

## LUBRIFICANTES VERDES: ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÓLEOS DE BABAÇU E SOJA COMO BASES PARA BIOLUBRIFICANTES

GREEN LUBRICANTS: STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF BABASSU AND SOYBEAN OILS AS BASES FOR BIOLUBRICANTS

LUBRICANTES VERDES: ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES DE BABASÚ Y SOJA COMO BASES PARA BIOLUBRICANTES

Justino Felipe Lopes Nunes<sup>1</sup>  
Larissa Costa de Menezes<sup>2</sup>  
Maira Silva Ferreira<sup>3</sup>  
Paulo Rogerio de Almeida Ribeiro<sup>4</sup>  
Bruno Feres de Souza<sup>5</sup>  
Raquel Maria Trindade Fernandes<sup>6</sup>

**RESUMO:** Esse artigo buscou caracterizar as propriedades físico-químicas fundamentais — especificamente ponto de fulgor, cor, viscosidade cinemática, densidade e estabilidade oxidativa — dos óleos de babaçu e de soja puros, visando avaliar sua viabilidade individual como bases promissoras para o desenvolvimento de biolubrificantes verdes. A metodologia adotada foi de natureza experimental, utilizando amostras de comércio local sem tratamentos prévios e seguindo rigorosamente as normas ASTM (D1500, D1298, D92 e D445) e a norma europeia EN14112 para os ensaios laboratoriais. Os principais resultados demonstraram que ambos os óleos possuem elevada segurança térmica, com pontos de fulgor de 261,0 °C (babaçu) e 279,5 °C (soja), superando diversos lubrificantes minerais e sintéticos convencionais. Além disso, a viscosidade cinemática a 40 °C classificou ambos os óleos na categoria ISO VG 32, confirmando sua adequação para aplicações em sistemas hidráulicos e lubrificação de engrenagens leves. A estabilidade oxidativa também se mostrou satisfatória, excedendo 9 horas de tempo de indução. Ao final, conclui-se que as características físico-químicas dos óleos de babaçu e de soja os posicionam como alternativas ecologicamente viáveis e robustas para substituir lubrificantes de origem mineral.

**Palavras-chave:** Óleo de Babaçu. Óleo de Soja. Propriedades Físico-Químicas. Biolubrificantes.

<sup>1</sup>Graduado em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão. Discente do curso de Engenharia da Computação na Universidade Federal do Maranhão.

<sup>2</sup>Mestra em Química pelo Instituto Federal do Maranhão. Gerente Técnica do Laboratório de Análises e Pesquisa em Química Analítica de Petróleo e Biocombustíveis na Universidade Federal do Maranhão.

<sup>3</sup>Doutora em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Docente do curso de Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Maranhão.

<sup>4</sup>Doutor em Neurociência/Neuroinformática pela University of Tübingen. Docente do curso de Engenharia da Computação na Universidade Federal do Maranhão.

<sup>5</sup>Doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional pela Universidade de São Paulo. Docente do curso de Engenharia da Computação na Universidade Federal do Maranhão.

<sup>6</sup>Doutora em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Docente do curso de Química na Universidade Estadual do Maranhão.

**ABSTRACT:** This article aimed to characterize the fundamental physicochemical properties — specifically, flash point, color, kinematic viscosity, density, and oxidative stability — of pure babassu and soybean oils and to evaluate their individual viability as promising bases for the development of green biolubricants. The methodology adopted was experimental, using samples from local commerce without prior treatment and strictly adhering to ASTM standards (D1500, D1298, D92, and D445) and the European standard EN 14112 for laboratory testing. The main results demonstrated that both oils have high thermal stability, with flash points of 261.0 °C (babassu) and 279.5 °C (soybean), surpassing those of several conventional mineral and synthetic lubricants. Furthermore, the kinematic viscosity at 40 °C classified both oils as ISO VG 32, confirming their suitability for hydraulic systems and light gear lubrication. Oxidative stability also proved satisfactory, exceeding 9 hours of induction time. Finally, it is concluded that the physicochemical characteristics of babassu and soybean oils position them as ecologically viable and robust alternatives to replace mineral lubricants.

