

PRODUÇÃO DE BIOLUBRIFICANTES UTILIZANDO O ÓLEO DE MAMONA NUMA PERSPECTIVA AMBIENTAL

Andrew Diego Medeiros Macedo¹
Higor Henrique Faria²
José Carlos Oliveira Santos³

RESUMO

Biolubrificantes são todos os lubrificantes que são rapidamente biodegradáveis e não tóxicos para os seres humanos e para o meio ambiente, evidenciando na sua síntese os princípios da química verde. Sintetizar lubrificantes biodegradáveis a partir de recursos renováveis por epoxidação é uma alternativa sustentável frente à química convencional, que se baseia no uso de insumos fósseis, gera resíduos tóxicos e causa impactos ambientais adversos. As aplicações do óleo da mamona são inúmeras. O uso mais importante e que consome a maior quantidade é a fabricação de tintas, vernizes, cosméticos e sabões. É também muito usado na produção de plásticos e de fibras sintéticas. Este trabalho consiste na produção de biolubrificantes a partir do óleo de mamona utilizando a transesterificação do óleo, seguido da epoxidação metílica e etílica de seus ésteres. Os materiais envolvidos no processo foram caracterizados através de suas propriedades químicas e físico-químicas. A transesterificação, que transforma o óleo em biodiesel, propiciou um rendimento de 94% para o biodiesel metílico e 92,7% para o biodiesel etílico. Já a epoxidação, reação que transforma o biodiesel em biolubrificante, propiciou um rendimento de 91,3% para o biolubrificante metílico e 87,6% para o biolubrificante etílico. Os produtos obtidos tiveram suas propriedades adequadas em comparação com os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Desta forma, a produção de lubrificantes biodegradáveis poderá ajudar de forma significativa na diminuição do impacto ambiental do uso de materiais fósseis para produção de lubrificantes, bem como do aproveitamento de material da biomassa da região nordeste.

Palavras-chave: Meio Ambiente, Biomassa, Epoxidação, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

As fontes de energia são essenciais à vida do homem, pois proporcionam maior qualidade de vida. Segundo Ramos *et al.* (2017), cerca de 80% da energia gerada no mundo é proveniente dos combustíveis fósseis, tais como carvão, petróleo e gás natural. Esse fato tem desencadeado um problema ambiental grave. Isso é ocasionado principalmente porque o uso de combustíveis fósseis libera elevada quantidade de gases poluentes, como o monóxido de carbono, os quais contribuem, por exemplo, com a intensificação do efeito estufa, aumentando gradativamente o aquecimento global (SANTOS *et al.*, 2019).

¹ Graduando do Curso de Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, andrew.diego@estudante.ufcg.edu.br;

² Graduando do Curso de Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, jgsaadblog@gmail.com;

³ Professor orientador: Doutor em Química, Centro de Educação e Saúde - UFCG, jose.oliveira@professor.ufcg.edu.br.

A rápida diminuição das reservas de combustíveis fósseis, a extração, o transporte e os processos industriais de transformação do petróleo são responsáveis por diversos danos ambientais como derramamentos, geração de resíduos e efluentes tóxicos de difícil degradabilidade, pela contaminação dos lençóis freáticos por gasolina e seus aditivos, pelo acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, intensificando o efeito estufa (EREDA, 2004).

Quando se ouve falar das aplicações da mamona, parece que ela é uma panaceia para tudo. Na verdade, todas as utilidades da planta são frutos de várias pesquisas em empresas e universidades que, aos poucos, vão se transformando em produtos e qualidade de vida para a sociedade. Em outra frente, tem-se a preocupação com a inclusão social, diminuição das importações de diesel mineral e a ambição de proporcionar um novo modelo de gestão do desenvolvimento agrário e energético (CANGEMI *et al.*, 2010). O óleo de mamona pode ser utilizado na fabricação de sabão, produção de biodiesel e outros produtos biodegradáveis, como os biolubrificantes.

