



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE BIOLOGIA E QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**CAMILA RAQUEL SANTOS DE OLIVEIRA**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE LUBRIFICANTES BIODEGRADÁVEIS**  
**PELA EPOXIDAÇÃO DO ÓLEO DE CANOLA (*Brassica napus*)**

**CUITÉ – PB**

**2024**

CAMILA RAQUEL SANTOS DE OLIVEIRA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE LUBRIFICANTES BIODEGRADÁVEIS  
PELA EPOXIDAÇÃO DO ÓLEO DE CANOLA (*Brassica napus*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Licenciatura em Química da Universidade  
Federal de Campina Grande, como requisito para a  
obtenção do grau de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos

**CUITÉ – PB**

**2024**

O48o Oliveira, Camila Raquel Santos de.

Obtenção e caracterização de lubrificantes biodegradáveis pela epoxidação do óleo de canola (*Brassica napus*). / Camila Raquel Santos de Oliveira. - Cuité, 2024.  
60 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos".

Referências.

1. Bioprocessos. 2. Meio ambiente. 3. Óleo de canola. 4. Biolubrificantes. 5. Sustentabilidade. 6. Síntese. 7. *Brassica napus*. 8. Centro de Educação e Saúde. I. Santos, José Carlos Oliveira. II. Título.

CDU 604(043)

CAMILA RAQUEL SANTOS DE OLIVEIRA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE  
LUBRIFICANTESBIODEGRADÁVEIS PELA EPOXIDAÇÃO DO ÓLEO DE  
CANOLA (*Brassica napus*).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Campina Grande, para a obtenção do grau de Licenciado em Química.

Aprovado em 14 de outubro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **JOSE CARLOS OLIVEIRA SANTOS**  
Data: 28/10/2024 10:48:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos (Orientador) UFCG/CES/UABQ

Documento assinado digitalmente  
 **JOANA MARIA DE FARIAS BARROS**  
Data: 28/10/2024 11:42:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Joana Maria de Farias Barros (Examinadora) UFCG/CES/UABQ

Documento assinado digitalmente  
 **MARCIANO HENRIQUE DE LUCENA NETO**  
Data: 28/10/2024 17:08:11-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.Dr. Marciano Henrique de Lucena Neto (Examinador) UFCG/CES/UABQ

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças e inspiração, por se mostrar presente em todos os momentos da minha vida, me ajudando a superar as dificuldades, me orientando e por me permitir continuar a jornada da realização dos meus sonhos.

Aos meus pais, Gerlânia Santos e Genilson Sabino de Oliveira, por todo amor, cuidado e dedicação proporcionada ao longo de toda minha vida e por sempre me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos. Obrigada por tudo, mãe e pai! Dedico a vocês essa vitória!

Aos meus irmãos, em especial, a minhas irmãs Genilsa Kerolaine Santos de Oliveira, Cláudia Germana Santos de oliveira e Leonora Katarina Santos, pela presença e apoio ao longo dessa trajetória. A vocês toda minha gratidão!

Agradeço a todos os meus familiares, primos, avós, tias, pelos valores ensinados e todo amor concedido que me foi dado. Deixo aqui minha gratidão por tudo o que fizeram e fazem por mim.

Agradeço aos meus amigos, Leandro Malaquias, Fernando Alves, Liliane Gomes, Jennyfer Caroline, Lidiane Araújo, Jociele Cristine, Weverton, Emily Camily, Jemesson Mateus, Higor Henrique, Vinicius Marques, por me acolherem, por todo apoio e por ter tornado o processo mais leve. Obrigada por todos os momentos compartilhados, vocês foram essenciais nesse processo.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos, pela disponibilidade, apoio, dedicação, paciência e por todos conhecimentos repassados ao longo da minha jornada acadêmica. Obrigada por tudo!

Deixo meus agradecimentos a professora Dra. Joana Maria Farias Barros e a professor Dr. Marciano Henrique de Lucena Neto, por aceitarem o convite para compor a banca examinadora desse referido trabalho, contribuindo de forma significativa na última etapa da minha graduação. Desde já, agradeço imensamente a todo corpo docente do curso de Licenciatura em Química, bem como, os demais professores que fizeram parte da minha passagem acadêmica.

“Decidir comprometer-se com resultados de longo prazo ao invés de reparos a curto prazo é tão importante quanto qualquer decisão que você fará em toda a sua vida”.

(Anthony Robbins)

## RESUMO

A preocupação com os impactos ambientais decorrentes do uso contínuo de derivados de petróleo e a iminente escassez de recursos naturais têm estimulado diversas pesquisas em busca de alternativas mais sustentáveis. Nesse cenário, os biolubrificantes se apresentam como uma opção viável e ecologicamente responsável em relação aos lubrificantes convencionais de origem fóssil. Esses produtos, oriundos de biomassa, não apenas oferecem uma fonte diversificada, mas também demonstram um alto potencial de biodegradabilidade, ressaltando as vantagens do uso de matérias-primas vegetais. A canola (*Brassica napus*), da família Brassicaceae, se destaca como uma excelente matéria-prima devido às suas propriedades benéficas tanto para a alimentação quanto para a produção de biocombustíveis. O método de transesterificação seguido pela epoxidação com ácido peracético destaca-se como uma abordagem eficaz para a obtenção de lubrificantes biodegradáveis, melhorando suas características físico-químicas. Em vista disso, o presente estudo teve como objetivo produzir biolubrificantes a partir do óleo de canola comercial, através de reações de transesterificação para a formação de ésteres metílicos e etílicos, seguidas pela epoxidação. Na sequência, os produtos obtidos foram caracterizados por meio de análises físico-químicas. Diante dos resultados obtidos, observa-se bons índices de conversão dos ésteres, onde os metílicos apresentaram um percentual de 94% e os etílicos 91%, sequencialmente, os produtos epoxidados apresentaram altos índices de rendimentos, sendo 92% para os epóxido metílico e os etílicos 89%. Logo, esses resultados comprovam o potencial do óleo de canola para produção de biolubrificantes, contribuindo assim, para a diminuição dos impactos ambientais causados pelo uso de materiais de origem fóssil.

**Palavras-Chave:** Meio ambiente, Óleo de canola, Biolubrificantes, Sustentabilidade, Síntese.

## ABSTRACT

Concerns about the environmental impacts of the continued use of petroleum derivatives and the imminent scarcity of natural resources have stimulated several studies in search of more sustainable alternatives. In this scenario, biolubricants present themselves as a viable and environmentally responsible option in relation to conventional lubricants of fossil origin. These products, derived from biomass, not only offer a diversified source, but also demonstrate a high potential for biodegradability, highlighting the advantages of using plant-based raw materials. Canola (*Brassica napus*), from the Brassicaceae family, stands out as an excellent raw material due to its beneficial properties for both food and biofuel production. The transesterification method followed by epoxidation with peracetic acid stands out as an effective approach for obtaining biodegradable lubricants, improving their physical and chemical characteristics. In view of this, the present study aimed to produce biolubricants from commercial canola oil, through transesterification reactions for the formation of methyl and ethyl esters, followed by epoxidation. Subsequently, the products obtained were characterized by means of physicochemical analyses. Given the results obtained, good ester conversion rates were observed, where methyl esters presented a percentage of 94% and ethyl esters 91%. Subsequently, the epoxidized products presented high yield rates, being 92% for methyl epoxide and 89% for ethyl esters. Therefore, these results prove the potential of canola oil for the production of biolubricants, thus contributing to the reduction of environmental impacts caused by the use of materials of fossil origin.

**Keywords:** Environment, Canola oil, Biolubricants, Sustainability, Synthesis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Estrutura química dos parafínicos, naftênicos e aromáticos de base mineral.....	21
<b>Figura 2</b> – Estrutura química de um triglicerídeo.....	24
<b>Figura 3</b> – Estádios fenológicos da canola sob as condições do bioma Cerrado.....	26
<b>Figura 4</b> – Estrutura química dos ácidos graxos constituinte no óleo de canola.....	27
<b>Figura 5</b> – Reação de transesterificação de triglicerídeos.....	29
<b>Figura 6</b> – Mecanismo para formação de um epóxido utilizando perácido.....	30
<b>Figura 7</b> – Processo de obtenção de ésteres metílicos do óleo de canola.....	38
<b>Figura 8</b> – Processo de obtenção de ésteres etílicos do óleo de canola.....	39
<b>Figura 9</b> – Processo de obtenção dos epóxidos metílicos do óleo de canola.....	39
<b>Figura 10</b> – Processo de obtenção dos epóxidos etílicos do óleo de canola.....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Fórmula molecular dos principais ácidos graxos dos óleos vegetais.....	25
<b>Tabela 2</b> – Resultados da análise do aspecto referente aos produtos.....	40
<b>Tabela 3</b> – Resultados da análise da umidade e voláteis referente aos produtos.....	41
<b>Tabela 4</b> – Resultados da análise referente ao teor de cinzas dos produtos.....	42
<b>Tabela 5</b> – Resultados da análise referente a densidade dos produtos.....	43
<b>Tabela 6</b> – Resultados da análise referente ao índice de acidez dos produtos.....	45
<b>Tabela 7</b> – Resultados da análise referente ao índice de iodo dos produtos.....	46
<b>Tabela 8</b> – Resultados da análise referente ao teor de sabão dos produtos.....	47
<b>Tabela 9</b> – Resultados da análise referente ao índice de saponificação dos produtos.....	48
<b>Tabela 10</b> – Resultados da análise referente ao índice de peróxido dos produtos.....	49
<b>Tabela 11</b> – Resultados da análise referente a viscosidade cinemática a 40°C dos produtos.....	50
<b>Tabela 12</b> – Resultados da análise referente a índice de hidroxila dos produtos.....	51
<b>Tabela 13</b> – Resultados da análise referente a oxigênio oxirano dos produtos.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
AcGs	Ácidos Graxos
AGL	Ácidos graxos livres
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAGR	Taxa de crescimento anual composta
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
g	Gramas
GEE	Gases de efeito estufa
GVR	Grand View Research
HCl	Ácido Clorídrico
KI	Iodeto de Potássio
KOH	Hidróxido de Potássio
M	Molar
mL	Mililitro
mm	Milímetro
N	Normal
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tiosulfato de Sódio
n°	Número
°C	Graus Celsius
OECD 301	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
PM	Materiais Particulados
RS	Estado do Rio Grande do Sul

SAF	Combustível de Aviação Sustentável
TAG	Triacilgliceróis
TI	Tecnologias da informação
TG	Triglicerídios
US\$	<i>United States Dollar</i>
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
v/v	Volume/Volume

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1 Geração de Energia e Meio Ambiente</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2 Lubrificantes</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3 Biolubrificantes</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4 Óleos Vegetais</b> .....	<b>25</b>
<b>3.5 Canola</b> .....	<b>26</b>
<b>3.6 Obtenção Química de Biolubrificantes</b> .....	<b>28</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1 Local de pesquisa</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2 Materiais</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3 Procedimento de extração dos Biodieséis e dos Biolubrificantes</b> .....	<b>31</b>
4.3.1 Transesterificação .....	31
4.3.2 Epoxidação .....	32
<b>4.4 Caracterização Físico-Química</b> .....	<b>32</b>
4.4.1 Índice de Acidez (AOCS Cd3d-63) .....	33
4.4.2 Índice de Iodo (AOCS Cd 1-25) .....	33
4.4.3 Teor de Sabão (AOCS Cc 17-95) .....	34
4.4.4 Índice de Saponificação (AOCS Cd 3b-76) .....	34
4.4.5 Índice de Peróxido (AOCS Cd 8-53) .....	35
4.4.6 Densidade Relativa .....	35
4.4.7 Teor de Cinzas .....	35
4.4.8 Teor de Umidade e Voláteis (AOCS Da-2a-48) .....	36
4.4.9 Viscosidade Dinâmica .....	36
4.4.10 Índice de Hidroxila (AOCS Cd 13-60) .....	37
4.4.11 Oxigênio Oxirano (AOCS Cd 9-57) .....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crise energética está no cerne das discussões mais importantes na sociedade contemporânea, sua disponibilidade é fundamental para a manutenção e melhoria da qualidade de vida. O conceito de matriz energética refere-se às diversas fontes aptas a gerar energia através de processos de conversões (Silva, 2024).

As fontes de energia não-renovável, classificadas por "energia suja", origina-se da decomposição de materiais orgânicos, tanto vegetais quanto animais, essa energia é limitada e, uma vez esgotada, não pode ser facilmente reposta mediante à finitude de suas reservas (Ramalho; Oliveira; Miranda, 2022). Entre os recursos naturais exauríveis acessíveis, o petróleo destaca-se como um dos recursos mais consumidos no mundo. A indústria petrolífera mostrou-se fundamental para o desenvolvimento econômico das nações, evidenciando a importância deste recurso para países produtores, principalmente, para os consumidores, no qual emprega este insumo em diversas aplicações, consolidando-se como um alicerce essencial para a economia global (Costa, 2017).

O aumento contínuo por produtos derivados de matérias-primas fósseis consiste em uma excessiva emissão gases na atmosfera (GEE), resultando em impactos ambientais locais e globais significativos, dentre os impactos locais eminentes destaca-se a chuva ácida, que se forma a partir da emissão de dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, material particulado e ozônio. Gerando, assim, o agravamento do efeito estufa, decorrente do aumento da temperatura do planeta devido à absorção de radiação infravermelha pelo excesso de dióxido de carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis e pelos incêndios gerados nas florestas (Cruz, 2022).

De maneira geral, o gerenciamento inadequado de lubrificantes à base de petróleo e a falta de disposição adequada têm acarretado uma série de consequências adversas para os ecossistemas naturais e para a saúde humana (Felipe *et al.*, 2023). Desta forma, o uso intensivo dos fluidos e óleos lubrificantes, amplamente utilizados nos setores industrial e automobilístico, ao serem descartados de forma irregular podem contaminar o solo, as águas subterrâneas e o ar.