**Keywords:** Babassu oil. Soybean oil. Physicochemical properties. Biolubricants.

**RESUMEN:** Este artículo tuvo como objetivo caracterizar las propiedades fisicoquímicas fundamentales — específicamente el punto de inflamación, el color, la viscosidad cinemática, la densidad y la estabilidad oxidativa — de los aceites puros de babasú y soja, con el fin de evaluar su viabilidad individual como bases prometedoras para el desarrollo de biolubricantes verdes. La metodología adoptada fue de naturaleza experimental, utilizando muestras adquiridas en el comercio local sin tratamientos previos y siguiendo estrictamente las normas ASTM (D1500, D1298, D92 y D445) y la norma europea EN14112 para los ensayos de laboratorio. Los principales resultados demostraron que ambos aceites poseen una elevada seguridad térmica, con puntos de inflamación de 261,0 °C (babasú) y 279,5 °C (soja), superando a diversos lubricantes minerales y sintéticos convencionales. Además, la viscosidad cinemática a 40 °C clasificó a ambos aceites en la categoría ISO VG 32, confirmando su adecuación para aplicaciones en sistemas hidráulicos y lubricación de engranajes ligeros. La estabilidad oxidativa también resultó satisfactoria, superando las 9 horas de tiempo de inducción. Finalmente, se concluye que las características fisicoquímicas de los aceites de babasú y soja los posicionan como alternativas ecológicamente viables y robustas para sustituir a los lubricantes de origen mineral.

**Palabras clave:** Aceite de babasú. Aceite de soja. Propiedades Fisicoquímicas. Biolubricantes.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sustentabilidade e a iminente escassez de recursos petrolíferos têm impulsionado a pesquisa por alternativas renováveis aos lubrificantes minerais. Nesse cenário, os biolubrificantes, que são derivados de óleos vegetais, despontam como uma solução promissora devido à sua intrínseca biodegradabilidade e menor toxicidade. Para que um óleo vegetal seja considerado uma base lubrificante eficaz, é crucial que suas propriedades físico-químicas, como viscosidade, ponto de fulgor e massa específica, sejam adequadas às exigências industriais (RIBEIRO FILHO, 2025). Diversos estudos têm abordado a química e tecnologia de lubrificantes incluindo a utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes (MATOS, 2011; MORTIER; ORSZULIK, 2010). A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e

Biocombustíveis (ANP) também tem se pronunciado sobre os biolubrificantes, reconhecendo sua importância.

No cenário brasileiro, o óleo de babaçu, extraído de uma palmeira abundante no Maranhão, representa tanto uma importante fonte de renda para comunidades extrativistas, quanto um recurso natural com notável potencial industrial (PORRO, 2019). Além disso, estudos têm explorado a composição físico-química dos óleos de babaçu, avaliando sua massa específica, viscosidade e ponto de fulgor em diferentes temperaturas (ARAÚJO et al., 2016; MARQUES et al., 2024; PONTE et al., 2017). A caracterização físico-química do óleo de coco babaçu industrial e artesanal e suas aplicações tecnológicas também tem sido investigada (SALES et al., 2020). A composição e propriedades físicas do óleo de semente de babaçu obtido por extração com CO<sub>2</sub> supercrítico também foram estudadas (OLIVEIRA et al., 2019).

