscosidade, como os do óleo comum, tornam o fluido muito espesso, dificultando sua pulverização dos bicos injetores e prejudicando a eficiência da queima, Abreu (2011). Por outro lado, viscosidades excessivamente baixas podem comprometer a lubrificação das bombas de combustível, causando vazamentos e desgaste prematuro.

A Tabela 8, Mostra as viscosidades das seguintes amostras, de acordo com os resultados, a viscosidade do óleo de linhaça se mostrou num padrão muito elevado, porém não há padrões estabelecidos pela ANVISA do mesmo, mas ao se comparar com as amostras de outros óleos como o óleo de milho descrito por Silva (2024), nota-se uma grande diferença entre as espécies, tendo a viscosidade do óleo de milho em 33,64 ppm, podendo indicar que a oleaginosa de linhaça seja mais espessa do que a de milho. Partindo para os Biodiesel, os padrões estabelecidos pela ANP, que definem a faixa ideal de viscosidade para biodiesel entre 3,0 e 6,0 mm<sup>2</sup>/s, garantem que o combustível tenha um equilíbrio adequado entre fluidez e capacidade lubrificante. Tanto o biodiesel metílico (5,80 mm<sup>2</sup>/s) quanto o etílico (6,01 mm<sup>2</sup>/s) atendem a essa especificação, indicando que são adequados para uso em motores diesel sem modificações.

**Tabela 9** - Índice de Iodo do óleo de linhaça e dos biodieseis metílico e etílico.

| Amostras           | Índice de Iodo (g I <sub>2</sub> /100g óleo) | Padrões da Anvisa <sup>1,2</sup> | Padrões ANP <sup>1</sup> |
|--------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Óleo               | 20,16                                        | ≤ 0,1                            | —                        |
| Biodiesel Metílico | 6,3                                          | —                                | ≤ 0,5                    |
| Biodiesel Etilico  | 46,52                                        | —                                | ≤ 0,5                    |

**Fonte:** Dados da Pesquisa, 2025; <sup>1</sup>BRASIL, 2021; <sup>2</sup>BRASIL, 2006; <sup>3</sup>BRASIL, 2014.

O índice de iodo (g I<sub>2</sub>/100 g de amostra) representa uma medida do grau de insaturação dos compostos presentes em óleos e biodieseis, indicando a quantidade de ligações duplas entre átomos de carbono nas cadeias dos ácidos graxos. Quanto maior esse índice, maior é o número de insaturações, o que influencia diretamente a estabilidade oxidativa e o comportamento de combustão do biocombustível.

O óleo de linhaça apresentou um índice de iodo de 20,16 g I<sub>2</sub>/100 g, valor típico de um óleo com elevado teor de ácidos graxos insaturados, como o linolênico (C18:3) e o linoleico (C18:2). Essa alta insaturação, embora torne o óleo mais suscetível à oxidação e reduza sua estabilidade durante o armazenamento, favorece o processo de transesterificação, facilitando a formação dos ésteres metílicos e etílicos.

O biodiesel metílico, por sua vez, apresentou um índice de iodo de 6,3 g I<sub>2</sub>/100 g, evidenciando uma redução significativa da insaturação em relação ao óleo original. Esse decréscimo indica que o processo de transesterificação promoveu a conversão dos triglicerídeos em ésteres metílicos menos reativos, resultando em um produto mais estável à oxidação. O valor obtido aproxima-se do limite estabelecido pela ANP (≤ 0,5 g I<sub>2</sub>/100 g), demonstrando que o biodiesel metílico tende a apresentar maior estabilidade, embora possua menor flexibilidade a baixas temperaturas.

Já o biodiesel etílico apresentou um índice de iodo de 46,52 g I<sub>2</sub>/100 g, indicando um nível mais elevado de insaturação quando comparado ao biodiesel metílico. Esse resultado sugere que o processo de transesterificação etílica pode preservar um maior número de duplas ligações ou apresentar menor conversão de compostos insaturados, devido a diferenças na polaridade e cinética de reação entre o etanol e o metanol. Apesar de o valor ultrapassar o limite estabelecido pela ANP, o biodiesel etílico tende a apresentar melhor fluidez e viscosidade em





baixas temperaturas, embora possua menor estabilidade oxidativa.

## CONCLUSÃO

A produção de biodiesel a partir do óleo de linhaça demonstrou-se tecnicamente viável, resultando em ésteres metílicos e etílicos que, em sua maioria, atenderam aos requisitos da ANP. O biodiesel etílico apresentou desempenho superior nos parâmetros de acidez, umidade e teor de cinzas em comparação ao metílico. No entanto, a densidade e o teor de cinzas permaneceram acima dos limites regulamentares, indicando a necessidade de melhorias no processo, sobretudo nas etapas de purificação. Embora o óleo de linhaça tenha apresentado valores fora dos padrões de consumo humano, revelou potencial significativo como insumo renovável para biocombustíveis. Sua elevada concentração de ácidos graxos insaturados favorece a transesterificação e possibilita aplicações em produtos de maior valor agregado. Assim, a utilização da linhaça pode contribuir para a diversificação da matriz energética e para o avanço de tecnologias mais limpas e sustentáveis. Contudo, são necessários ajustes nas condições de reação e no tratamento das amostras a fim de assegurar conformidade normativa e viabilidade comercial do produto final.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao grupo PET-Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, do Centro de Educação e Saúde- CES, juntamente com o apoio financeiro da FNDE.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, B. *et al.* Catalytic technologies for biodiesel production: conventional and green methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 146, p. 111180, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111180>.

