AVALIAÇÃO DA OBTENÇÃO DE BIOLUBRIFICANTES USANDO ÓLEOS COMESTÍVEIS COMERCIAIS

Dannilo Costa Santos[1], José Carlos Oliveira Santos[2]

[1] *Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil*
(dannilo.costa@estudante.ufcg.edu.br)
[2] *Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, Brasil*

Resumo: A pesquisa por lubrificantes de base biológica cresceu consideravelmente nos últimos anos devido ao aumento da consciência ambiental entre o público, governo e indústrias. Um biolubrificante é um lubrificante biodegradável que tem a capacidade comprovada de ser decomposto em um intervalo de até um ano por meio de processos biológicos naturais em terra carbonácea, água ou dióxido de carbono. Biolubrificantes à base de óleos vegetais apresentam propriedades físico-químicas importantes, oferecendo vantagens técnicas em relação aos lubrificantes à base de petróleo. Este trabalho consistiu na síntese e caracterização de lubrificantes biodegradáveis a partir de óleos vegetais comestíveis (soja, milho, algodão, girassol, dendê, canola) através da transesterificação dos óleos usando o álcool metílico e etílico, seguido da epoxidação ácida dos ésteres formados. Todos os produtos envolvidos no processo foram caracterizados por análises físico-químicas. A metodologia apresentada neste trabalho pode possibilitou a obtenção de potenciais lubrificantes biodegradáveis com aplicações em diversas áreas.

Palavras-chave: Lubrificantes; Sustentabilidade; Construção Civil; Biomassa.

INTRODUÇÃO

O processo de lubrificação pode ser utilizada para diminuir os efeitos do atrito e desgaste em máquinas e equipamentos através da aplicação de uma película fluida entre as superfícies metálicas em contato durante condições de operação. A principal fonte empregada para a produção destes lubrificantes atualmente é o óleo mineral que embora atenda a requisitos técnicos, sua utilização é limitada pela disponibilidade de reservas de petróleo. O aumento da preocupação mundial com os impactos ambientais causados pelo descarte incorreto dos óleos minerais e pelas emissões de traços de metais geradas durante a aplicação em motores, tem levado a introdução de critérios não técnicos como propriedades ecotoxicológicas e de sustentabilidade para redução dos impactos ambientais e melhor aceitação dos lubrificantes nas indústrias e entre os consumidores (Shah et al., 2021; Singh et al., 2019; Perera, 2022).

Neste sentido, o cenário mundial tem contribuído para o desenvolvimento de pesquisas sobre a produção de lubrificantes biodegradáveis derivados de óleos vegetais. Atualmente, pesquisadores desenvolveram lubrificantes de base biológica a partir de óleos vegetais comestíveis e não comestíveis, como girassol, soja, pinhão-manso, mamona, palmiste e coco com características físico-químicas satisfatórias para uso em sistemas mecânicos lubrificados (Tulashie; Kotoka, 2020; Attia, 2020; Fernandes, 2021; Aguieiras, 2020). Vários óleos vegetais podem ser utilizados para a síntese de lubrificantes biodegradáveis, pois oferecem inúmeras vantagens, como excelente lubricidade, alto índice de viscosidade e biodegradabilidade (Pindit, 2021). A escolha da matéria-prima para os lubrificantes biodegradáveis depende de fatores climáticos e geográficos e, portanto, varia de acordo com a região.

Apesar de ser favorável do ponto de vista energético, a utilização direta dos óleos vegetais em máquinas pode ser muito problemática. Estudos mostram que a combustão direta desses óleos conduz à carbonização de peças. Estudos mostram que uma das alternativas para melhorar essas características é a modificação proporcionada por reações químicas, como a transesterificação e a epoxidação. Esta última apresenta alta reatividade devido ao anel oxirano (Rodrigues; Weber, 2020). Segundo Macedo et al. (2021), as reações de transesterificação levam a formação de ésteres (biodiesel) e as reações de epoxidação levam a formação de epóxidos (biolubrificantes).