O óleo de soja, por sua vez, é um subproduto da vasta produção agrícola do Maranhão e já possui um papel consolidado nas indústrias alimentícia e de biodiesel, apresentando características promissoras para outras aplicações industriais, incluindo o desenvolvimento de biolubrificantes (FEITOSA et al., 2023). Pesquisas têm demonstrado a melhoria na produção de biolubrificantes a partir do óleo de soja através de reações de esterificação catalisadas por lipase e transesterificação, avaliando seu desempenho tribológico (CAVALCANTI et al., 2017; SHRIVASTAVA et al., 2022). O desenvolvimento de biolubrificantes a partir de óleos vegetais via modificação química também tem sido explorado (MCNUTT; HE, 2016; USMAN et al., 2024). A busca por biolubrificantes de óleos vegetais, como o de soja, visa a substituição de lubrificantes convencionais, explorando suas propriedades (KARMAKAR; GHOSH; SHARMA, 2017). A importação brasileira de óleos básicos também é um indicador da demanda por alternativas no setor de lubrificantes, em 2024 foi registrado aumento nas importações de lubrificantes, o equivalente a 4,4%. (IBP, 2025).

Considerando o potencial de ambos os óleos, este trabalho teve como objetivo principal caracterizar as propriedades físico-químicas fundamentais (Ponto de Fulgor, Cor, Viscosidade Cinemática, Massa Específica e Estabilidade Oxidativa) do óleo de babaçu puro e do óleo de soja puro. A análise detalhada dessas propriedades visa avaliar suas aptidões individuais como bases para o desenvolvimento de biolubrificantes, contribuindo para a busca por alternativas mais sustentáveis e ecologicamente viáveis. Além disso, a literatura já aborda a análise de diversas propriedades físico-químicas de óleos vegetais e sua correlação com o grau de

insaturação, bem como as propriedades e métodos de teste de lubrificantes em geral, o que reforça a relevância deste estudo para o campo dos biolubrificantes (GIAKOUMIS, 2018; VAN EEKEREN, 2018).

## MÉTODOS

A pesquisa adotou uma abordagem experimental, focando na análise das propriedades físico-químicas do óleo de babaçu puro e do óleo de soja puro, sem adição de aditivos. Os dois óleos vegetais utilizados neste trabalho foram produtos adquiridos no comércio local. O óleo de soja SOYA © da marca BUNGE é comercializado nacionalmente e possui na sua lista de ingredientes o óleo de soja, em que a soja foi geneticamente modificada a partir de *Streptomyces viridochromogenes* e/ou *Agrobacterium tumefaciens* e/ou *Bacillus thuringiensis*, além dos antioxidantes tert-butil-hidroquinona (TBHQ) e ácido cítrico (Bunge Alimentos S.A., 2025). Óleo babaçu refinado orgânico é produzido pela Cooperativa dos Pequenos Produtores Agroextrativistas de Lago do Junco LTDA (COPPALJ). Esse produto é comercializado regionalmente e possui em sua composição o óleo extraído das amêndoas do babaçu (*Orbignya phalerata*). O produto é isento de aditivos sintéticos, conservantes ou antioxidantes artificiais, sendo 100% natural e biodegradável. A produção segue práticas que respeitam os princípios do comércio justo e promove a geração de renda para famílias locais (COPPALJ, 2025). O óleo de soja e o óleo de babaçu neste trabalho foram usados conforme adquiridos no comércio local, sem nenhum tratamento prévio. As metodologias empregadas seguiram as normas da American Society for Testing and Materials (ASTM), conforme descrito a seguir.

O experimento para a verificação da cor das amostras foi realizado segundo a norma ASTM D1500, onde a cor foi determinada por comparação com a parede de cores ASTM utilizando um clorímetro Orbeco-Hellige da Koehler. A massa específica ou densidade, foi determinada a 20°C, conforme a norma ASTM D1298. Para este experimento é utilizado um densímetro digital DMA 4500M (Anton Paar) com tubo capilar calibrado. O método baseia-se na alteração da oscilação do tubo quando a amostra é injetada.