Os óleos lubrificantes são comumente originados de fontes vegetais, minerais ou sintéticas, encontrados em estado líquido ou sólido. Compostos por hidrocarbonetos, classificados como parafínicos, naftênicos e aromáticos. O processo de refinação do petróleo

permite a obtenção de óleos básicos, os quais, combinados com aditivos químicos resultam em lubrificantes de alta desempenho e com maior estabilidade à oxidação, além de resistência ao desgaste entre componentes metálicos em movimento, prolongando a longevidade das máquinas e equipamentos. A maior parte dos lubrificantes provém de derivados do óleo mineral, devido à sua abundância e custo benefício, possibilitando, assim a produção de lubrificantes eficazes e econômicos para diversas aplicações industriais. Contudo, sua utilização apresenta desafios significativos no que tange à sustentabilidade ambiental, uma vez que possuem limitada probabilidade de reciclagem e enfrentam problemas de gestão de resíduos após a conclusão seu ciclo de vida (Almeida *et al.*, 2023).

Diante dos danos ambientais causados pelos processos de geração e consumo de energia, destaca-se o aumento significativo da implementação de fontes de energia renovável a fim de diminuir o significativo impacto ambiental associado a queima de combustíveis fósseis. Surgindo, os biocombustíveis, como uma alternativa viável e redutora da dependência de produtos petrolíferos. O Brasil, por exemplo, possui um vasto potencial para energia renovável, mediante a diversas opções de biomassa como matéria-prima cultivadas em território brasileiros, podendo ser utilizada estrategicamente não só atende à crescente demanda por energia, mas também para promover um desenvolvimento mais sustentável (ANP, 2022).

O termo biomassa consiste em materiais vegetais ou animais que podem ser usados para gerar energia, a matéria-prima pode ser classificada em três categorias: recursos florestais, resíduos urbanos e agrícola, abrangendo então as culturas agroenergéticas, bem como os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e pecuária (Cardoso, 2012). Por exemplo, os óleos vegetais, apresentam-se como uma alternativa em potencial para produção de lubrificantes devido à sua biodegradabilidade e pela baixa toxicidade ambiental, além de possuir outras vantagens no que diz respeito às suas propriedades físico-químicas, como alta lubrificação, alto índice de viscosidade e volatilidade superior os qualificando como produtos sustentáveis (Cavalcanti; Soares, 2023).

O óleo de canola desempenha um papel crucial na produção agrícola global, sendo utilizado predominantemente na culinária e nas aplicações industriais. Caracterizado por baixos níveis de glucosinolatos e altos níveis de ácido oleico, contém propriedades benéficas, como baixos níveis de AcGs saturados e ausência de ácido palmítico. Essas características o tornam ideal para aplicações que requerem baixo ponto de fluidez, surgindo como uma alternativa viável para síntese dos biolubrificantes. Apesar do baixo custo e viabilidade, comparado ao óleo

mineral, os óleos vegetais têm baixa estabilidade térmica e oxidativa devido à presença de AcGs insaturados na sua composição. Entretanto, é necessário verificar se apresentam as condições necessárias para biolubrificante, desenvolvendo derivados que garantam as adequadas propriedades físico-químicas, alta biodegradabilidade, fundamental para sua aplicação industrial (Okechukwu *et al.*, 2020).

Baseando-se na problemática ambiental contemporânea e com propósito de promover a química sustentável, o presente estudo tem como finalidade a síntese de lubrificantes biodegradáveis por meio das reações de transesterificação para a formação de ésteres metílicos e etílicos, seguidas pela epoxidação dos ésteres, utilizando óleo de canola (*Brassica Napus*) comercial como matéria-prima. Posteriormente, caracterizados através de análises físico-químicas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Geral**

- O objetivo desta pesquisa consiste em obter lubrificante biodegradável a partir do óleo de canola (*Brassica napus*), por meio das reações de transesterificação e epoxidação metílica e etílica.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Produzir os ésteres etílicos por meio da reação de transesterificação do óleo de canola (*Brassica Napus*);
- Epoxidar os ésteres etílicos provenientes do óleo de canola (*Brassica napus*), utilizando o ácido peracético;
- Caracterizar por análises físico-químicas o óleo de canola (*Brassica napus*), os ésteres metílicos e etílicos (biodiesel) e os epóxidos de ésteres metílicos e etílicos (biolubrificante).

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Geração de energia e Meio Ambiente

Ao longo dos primórdios da civilização, as reservas naturais emergem como uma necessidade dos seres humanos para garantir sua sobrevivência na terra. Ao longo dos anos, os seres humanos passaram a explorar recursos para fomentar o crescimento econômico, visando otimizar os retornos de capital, implicando no aumento significativo na demanda por matéria prima, intensificando, a degradação ambiental (Rodrigues *et al.*, 2019).

Segundo Crutzen e Steffen (2003), a partir da revolução industrial, principalmente ao longo do século XX, a humanidade intensificou exponencialmente o uso dos recursos naturais, com isso, os processos biogeofísicos do planeta sofreram mudanças significativas, resultando em uma nova era geológica, denominada de Antropoceno (Lopes; Junior, 2020). O Antropoceno, ou era de domínio humano, das ciências naturais provou ser valioso para as ciências sociais na abordagem dos aspectos políticos e culturais das alterações climáticas e dos desastres ambientais causados pelo homem. Este nome evidencia a profunda transformação do meio ambiente pela ação humana, desde a revolução industrial no final do século XVIII (Tavares, 2022).

A Primeira Revolução Industrial é caracterizada pela transição dos métodos de produção artesanais para processos mecânicos, possibilitando o surgimento das grandes ferrovias e a substituição do carvão vegetal pelo carvão mineral, o que intensificou a produção industrial. A Segunda Revolução Industrial, ocorreu entre o século XIX e XX, o cenário energético e as linhas de montagem revolucionaram a produção, promovendo a produção em massa. Nesta fase, o petróleo emergiu como uma fonte de energia versátil, competindo com o carvão e ampliando a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, essa expansão energética trouxe consigo uma intensificação da poluição ambiental. A Terceira Revolução Industrial, a partir de 1970, introduziu a era digital, esse período foi marcado pela automação industrial e pela integração das tecnologias da informação (TI) nas indústrias químicas e eletrônicas, aumentando a dependência de recursos energéticos. Simultaneamente, os impactos da degradação do meio ambiente, como o aumento do efeito estufa, a chuva ácida e as alterações climáticas, tornaram-se evidentes (Dantas, 2020).

As complexas interações entre a oferta e o consumo de energia exercida pela humanidade têm gerado uma crise ecológica global sem precedentes, resultando em impactos

adversos ao meio ambiente, os quais culminam no desmatamento, na degradação ambiental e na perda de diversidade biológica. O conhecimento desses impactos impõe a necessidade de reavaliar os modelos de desenvolvimento e gestão ambiental adotados pelas sociedades contemporâneas, bem como a elaborar propostas e estratégias energéticas mais sustentáveis (Fracalanza, 2022).

A utilização de combustíveis fósseis e a produção de energia elétrica resultaram na formação de uma civilização caracterizada pelo alto custo da energia, causando diversos impactos ambientais. Estima-se que 80% da matriz energética global provém de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados, o carvão e o gás natural, gerando a emissão e acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, o que aumenta gradativamente o aquecimento global. (Oliveira, 2022).

Os combustíveis fósseis são recursos não-renováveis, ou seja, fontes suscetíveis ao esgotamento. A queima de combustíveis fósseis, principalmente o petróleo, gera sérias consequências como mudanças climáticas, emissão de gases de efeito estufa e iminente escassez de recursos naturais, tais fatores estimulam o crescente interesse por alternativas energéticas mais limpas e sustentáveis, visando reduzir a dependência dos combustíveis e mitigar seus impactos negativos (Piovani, trigoso, 2023).

A exploração do petróleo como fonte de energia tem gerado impactos significativos tanto à saúde humana como para o meio ambiente, afetando não só a qualidade do ar como também seus ecossistemas marinhos e as condições atmosféricas. O seu manejo inadequado e a disposição incorreta dos resíduos gerados trazem graves problemas ambientais e sociais (Oliveira, Cruz, Ferreira, 2021). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição atmosférica gerou cerca de 7 milhões de mortes prematuras por ano em 2021, sendo este fenômeno diretamente responsável pela queda da qualidade de vida da população, ou seja, agravando gerando o agravamento de doenças cardiovasculares e respiratórias, assim como o aumento do número de internações devidas a altas concentrações de enfermidades e de material particulado (PM), esses fatores, evidencia que o uso excessivo de combustíveis fósseis para atender às necessidades energéticas do mundo causa grande estrago ao meio ambiente e à saúde humana, quando relacionado ao excesso da emissão de gases poluentes para a atmosfera e o aumento da temperatura média global do planeta Terra.

No contexto das transformações da energia, a transição energética é um componente essencial no cumprimento das metas de descarbonização e de controle da mudança climática, estabelecidas pelo Acordo de Paris de 2015. Tal Acordo constitui um canalizador de ações aos 190 países signatários, responsável pela redução das emissões de CO<sub>2</sub> e para manter o aumento da temperatura do planeta até 1,5°C até o final do ano 2050 (Lopes, 2022). Em conformidade com esses objetivos, a procura por alternativas que sejam cada vez mais sustentáveis e biodegradáveis cresce lentamente em diversos setores indústrias em um esforço para substituir os produtos com base mineral por aqueles com maiores capacidades de biodegradação.

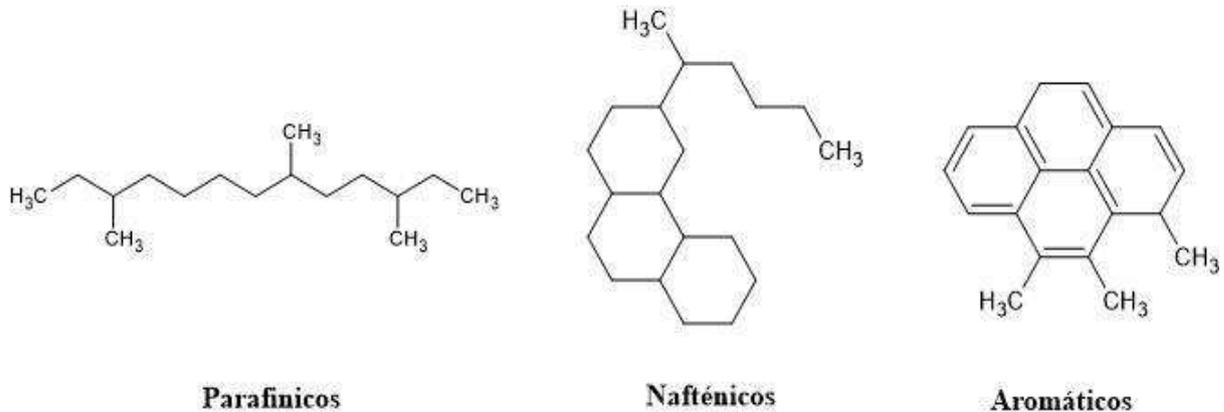
### 3.2 Lubrificantes

Os óleos lubrificantes são produtos finais que podem ser encontrados sob a forma de graxas ou óleos, sendo esses derivados do petróleo e amplamente utilizados nos setores industrial e automobilístico. Tais compostos são desenvolvidos com a finalidade de reduzir a fricção entre superfícies em movimento em atrito, ou seja, eles formam uma película protetora, com o objetivo de retirar fricção e desgaste de peças mecânicas, funcionando como barreira contra oxidação e corrosão, além de têm a função de vedação, vedando a entrada de contaminantes e a saída de fluidos (Nascimento, 2023).

São formulados a partir de óleo básico ou de uma combinação de diferentes óleos base, podendo ou não conter aditivos. Conforme citado na resolução de nº 804/2019 pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) os óleos básicos, que constituem os lubrificantes, são classificados em cinco grupos distintos com base em seu teor de saturados, teor de enxofre e índice de viscosidade, onde: grupo I, apresenta-se com menos de 90% de saturados e mais de 0,03% de enxofre; grupo II, com mais de 90% de saturados e até 0,03% de enxofre; grupo III, com mais de 90% de saturados e até 0,03% de enxofre, e índice de viscosidade acima de 120; grupo IV, que inclui todas as polialfaolefinas; e grupo V, que engloba óleos naftênicos, óleos minerais brancos, ésteres sintéticos, polibutenos, naftalenos alquilados, óleos vegetais, poliglicóis e outros básicos sintéticos (Brasil, 2019).

Os óleos podem originar-se de fontes minerais, sintéticas ou vegetais. A maior parte dos lubrificantes provém de bases minerais, as quais podem ser classificados como parafínicos, naftênicos, ou, em menor proporção, aromáticos, dependendo do tipo de hidrocarboneto existentes em sua composição (Zzeyani *et al.*, 2017). Conforme mostrado na **Figura 1**.

**Figura 1** - Estrutura química dos parafínicos, naftênicos e aromáticos de base mineral.



Fonte: autoria própria (2024).

Esses compostos contêm entre 20 e 50 átomos de carbono por molécula, conforme a sua estrutura molecular. Os parafínicos são formados por alcanos lineares ou ramificados, os naftênicos consistem em cicloalcanos com cadeias laterais, e os aromáticos são predominantemente alquilbenzenos (Rios, 2020).

Segundo a Mordor Intelligence (2020), a fabricação dos lubrificantes modernos inclui processos químicos altamente complexos e diversos, desenvolvidos para atender a padrões de desempenho conforme suas respectivas aplicações. O mercado global lubrificantes alcançou o total de 35 milhões de toneladas de óleo comercializado no ano de 2020, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) aproximadamente de 2% previstas para o período entre 2021 a 2026, sendo avaliado em aproximadamente US\$ 130 bilhões (Jesus, 2022).