Além de seu alto poder calorífico, os óleos vegetais apresentam qualidades que os diferenciam como combustíveis sustentáveis: a ausência de enxofre na sua composição química; o fato que a sua produção industrial não gera substâncias danosas ao meio ambiente e, ainda, o fato de serem elaborados a partir de culturas vegetais que consomem o dióxido de carbono da atmosfera durante a fotossíntese (MELO, 2020). Apesar de ser favorável do ponto de vista energético, a utilização direta dos óleos vegetais em motores a diesel é muito problemática. Estudos mostram que a sua combustão direta conduz à carbonização de peças, resistência à ejeção nos êmbolos, diluição do óleo do cárter, contaminação do lubrificante, entre outros problemas (RINALDI *et al.*, 2007). Daí a necessidade do seu uso após processos.

Pesquisas têm mostrado que uma das alternativas para melhorar as características de uso dos óleos vegetais nos motores é a modificação promovida por reações químicas, como a transesterificação (biodiesel) e a epoxidação (biolubrificantes) (LATHI; MATTIASSON, 2007). Assim, este trabalho de pesquisa foi desenvolvido com o objetivo de sintetizar um biolubrificante renovável a partir de óleo de mamona, que fosse menos agressivo ao meio ambiente, que não contenha aditivos sintéticos, modificadores de viscosidade, inibidores de corrosão e elevada quantidade de metais pesados, visando diminuir custos de produção e minimizar impactos para os diferentes ecossistemas.

METODOLOGIA

MATERIAIS

O óleo de mamona foi adquirido no comércio local e produzido por indústria brasileira, e por se tratar de um óleo bruto passou por processo de purificação e foi submetido a reações de transesterificação e epoxidação.

PROCEDIMENTO DE EXTRAÇÃO DO BIODIESEL E DO BIOLUBRIFICANTE

Para obtenção dos ésteres metílicos e etílicos, inicialmente foi feito um cálculo da massa molar do óleo de mamona a partir do seu índice de saponificação. Com o conhecimento dessa massa foram calculadas as quantidades de álcool (etanol e metanol) 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 h, 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 etílico e inferior composta de glicerol, sabões, excesso de base e álcool. Após o tempo de espera, a fase inferior foi retirada e armazenada num recipiente próprio. Em seguida, foi realizada a lavagem dos ésteres com água destilada e ácido clorídrico 0,01M. Foram feitas três lavagens com água destilada (retirar da fase dos ésteres resíduos de glicerol e sabões) e duas lavagens com solução de HCl 0,01M (neutralizar os ésteres). Para verificar a eficiência da lavagem ácida foi utilizada fenolftaleína. Após as lavagens, foi adicionado sulfato de magnésio anidro para retirar a água que ainda estivesse presente nos ésteres. Em seguida, a fim de remover o álcool que poderia ainda estar presente no éster, foi utilizado um evaporador rotativo.

Na reação de epoxidação, num balão de fundo redondo de 250 mL, foram adicionados 100g do éster etílico ou metílico obtido do óleo de mamona, e gota a gota, 140 mL de ácido peracético comercial 15%. A mistura ficou sobre agitação e aquecimento a 45°C em um banho de água e gelo por 1 h. A reação foi realizada utilizando a proporção molar de 1:1,1 éster/ácido peracético. Após o término da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação, onde se retirou 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. A fim de remover a água residual, foi adicionado sulfato de magnésio anidro a um erlenmeyer contendo o epóxido (biolubrificante), agitando-se vigorosamente por 5 min e em seguida mantendo-se em repouso durante 30 min (NUNES *et al.*, 2008). Para remover o sulfato de magnésio, foi realizada uma filtração a vácuo.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

O óleo de mamona 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), viscosidade dinâmica.

Os procedimentos adotados para caracterizar os ésteres metílico e etílico obtidos após a transesterificação foram os mesmos utilizados para caracterizar o óleo de mamona.

Os epóxidos de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona foram caracterizados por meio dos índices de iodo (AOCS Cd 1-25), índice de peróxido (AOCS Cd 8-53), 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).