Já o ponto de fulgor das amostras foi determinado em concordância com a norma ASTM D92. O procedimento foi realizado usando um medidor de ponto de fulgor Pensky-Martens. Amostras de 50 mL foram submetidas ao teste, ativando uma fonte de ignição ao atingir a temperatura alvo. Quanto ao experimento de viscosidade seguiu-se a norma ASTM

D445. Neste experimento é usado um banho para viscosímetro (Banho HVB - 438) que mantém a temperatura estável em 40°C. Um capilar viscosímetro com 10 mL da amostra permaneceu no banho por 30 minutos para atingir a temperatura. O tempo de escoamento da amostra foi observado e multiplicado pela constante de calibração do viscosímetro.

A análise de estabilidade oxidativa foi conduzida utilizando o equipamento 873 Rancimat da marca Metrohm. Neste procedimento, o envelhecimento da amostra é acelerado intencionalmente por meio do aumento da temperatura e da passagem de uma corrente contínua de ar (gás oxigênio), diretamente através da amostra. Com base nesse processo acelerado, o equipamento calcula o tempo de indução, também referido como índice de estabilidade oxidativa. Este índice representa o intervalo de tempo transcorrido desde o início da análise até o momento em que se verifica um aumento abrupto e significativo na formação dos produtos resultantes da oxidação. O protocolo para a realização deste experimento de estabilidade oxidativa seguiu rigorosamente a norma europeia EN14112. As condições operacionais empregadas foram cuidadosamente controladas, utilizando-se uma temperatura de 110 °C e um fluxo de ar ajustado para uma vazão constante de 10 L/h. Os eletrodos do equipamento foram configurados para realizar leituras em uma faixa de 0 μS a 300 μS. Para cada análise, foram utilizados 50 mL de água desmineralizada em conjunto com 3 gramas de óleo vegetal. Visando assegurar a precisão e a confiabilidade dos resultados, cada amostra foi submetida à análise em triplicata

## RESULTADOS

Os resultados das análises físico-químicas do óleo de babaçu puro e do óleo de soja puro são apresentados na Tabela 1.

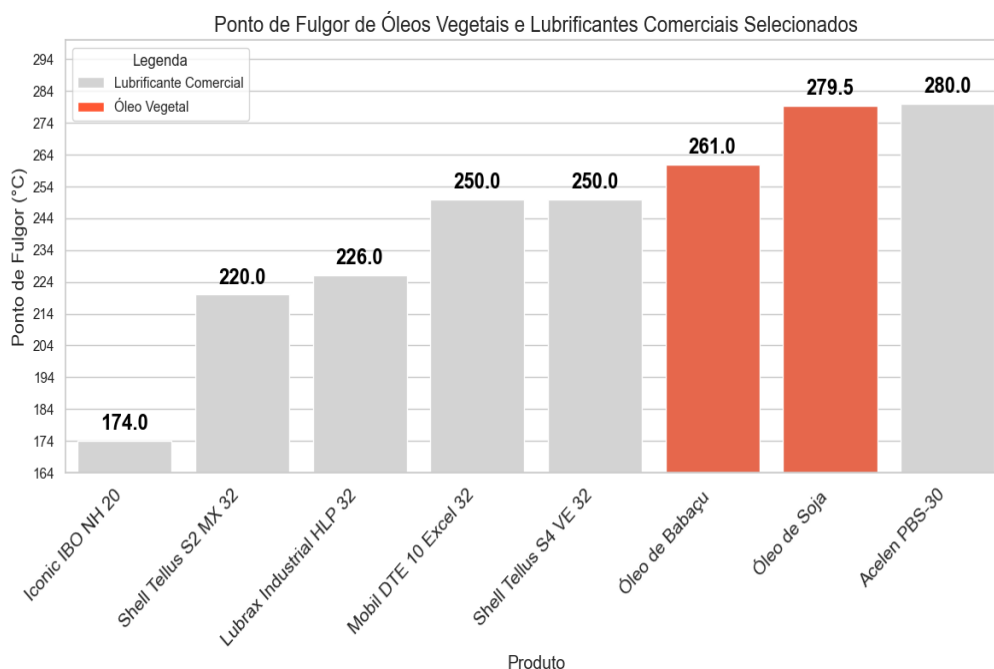
**Tabela 1** - Propriedades físico-químicas do óleo de babaçu e soja.