Estima-se que cerca de 50% do uso dos lubrificantes ao redor do mundo são lançados como efluentes ao meio ambiente propiciados por vazamentos, descarte inadequado e acidentes, produzindo graves problemas ambientais. Deste total, mais de 95% são de base mineral, causando grandes danos ambientais, pois contaminam o ar, o solo e a água, além de afetarem de maneira significativa à saúde humana, mediante a suas características química e resistência à degradação (Slavec, 2020). O óleo lubrificante usado ou contaminado (óleo queimado) caracteriza-se um resíduo perigoso, contendo sua composição cerca de 80% a 85% de óleo lubrificante básico, seu descarte inadequado pode causar danos irreparáveis ao planeta terra (Brasil, 2005).

Nesse sentido, a busca por matérias-primas renováveis tem crescido significativamente, visando à produção de produtos biodegradáveis provenientes de fontes sustentáveis. Um

exemplo notável são os biolubrificantes, desenvolvidos a partir de bases biológicas, que se caracterizam pela sua menor toxicidade e maior biodegradabilidade (Martins, 2023).

### 3.3 Biolubrificantes

Diferentemente dos lubrificantes derivados do petróleo, os biolubrificantes derivados da biomassa provêm de diferentes fontes e têm grande potencial de biodegradabilidade, tornando-os uma alternativa promissora para enfrentar os desafios ambientais. Segundo Vieira, 2014, biomassa refere-se a qualquer matéria orgânica de origem vegetal, animal ou microbiana que possa ser convertida em energia (também chamada de bioenergia), a bioenergia constitui uma alternativa essencial às fontes de energia não renováveis, especialmente as derivadas do petróleo, cuja os impactos ambientais são uma preocupação global (Santos Junior, 2023).

De acordo com Portallubes (2022), o potencial de crescimento do mercado de biolubrificantes pode alcançar US\$ 3,9 bilhões em negócios e operações até 2027, com uma taxa de crescimento internacional de aproximadamente 8% até 2024, conforme dados do Global Biolubricants Market Analysis. No Brasil, o mercado é avaliado em US\$ 206 milhões, com 98% do uso concentrado no setor industrial, com potencial de crescimento de até 6% até 2024. Conforme citado pela GVR (Grand View Research), esses dados superariam os quantitativos econômicos alcançados em 2019, no qual atingiu a marca de US\$ 2,18 bilhões em bioprodutos comercializados (Martins, 2023).

A crescente demanda por esses biolubrificantes, aliada as exigências ambientais e crescente percepção da sociedade acerca de suas vantagens, têm gerado uma expansão significativa nas pesquisas nesta linha nos dias atuais. Essas tendências evidenciam as vantagens do uso de bases vegetais em comparação aos minerais, especialmente no que tange a redução do impacto ambiental, devido à sua elevada biodegradabilidade (Matos, 2022).

De acordo com o Comité Europeu de Normalização, são estabelecidos critérios para classificar um produto como biolubrificante. De acordo com as suas diretrizes, um biolubrificante deve ter uma decomposição superior a 60% em um período de 28 dias, como mostra a norma OECD 301 (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) Além disso, deve conter mais de 50% de matérias-primas renováveis e não deve ser tóxico para os organismos locais (Matos, 2022) Considerando esses fatores, os biolubrificantes se destacam como uma opção eficiente e ecologicamente correta para diversas aplicações industriais.

Esses produtos derivados de base ecológica podem desempenhar funções semelhantes aos lubrificantes tradicionais, como por exemplo:

- Minimizar o decréscimo de energia cinética e potencial;
- Prolongar a vida útil de peças metálicas;
- Mitigar a degradação dos componentes expostos à fricção.
- Auxilia na vedação;
- Absorção de impactos e vibrações entre os componentes metálicos;
- Eliminar e reter impurezas, assegurando a limpeza do motor;
- Assegurar a proteção dos componentes contra a corrosão, mediante a exposição a determinados ácidos, dentre outras funcionalidades;

No entanto, esses lubrificantes biodegradáveis (biolubrificantes) podem ser classificados em duas categorias distintas: óleos naturais e óleos sintéticos. Os óleos naturais, denominados ésteres naturais ou triacilgliceróis (TAG), abrangem óleos vegetais ou microbianos, gorduras animais, ácidos graxos livres (AGL) e óleos residuais, enquanto os óleos sintéticos incluem polialfaolefinas, outros ésteres sintéticos e polialquilenoglicóis (Guedes Junior, 2021).

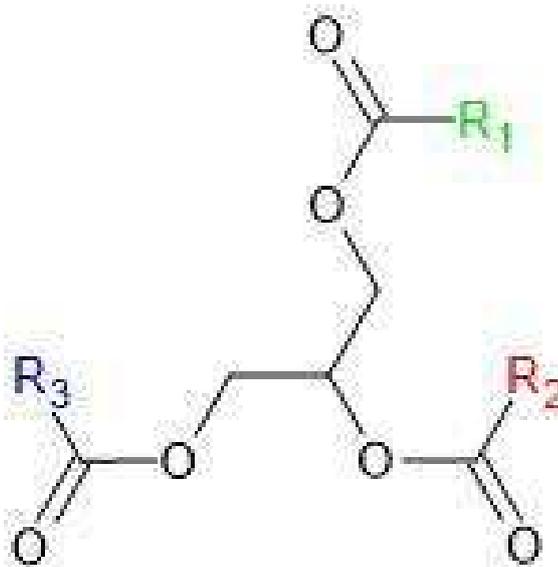
### **3.4 Óleos Vegetais**

Os óleos e as gorduras consistem em uma variedade de compostos que têm em comum a dificuldade de se misturar com água, o que os torna repelentes a este líquido. Eles podem ter origens vegetais, animais ou microbianas, mostrando um significativo potencial para substituir os óleos minerais (Santos, 2020). Estes óleos podem se apresentar na forma líquida a 25 °C, enquanto as gorduras vegetais se mostram na forma sólida ou pastosa à 25°C, conforme citado na Resolução nº 481/2021 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) (Pellizzon, 2024).

Os principais insumos para a produção de óleos vegetais em escala global provêm de sementes, castanhas, frutos e grãos, incluindo: azeitona, amendoim, semente de algodão, palmiste, coco, colza, palma, girassol e soja. O óleo de palma (ou azeite de dendê), soja, colza (ou canola) e girassol, em ordem de relevância, respondem por 87,7% da produção global projetada no período entre 2022 a 2023 de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (Zeferino, M; Ramos, S. De F., 2023).

Os lipídios provenientes de plantas são formados por moléculas de triglicerídeos representando a maior parte de sua composição, onde o glicerol se une a três cadeias longas de ácidos graxos diferentes ou semelhantes por ligações éster, conforme ilustrado na **Figura 2**. Porém, os ácidos graxos presentes nas oleaginosas variam de compostos carboxílicos com 4 a 30 átomos de carbono, podendo conter também outros componentes, como fosfatídeos, resinas, vestígios de metais, tocoferóis, pigmentos e esteroides, entre outros (Cruz, 2022).

**Figura 2** - Estrutura química de um triglicerídeo.



Fonte: Autoria Própria (2024).

O triacilglicerol é um composto orgânico classificado como triéster. Quando os três ácidos graxos associados à molécula de glicerol são idênticos, o TAG resultante é denominado triacilglicerol simples, enquanto os TAGs mistos são aqueles que possuem diferentes tipos de ácidos graxos ligados ao glicerol, podendo ter pelo menos dois ácidos graxos variam entre si. Contudo, os ácidos graxos saturados tendem a se ligar às extremidades da molécula de glicerol e os ácidos graxos insaturados, em geral, se conectam ao carbono central da molécula de glicerol (Moretto; Fett,1998; O'brien, 2004; Shahidi, 2005; Arruda, 2016).

Os ácidos graxos mais comuns encontrados em óleos vegetais incluem tanto saturados quanto insaturados. Os saturados, destacam-se o ácido palmítico (C16:0) e o ácido esteárico (C18:0). Enquanto os insaturados, os mais frequentes são o ácido oleico (C18:1(9)), o ácido linoleico (C18:2(9,12)) e o ácido linolênico (C18:3(9,12,15)). Tais AcGs podem ser encontrados em sementes de diversas plantas, como: algodão, palma, canola, soja e girassol (Carvalho, 2017). A fórmula molecular desses AcGs pode ser observada na **Tabela 1**.

**Tabela 1** - Fórmula molecular dos principais ácidos graxos dos óleos vegetais.

(AcGs)	Fórmula Molecular
Palmítico	$C_{16}H_{32}O_2$
Estearico	$C_{18}H_{36}O_2$
Oleico	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleico	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolênico	$C_{18}H_{30}O_2$
Ricinoleico	$C_{18}H_{35}O_3$

Fonte: adaptado de Matos, 2018.

Os ácidos graxos distinguem-se principalmente pela quantidade de átomos de carbono em sua cadeia e pelo número de ligações duplas, podendo apresentar cadeia saturadas, monoinsaturada e poli-insaturadas. Já os AcGs saturados contêm apenas ligações simples entre os átomos de carbono em sua cadeia, o que lhes confere uma estrutura estável e com baixa reatividade química, enquanto os insaturados possuem uma ou mais ligações duplas em sua cadeia, apresentando uma elevada reatividade e tornando mais propensos à oxidação térmica (Ramalho; Suarez, 2013; Mendonça, 2015; Silva, 2023).

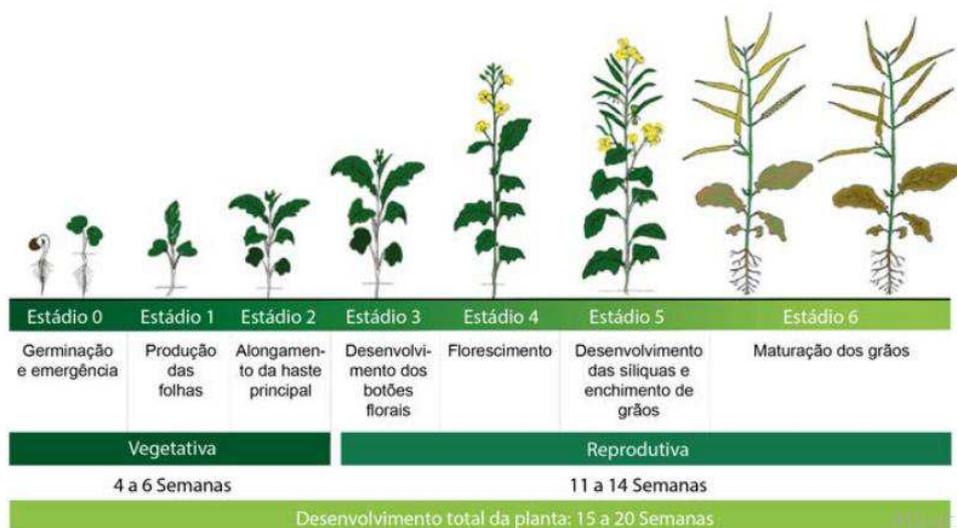
O setor de aplicação desses óleos está em constante transformação, exercendo uma função crucial no contexto mundial mediante à crescente demanda por óleos vegetais, movida pela expansão do uso de biodiesel e pela implementação de novos biocombustíveis, como Hidrogênio Verde, Diesel ecológico, Combustível de Aviação Sustentável (SAF) e combustíveis marítimos, com elevado potencial de biodegradação. O Brasil, com sua ampla diversidade de espécies nativas e exóticas produtoras de óleo, encontra-se em uma colocação estratégica, mesmo enfrentando adversidades nos meios técnicos, científicos e políticos referentes à sua produção. A soja, por exemplo vem se destaca atualmente como a principal matéria-prima oleaginosa para biocombustíveis a curto prazo. No entanto, para assegurar a sustentabilidade e mitigar os impactos ambientais, torna-se imprescindível diversificar e direcionar investimentos no desenvolvimento de outras oleaginosas que se adequem às diversas condições climáticas e de solo do país, promovendo a regionalização e o aumento energético das cadeias produtivas (Laviola, 2023).

### 3.5 Canola

A colza (*Brassica napus*) é uma espécie vegetal pertencente à família Brassicaceae suas sementes apresentam um teor proteico de 24% a 27%, contendo aproximadamente 38% de óleo. Mediante essas características, a canola se destaca pelo elevado potencial para fabricar produtos alimentícios e rações animais, bem como na produção de biocombustível. A canola foi desenvolvida por meio do aprimoramento genético da colza, a qual se originou através de um cruzamento interespecífico entre a mostarda e o repolho-bravo (Hryczyna *et. al.* 2021).

A expressão canola representa uma abreviação de "CANadian Oil Low Acid" e refere-se a variedades de colza com baixo teor de ácido erúico menor que 2% no óleo e uma concentração de glucosinolatos inferior a 30  $\mu\text{mols}$  por grama de massa desidratada dos grãos (Canola Council of Canada, 2021a). O ciclo de desenvolvimento da canola é segmentado em sete estádios fenológicos, conforme ilustrado na **Figura 3**.

**Figura 3** - Estádios fenológicos da canola sob as condições do bioma Cerrado.



Fonte: Embrapa (2022).