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

REFERENCIAL TEÓRICO

A mamona pode ser considerada a principal oleaginosa para produção de biocombustíveis na região nordeste, por ser de fácil cultivo, e de ter uma propriedade adaptativa a ambientes semiáridos e a seca. A mamoneira é xerófila e heliófila, provavelmente originária da Ásia. No Brasil, sua introdução se deu durante a colonização portuguesa, por ocasião da vinda dos escravos africanos. A origem desta planta é muito discutida, já que existem relatos de seu cultivo na Ásia e na África (MELO, 2008). Devido ao fato de não existirem substitutos em muitas das aplicações do óleo de mamona, assim como, pela sua versatilidade industrial, a necessidade por este óleo tem aumentado no Brasil e em outros países industrializados. É um óleo vegetal, conhecido como óleo de rícino e diferencia-se dos demais óleos vegetais pela grande quantidade do ácido ricinoléico. A presença desse triglicerídeo na sua composição é de 90%, em média, contendo três grupos altamente reativos que permitem qualidades específicas à produção de uma infinidade de produtos industriais.

O óleo de mamona é um líquido viscoso, é o único polioli encontrado na natureza e extraído da semente para ser utilizado, sendo um triglicerídeo presente em teores de 40 a 50% na semente da planta cientificamente denominada *Ricinus communis* (PEREZ, 2009). Embora impróprio para consumo humano, sua importância se concentra na ampla aplicação industrial como matéria prima usada para a fabricação de uma gama de produtos (PRATA, 2007). O grupo hidroxila confere a esse composto, estabilidade e alta viscosidade, que é permitida em largas faixas de temperatura, explicada pela formação de pontes de hidrogênio intermoleculares (MELO, 2008). Os teores de óleo das sementes de mamona variam de 35 a 55%, cujo padrão comercial é de 45%. No processo de extração, o óleo pode ser obtido através de diferentes métodos, extração por solvente ou, pela prensagem a frio ou a quente (ALMEIDA, 2004).

O maior agravante na utilização de óleos lubrificantes minerais é a baixa taxa de reciclagem, a ausência de gerenciamento de resíduos e de controle de descarte por parte de seus responsáveis, sendo que a maior quantidade de lubrificantes usados é lançada no ambiente de forma inadequada (SANTOS *et al.*, 2017). Essas preocupações levaram a um crescente interesse em óleos vegetais para utilização como biocombustíveis, como os biolubrificantes, pois são considerados potenciais substitutos para os óleos minerais baseados em petróleo. Assim como há uma preocupação com a escassez do petróleo e com o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para produção de energia, atualmente observa-se também outro problema que atinge a todos: a poluição.

O crescimento populacional e o desenvolvimento das cidades requerem grandes necessidades energéticas, no entanto esta energia provém de combustíveis fósseis como o petróleo, e seu uso apresenta consequências desfavoráveis à sociedade relacionados ao seu efeito poluidor. Uma maneira de desacelerar tais danos é a utilização de combustíveis menos poluentes, como os biocombustíveis. A produção de biocombustíveis e derivados a partir do óleo de mamona possui várias vantagens, podendo-se destacar, o baixo preço da matéria prima e, conseqüentemente, do lubrificante, além dos benefícios ambientais (CRUZ *et al.*, 2020). Como desvantagens do processo de produção, a grande quantidade de ácidos graxos livres encontrados na matéria prima necessidade de etapas de purificação que aumentam os gastos durante a síntese e também a sazonalidade de culturas que oferecem oferta desigual de matéria-prima em diferentes períodos do ano.

Os óleos vegetais já são utilizados como lubrificantes, devido a sua lubricidade superior, boas propriedades anticorrosivas, melhores características viscosidade-temperatura, e baixa evaporação, em aplicações industriais, tanto puros como em mistura com óleos

minerais. Além disso, estes óleos são prontamente biodegradáveis e ambientalmente seguros, quando comparados aos óleos minerais, devido aos ácidos graxos em sua composição. Algumas outras vantagens dos óleos vegetais incluem o fato de serem obtidos de fontes renováveis e de não apresentar dependência de óleos estrangeiros. Do ponto de vista ambiental, a importância deles é evidente, sobretudo em áreas de lubrificação com perda total, aplicações militares, e em atividades ao ar livre, como áreas florestais, mineração, estradas de ferro, pesca, escavações e sistemas hidráulicos agrícolas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O óleo de mamona após processo de purificação foi caracterizado mediante suas propriedades físico-químicas e os resultados foram comparados com a legislação em vigor (BRASIL, 2006; BRASIL, 2021), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos da matéria-prima.