| Propriedades                          | Óleo Babaçu | Óleo Soja |
|---------------------------------------|-------------|-----------|
| Massa específica (kg/m <sup>3</sup> ) | 921,44      | 919,97    |
| Ponto de Fulgor (°C)                  | 261,00      | 279,50    |
| Viscosidade 40°C (cSt)                | 30,40       | 32,98     |

A coloração ASTM para ambos os óleos puros se manteve abaixo de 0,5, indicando certa transparência. A análise do ponto de fulgor, um parâmetro crucial para a segurança de

lubrificantes, revelou características notáveis para os óleos de Babaçu e Soja. Conforme ilustrado na Figura 1, o óleo de Babaçu apresentou um ponto de fulgor de 261,0°C, enquanto o óleo de Soja atingiu 279,5°C.

Esses valores se destacam significativamente quando comparados a uma gama de lubrificantes comerciais. Enquanto óleos minerais típicos, como o Shell Tellus S2 MX 32 (Shell, 2016) e o Lubrax Industrial HLP 32 (Vibra Energia S.A., 2023), exibem pontos de fulgor em torno de 220°C a 226°C, os óleos de Babaçu e Soja demonstram uma resistência térmica consideravelmente superior. O ponto de fulgor do óleo de Soja, por exemplo, é inclusive mais elevado que o de muitos lubrificantes sintéticos de alta performance, como o Mobil DTE 10 Excel 32 com 250,0°C (ExxonMobil, 2013) e até mesmo superando o Shell Tellus S4 VE 32 com 265,0°C (Shell, 2024), que é um óleo sintético de base GTL conhecido por sua alta estabilidade. Essa característica de elevado ponto de fulgor para os óleos de Babaçu e Soja confere-lhes uma excelente margem de segurança, minimizando os riscos de incêndio durante as etapas de operação e armazenamento. Tal propriedade é um indicativo da baixa volatilidade desses óleos e da sua potencial adequação para aplicações onde a segurança térmica é um requisito fundamental.



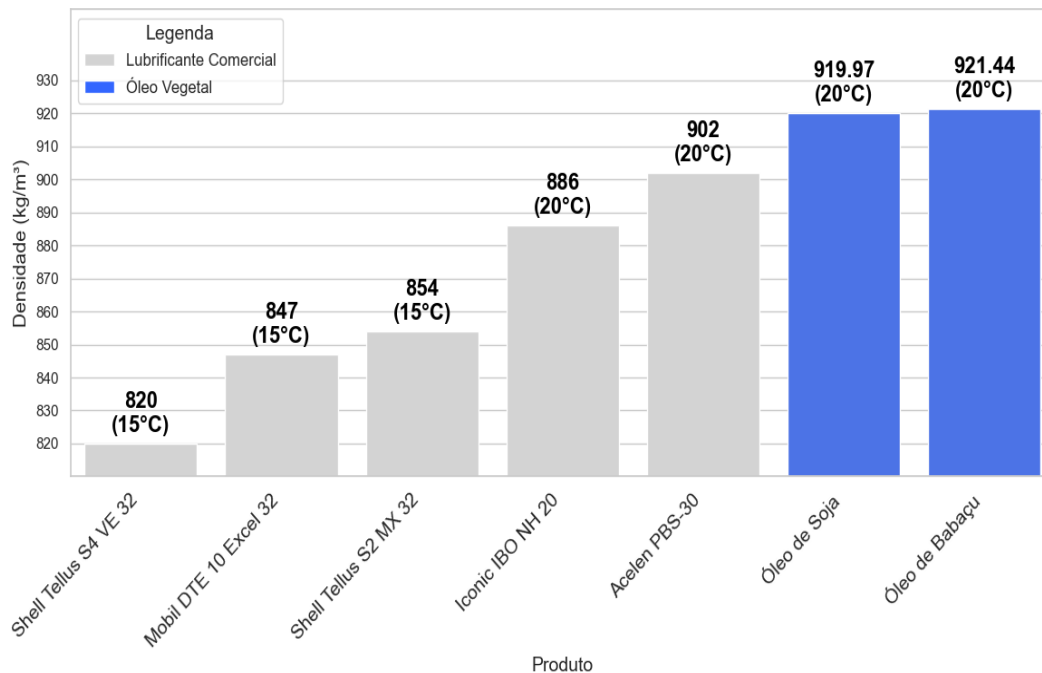
**Figura 1** - Comparação do ponto de fulgor do babaçu e da soja com óleos industriais.