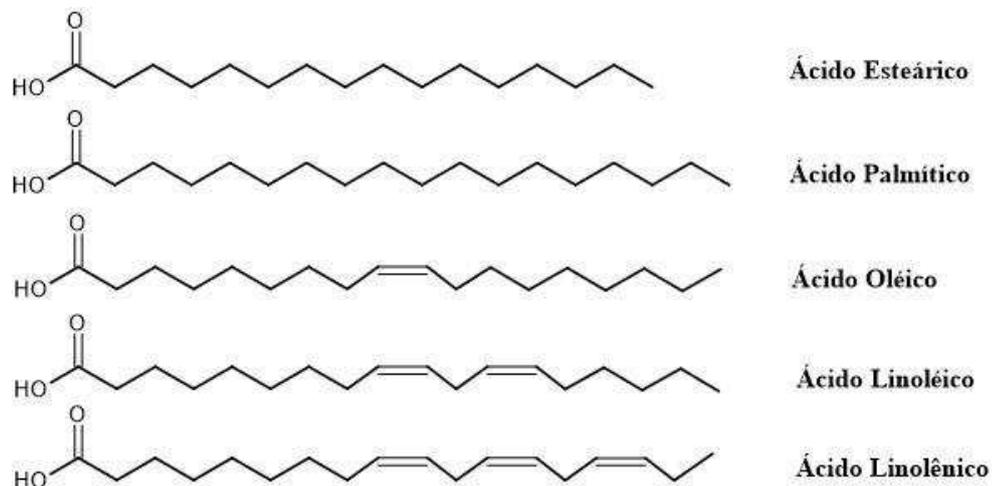
Nas condições típicas do cerrado, o período de cultivo da canola varia entre 100 e 135 dias, resultando em sementes com diâmetros de 1 a 2 mm. Inicialmente, o processo de produção da canola começa na fase vegetativa com a germinação das sementes. Neste processo, ocorre a hidratação das células vegetais, o que desencadeia a ativação de processos bioquímicos. O primeiro estágio, correspondente à produção das folhas, onde manifesta-se aproximadamente uma semana após o surgimento das plântulas, denominada de cotilédones. A formação da roseta (estádio 2) é caracterizada pelo padrão de crescimento das folhas. Neste estágio, as folhas

antigas estão localizadas na parte inferior da planta, enquanto as mais novas estão concentradas na parte central podendo se desenvolver a cada 7 a 10 dias. A fase reprodutiva, demarcada pelo terceiro estágio, inicia-se com o término da formação das folhas e a manifestação dos botões florais. O processo de floração é definido por alterações biológicas e fisiológicas nas plantas, e pode ser impactado por variações climáticas e pelo estado hídrico do solo, este processo pode variar entre 26 e 30 dias. O desenvolvimento das flores em siliques produtivas é maximizado pelas condições ambientais adequadas, com a exceção de fatores adversos como geadas, termicidade e aridez. No sexto estágio, os grãos alcançam um nível de preenchimento adequado entre 35 e 45 dias após o período de floração. Nessa fase, a semente, contém quantidades suficientes de óleo e proteína para a germinação e o crescimento das plantas (Embrapa, 2022).

A cultura da canola se expande em diversos países ao redor do mundo, tendo como produtor mundial o Canadá, além de outros países como: União Europeia, China, Brasil, Índia, Austrália e Polônia (Nelson, *et al.*, 2022). No Brasil, a área destinada ao cultivo de canola atingiu 92,1 mil hectares em 2023, com uma produtividade média de 1.591 kg/ha<sup>-1</sup> resultando em uma produção total de 146.500 toneladas, apresentando um indicativo de crescimento das áreas destinada ao cultivo de canola para safra de 2024, a qual poderá atingir 129,8 mil hectares, segundo dados do 11º levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

O óleo de canola apresenta uma coloração amarelada, com odor e sabor característico. Sua composição de ácidos graxos é diversa, sendo constituído principalmente por linolênico (17,4%), palmítico (3,3% - 6,0%), oleico (52,0% - 67,0%), esteárico (1,1 % - 2,5%), linoleico (16,0% - 25,0%) (carvalho, 2017), conforme ilustrado na **Figura 4**.

**Figura 4** – Estrutura química dos ácidos graxos constituinte no óleo de canola.



Fonte: Autoria Própria (2024).

No entanto, o óleo de canola é reconhecido como um alimento benéfico à saúde, devido ao seu elevado teor de ômega-3, vitamina E, gorduras monoinsaturadas e menor concentração de gordura saturada em relação a outros óleos vegetais (Xavier, 2022). Além da produção de óleos destinados à indústria alimentícia, a canola é amplamente utilizada no desenvolvimento de combustíveis renováveis, bem como na preparação de farelo e elaboração de dietas para a nutrição animal (Demarco; Candaten, 2019).

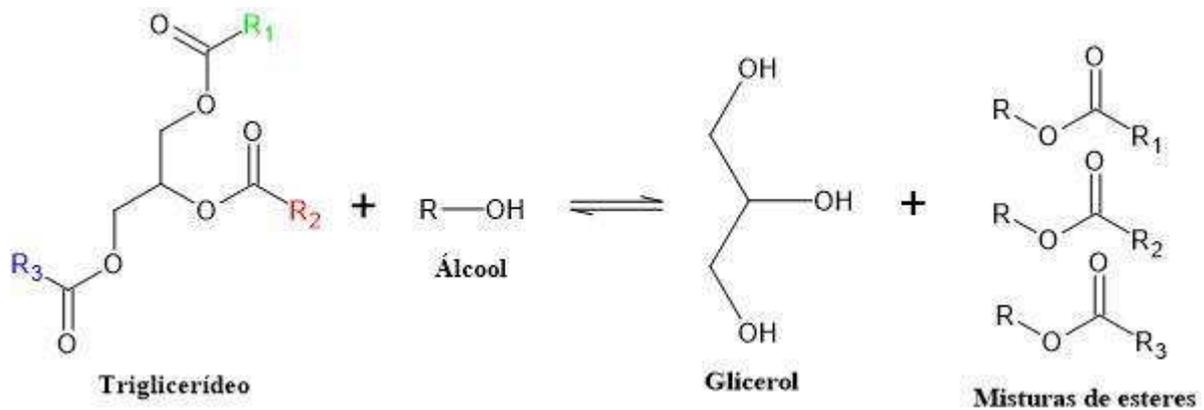
Neste contexto, os óleos in natura, como o óleo de canola, apesar de ser uma fonte renovável, não poluente e com alta capacidade de lubrificação. Suas características físico-químicas apresentam determinadas limitações, especialmente devido à baixa estabilidade termo-oxidativa e à alta viscosidade, comprometendo sua eficiência em processos industriais. No entanto, para alcançar uma maior eficiência e viabilidade é necessário modificações químicas para aprimoramento de suas propriedades (Salimon, 2011; Karmakar, 2017; Guedes Junior, 2021).

### 3.6 Obtenção Química de Biolubrificantes

As modificações químicas e estruturais dos óleos naturais visam produzir substâncias mais estáveis, com propriedades físico-químicas adequadas e alta capacidade de degradação biológica. Esse processo é realizado por meio de reações químicas específicas para atender aos objetivos desejados na produção de biocombustíveis (Cavalcante, 2016). Entre os processos de modificações mais comuns, destacam-se a epoxidação, hidrólise, transesterificação, formação de estolídeos, a abertura de anéis e a acetilação (Syahir *et al.*, 2017).

A transesterificação é um processo químico importante para produção de biodiesel. Os triglicerídeos obtidos de oleaginosas reagem com álcoois de cadeia curta (como etanol ou metanol) por meio da ação de catalisadores (como hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio). Esses catalisadores geralmente são básicos, mas podem também ser ácidos ou enzimáticos. Nesse processo, resulta na formação de monoésteres de AcGs, que constituem o biodiesel, e glicerol como subproduto reação, combinado com um mol de triglicerídeos e três moles de álcool (metanol ou etanol), conforme ilustrado na **figura 5**. Após o processo, os ésteres alquílicos passam por purificação e padronização para atender às normas de comercialização (Torquato, 2019; Farias 2023).

**Figura 5** - Reação de transesterificação de triglicerídeos.

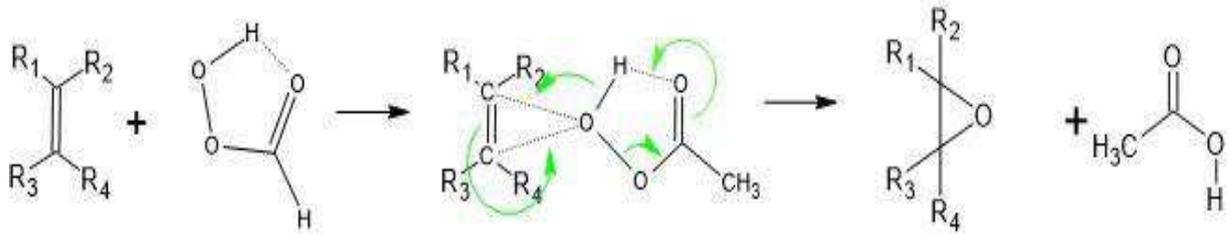


Fonte: Adaptado de Santos & Pinto (2009).

No entanto, a reação de transesterificação de acilgliceróis (AcGs), tais como triglicéridos, com álcoois primários é significativamente afetada por uma série de variáveis. Dentre eles, podemos citar a composição de ácidos graxos dos triglicerídeos, que depende da origem do insumo utilizado para o funcionamento das diferentes extensões e funcionalidades das cadeias alifáticas. Deve-se notar também que a eficiência da reação é afetada pela razão molar entre o óleo, o álcool e o catalisador, bem como pelo teor de ácidos graxos livres (AGL), e pela temperatura, pelo tempo de reação e pela presença de umidade (Melo, 2023). Este processo de modificação química traz vantagens significativas para a produção de biocombustíveis, como melhor oxidação e estabilidade em baixas temperaturas (Ribeiro filho, 2023).

A epoxidação é um processo químico crucial que altera os óleos vegetais, principalmente na fabricação de lubrificantes biodegradáveis. A epoxidação ocorre quando um composto insaturado (por exemplo, ésteres, ácidos graxos ou triglicerídeos) reage com um perácido. Este perácido pode ser produzido *in situ*, ou seja, no próprio meio reacional, por meio da reação entre um ácido carboxílico e peróxido de hidrogênio. Esses perácidos reagem com as ligações duplas dos carbonos insaturados dos triglicerídeos, criando uma estrutura cíclica de três átomos. Os epóxidos que surgem como resultado da tensão presente no anel oxirânico são extremamente reativos, o que os torna propensos à abertura do anel. Esses epóxidos podem ocorrer de várias formas dependendo das condições reacionais, como ilustrado na **Figura 6** (Alves, 2023; Ribeiro, 2022).

**Figura 6** - Mecanismo para formação de um epóxido utilizando perácido.



Fonte: adaptado Ribeiro (2022).

Este processo químico aprimora a lubrificação, melhora a estabilidade termo-oxidativa, reduz a reatividade a baixas temperaturas e minimiza o desgaste das peças metálicas quando submetidas a condições adversas de aplicações industriais (Cecilia, 2020).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Local de pesquisa**

Os processos experimentais ocorreram no Laboratório de Biocombustíveis e Química Ambiental (BIOAMBI) da Universidade Federal de Campina Grande, no Centro de Educação e Saúde (CES), campus Cuité – PB.

### **4.2 Materiais**

O óleo de canola foi adquirido no comércio local no município de Cuité-PB e produzido por indústria brasileira. O óleo refinado não necessita de tratamento prévio antes das reações em que será submetido.

### **4.3 Procedimento de síntese dos Biodieseis e dos Biolubrificantes**

#### **4.3.1 Transesterificação**

Para obtenção dos ésteres metílicos e etílicos, inicialmente realizou-se um cálculo da massa molar do óleo de canola a partir do seu índice de saponificação. Com o conhecimento dessa massa foram calculadas as quantidades de álcool empregado na rota metílica e de catalisador (KOH) necessárias para a realização da reação. A reação de transesterificação foi realizada adotando-se uma razão molar óleo/álcool igual a 1:6 e 0,7% de catalisador (óleo/catalisador) (Pelanda, 2009), mantendo-se a temperatura em aproximadamente 45°C durante 1 hora, porque temperaturas superiores à temperatura de ebulição do álcool podem acelerar a saponificação dos glicerídeos pelo catalisador alcalino antes da completa alcoólise (Ferrari *et al.*, 2005).

Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação permitindo a separação das fases: superior contendo o éster metílico e, inferior composta de glicerol, sabões, excesso de base e álcool, ressaltando que o mesmo procedimento foi adotado para rota etílica. Após o tempo de espera, a fase inferior foi retirada e armazenada num recipiente próprio. Em seguida, realizou-se a lavagem do éster metílico e etílico (biodiesel) com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01 M. Foram realizadas três lavagens com água destilada (retirar da fase dos ésteres, resíduos de glicerol e sabões) e duas lavagens com solução de HCl 0,01 M (neutralizar os ésteres). Para verificar a eficiência da lavagem ácida foi utilizada fenolftaleína.

### 4.3.2 Epoxidação

Num balão de fundo redondo de 250 mL, adicionou-se 100 g do éster metílico e etílico obtido do óleo de canola, e gota a gota, 140 mL de ácido peracético comercial 15%. A mistura ficou sobre agitação e aquecimento constante a 45°C por 1 hora. Dado o caráter exotérmico deste procedimento, utilizou-se uma tigela contendo água e gelo sob o balão de fundo redondo contendo a mistura reacional, com o objetivo de garantir a estabilização da temperatura mencionada. A reação foi realizada utilizando a proporção molares de 1:1,1 éster/ácido peracético.

Após o término da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação, onde se retirou-se a fase inferior, correspondente ao ácido acético, e a fase superior foi lavada duas vezes com 50 mL de bicarbonato de sódio 10% até o desprendimento total das bolhas devido à reação de neutralização. Com o processo de purificação completo, os epóxidos dos ésteres metílicos e etílicos do óleo de canola comercial foram armazenados em recipiente próprio (Nunes *et al.*, 2008).

## 4.4 Caracterização Físico-Química

O óleo de canola foi caracterizado mediante índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de saponificação (AOCS Cd 3b-76), teor de sabão (AOCS Cc 17-95), índice de peróxido (AOCS Cd 8-53), densidade relativa, teor de cinzas, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48) e viscosidade dinâmica.