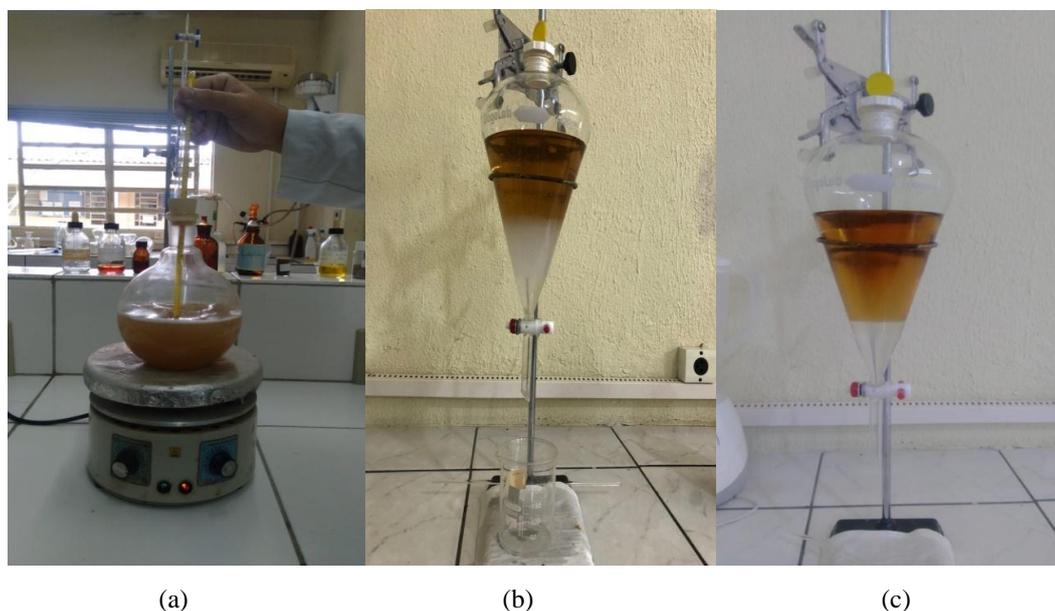
Parâmetros Aspecto	Óleo de mamona Amarelo escuro	Padrões Anvisa Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,47	≤ 0,1
Cinzas (%)	0,05	---
Densidade (g/cm ³)	0,980	0,919 - 0,925
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,366	≤ 0,6
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	111,5	120 - 139
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,364	≤ 10
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	212,0	189 - 195
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,037	≤ 10
Massa molar aproximada (g/mol)	796	---
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	27,3	---

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

O índice de saponificação estar acima do valor estipulado pela Anvisa. Um dos principais motivos para isto é algum processo reacional que ocorreu entre o óleo com água (OLIVEIRA *et al.*, 2014). O percentual de umidade estar acima do permitido pela Anvisa. O que pode ter influenciado o processo de saponificação. Um procedimento para equilíbrio deste parâmetro é a destilação para retirada de água, e uso de sulfato de sódio anidro.