Segundo Santos et al. (2019), os lubrificantes podem ter origem mineral, sintética e de óleos vegetais. Os lubrificantes minerais são derivados do petróleo, formados basicamente por hidrocarbonetos, como parafinas e naftas, e contêm traços de enxofre,

nitrogênio e metais, sendo, portanto, tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente, devido à natureza não degradável. Os óleos sintéticos também são derivados petrolíferos e incluem as oleofinas, outros ésteres sintéticos e polialquileno glicóis.

Os lubrificantes são utilizados entre duas superfícies em movimento relativo para formar uma película entre elas que reduz o atrito e consequentemente a geração de calor. No entanto, dependendo de sua aplicação podem exercer também a função de refrigeração, limpeza de partes móveis, vedação, isolamento, proteção, transmissão de força mecânica e até transferência de determinadas características físico-químicas a outros produtos. São muito utilizados em máquinas e como óleos para corte, porém devido aos riscos de contaminação ao meio ambiente que podem causar, estão sendo desenvolvidos lubrificantes biodegradáveis como alternativa para os lubrificantes minerais provenientes do petróleo. Razões ambientais e econômicas levam a utilização de óleos vegetais como lubrificantes após modificações químicas apropriadas (Santos et al., 2022; Farias et al., 2021).

Os biolubrificantes provenientes de óleos vegetais são formados pela junção entre as moléculas de ácidos graxos de cadeia longa e de triglicerídeos. Esses produtos apresentam desempenho semelhante aos lubrificantes tradicionais e apresentam as vantagens de serem oriundos de matérias-primas renováveis, menos tóxicos e mais fáceis de serem degradados no meio ambiente. Os triglicerídeos naturais são facilmente biodegradados e apresentam elevada eficiência de lubrificação, contudo, apresentam limitada estabilidade térmica e oxidativa (Dantas et al., 2021). Para que tais características sejam atribuídas aos lubrificantes de origem vegetal, modificações químicas devem ser empregadas como a reação de transesterificação e de epoxidação.

O Brasil possui características geográficas favoráveis ao cultivo de matérias-primas necessárias para suprir a necessidade de produção de lubrificantes a partir de óleos vegetais, devido ao fato de estar situado numa região tropical, de elevadas taxas de luminosidade e temperaturas médias anuais. O país conta com recursos hídricos abundantes e uma excelente regularidade de chuvas, dessa forma, torna-se o celeiro com grande potencial para produção de fontes de material renovável (Santos et al., 2026; Martins et al., 2020).

As premissas da proximidade da escassez das reservas petrolíferas, o custo alto e as frequentes disputas desencadearam uma busca incessante por novos materiais alternativos, levando em conta os sérios impactos ambientais causados pela maioria dos materiais derivados de fonte fóssil, por existir um controle mais rigoroso do controle de poluição, além do uso racional dos recursos naturais para conservação das gerações futuras (Macedo; Santos, 2022). O maior agravante na utilização de óleos lubrificantes minerais e sintéticos 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., 2019). Essas preocupações levaram a um crescente interesse em óleos vegetais para utilização como biolubrificantes, pois são considerados potenciais substitutos para os óleos minerais convencionais, baseados em petróleo.

Tendo em vista os efeitos gerados pelos lubrificantes derivados do petróleo não renovável e seus aditivos, além de uma possível escassez em futuro próximo, busca-se processos de produção de biolubrificantes modificados quimicamente que possuam menor custo, extraídos de fontes renováveis que sejam ambientalmente mais seguros, para reduzir o consumo excessivo de lubrificantes minerais e sintéticos mais agressivos ao meio ambiente e usa possível aplicabilidade.

Este artigo tem por objetivo descrever a síntese e caracterização de lubrificantes biodegradáveis a partir de óleos vegetais comestíveis (soja, milho, algodão, girassol, dendê, canola) através da transesterificação dos óleos usando o álcool metílico e etílico, seguido da epoxidação ácida dos ésteres formados, produzindo lubrificantes menos agressivo ao meio ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Os óleos comestíveis comerciais, são óleos vegetais refinados de soja, milho, canola, algodão, girassol e dendê, produzidos por indústrias brasileiras, que foram adquiridos no comércio local. Os óleos refinados não necessitaram de tratamento prévio antes das reações em que foram submetidos. Os reagentes para as análises físico-químicas foram preparados seguindo as normas analíticas específicas a partir de reagentes PA.