Os procedimentos adotados para caracterizar os ésteres metílicos e etílicos obtidos após a transesterificação, consistiu nos mesmos utilizados para caracterizar o óleo de canola.

Os epóxidos de ésteres metílicos e etílicos de óleo de canola foram caracterizados por meio do índice de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de peróxido (AOCS Cd 8-53), índice de hidroxila (AOCS Cd 13- 60) e oxigênio oxirano (AOCS D Cd 9-57), densidade relativa, teor de cinzas, viscosidade, teor de umidade e voláteis (AOCS Da-2a-48), índice de acidez (AOCS Cd 3d-63), índice de saponificação (AOCS Cd 3b-76) e teor de sabão (AOCS Cc 17-95).

Todas as caracterizações realizadas, descritas anteriormente, basearam-se de acordo com as técnicas descritas por Wu *et al.*, (2000) e feitas em triplicatas.

#### 4.4.1 Índice de Acidez (AOCS Cd3d-63)

Num erlenmeyer de 250 mL, foi pesado 10 g de amostra e adicionado 62 mL da mistura do solvente neutralizada (31 mL de tolueno + 31 mL de álcool isopropílico). Na sequência, a amostra foi dissolvida na mistura de solventes. Para facilitar esse processo, aqueceu-se um pouco a mistura. Depois, adicionou-se 2 a 3 gotas de indicador fenolftaleína e titulou-se com KOH 0,1 N até obter-se uma coloração rosa permanente durante 30 segundos. O mesmo procedimento fora repetido sem a presença de amostra para determinar o branco. O índice de acidez foi calculado por meio da seguinte equação:

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

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

#### 4.4.2 Índice de Iodo (AOCS Cd 1-25)

Num erlenmeyer de 250 mL, pesou-se 0,25 g de amostra, depois adicionou-se 10 mL de clorofórmio e 25 mL de solução de Wijs (girando o erlenmeyer para manter maior contato com a amostra). Em seguida, o frasco foi armazenado num local escuro a temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , durante 30 minutos. Após esse tempo, adicionou-se 10 mL de solução de iodeto de potássio 10%, 100 mL de água destilada e titulou-se com solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1 N, misturando vigorosamente. Quando a coloração marrom estava quase desaparecendo, adicionou-se 1 mL de solução indicadora de amido e titulando-se até o desaparecimento da coloração escura. O mesmo procedimento foi repetido sem a presença de amostra para determinar o branco. O índice de iodo foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Índice de Iodo} = 12,6 \cdot N \cdot (A - B) / W$$

onde: N: normalidade da solução de tiosulfato de sódio; A: volume da solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1N utilizado na titulação do branco (mL); B: volume da solução de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,1 N utilizado na titulação da amostra (mL); W: massa da amostra (g).

#### 4.4.3 Teor de Sabão (AOCS Cc 17-95)

Num erlenmeyer de 250 mL, pesou-se 10 g de amostra, adicionando-se 0,25 mL de água deionizada, agitando vigorosamente. Em seguida, uma solução contendo 0,1 g do indicador bromofenol e 50 mL de acetona neutralizada foi preparada. Na sequência, foram adicionados no erlenmeyer contendo a amostra, 50 mL dessa solução recém preparada, pois na existência de sabão, ocorreria uma separação de fases e a camada superior teria uma coloração verde azulada. Então, titulou-se a mistura com uma solução de ácido clorídrico 0,01 N padronizada até a viragem da coloração verde azulada para o amarelo. O mesmo procedimento foi repetido sem a presença de amostra para determinar o branco. O teor de sabão foi calculado por meio da equação:

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

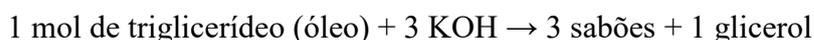
onde: A: volume da solução de HCl usado na titulação da amostra (mL); B: volume da solução de HCl usado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de HCl; W: massa da amostra (g).

#### 4.4.4 Índice de Saponificação (AOCS Cd 3b-76)

Num erlenmeyer de 250 mL foram pesados 1,0 g da amostra e adicionou-se 25 mL de potassa alcoólica. Esse erlenmeyer foi conectado a um condensador de bolas e o conjunto foi aquecido suavemente durante 1 hora para que a amostra fosse completamente saponificada. Em seguida, foi adicionado ao erlenmeyer algumas gotas de fenolftaleína, titulando-se com solução de HCl 0,5 M até o desaparecimento da coloração rosa. O mesmo procedimento fora repetido sem a presença de amostra para determinar o branco. O índice de saponificação foi calculado por meio da seguinte equação:

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

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



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

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

#### 4.4.5 Índice de Peróxido (AOCS Cd 8-53)

Num erlenmeyer com tampa esmerilhada de 250 mL foram pesados 3 g da amostra, adicionando-se 30 mL de solução ácido acético:clorofórmio 3:2 (v/v), e misturados com leve agitação. Adicionou-se 0,5 mL de solução de KI 10% e deixou-se em repouso por 1 minuto. Adicionou-se 30 mL de água destilada e 0,5 mL de solução de amido 1%. Titulando com solução de tiosulfato de sódio 0,01 N com agitação constante até a cor azul desaparecer. O índice de peróxido foi calculado por meio da seguinte equação:

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

onde: A: volume do tiosulfato utilizado na titulação da amostra (mL); B: volume do tiosulfato utilizado na titulação do branco (mL); N: normalidade da solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; W: massa da amostra (g).

#### 4.4.6 Densidade Relativa

Num picnômetro de 5mL previamente pesado, foi adicionado aproximadamente 5 mL de água destilada e pesou-se. Em seguida, adicionando-se aproximadamente 5 mL da amostra e pesou-se. O cálculo da densidade foi feito de acordo com a expressão:

$$d_x = m_x / m_{\text{água}}$$

onde: d<sub>x</sub>: densidade relativa da amostra; m<sub>x</sub>: massa da amostra (g); m<sub>água</sub>: massa da água (g).

#### 4.4.7 Teor de Cinzas

Com auxílio de uma estufa a 105°C ± 5°C, a cápsula de porcelana foi secada durante 1 hora. Após esse período, ela foi colocada no dessecador para esfriar. Então, na cápsula vazia e pesada, adicionou-se aproximadamente 6 g de amostra. A placa com a amostra foi levada à mufla a 550°C ± 5°C por 4 horas. Após esse período, colocou-se a mesma no dessecador para

esfriar. Então, realizou-se a pesagem da cápsula com a amostra. O teor de cinzas foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\% \text{ Cinzas} = [(C - B) / A] \cdot 100$$

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

#### 4.4.8 Teor de Umidade e Voláteis (AOCS Da-2a-48)

Com auxílio de uma estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , a placa de Petri foi secada durante 1 hora. Após esse período, colocou-se a mesma no dessecador para esfriar. Então, a placa vazia foi pesada, e nela adicionou-se aproximadamente 6 g de amostra. A placa com a amostra foi levada à estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 1 hora. Após esse período, ela foi colocada no dessecador para esfriar. Então, pesou-se a placa com a amostra. O teor de umidade e voláteis foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\% \text{ Umidade e Voláteis} = [(C - B) / A] \cdot 100$$

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

#### 4.4.9 Viscosidade Dinâmica

Para determinar a viscosidade utilizou-se um viscosímetro Quimis modelo Q860M26. Esse equipamento dispõe de cinco rotores distintos entre si em relação ao diâmetro, sendo que para o óleo de canola utilizou-se o rotor nº 2 e para os ésteres e epóxidos metílicos e etílicos, o rotor nº 1. A viscosidade foi determinada a  $40^{\circ}\text{C}$ . O aquecimento da amostra foi promovido por meio de uma chapa de aquecimento, a temperatura será medida por um sensor que acompanha o produto.

#### 4.4.10 Índice de Hidroxila (AOCS Cd 13-60)

Para a determinação do Índice de Hidroxila, pesou-se em um balão de fundo redondo de 250 mL, 10 g da amostra do epóxido de éster metílico de óleo de canola, adicionando 5 mL

do reagente piridina/anidrido acético (3/1 volume) e colocando-os em um balão num banho-maria por 1 hora sobre refluxo. Após o aquecimento, foram adicionados 10 mL de água por meio do condensador para o balão e aqueceu-se em banho-maria com tempo adicional de 10 minutos em refluxo. Utilizando 25 mL de álcool butílico para lavagem interna do condensador e os lados do balão. Por fim, foi adicionado 1 mL de solução indicadora de fenolftaleína e titulado com potassa alcoólica 0,5 M até a coloração rosa. O mesmo procedimento foi realizado sem a presença do epóxido para se obter o branco. Paralelamente ao experimento anterior, pesou-se 9 g do epóxido num erlenmeyer para a determinação da acidez. Adicionando 10 mL de piridina e 1 mL de solução indicadora de fenolftaleína. A mistura foi titulada com potassa alcoólica 0,5 M até a coloração ficar rosa. Os mesmos procedimentos foram adotados para a análise do epóxido de éster etílico. O índice de hidroxila foi determinado pela seguinte expressão:

$$\text{Índice de Hidroxila} = [B + (W \cdot A/C) - S] \cdot N \cdot 56,1 / W$$

onde: A: volume da solução de KOH necessária para titulação de acidez, em mL; B: volume da solução de KOH necessária para titular o branco, em mL; C: massa da amostra usada para a titulação da acidez, em g; S: volume da solução de KOH necessária para titular a amostra acetilada, em mL; W: massa da amostra usada para acetilação, em g; N: normalidade ou molaridade da potassa alcoólica.

#### 4.4.11 Oxigênio Oxirano (AOCS Cd 9-57)

Na determinação do oxigênio oxirano, foram pesados 0,3 g da amostra do epóxido em um erlenmeyer de 250 mL, e então, adicionou-se 10 mL de ácido acético glacial sob agitação até total dissolução. Em seguida, foi adicionado 5 gotas do indicador violeta cristal (solução 0,1% em ácido acético glacial) e o sistema foi agitado. Por fim, a mistura foi titulada com uma solução de ácido bromídrico 0,1 M até que a solução passasse para coloração azul esverdeada permanente por 30 segundos. O volume gasto na titulação foi anotado. O cálculo do oxigênio oxirano foi realizado de acordo com a expressão:

$$\text{OO\%} = 4,3 \cdot V \cdot M/W$$

onde: OO%: porcentagem do teor de epóxido, %; V: volume gasto na titulação em mL; M: molaridade da solução de ácido bromídrico; W: massa da amostra de epóxido em g.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Transesterificação

O método de obtenção empregado para a obtenção do biodiesel baseia-se na reação entre óleos vegetais e álcool, sob uma ação catalítica. Esse processo reacional é denominado de transesterificação, a qual gera ésteres de ácidos graxos e glicerol como subproduto, por meio da decomposição da molécula dos triglicerídeos, se caracterizando assim, como uma reação reversível (Silva, 2024).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo a síntese de dois biodieseis, pelo método de transesterificação. A metodologia adotada consistiu no emprego de duas rotas distintas, definidas como rota metílica e etílica, utilizando-se o óleo de canola como matéria-prima e diferentes álcoois (metanol e etanol anidro), na presença de um catalisador básico de hidróxido de potássio (KOH).

A reação de transesterificação do óleo de canola apresentou rendimento de 94% para os ésteres metílicos, utilizando-se o emprego do metanol no processo reacional. Já os ésteres etílicos, alcançou um rendimento de 91%, com a utilização do etanol anidro. Considerando os rendimentos obtidos, observa-se que a obtenção dos ésteres metílicos e etílicos foram eficazes, conforme ilustrados nas Figuras 7 e 8.

**Figura 7** - Processo de obtenção de ésteres metílicos do óleo de canola.



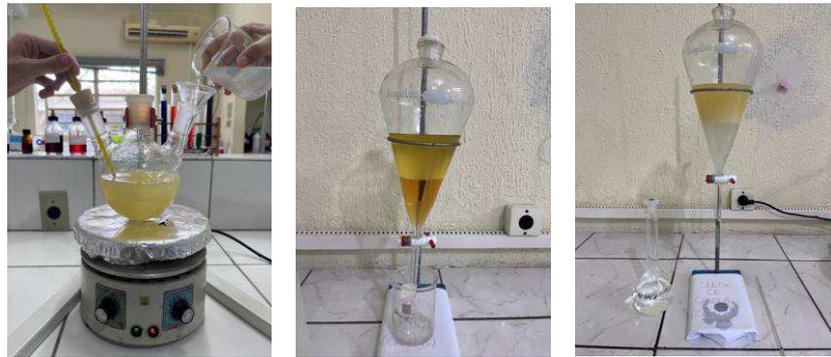
(a) Síntese

(b) decantação

(c) purificação

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

**Figura 8** - Processo de obtenção de ésteres etílicos do óleo de canola.



(a) Síntese

(b) decantação

(c) purificação

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

## 5.2 Epoxidação

Os biolubrificantes do óleo de canola comercial foram obtidos por meio do processo de epoxidação dos ésteres resultantes da transesterificação. De acordo com Ramos (2024), a epoxidação é formado por reações caloríficas que acontecem em fases líquidas diferentes, permitindo a troca de massa entre as elas. Em virtude da elevada reatividade do anel oxirano, os óleos epoxidados são considerados um intermediário essencial na produção de diversos compostos (Ramos, 2024).

O processo de epoxidação dos ésteres metílicos e etílicos obtidos a partir do óleo de canola, mediante a utilização do ácido peracético comercial 15% como reagente epoxidante, resultou em excelentes percentuais. Para o biolubrificante metílico o rendimento alcançado foi de 92%, enquanto os etílicos, o rendimento foi de 89%, conforme ilustrados nas Figuras 9 e 10.