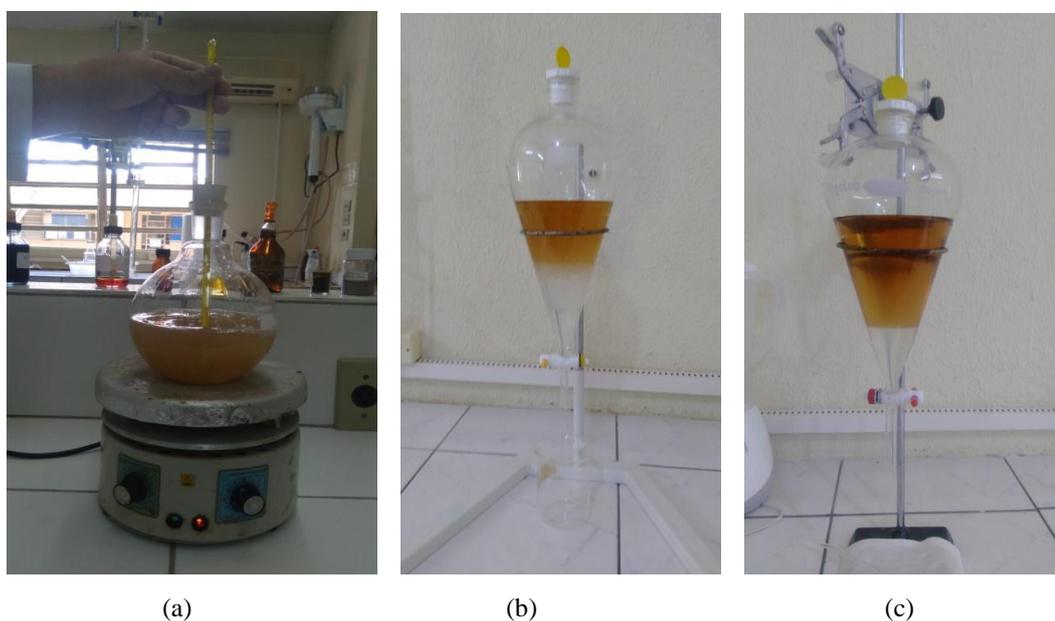
A reação de transesterificação proporcionou em rendimento de 94,0% para o biodiesel metílico e 92,7% para o biodiesel etílico, cujos processos estão ilustrados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Processo de produção do biodiesel metílico de óleo de mamona: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 2. Processo de produção do biodiesel etílico de óleo de mamona: (a) síntese; (b) decantação; (c) lavagem.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Os ésteres obtidos do óleo de mamona pelo processo de transesterificação foram caracterizados mediante suas propriedades físico-químicas e os resultados foram comparados com a legislação em vigor (BRASIL, 2014), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos ésteres do óleo de mamona (biodiesel).

Parâmetros Aspecto	Ésteres metílicos Amarelo límpido	Ésteres etílicos Amarelo límpido	Padrões ANP Límpido e isento de impurezas
Umidade e Voláteis (%)	0,15	0,75	0,02
Cinzas (%)	0,049	0,048	0,02
Densidade (g/cm ³)	0,964	0,958	0,850-0,900
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,666	0,342	≤ 0,5
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	118,6	135,2	Anotar
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,01	0,01	-----
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	101,6	97,1	-----
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,039	0,043	-----
Massa molar aproximada (g/mol)	828	870	-----
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	4,52	4,71	3,0 – 6,0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

O alto índice de iodo é em particular um bom parâmetro para utilização do éster para sintetização do epóxido. Este elevado número será diminuído a partir da abertura das duplas ligações no processo reacional de obtenção do biolubrificante. Um parâmetro onde avalia o processo cuidadoso e de bom rendimento na formação do biodiesel por transesterificação é o teor de sabão. Este, que, serve de averiguação com o controle de qualidade no processo de reação, pois quando não há uma reação com devidos critérios de qualidade e rigorosos processos poderá formar sabão pela característica do óleo reagindo com o KOH e o álcool (metílico e etílico).

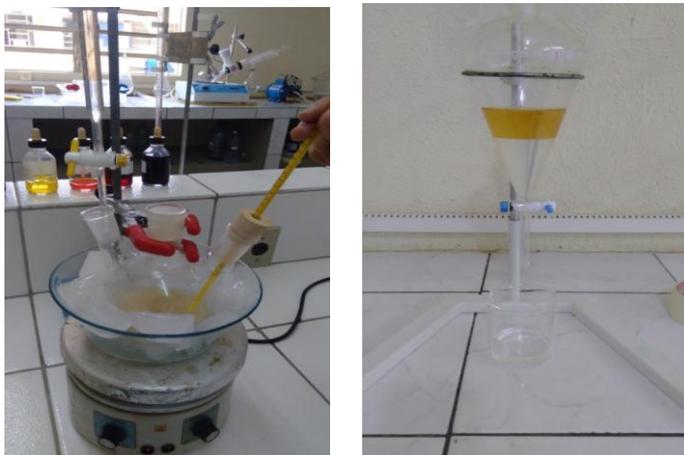
A reação de epoxidação proporcionou em rendimento de 91,3% para o biolubrificante metílico e 87,6% para o biolubrificante etílico, cujos processos estão ilustrados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3. Processo de produção e purificação do biolubrificante metílico de mamona.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