Para obtenção dos ésteres metílicos e/ou etílicos, inicialmente foi feito um cálculo da massa molar do óleo a partir do seu índice de saponificação. Com o conhecimento dessa massa foram calculadas as quantidades de álcool (metanol e/ou etanol) 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 1% de catalisador (óleo/catalisador), mantendo-se a temperatura em aproximadamente 45^{o}C durante 2 h (Dantas et al., 2021). Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação permitindo a separação das fases: superior contendo o éster 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, será realizada a lavagem do éster com água destilada e solução de ácido clorídrico 0,01M. Foram feitas duas 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 utilizado papel tornassol. Após as lavagens, foi adicionado sulfato de magnésio anidro para retirar a água que ainda estiver presente nos ésteres. Em seguida, a fim de remover o metanol que poderia ainda estar presente no éster, foi utilizado um evaporador rotativo.

Os ésteres foram submetidos a reação de epoxidação que foi realizada utilizando a proporção molares de 1:1,1 éster/ácido peracético. Num balão de fundo redondo de 500 mL, foram adicionados 100g do ésteres obtidos dos óleos, e gota a gota, 140 mL de ácido peracético comercial 15%. A mistura ficou sobre agitação e aquecimento a 45^{o}C em um banho de água e gelo por 1 h, conforme pode-se ilustrar na Figura 1. 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 (lubrificante biodegradável) obtido de óleo, agitando-se vigorosamente por 5 minutos e em seguida mantendo-se em repouso durante 30 minutos (Dantas et al., 2021). Para remover o sulfato de magnésio, foi realizada a filtração a vácuo.

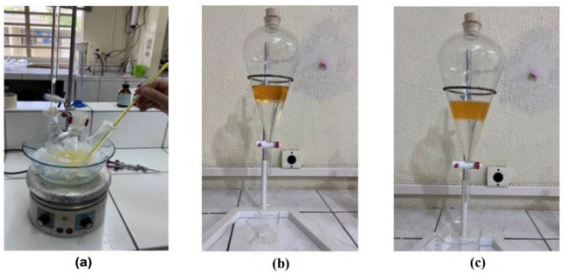


Figura 1. Processo de obtenção de biolubrificantes a partir de ésteres dos óleos: (a) síntese; (b) decantação; (c) purificação.

Todas as caracterizações físico-químicas das amostras foram realizadas de acordo com as técnicas descritas por Farias et al. (2021) e foram feitas em triplicatas. As amostras foram caracterizadas mediante aparência, índice de acidez, índice de iodo, índice de saponificação, teor de sabão, índice de peróxido, densidade relativa, teor de cinzas, teor de umidade e voláteis, viscosidade dinâmica e viscosidade cinemática. Os biolubrificantes de ésteres serão caracterizados ainda por meio índice de hidroxila e oxigênio oxirano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise físico-química dos óleos vegetais comerciais (soja, girassol, canola, milho, algodão e dendê) foi realizada com o objetivo de verificar a adequação dessas matérias-primas para as reações de transesterificação. Os valores de acidez e umidade obtidos ficaram, em sua maioria, dentro dos limites estabelecidos pela ANVISA (≤ 0,6 mg KOH/g e ≤ 0,1%). Entretanto, o óleo de dendê apresentou acidez de 0,950 mg KOH/g, valor acima do recomendado. Esse parâmetro é relevante, pois teores elevados podem favorecer reações de saponificação durante o processo. Observou-se que o óleo de dendê apresentou a maior viscosidade dinâmica (61,64 mPa·s), enquanto o óleo de girassol apresentou a menor (28,61 mPa·s). Essa variação reforça a necessidade de modificação química desses óleos para viabilizar sua aplicação como lubrificantes.

A produção de biodiesel foi avaliada a partir da comparação entre as rotas metílica e etílica. De acordo com a Tabela 1, verificou-se que na rota metílica apresentou os maiores rendimentos, com valores superiores a 93% para todos os óleos analisados, atingindo 98% no caso do óleo de dendê. Já na rota etílica, mostrou maior variação nos resultados, com rendimento de 91% para o óleo de canola, enquanto os menores valores foram observados para os óleos de girassol (73%) e dendê (76%).