**Figura 9** - Processo de obtenção de epóxidos metílicos do óleo de canola.



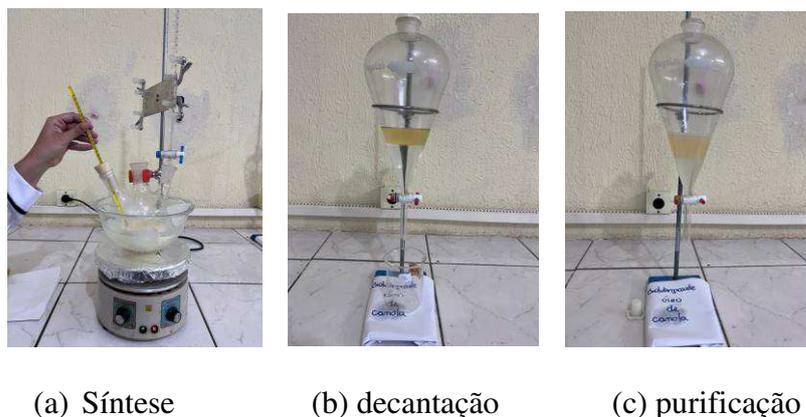
(a) Síntese

(b) decantação

(c) purificação

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

**Figura 10** - Processo de obtenção de epóxidos etílicos do óleo de canola.



(a) Síntese

(b) decantação

(c) purificação

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

### 5.3 Caracterização Físico-Química

#### Aspecto

A **Tabela 2**, apresentada a seguir, descreve os resultados obtidos na análise do aspecto dos produtos em estudo, onde o aspecto refere-se a um elemento visualmente avaliável que permite evidenciar a presença de sedimentos, turbidez e coloração, fatores que são determinantes para a avaliação da qualidade e aparência dos produtos.

**Tabela 2** – Resultados da análise do aspecto referente aos produtos.

Produtos	Aspecto	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas / ANVISA
Ésteres metílicos	Amarelo límpido	Límpido e isento de impurezas / ANP
Ésteres etílicos	Amarelo claro	
Epóxido metílico	Amarelo alaranjado límpido	Nada consta
Epóxido etílico	Amarelo claro	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Mediante os dados expostos acima, observa-se que o óleo canola apresentou uma coloração amarela límpida, alinhada com os padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores (ANVISA), isento de sedimentos ou turbidez indesejáveis, confirmando, assim, a conformidade do produto.

Os ésteres metílicos, biodiesel, apresentou uma coloração amarelo límpido, indicando a ausência de partículas ou impurezas visíveis, ou seja, a substância está relativamente pura e

não contém contaminante que possam alterar suas características. Já os ésteres etílicos apresentaram uma coloração amarelo claro, com uma tonalidade menos intensa que a dos ésteres metílicos. Essa diferença de cor pode estar relacionada à matéria-prima utilizada no processo ou à presença de impurezas em sua composição, contanto, tal fator não qualifica o produto.

Os biolubrificantes não se consta padrões específicos formalizados, ou seja, não existem normas ou regulamentações estabelecidas para sua produção. No entanto, os epóxidos metílicos obtidos, se comparados com a matéria-prima e os ésteres metílicos, apresentaram uma coloração semelhante ao amarelo, isentos de impurezas, o que os qualificam como produtos desejáveis. Por outro lado, os epóxidos etílicos apresentaram uma coloração amarelo claro, podendo conter a presença de partículas sólidas em sua composição. Diante desses fatores, as análises físico-químicas subsequentes serão fundamentais para compreender a natureza do produto adquirido, bem como sua aplicabilidade.

### Umidade e voláteis

A **Tabela 3** apresenta os dados referentes ao teor de umidade e voláteis da matéria-prima, dos ésteres e epóxidos em estudo, permitindo uma análise detalhada deste parâmetro físico-químico.

De acordo com os resultados obtidos, listados na tabela abaixo, observa-se que o teor de umidade e voláteis da matéria-prima excede os padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Esse dado indica uma maior presença de água no óleo sob estudo, o que pode influenciar diretamente na produção dos ésteres e epóxidos.

**Tabela 3** – Resultados da análise da umidade e voláteis referente aos produtos.

Produtos	Umidade e Voláteis (%)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	0,195	≤ 0,1 / ANVISA
Ésteres metílicos	0,021	0,02 / ANP
Ésteres etílicos	0,017	
Epóxido metílico	0,3	Nada consta
Epóxido etílico	0,4	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Os ésteres metílicos apresentaram valores acima dos limites estabelecidos pela ANP, indicando a presença de moléculas de água ou outros componentes utilizados no processo reacional. No entanto, o elevado teor de umidade pode ocasionar a hidrólise dos triglicerídeos (TG), resultando em ácidos graxos livres, que promove o aumento do índice de saponificação, elevando o teor de acidez e proporcionando a perda de rendimento no processo de obtenção dos ésteres (Silva, 2018). Em contrapartida, os ésteres etílicos mostraram-se em conformidade com as normas dos órgãos reguladores, apresentando um percentual de umidade e voláteis abaixo do limite estabelecido, o que representa um fator importante para a qualificação do produto mediante as reações de obtenção.

Ao analisar os resultados obtidos nos epóxidos, observa-se um aumento significativo nos parâmetros de umidade e voláteis, evidenciando que o processo de purificação aplicado não foi suficientemente eficaz para remover a umidade presente nos produtos sintetizados. Entretanto, os epóxidos metílicos obteve 0,3% e os etílicos 0,4%, o que representa um elevado percentual se comparados com Oliveira (2013), que obteve um teor de 0,055%.

### Teor de cinzas

As cinzas são materiais inorgânicos presentes no produto final após a queima completa da matéria orgânica (Baffi, 2023). Mediante o exposto, os resultados descritos na **Tabela 4** mostra as características físico-químico do óleo de canola, ésteres e dos epóxidos, conforme o parâmetro em estudo, permitindo, assim, uma compreensão a cerca das transformações ocorridas neste processo.

**Tabela 4** – Resultados da análise referente ao teor de cinzas dos produtos.

Produtos	Cinzas (%)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	0,021	--- / ANVISA
Ésteres metílicos	0,016	0,02 / ANP
Ésteres etílicos	0,013	
Epóxido metílico	0,1	Nada consta
Epóxido etílico	0,2	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Conforme descrito na tabela acima, observa-se que o teor de cinzas da matéria-prima obtido foi de (0,021%), esse baixo valor encontrado indica uma redução de materiais

inorgânicos ou impurezas no produto, entretanto a ANVISA não estabelece um padrão específico para esse parâmetro.

Os ésteres, metílicos e etílicos, apresentaram-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com valores considerados satisfatórios em relação às normas vigentes. Portanto, estes resultados indicam que as propriedades físico-químicas dos ésteres estão em conformidade com requisitos de qualidade para sua utilização em processos industriais.

As análises realizadas nos epóxidos, metílicos e etílicos, apresentaram um percentual superior ao observado nas amostras de óleo de canola e ésteres, evidenciando que o procedimento de lavagem utilizados mostraram-se insuficientes para a remoção completa de contaminantes, como metais ou resíduos inorgânicos presente nos biocombustíveis. No entanto, se comparados com Macedo *et al.*, (2021), que alcançou (0,55%) para os epóxidos do óleo residual, observa-se que os epóxidos em estudos obteve valores desejáveis, onde metílicos apresentaram um percentual de 0,1% e os etílicos 0,2%. Entretanto, a presença de impurezas pode impactar diretamente o desempenho dos bioprodutos, comprometendo a durabilidade dos equipamentos e aumentando o risco de corrosão nas instalações em que são empregados.

## Densidade

A densidade é uma propriedade intensiva, expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Matematicamente, é definida pela razão entre massa/volume, sendo primordial para identificar substâncias e determinar a concentração de uma solução (Atknis e Jones, 2006; Silva, 2021). No entanto, os resultados descritos na **Tabela 5** evidencia as características físico-químico da matéria-prima, ésteres e dos epóxidos, conforme o parâmetro analisado.

**Tabela 5** – Resultados da análise referente a densidade dos produtos.

Produtos	Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	0,917	0,915 – 0,925 / ANVISA
Ésteres metílicos	0,859	0,850 – 0,900 / ANP
Ésteres etílicos	0,952	
Epóxido metílico	0,887	Nada consta
Epóxido etílico	0,976	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

O óleo de canola obteve  $0,917 \text{ g/cm}^3$ , mostrando-se estar dentro dos padrões especificados pela ANVISA. Os ésteres metílicos obtidos apresentaram uma densidade de  $0,859 \text{ g/cm}^3$ , mostrando que o processo de síntese está dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pelos órgãos competentes. Quando comparado aos resultados obtidos por Pereira (2022), que obteve  $0,935 \text{ g/cm}^3$  para os ésteres metílicos a partir de óleo de soja, observa-se uma densidade inferior no produto analisado. Já os ésteres etílicos, apresentou valores superiores aos prescritos pela ANP, esse fenômeno pode estar interligado as características dos triglicerídeos presentes. No entanto, quanto maior o grau de insaturação dos triglicerídeos, maior será a densidade deste composto.

As densidades obtidas para os epóxidos apresentaram valores elevados quando comparados aos obtidos no óleo de canola e nos ésteres. Esse aumento significativo pode ser explicado pela inserção de ramificações laterais em uma cadeia carbônica, como a hidroxila e a alcóxila, modificando significativamente as interações intermoleculares da molécula. Ou seja, o anel oxirano intensifica as interações do tipo dipolo-dipolo, com a adição da hidroxila a capacidade da molécula de formar pontes de hidrogénio aumenta, corroborando assim, com à sua alta polaridade. Portanto, essa modificação estrutural altera propriedades físicas e químicas da substância, tornando-a mais propensa a realizar interações intermoleculares fortes, o que pode influenciar na razão massa/volume e característica como solubilidade e viscosidade (Ventura, 2022).

### **Índice de acidez**

O índice de acidez é uma medida usada para quantificar a acidez de substâncias, é expresso em miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres presentes em 1g da amostra. A partir dos dados prescritos abaixo na **Tabela 6**, é possível observar os resultados desse parâmetro físico-químico, permitindo a observação de algumas características relevantes da matéria-prima, ésteres e dos epóxidos, e chegar a algumas conclusões importantes acerca das transformações ocorridas no processo.

**Tabela 6** – Resultados da análise referente ao índice de acidez dos produtos.

Produtos	Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	0,335	≤ 0,6 / ANVISA
Ésteres metílicos	0,244	≤ 0,5/ ANP
Ésteres etílicos	0,183	
Epóxido metílico	1,335	Nada consta
Epóxido etílico	1,423	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Os resultados obtidos para a matéria-prima foram satisfatórios nesta análise, estando em conformidade com os padrões estabelecidos pela ANVISA. Permitindo, assim, a verificação do estado de conservação do óleo, que está intimamente relacionado com a natureza, pureza, qualidade, processamento e condições de conservação (Ribeiro *et.al*, 2004; Farias, 2023).

Os valores obtidos para os biodieseis demonstram estar em conformidade com as exigências do órgão regulador, apresentando-se abaixo dos limites estabelecidos pela ANP, o que confere uma boa transformação da matéria-prima utilizada. Nesse contexto, é importante destacar que níveis elevados de acidez podem inviabiliza a produção de biodiesel tendo em vista que acelera a corrosão dos metais que compõem o motor (Martins, 2021).

Os lubrificantes biodegradáveis resultantes da epoxidação, apresentaram para esse parâmetro físico-químico valores elevados, se comparados aos dados descritos no óleo de canola e nos ésteres. No entanto, estudos anteriores demonstram que os produtos epoxidados exibiram valores inferiores quando comparado com Silva (2024), que obteve um índice de 1,497 mg KOH/g óleo para o óleo de milho e 1,982 mg KOH/g óleo para o epóxido etílico. Esse aumento pode estar interligado com vestígios de material ácido presente na solução ou a própria instabilidade do anel epóxido. Quando o anel se rompe, conseqüentemente, ocorre a formação dióis com hidrogénios ionizáveis, capazes de influenciar na acidez do produto (Ventura, 2022).

### Índice de iodo

O índice de iodo quantifica o grau de insaturação presentes em gorduras e óleos, evidenciando a quantidade de ligações duplas presentes na amostra (Cecchi, 2003; Moretto *et*

al., 1986). A **Tabela 7**, indica os resultados deste parâmetro físico-químico para os produtos em estudo, onde é possível observar algumas características relevantes do óleo de canola, ésteres e dos epóxidos. E a partir dessas observações, chegar a algumas conclusões importantes sobre as transformações ocorridas neste processo.

**Tabela 7** – Resultados da análise referente ao índice de iodo dos produtos.

<b>Produtos</b>	<b>Índice de iodo (g I<sub>2</sub>/100g óleo)</b>	<b>Padrão especificado / órgão competente</b>
<b>Óleo de canola</b>	113	96 – 115 / ANVISA
<b>Ésteres metílicos</b>	103	Anotar/ ANP
<b>Ésteres etílicos</b>	107	
<b>Epóxido metílico</b>	36,7	Nada consta
<b>Epóxido etílico</b>	37,6	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

O óleo de canola, como mostra na tabela acima, demonstrou estar dentro dos padrões especificado pela ANVISA, com valores relativamente satisfatório para o índice de iodo. Esse índice se fundamenta no princípio de que o iodo e outros halogênios se ligam às duplas ligações presentes na cadeia insaturada dos ácidos graxos, conseqüentemente, quanto maior o grau de insaturação do óleo maior será o índice (Neuza, 2009).

Os valores apresentados nos ésteres, metílicos e etílicos, encontram-se inferiores a matéria-prima destacando que houve uma redução no número de insaturações após a reação de transesterificação. Contudo, os triglicérides presentes no óleo de canola, convertidos em ésteres, resultaram na modificação de sua estrutura química, o que reduziu o número de ligações duplas nas moléculas, e, conseqüentemente, diminui o grau de insaturação dos ésteres se comparados com à matéria-prima inicial.