Figura 4. Processo de produção e purificação do biolubrificante etílico de óleo de mamona.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

Os epóxidos (biolubrificantes) obtidos do óleo de mamona pelo processo de epoxidação de seus ésteres metílicos e etílicos foram caracterizados mediante suas propriedades físico-químicas e os resultados foram comparados com a literatura, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos dos epóxidos de óleo de mamona (biolubrificantes).

Parâmetros	Epóxido metílico	Epóxido etílico
Aspecto	Marrom claro	Amarelo
Umidade e Voláteis (%)	0,22	0,30
Cinzas (%)	0,032	0,027
Densidade (g/cm ³)	0,999	0,997
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	1,666	1,221
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	284	270
Índice de iodo (g I ₂ /100g óleo)	7,69	11,11
Índice de Peróxido (meq/Kg)	0,060	0,057
Índice de hidroxila (mg KOH/ g óleo)	23,4	21,2
Oxigênio Oxirano (%)	9,8	7,4
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm ² /s)	41,5	40,9

Fonte: Dados da Pesquisa, 2022.

O índice de acidez do biolubrificante teve um aumento em comparação ao mesmo índice do biodiesel, o que demandaria a utilização de um maior percentual de bicarbonato de sódio para uma eficiente neutralização no processo de lavagem. E ainda segundo Pereira (2022) seria também necessário mais KOH para que os ácidos livres sofressem alcalinização e ocorra a neutralização. O índice de acidez também é um parametro que demonstra a qualidade do produto obtida e apontador do cuidado e amarnamento da matéria prima e afins. A diminuição do índice de iodo dos epóxidos comparado aos ésteres que foram utilizados para síntese mostra, que houve a quebra das insaturações, favorecendo assim o processo de

formação de anéis oxiranos. (PEREIRA, 2022). Comparado a Farias *et al.* (2021), os valores baixos são reflexos da quebra de dupla-ligações. Como reflexo da diminuição do índice de iodo dos epóxidos, houve a formação de anéis oxiranos, provado pelo índice do oxigênio oxirano. O epóxido metílico comparado ao epóxido obtido por Pereira (2022) encontra-se na mesma faixa, mostrando a eficiência do processo reacional, e ainda apesar do percentual menor do epóxido etílico, houve também eficiência na sintetização, já que valores acima de 6,3% já demonstram a eficácia (BALTACIOGLU *et al.*; apud PEREIRA, 2022).

Um dos parâmetros que apontam para demonstração da qualidade do produto sintetizado é o índice de peróxido, importante para demonstrar o cuidado com o epóxido e que seu armazenamento ocorreu de forma correta. Tal índice é de suma importância, pois o mesmo mostra a degradação do produto por agentes externos. Os valores foram menores que os analisados por Farias *et al.* (2021). A presença de compostos inorgânicos que não sofrem a devida combustão podem se agregar ao biolubrificante acarretando diversos problemas. Este percentual é medido pelo teor de cinza (MEDEIROS, 2020). Os valores descritos mostram que não houve contaminação de metais em proporções que diminua a qualidade do produto. A presença de umidade é um fator importante para avaliar o estado de qualidade do epóxido, e estar diretamente ligada a acidez e a formação de peróxidos. Segundo Macêdo *et al.* (2021), os valores obtidos demonstram a eficiência no processo de purificação