Tabela 1. Rendimentos de Biodiesel nas diferentes rotas (%)

Óleos Comestíveis Comerciais	Metílica	Etilica
Soja	93%	90%
Girassol	94%	73%
Canola	94%	91%
Milho	96%	84%
Algodão	96%	80%
Dendê	98%	76%

Fonte: Dados Experimentais, 2026

Os biodieseis obtidos foram comparados com os limites estabelecidos pelas normas da ANP. Para a Viscosidade cinemática (40°C), a maior parte dos biodieseis obtidos pela rota metílica apresentou valores dentro da faixa especificada (3,0 a 6,0 mm²/s). Em contrapartida, o biodiesel etílico de dendê apresentou valor elevado (28,89 mm²/s), indicando possível conversão incompleta. Já com relação a pureza e o processamento, os teores de cinzas para os biodieseis metílicos permaneceram dentro do limite estabelecido (≤ 0,02%), indicando que o processo de lavagem e neutralização com HCl 0,01 M foi eficiente.

Os biolubrificantes são opções ambientalmente seguras por serem biodegradáveis, o que significa que se decompõem mais facilmente quando expostos ao solo ou à água. Essa característica reduz a contaminação ambiental e a necessidade de processos complexos para o descarte. Os ingredientes dos biolubrificantes são oriundos de fontes renováveis, contribuindo para a diminuição de resíduos tóxicos e preservando os recursos naturais.

A produção de biolubrificantes por meio da reação de epoxidação foi avaliada a partir da comparação entre as rotas metílica e etílica. Para obter lubrificantes biodegradáveis, os ésteres foram submetidos à epoxidação — reação que forma anéis oxirânicos (epóxidos) a partir de olefinas com perácidos. Utilizou-se ácido peracético 15% como epoxidante. De acordo com a Tabela 2, verificou-se que na rota metílica apresentou os maiores rendimentos, com valores superiores a 92% para todos os biolubrificantes analisados, atingindo 98% no caso do biolubrificante oriundo do óleo de algodão. Já na rota etílica, mostrou maior variação nos resultados, com rendimento de 99% para biolubrificante do óleo de girassol, enquanto os menores valores foram observados para biolubrificantes derivados dos óleos de canola (89%) e de soja (90%).

Tabela 2. Rendimentos de Biolubrificantes nas diferentes rotas (%)

Biolubrificantes	Metílica	Etilica
Soja	93%	90%
Girassol	95%	99%
Canola	92%	89%
Milho	93%	97%
Algodão	98%	97%
Dendê	92%	97%

Fonte: Dados Experimentais, 2026

Os biolubrificantes podem ser compreendidos como lubrificantes que possuem em sua composição óleos vegetais in natura ou modificados, alta biodegrabilidade e baixa eco toxicidade. A porcentagem de oleaginosas pode ser integral ou parcial, variando de acordo com o tipo da aplicação do produto. Os biolubrificantes apresentaram as propriedades físico-químicas constantes nas Tabelas 3 e 4.

Conforme exposto nas Tabelas 3 e 4, há uma variação significativa nas propriedades físico-químicas para os óleos vegetais. Porém, nota-se que a estabilidade dentre outras propriedades são diferentes se comparadas aos lubrificantes derivados de petróleo. Com isso, o estudo na modificação estrutural dos triglicerídeos é necessário para utilização de oleaginosas como bases lubrificantes.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos do biolubrificantes metílicos obtido de óleos comestíveis comerciais