Os epóxidos, conforme descrito acima, alcançaram valores abaixo dos ésteres e do óleo de canola, podendo evidenciar uma redução expressiva, mostrando que o processo de obtenção dos biolubrificantes foi eficientes. Entretanto, Farias (2023), obteve valores inferiores (18,23 g I<sub>2</sub>/100g óleo) em relação aos obtidos nesta pesquisa, destacando a presença de insaturações que ainda não foram completamente reagidas nesses processos.

## Teor de sabão

Esse índice determina a quantidade de oleato de sódio gerada durante a neutralização de ácidos graxos e ésteres com um catalisador alcalino. A **Tabela 8**, mostra os resultados deste parâmetro físico-químico para os produtos em análise, onde é possível observar características relevantes da matéria-prima, ésteres e dos epóxidos, e chegar a algumas conclusões primordiais sobre as transformações ocorridas nesse processo.

**Tabela 8** – Resultados da análise referente ao teor de sabão dos produtos.

Produtos	Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	0,060	≤ 10 / ANVISA
Ésteres metílicos	4,01	----- / ANP
Ésteres etílicos	6,13	
Epóxido metílico	1,40	Nada consta
Epóxido etílico	0,73	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Conforme especificado na tabela acima, o teor de sabão obtido neste trabalho para o óleo de canola encontra-se inferior a 10 ppm de oleato de sódio, com um valor mínimo de 0,060 (ppm de oleato de sódio), apresentando-se de acordo com os padrões regulamentados pela ANVISA.

Os biodieseis analisados acima, encontra-se superior aos valores obtidos no óleo de canola, indicando uma maior presença de alcalinidade. Trabalhos como o de Macedo *et. al* (2021), mostra um teor de sabão de inferior (0,22 ppm de oleato de sódio) quando comparados aos ésteres adquiridos nesta análise. No entanto, não há um padrão estabelecido pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

Os lubrificantes biodegradáveis, apresentaram valores inferiores aos ésteres analisados, evidenciando uma redução significativa da alcalinidade do bioprodutos, o que indica que os processos de purificação foram eficazes em remover uma parte do resíduo gerados pelo hidróxido de potássio (KOH), utilizado como catalisador no processo reacional.

## Índice de saponificação

Segundo Cecchi (2003), esse índice corresponde à quantidade em miligramas de KOH, necessário para saponificar os ésteres presentes em 1 grama da amostra e neutralizar os ácidos graxos livres, sendo aplicável para óleos ou gorduras (Cavalcante, 2017). A **Tabela 9** descreve os resultados referentes ao índice de saponificação da matéria-prima, dos ésteres e epóxidos em estudo, permitindo uma análise detalhada deste parâmetro físico-químico.

**Tabela 9** – Resultados da análise referente ao índice de saponificação dos produtos.

Produtos	Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	193	189 - 195 / ANVISA
Ésteres metílicos	126	----- / ANP
Ésteres etílicos	119	
Epóxido metílico	115	Nada consta
Epóxido etílico	108	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Diante dos resultados listados acima, observa-se que o índice de saponificação para o óleo de canola, mostrou-se estar em conformidade com os padrões estabelecidos pela ANVISA. Entretanto, quando esses valores forem superiores, evidencia que as moléculas de triacilglicerídeos estão se quebrando, resultando em uma redução do peso molecular, esse fator pode ser explicado mediante a exposição à altas temperaturas (Ribeiro *et al.*, 2004).

Para os ésteres, como citado na tabela 9, observa-se uma redução satisfatória para esse parâmetro quando relacionados a matéria-prima. Entretanto, a ANP não cita um padrão específico para essa análise. Quando comparados com os valores encontrados por Medeiros (2020), em sua pesquisa, o índice de saponificação para o biodiesel do óleo de coco bruto foi de 201,02 mg de KOH/g óleo em uma proporção de 1:1, destacando, assim, uma inferioridade com resultados obtidos para os ésteres prescritos acima. Com isto, esses dados revelam uma diminuição de impurezas insaponificáveis no decorrer do processo reacional de transesterificação.

Os epóxidos (biolubrificantes) obtidos do óleo de canola, apresentaram valores inferiores quando comparados aos ésteres e a matéria-prima para esse parâmetro, evidenciando uma menor quantidade de contaminantes que podem ser hidrolisados ou degradados em meio alcalino. Estudos como o de Farias (2023), apresentou valores superiores (178 mg KOH/g óleo)

para o óleo de pinhão-manso nesta análise, mostrando uma redução para esse parâmetro, quando comparados aos encontrados por Farias (2023).

### Índice de peróxido

Esse parâmetro tem a função de determinar o grau de oxigênio ativo dos óleos e gorduras, sendo expresso em miliequivalentes de peróxido por 1000g de amostra. A partir dos dados prescritos abaixo na **Tabela 10**, é possível observar os resultados referentes ao índice de peróxido da matéria-prima, dos ésteres e epóxidos em estudo, permitindo uma análise detalhada deste parâmetro físico-químico.

**Tabela 10** – Resultados da análise referente ao índice de peróxido dos produtos.

Produtos	Índice de peróxido (meq/kg)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	0,006	≤ 10 / ANVISA
Ésteres metílicos	0,007	----- / ANP
Ésteres etílicos	0,006	
Epóxido metílico	0,002	Nada consta
Epóxido etílico	0,002	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

O valor obtido para o óleo de canola nesta análise foi de 0,006 meq/kg, mostrando estar dentro dos padrões citados pela ANVISA, a qual determina que deve ser igual ou inferior a 10 meq/kg. De acordo com Cecchi (2003), no processo de deterioração de óleos e gorduras, os peróxidos são inicialmente os primeiros compostos gerados, quando oxidados irão apresentar resultados satisfatórios para as análises de peróxidos. No entanto, por meio desse método analítico, é possível identificar os primeiros estágios iniciais de rancificação, antes que essa alteração seja identificada pelas sensações organolépticas.

Os resultados encontrados para os ésteres, metílicos e etílicos, encontra-se relativamente baixo, quando comparados com Macedo *et al.*, (2021), onde o índice para os ésteres do óleo residual apontou valores superiores, metílico 0,038 meq/kg e 0,041 meq/kg para a rota etílica, evidenciando que os biodieseis obtidos a partir do óleo de canola apresentam menor concentração de peróxido em sua composição. Válido ressaltar, que a ANP não cita padrão específico para esse determinado parâmetro.

Os biolubrificantes, obtiveram para esse parâmetro valores inferiores a matéria-prima e os ésteres, demonstrando uma redução deste índice após a epoxidação dos biodieseis, o que resulta em um baixo potencial de degradação dos epóxidos obtidos nesse trabalho.

### Viscosidade cinemática a 40°C

A viscosidade cinemática está associada ao tempo de escoamento de um fluido sob ação gravitacional, sendo definida como a relação entre a viscosidade dinâmica e a densidade do fluido (Martins, 2021). No entanto, os resultados descritos na **Tabela 11** evidencia as características físico-químico da matéria-prima, ésteres e dos epóxidos, conforme o parâmetro em estudo.

**Tabela 11** – Resultados da análise referente a viscosidade cinemática a 40°C dos produtos.

Produtos	Viscosidade Cinemática a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	Padrão especificado / órgão competente
Óleo de canola	34,61	----- / ANVISA
Ésteres metílicos	3,07	3,0 – 6,0 / ANP
Ésteres etílicos	3,21	
Epóxido metílico	12,03	Nada consta
Epóxido etílico	11,01	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024; BRASIL, 2021; BRASIL, 2006; BRASIL, 2014

Com base nos dados prescritos acima, observa-se que a matéria-prima obteve para esse parâmetro 34,61 mm<sup>2</sup>/s, um valor alto, quando comparado com Cruz (2022) que alcançou um índice de 27,3 mm<sup>2</sup>/s para o óleo de soja residual neste parâmetro. Entretanto, a ANVISA não cita um padrão específico para a viscosidade cinemática a 40°C mm<sup>2</sup>/s.

Os valores citados para os ésteres em estudos, apresentaram-se satisfatórios, quando relacionados aos estabelecidos pela ANP, estando abaixo de 6,0 mm<sup>2</sup>/s, evidenciando, assim, que a reação de transesterificação foi eficaz para reduzir a viscosidade da matéria-prima. Esse fator pode ser explicado pela menor extensão da cadeia dos ésteres em comparação a cadeia dos triglicerídeos. No entanto, conforme cita Knothe *et al.*, (2006), elevados valores podem surgir complicações na área de lubrificação do sistema de injeção do motor.

Avaliando os resultados dos produtos epoxidados, observa-se um aumento em relação aos ésteres. Esse fator pode ser explicado, mediante à inserção de ramificações laterais na cadeia principal do composto. Onde após o processo reacional, a hidroxila adicionada intensifica as

ligações de hidrogênio, superando as interações dipolo-dipolo previamente promovidas pelo anel oxirano, resultando no aumento da viscosidade (Ventura, 2022). Vale ressaltar que Ventura (2022), nesse trabalho, obteve valores superiores aos apresentados na análise desse índice para o biolubrificante.

### Índice de hidroxila

Esse parâmetro determina a quantidade de grupos hidroxila presentes na molécula, expresso em miligramas de hidróxido de potássio (KOH) necessários para neutralizar os grupos hidroxila (-OH) em 1 grama de amostra. A **Tabela 12** evidencia as características físico-químico da matéria-prima, ésteres e dos epóxidos, conforme o parâmetro em estudo.

**Tabela 12** – Resultados da análise referente a índice de hidroxila dos produtos.

Produtos	Índice de hidroxila (mg KOH/ g óleo)	Padrão especificado / órgão competente
Epóxido metílico	5,1	Nada consta
Epóxido etílico	7,2	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024.

Mediante os dados apresentados acima, observa-se que o índice de hidroxila obtido para o epóxido metílico foi de 5,1 mg KOH/g óleo, enquanto o epóxido etílico foi de 7,8 mg KOH/g óleo para esse parâmetro. Se comparado com Pereira (2022), que obteve um índice 20,7 mg KOH/g óleo para o biolubrificante metílico do óleo de soja refinado, os resultados encontrados nos epóxidos desse estudo, apresenta-se abaixo do mensurado. No entanto, a presença de hidroxilas no epóxido, possivelmente esteja interligada à alta concentração de ácido peracético utilizada no processo de epoxidação.

### Oxigênio oxirano

Esse parâmetro refere-se à quantidade ou percentual de oxigênio oxirano presente em uma amostra, como em óleos epoxidados. A **Tabela 13** evidencia as características físico-químico da matéria-prima, ésteres e dos epóxidos, conforme o parâmetro em estudo.

**Tabela 13** – Resultados da análise referente a oxigênio oxirano dos produtos.

<b>Produtos</b>	<b>Oxigênio Oxirano (%)</b>	<b>Padrão especificado / órgão competente</b>
<b>Epóxido metílico</b>	10,9	Nada consta
<b>Epóxido etílico</b>	11,01	

Fonte: Dados da Pesquisa, 2024.

Neste trabalho as amostras epoxidadas, obtiveram um percentual de 10,9% para o metílico e 11,01% para o biolubrificante etílico, permitindo verificar a formação de anéis oxiranos, resultante da inserção do oxigênio nas insaturações, gerando assim, os epóxidos. No entanto, Baltacioglu e Balkose (1999) afirma que este valor deve ser superior a 6,3%. Diante dos resultados descritos acima, na tabela 13, constata-se que os epóxidos metílicos apresentaram uma conversão mais eficiente, em relação aos ésteres etílicos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo, foi possível confirmar a eficácia das reações de transesterificação e epoxidação aplicadas no processo de obtenção de biolubrificantes, utilizando o óleo de canola como matéria-prima e, conseqüentemente, reforçar a viabilidade desse método como uma alternativa sustentável aos lubrificantes minerais oriundos do petróleo, afim de reduzir os impactos ambientais.

Conforme citado nos resultados, as reações de transesterificação apresentaram elevados índices de conversão dos ésteres, equivalente a 94% para metílicos e 91% para os etílicos. Esses valores evidenciam o aprimoramento significativo nas propriedades dos produtos e concordância com os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis (ANP). Ademais, destaca-se uma redução expressiva na viscosidade cinemática dos biodieseis, o que promove melhorias em sua fluidez e eficiência na aplicação.

Os biolubrificantes obtidos pelo processo de epoxidação demonstraram altos índices de rendimentos, sendo 92% para os epóxido metílico e os etílicos 89%. Os valores encontrados, apresenta-se semelhantes aos citados na literatura, evidenciando que o processo reacional foi eficaz na diminuição do índice de iodo dos ésteres (metílicos e etílicos). Além disso, o índice de oxigênio oxirano e o teor de hidroxilas, evidenciam que o processo reacional ocorreu de forma adequada.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, K. F. B. *et al.* IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO DESCARTE INCORRETO DE ÓLEO LUBRIFICANTE NAS OFICINAS MECÂNICAS. **Revista FT**, v. 27, Edição 127, Out., 2023.

ANP – [Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Nota Técnica Nº 10/2021/SBQCPT- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em CQC/SBQ/ANP).

ARRUDA, A.L.L. **Separação de Ácidos Graxos Livres e Triacilgliceróis por Destilação a Vácuo**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2016.

ATKINS, P.; JONES, L.; **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**, 3.ed., Bookman: Porto Alegre, 2006.

BAFFI, L.G. **Caracterização Térmica Da Biomassa De Dillenia Indica (Maçã-De-Elefante) Para Viabilização Na Produção De Energia**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Energia), Universidade Estadual Paulista, Rosana – SP, 2023.