AL-MADHAGY, S. F. *et al.* Linseed oil-based biodegradable lubricants: formulation and performance assessment. *Industrial Crops and Products*, v. 199, p. 116624, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116624>.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014*. Estabelece especificações para o biodiesel.

Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/combustiveis/biodiesel>.

ABREU, Fernando Luiz Barbuda de *et al.* Avaliação da viscosidade dinâmica de biodiesel–rota etílica–e outros óleos utilizando-se duas abordagens. 2011.

ATABANI, Abdelaziz Emad *et al.* Non-edible vegetable oils: a critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 18, p. 211-245, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>.

BALAT, Mustafa. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production—A review of current work. *Energy conversion and management*, v. 52, n. 2, p. 1479-1492, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.005>.

BERCHMANS, Hanny Johanes; HIRATA, Shizuko. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 99, p. 1716–1721, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407003070>.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Institui o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm).

COORDENAÇÃO-GERAL DO PNPB – Ministério de Minas e Energia / Embrapa Agroenergia. *Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB)*. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/pnpb>. Acesso em: 27 jul. 2025.

DEMIRBAS, Ayhan. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy conversion and management*, v. 49, n. 8, p. 2106-2116, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>.

DI LENA, Gabriella; SANCHEZ DEL PULGAR, Jose; LUCARINI, Massimo; DURAZZO, Alessandra; ONDREJČKOVÁ, Petra; OANCEA, Florin; FRINCUI, Rodica-Mihaela; AGUZZI, Altero; FERRARI NICOLI, Stefano; CASINI, Irene; GABRIELLI, Paolo; CAPRONI, Roberto; ČERVENÝ, Igor; LOMBARDI-BOCCIA, Ginevra. Valorization



potentials of rapeseed meal in a biorefinery perspective: focus on nutritional and bioactive components. *Molecules*, Basel, v. 26, n. 21, p. 6787, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/22/6787>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Embrapa Agroenergia lidera pesquisas com novas oleaginosas para o biodiesel*. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroenergia>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Renewables 2023 – Analysis and Forecast to 2028*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>.

JAIN, Surbhi; SHARMA, Mahendra; TIWARI, Poonam. Biorefining of linseed oil and meal: a sustainable approach for high-value products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 109, p. 115–129, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119302217?via%3Dihub>.

JORGE, Neuza. Química e tecnologia de óleos vegetais. *São Paulo: Cultura Acadêmica*, v. 1, p. 165, 2009.

KNOTHE, Gerhard. Biodiesel and renewable diesel: a comparison. *Progress in energy and combustion science*, v. 36, n. 3, p. 364–373, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2009.11.004>.

LOTERO, Edgar *et al.* Synthesis of biodiesel via acid catalysis. *Industrial & engineering chemistry research*, v. 44, n. 14, p. 5353–5363, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ie049157g>.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química nova*, v. 32, p. 1596–1608, 2009.

MA, Fangrui; HANNA, Milford A. Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, v. 70, n. 1, p. 1–15, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5).

MACHADO, Getúlio Costa; CHAVES, José Benício Paes; ANTONIASSI, Rosemar. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu/physical and chemical characterization and fatty acid composition of babassu oil. *revista Ceres*, v. 53, n. 308, 2006.

OLIVEIRA, Camila Raquel Santos de et al. Obtenção e caracterização de lubrificantes biodegradáveis pela epoxidação do óleo de canola (*Brassica napus*). 2024.

RAMOS, Julia Daniela Ferreira; FARIAS, Higor Henrique; SANTOS, José Carlos Oliveira. Síntese de biocombustíveis por transesterificação metílica do óleo de mamona. *Anais do IV CONEPETRO E VI WEPETRO... Campina Grande: Realize Editora*, 2021.

SANTOS, Andressa Cristina dos; ANTONELI, Valdecir; SANTOS, Débora Aparecida dos. Impactos ambientais da produção de petróleo: uma revisão. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 556–574, 2020. Disponível em: <https://revistas.uninter.com/gestaoambiental/article/view/2485>.

SHARMA, Rakesh; SHARMA, Vishal; RAMANJANEYULU, A. V.; GUPTA, Pankaj; CHAUHAN, R. S. Agronomic and quality traits of linseed: a global overview. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 145, p. 111984, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111984>.

SILVA, Fernando Alves da; SANTOS, José Carlos Oliveira; Desenvolvimento e caracterização de lubrificantes biodegradáveis a partir do óleo de milho. 2024..

YÜCESU, H. S.; TÜRKCAN, A.; AKSOY, F. Oxidation stability of biodiesels produced from various feedstocks: a review. *Renewable Energy*, v. 160, p. 1118–1130, 2020. Disponível em: [10.1002/bee.2306](https://doi.org/10.1002/bee.2306).

ZHANG, Y.; LI, N.; WEI, Z.; DAI, B.; HAN, S. Evaluation of oxidative stability and cold flow properties of biodiesel derived from linseed oil. *Fuel*, v. 290, p. 120019, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120019>.

ZHANG, Y.; LI, N.; WEI, Z.; DAI, B.; HAN, S. Recent advances in biodiesel production from linseed oil: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 167, p. 112734, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112734>.