Parâmetros	Óleo de soja	Óleo de girassol	Óleo de canola	Óleo de milho	Óleo de algodão	Óleo de dendê
Aspecto	Alaranjado	Amarelo claro límpido	Amarelo alaranjado límpido	Amarelo alaranjado límpido	Amarelo límpido	Amarelo límpido
Umidade (%)	0,8	0,23	0,3	3,5	1,48	0,03
Cinzas (%)	0,015	0,10	0,1	0,028	0,032	0,01
Densidade (g/cm^3)	0,950	0,888	0,887	0,882	0,895	0,920
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	1,784	2.228	1,335	1,497	0,982	0,44
Índice de iodo (g I_2/100g óleo)	250,9	12,5	36,7	13,4	40,3	60,20
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	19,5	2,889	1,40	0,06	0,45	0,26
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	0,01	291	115	294,2	60,2	6,5
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,05	14,58	0,002	0,017	0,006	0,005
Oxigênio Oxirano (%)	10,7	13,76	10,9	13,2	9,46	16,8
Índice de hidroxilas	7,3	14,5	5,1	15,1	5,6	6,5
Viscosidade dinâmica (mPa.s)	12,36	7,16	10,67	8,16	8,75	4,14
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm2/s)	13,02	8,07	12,03	9,25	9,78	4,5

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos do biolubrificantes etílicos obtido de óleos comestíveis comerciais

Parâmetros	Óleo de soja	Óleo de girassol	Óleo de canola	Óleo de milho	Óleo de algodão	Óleo de dendê
Aspecto	Amarelo límpido	Amarelo claro límpido	Amarelo claro	Amarelo límpido	Amarelo límpido	Amarelo alaranjado
Umidade (%)	0,07	0,38	0,40	1,00	1,72	0,03
Cinzas (%)	0,01	0,49	0,20	0,09	0,03	0,05
Densidade (g/cm^3)	0,901	0,963	0,976	0,959	0,959	0,905
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	0,355	2,915	1,423	1,982	0,248	0,4606
Índice de iodo (g I_2/100g óleo)	31,8	39,8	37,3	30,0	32,6	34,5
Teor de sabão (ppm de oleato de sódio)	0,150	0,360	0,730	0,370	0,120	0,299
Índice de saponificação (mg KOH/g óleo)	170	299	108	258	277	159
Índice de peróxido (meq/Kg)	0,070	9,910	0,002	0,013	0,020	0,019
Oxigênio Oxirano (%)	10,01	10,66	15,5	10,8	11,02	13,38
Índice de hidroxilas	9,07	9,91	7,20	7,65	8,33	8,13
Viscosidade dinâmica (mPa.s)	7,87	9,50	10,74	7,29	9,48	21,00
Viscosidade Cinemática a 40°C (mm^2/s)	8,74	9,87	11,01	7,61	9,89	23,31

CONCLUSÃO

Este estudo realizou uma caracterização abrangente das propriedades físico-químicas dos óleos comestíveis comerciais para produção de biolubrificantes através das reações de esterificação seguida de epoxidação, confirmando de forma contundente a viabilidade destes óleos para o desenvolvimento de biolubrificantes.

As etapas reacionais utilizadas, foram satisfatórias, tendo em vista, que a reação de transesterificação alcançou bons índices de conversão dos ésteres metílicos e etílicos. Ademais, esta possibilitou melhorias nas características físico-químicas dos produtos, reduzindo a viscosidade cinemática dos biodiesel, possibilitando assim, melhorias na fluidez destes. Essa redução significativa, deve-se à saída da molécula de glicerol, que se faz presente nos óleos. Contudo, as propriedades dos biodieseis evidenciou que mais uma etapa reacional seria necessária. A reação de epoxidação alcançou resultados satisfatórios conforme foi observado nos altos rendimentos.

A demanda por soluções mais sustentáveis vem crescendo em todos os setores da pesquisa científica e da indústria mundial. Em meio a esse cenário, os biolubrificantes têm ganhado destaque como alternativas viáveis para a substituição dos lubrificantes convencionais à base de petróleo. Derivados de matérias-primas renováveis, como as oriundas de óleos comestíveis comerciais, eles prometem uma lubrificação eficiente, menor impacto ambiental e maior segurança no ambiente de trabalho.

AGRADECIMENTOS

PIBIC/CNPq/UFCG.

REFERÊNCIAS

AGUIEIRAS, E. C. G. Enzymatic synthesis of neopentyl glycol-bases biolubricants using biodiesel from soybean and castor bean as raw materials. Renewable Energy, v. 148, p. 689-696, 2020.