BALTACIOGLU H; BALKOSE, D. “Effect of zinc stearate and/or epoxidized soybean oil on gelation and thermal stability on PVC-DOP plastigels”. *Journal of Applied Polymery Science*. 74, 2488-2498, 1999.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Resolução ANP nº 804/2019. Dispõe sobre os critérios para obtenção do registro de graxas e óleos lubrificantes e as responsabilidades e obrigações dos detentores de registro, produtores e importadores. **Diário Oficial da União**, p. 956-958, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA nº 362/2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. **Diário Oficial da União**, p. 128-130, 2005.

CANOLA COUNCIL OF CANADA. **Canola Encyclopedia: History of canola seed development**, 2021a.

CARDOSO, Bruno Monteiro. **Uso da biomassa como alternativa energética**. Escola Politécnica (Curso de Engenharia Elétrica), Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, Ana Carolina de Oliveira. **Características Físico-Químicas de Óleos Vegetais Comestíveis Puros e Adulterados**, 2017, 79 p. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química), Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, 2017.

CAVALCANTE, Glene Henrique Rodrigues. **Estudo de óleos nativos da Amazônia (Babaçu e Andiroba): modificação química, caracterização e avaliação como biolubrificante**. 2016. 82 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

CAVALCANTE, Lilianne Shirley Santos Rangel. **Caracterização físico-química e análise térmica do óleo da semente de Moringa Oleífera**. 2017. 57f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2017.

CAVALCANTI, I. dos S.; SOARES, I. P. **Obtenção de biolubrificante a partir de óleo de palma (Elaeis guineense)**. VII Encontro de Pesquisa e Inovação, 253-256 p., 2023.

CECCHI, H. M. Fundamentos Teóricos e Práticos em análise de alimentos. 2ª ed. rev. Campinas, SP. Editora da Unicamp, 2003.

CECILIA, Juan Antonio *et al.* An Overview of the Biolubricant Production Process: Challenges and Future Perspectives. **Processes**. Basel, Switzerland, v. 8, n. 3, p. 257, 2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 11º levantamento, agosto 2024.

COSTA, A.O. **A Inserção Do Biodiesel Na Matriz Energética Nacional: Aspectos Socioeconômicos, Ambientais E Institucionais**. 2017. 248 p. Tese de Doutorado da COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2017.

CRUZ, J. F. S. **QUÍMICA E SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE COMPARATIVA DA OBTENÇÃO DE LUBRIFICANTES BIODEGRADÁVEIS PELA EPOXIDAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA COMERCIAL E USADO EM FRITURA**. 2022. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) - Universidade Federal de Campina Grande, Cuité - PB, 2022.

DANTAS, C.C.D C. **A Influência Da Quarta Revolução Industrial No Exercício Do Profissional Contábil**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Contábeis), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

DEMARCO, J. O.; CANDATEN, R. **Canola: alternativa de cultivo para o inverno na região sul. Equipe Mais Soja**. PET Ciências Agrárias – UFSM/FW, 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Canola: panorama atual e tecnologias de produção no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2022.

FARIAS, Higor Henrique. **Epoxidação etílica do óleo de pinhão-manso para obtenção de lubrificante biodegradável**. 2023. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em

Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, Cuité - PB, 2023.

FELIPE, A. S. *et al.* **Combustíveis Fósseis e os Impactos à Vida Marinha**. Atena Editora, Principais temas da pesquisa em Ciências Biológicas, Cap. 5., 2023.

FRACALANZA, A. P., *et al.*, **Sociedade, Meio Ambiente E Cidadania Em Tempos De Pandemia**. Blücher, São Paulo - SP, 2022.

GUEDES JUNIOR, J.G.E. **Desenvolvimento E Otimização Da Produção De Diésteres De Etileno Glicol (Biolubrificantes) por Hidroesterificação Enzimática Do Óleo De Fritura**. 102 p. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte - Mg, 2021.

HRYCZYNA. A.B. *et al.* **Adubação foliar de boro em dois híbridos de canola**. Nativa, Sinop, v. 9, n. 5, p. 600-604, Maringá-PR, 2021.

JESUS, A.P., **Desafios e oportunidades da transição energética no mercado de lubrificantes**. Trabalho de Conclusão de Curso (monografia), Rio de Janeiro, RJ – Brasil, 2022.

KARMAKAR, G.; GHOSH, P.; SHARMA, B.K. Chemically Modifying Vegetable Oils to Prepare Green Lubricants. **Lubricants**. v.5, 2017.

KNOTHE, G. *et al.* Manual de Biodiesel. São Paulo: Blucher, 2006. 352 p. Disponível em: Manual de biodiesel - Editora Blucher. Acesso em: 28 fev. 2024.

Laviola, B. G. Os Novos Biocombustíveis e Expansão da Produção Sustentável de Oleaginosas no Brasil. 2023.

LOPES, A.R.S.; JÚNIOR, M.M.V. O Antropoceno como Regime de Historicidade. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, ISSN-e 2175-3423, Vol. 12, Nº. 23, 2020.

LOPES, S.I.M. **A Educação Socioambiental E A Emergência De Novos Paradigmas De Sustentabilidade: Contributos De Uma Empresa De Energias Renováveis Para O Processo De Transição Energética**. Dissertação de Mestrado em Educação Social. Universidade do Algarve, Portugal, 2022.

MACEDO, A. D. M. *et al.* Otimização do Processo de Síntese de Biolubrificantes por Epoxidação de Óleo Residual Oriundo de Restaurante Universitário. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.12, p.119743-119761, dec. 2021.

MARTINS, C.O. **Valorizando subprodutos das produções de óleo de soja e etanol: síntese e análise técnico-econômica da produção de biolubrificantes em biorrefinarias**. Departamento De Engenharia Química, Dissertação De Mestrado Engenharia Química, Universidade Federal De São Carlos, São Carlos -SP, 2023.

MARTINS, Giselle Marianna Sousa. **Análise do óleo da macaúba como potencial óleo básico de um biolubrificante**. 2021. 42 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

MATOS, P. R. R. **Biolubrificantes**. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2022.

MATOS, P. R. R. **O Óleo de macaúba como matériaprima básica de um biolubrificante: um estudo teórico experimental**. 2018. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MEDEIROS, L. V. P. *et al.* Produção de biodiesel a partir do aproveitamento do óleo de coco obtido de material vegetal da região do Semiárido Potiguar. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v.6, n.9, p.68153-68172, sep. 2020.

MELO, Lucas Natã de. **Estudo do processo de interesterificação química de óleos vegetais, com foco na autointeresterificação do óleo de mamona, e avaliação do potencial uso de seus produtos de reação**. 2024. 221 f. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Programa de Pós-graduação em Química e Biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

MENDONÇA, A. P. **Secagem e extração do óleo das sementes de andiroba (*Carapa Surinamensis* Miq. E *Carapa guianensis* Aubl.)**. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 2015.

MORETTO, E., ALVES, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela Editora, 1998. 150 p.

MORETTO, E., ALVES, R. **Óleos e Gorduras Vegetais: Processamento e análises**. Florianópolis: UFSC, 1986. 179 p.

NASCIMENTO, R.S., *et al.*, Revisão Sistemática: avaliações dos descartes de óleos lubrificantes usados ou contaminados pelas oficinas, **Engenharias - Automação, Robótica, Metrologia e Energia: estudos e tendências** - Editora Científica Digital, Vol.1, Guarujá - SP, 2023.

NELSON, Matthew N. *et al.* Strategies to improve field establishment of canola: A review. **Advances in Agronomy**, v. 175, p. 133–177, 2022.

NEUZA, J., **Química e Tecnologia de Óleos Vegetais**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2009.

O'BRIEN, R. D. **Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications**. 2. ed. New York, CRC Press, 2004.

OKECHUKWU, N. N., et., al., Friction Assessment of Canola Oil on Contact Bearing Materials. Tribology and Lubricants, **Tribology and Lubricants**. Vol. 36, No. 1, pp. 11-17, February 2020.

OLIVEIRA, Ana Flávia de. **Síntese e caracterização de biolubrificantes obtidos através de modificações químicas no óleo de soja refinado**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Curitiba, 2013.

OLIVEIRA, M.G.N.; CRUZ, M.A.L.; FERREIRA, T., **Impactos Causados Pelo Uso Dos Combustíveis Fósseis e o Uso Do Biocombustível Como Solução Viável**. ETEC Benedito Storani, Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico de Química), 2021.

OLIVEIRA, Talita. **Evolução Da Matriz Energética Brasileira Em Comparação Com Outros Países**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2022.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. Geneva: World Health Organization, p. 273, 2021.

PELLIZZON, E. **Principais Técnicas De Encapsulação De Óleos Vegetais: Uma Revisão**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2024.

PEREIRA, Antônio Marcos Silva. **Estudo comparativo das propriedades físico-químicas de biolubrificantes obtidos do óleo de soja refinado e residual**. 2022. 44 fl. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso de Licenciatura em Química, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité – Paraíba, Brasil, 2022.

PIOVANI, J.T.; TRIGOSO, F.B.M., Perspectivas energéticas no Brasil e no Mundo. **Engenharias - Automação, Robótica, Metrologia e Energia: estudos e tendências**. ISBN 978-65-5360-278-6 - Vol. 2, Editora Científica Digital, 2023.

PORTALLUBES. **Mercado de biolubrificantes poderá crescer até 6% no brasil até 2024**. Editora ONZE, out. de 2022b.

RAMALHO, D. A. S., OLIVIERA, G. A., MIRANDA, P.P.C., **TIPOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Centro Universitário de Barra Mansa, Barra Mansa, 2022.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista virtual de Química**, V. 4, n. 1, 2013.

RAMOS, J.D.F. **Epoxidação Metálica Do Óleo De Algodão Visando A Obtenção De Um Lubrificante Biodegradável**. Trabalho de conclusão de curso (Química), Universidade Federal de Campina Grande, Cuité-PB, 2024.

RIBEIRO FILHO, Paulo Roberto Campos Flexa. **Síntese e características tribológicas de lubrificantes de base biológica obtidos a partir dos óleos de pequi, soja e mamona.** 2023. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E.A.G. Química de Alimentos. São Paulo: Edgard Blücher, Instituto Mauá de Tecnologia, 2004.

RIBEIRO, Millene Lopes. **Determinação da biodegradabilidade de derivado do óleo da polpa de macaúba com potencial biolubrificante por modelo biocinético.** 2022 60 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

RIOS, I.C. **Síntese E Caracterização De Novas Moléculas Derivadas Da Mistura De Ácidos Graxos Do Óleo Da Mamona (Ricinus Communis L.) Para Aplicação Em Biolubrificantes.** Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

RODRIGUES, S. C. et., al., Os Recursos Naturais No Processo De Desenvolvimento Econômico Capitalista: Uma breve reflexão. **Semioses**, v.13, n.4, p.50-68, 2019.

SALIMON, J.; SALIH, N.; ABDULLAH, B. M. Improvement of Physicochemical Characteristics of Monoepoxide Linoleic Acid Ring Opening for Biolubricant Base Oil. **Journal Of Biomedicine And Biotechnology**. Malaysia v. 34, p. 1089-1096, jul. 2011.

SANTOS JUNIOR, Glalber Camilo dos. **Estudo sobre catalisador heterogêneo ácido produzido a partir de biomassa residual e aplicado na síntese de biolubrificantes.** 2023. 43 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

SANTOS, A. C. *et al.* **Estudo prospectivo de óleos vegetais.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, ISSN 2177-4439, 2022.

SANTOS, J. E. **Óleos Vegetais: Um Estudo Da História, Propriedades E Métodos De Obtenção.** Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2020.

SHAHIDI, F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 6. ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2005.

SILVA, F. A. **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE LUBRIFICANTES BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DO ÓLEO DE MILHO.** Trabalho de Conclusão de Curso (monografia) - Universidade Federal de Campina Grande, Cuité - PB, 2024.

SILVA, Gislene de Oliveira. **Obtenção e caracterização de biodiesel a partir de óleo residual de fritura por catálise alcalina via transesterificação.** 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus

Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Química, Curso de Licenciatura em Química, Marabá, 2018.

SILVA, M.F. da. **Valiação Da Conformidade De Álcool Etilico Antisséptico E Higienizante Durante A Flexibilização De Comercialização Pela Anvisa**. Trabalho de conclusão de curso (Química), Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, 2021.

SILVA. L.P. **Caracterização Física E Química Das Sementes De Andiroba (Carapa Guianensis) Visando A Extração Do Óleo**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, Capanema – PA, 2023.

SLAVEC. G.A., Validação Tribológica De Biograxas Sintetizadas Comparadas Com Graxas Minerais Comerciais. Dissertação de Mestrado Engenharia Química, Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2020.

SYAHIR, A. Z. *et al.* A review on bio-based lubricants and their applications. **Journal of Cleaner Production**. Amsterdam, v. 168, p. 997-1016, 2017.

TAVARES, L.E., Dossiê: Cartografia das Ruínas do Antropoceno Brasileiro. **Aurora: revista de arte, mídia e política**, São Paulo, v.15, n.45, p. 3-8, 2023.

TORQUATO, Davi Braga. **Análise da produção de biodiesel a partir da etanólise de óleo refinado e residual**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2019.

VENTURA, Pedro Ramos Nogueira. **Obtenção de biolubrificantes derivados do ácido ricinoleico e álcool isoamílico via processo de epoxidação**. 2022. 51 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

XAVIER, C.E.S. **Extração De Biodiesel Utilizando Como Matéria-Prima O Óleo De Canola Por Meio Do Método De Transesterificação Supercrítica Em Reator Contínuo**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2022.

ZEFERINO, M; RAMOS, S. de F. Mercado Mundial de Óleos Vegetais: panorama e perspectivas. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 18, n. 5, p. 1-8, maio 2023.

ZZEYANI, S. *et al.* Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil. *Tribology International*, [s.l.], v. 114, p.27-32, out. 2017.