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção do biolubrificante é uma forma viável, além de refletir um meio alternativo para substituição dos lubrificantes que são obtidos do refino do petróleo. Isto pode refletir também uma visão ecológica, pois o seu emprego tornaria uma ferramenta capaz de suprir uma necessidade e não dependeria de matéria prima fóssil, além de um custo-benefício que propicia economia. O alto rendimento da reação permite a possibilidade de ampliar o mercado e tornar atrativo a sua obtenção. Reflexo disto é a facilidade de obtenção da matéria prima, de baixo valor econômico e que possui qualidades enormes para o seu emprego. Com um olhar voltado para a sociedade, toda a cadeia serviria como um transformador social, gerando emprego e renda para os agricultores que dependem do manejo da mamona.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBIC/CNPq/UFMG pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. A produção de mamona no Brasil e o Probiodiesel. *In: I Congresso Brasileiro de Mamona*. Campina Grande: Embrapa Algodão, p.23-24, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 87 de 15 de Março de 2021. **Estabelece a lista de espécies vegetais autorizadas, as designações, a composição de ácidos graxos e os valores máximos de acidez e de índice de peróxidos para óleos e gorduras vegetais**. Diário Oficial da União, edição 51, Seção 1, p. 261. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 49 de 22 de dezembro de 2006. **Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Óleos Vegetais Refinados; a Amostragem; os Procedimentos Complementares; e o Roteiro de Classificação de Óleos Vegetais Refinados**. Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília, 2006.

BRASIL. Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 45 DE 25/08/2014. **Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional**. Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília, 2014.

CANGEMI, J. M. *et al.* A revolução verde da mamona. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2010.

CRUZ, A. F. A. *et al.* Study of the properties of lubricating oils obtained from biodiesel. **Eclética Química Journal**, v. 45, n. 2, p. 44-53, 2020.

EREDA, T. **Epoxidação de óleos vegetais, visando a obtenção de lubrificantes industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.

FARIAS, H. H. *et al.* Epoxidação metálica do óleo de mamona para síntese de biolubrificante. **Educação, Ciência e Saúde**, v. 8, n. 2, 2021.

FERRARI, R. A. *et al.* Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

LATHI, P. S; MATTIASSON, B. Green approach for the preparation of biodegradable lubricant base stock from epoxidized vegetable oil. **Applied Catalysis B: Environmental Science**, v. 69, n. 5, p. 207-212, 2007.

MACÊDO, A. D. M. *et al.* **Obtenção de biolubrificante por epoxidação etílica de óleo de soja residual**. Anais do IV CONEPETRO E VI WEPETRO. Campina Grande: Realize Editora, 2021.

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. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 68153-68172, 2020

MELO, W. C. **Produção de bioetanol da torta de mamona (*Ricinus communis* L.) obtida do processo biodiesel.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MELO, F. H. Óleos vegetais como alternativas ao diesel. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 21, n. 2, p. 251-267, 2020.

NUNES, M. R. D. S. *et al.* Epoxidação do óleo de mamona e derivados empregando o sistema catalítico V/TBHP. **Química nova**, v. 31, n. 4, p. 818-821, 2008.

OLIVEIRA, P. S. *et al.* Influência do método de saponificação de óleo vegetal amazônico na flotabilidade da apatita. **Holos**, v. 3, p. 284-290, 2014.

PELANDA, F. M. **Obtenção e caracterização de lubrificantes a partir de óleo de fritura e óleo de soja refinado.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Química Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

PEREIRA, A. M. S. **Estudo comparativo das propriedades físico-químicas de biolubrificantes obtidos do óleo de soja refinado e residual.** 44 fl. (Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Licenciatura em Química). Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2022.

PEREZ, H. I. Q. **Produção de biolubrificante para usos especiais.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

PRATA, B. **A Controle supervisorio da cadeia produtiva do biodiesel da mamona baseado em redes de petri.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

RAMOS, L. P. *et al.* Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.

RINALDI, R. *et al.* Síntese de éster metílico: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

SANTOS, J. C. O. *et al.* Recycling of lubricating oils used in gasoline/alcohol engines. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 18, n. 137, p. 1463-1470, 2019.

SANTOS, J. C. O. *et al.* Thermal degradation of synthetic lubricating oils: Part II - rheological study. **Petroleum Science and Technology**, v. 35, n. 6, p. 535-539, 2017.

WU, X. *et al.* The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 77, n. 5, p. 561-563, 2000.