ATTIA, N. K. Chemical and rheological assessment of produced biolubricants from different vegetable oils. Fuel, v. 271, p. 117578, 2020.

DANTAS, F. R.; SOUSA, I. V. S.; OLIVEIRA, I. L.; DANTAS, G. M. P.; SANTOS, J. C. O. Síntese e Caracterização Físico-Química de Biolubrificante Obtido de Óleo de Soja Residual Oriundo de Restaurante Universitário. Educação Ciência e Saúde, v.8, n. 2, p. 1-19, 2021.

FARIAS, H. H.; MACEDO, A. D. M.; RAMOS, J. D. F.; SANTOS, J. C. O. Epoxidação Metílica do Óleo de Mamona para Síntese de Biodiesel e Biolubrificante. Educação Ciência e Saúde, v.8, n. 2, p. 1-19, 2021.

FERNANDES, K. V. Enzymatic synthesis of biolubricants from by-product of soybean oil processing catalyzed by different biocatalysts of Candida rugosa lipase. Catalysis Today, v. 362, p. 122-129, 2021.

MACEDO, A. D. M.; FARIAS, H. H.; RAMOS, J. D. F.; PEREIRA, A. M. S.; SILVA ROCHA, E. C.; OLIVEIRA, I. L.; SANTOS, J. C. O. Optimization of the Biolubricant Synthesis Process by Epoxidation of Waste Oil from a University Restaurant. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 12, p. 119743-119761, 2021.

MACEDO, A. D. M.; SANTOS, J. C. O. Synthesis of biodegradable lubricating oils by methyl and ethyl epoxidation of castor oil esters. International Journal of Development Research, v. 12, n. 9, p. 59024-59029, 2022.

MARTINS, J. S.; SANTOS, J. C.O.; CONCEIÇÃO, M. M. Comparative Study of Physico-Chemical Properties of Coconut Oil (Cocos nucifera L.) Obtained by Industrial and Artisanal Processes. Biotechnology - An Indian Journal, v. 16, n. 3, p. 210-218, 2020.

PERERA, M. Bioprocess development for biolubricant production using non-edible oils, agro-industrial byproducts and wastes. Journal of Cleaner Production, p. 131956, 2022.

PINDIT, K. Biolubricant basestocks synthesis using 5-step reaction from jatropha oil, soybean oil, and palm fatty acid distillate. Industrial Crops and Products, v. 166, p. 113484, 2021.

RODRIGUES, J. G. P.; WEBER, R. P. Preparo de monômeros utilizados na síntese de polímeros a partir da reação de epoxidação em óleos vegetais. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. 37, n. 2, 2020.

SANTOS, J. C. O.; ALMEIDA, R. A.; CARVALHO, M. W. N. C.; LIMA, A. E. A.; SOUZA, A. G. Recycling of lubricating oils used in gasoline/alcohol engines: thermal characterization. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 137, p. 1463-1470, 2019.

SANTOS, J. C. O.; SILVA, C. C.; CONCEIÇÃO, M. M. Obtaining biofuel from rice bran oil as energy alternative: thermal and oxidative stability. International Journal of Development Research, v. 12, n. 6, p. 56425-56429, 2022.

SANTOS, D. C.; VIEIRA, F. M.; SANTOS, J. C. O. Desenvolvimento de lubrificantes biodegradáveis a partir do óleo de palma para uso na construção civil. Educação, Ciência e Saúde, Cuité, v. 13, n. 1, p. e743, 2026.

SHAH, R.; WOYDT, M.; ZHANG, S. The economic and environmental significance of sustainable lubricants. Lubricants, v. 9, n. 2, p. 21, 2021.

SINGH, Y.; SHARMA, A.; SINGLA, A. Non-edible vegetable oil - based feedstocks capable of bio-lubricant production for automotive sector applications - a review. Environmental Science and Pollution Research, v. 26, n. 15, p. 14867-14882, 2019.

TULASHIE, S. K.; KOTOKA, F. The potential of castor, palm kernel, and coconut oils as biolubricant base oil via chemical modification and formulation. Thermal Science and Engineering Progress, v. 16, p. 100480, 2020.