A massa específica, relevante para manuseio, foi de  $921,44 \text{ kg/m}^3$  para o babaçu e  $919,97 \text{ kg/m}^3$  para a soja. Ambos os valores estão na faixa típica para óleos vegetais ( $910\text{-}930 \text{ kg/m}^3$ ) e são compatíveis com lubrificantes convencionais ( $850\text{-}950 \text{ kg/m}^3$ ). A massa específica é uma propriedade físico-química fundamental para a caracterização de lubrificantes, influenciando diretamente no seu manuseio, transporte, armazenamento e, em certas aplicações, no desempenho do sistema. Para o óleo de Babaçu, a massa específica determinada a  $20^\circ\text{C}$  foi de  $921,44 \text{ kg/m}^3$ , enquanto para o óleo de Soja, foi de  $919,97 \text{ kg/m}^3$ . Ambos os valores se encontram na faixa típica para óleos vegetais ( $910\text{-}930 \text{ kg/m}^3$ ) e são compatíveis com a gama de lubrificantes convencionais ( $850\text{-}950 \text{ kg/m}^3$ ), conforme ilustrado no gráfico.

Ao comparar os óleos vegetais com os lubrificantes comerciais de referência apresentados na Figura 2, observa-se que, em geral, os óleos de Babaçu e Soja apresentam massas específicas mais elevadas. Por exemplo, lubrificantes sintéticos como o Shell Tellus S4 VE 32 ( $820 \text{ kg/m}^3$  a  $15^\circ\text{C}$ ) e o Mobil DTE 10 Excel 32 ( $847 \text{ kg/m}^3$  a  $15^\circ\text{C}$ ) exibem massas específicas consideravelmente menores. Mesmo produtos de base mineral como o Shell Tellus S2 MX 32 ( $854 \text{ kg/m}^3$  a  $15^\circ\text{C}$ ), o Lubrax Industrial HLP 32 ( $870 \text{ kg/m}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ ), o Iconic IBO NH 20 ( $886 \text{ kg/m}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ ) (ICONIC Base Oil, 2024) e óleos básicos mais pesados, como o Acelen PBS-30 ( $902 \text{ kg/m}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ ) (Refinaria de Mataripe S.A., 2021), são menos densos. É importante notar que a massa específica dos lubrificantes comerciais é frequentemente reportada a  $15^\circ\text{C}$  ou  $20^\circ\text{C}$  nas fichas técnicas, temperaturas de referência padrão na indústria do petróleo, enquanto os óleos vegetais foram avaliados a  $20^\circ\text{C}$ . Apesar das pequenas diferenças de temperatura de referência, a tendência de maior massa específica dos óleos vegetais é evidente.

A maior massa específica dos óleos de Babaçu e Soja, em comparação com muitos lubrificantes minerais e sintéticos, implica em algumas considerações práticas. Primeiramente, para um mesmo volume, uma maior massa específica significa maior massa, o que pode influenciar no peso total de equipamentos e na logística de transporte e armazenamento, potencialmente resultando em custos adicionais de frete ou necessidade de tanques e sistemas de bombeamento mais robustos para lidar com o peso. Além disso, em sistemas onde a massa específica é um fator crítico, como em misturas ou separações por gravidade, uma massa específica mais alta pode afetar o comportamento hidrodinâmico do lubrificante. Por exemplo,

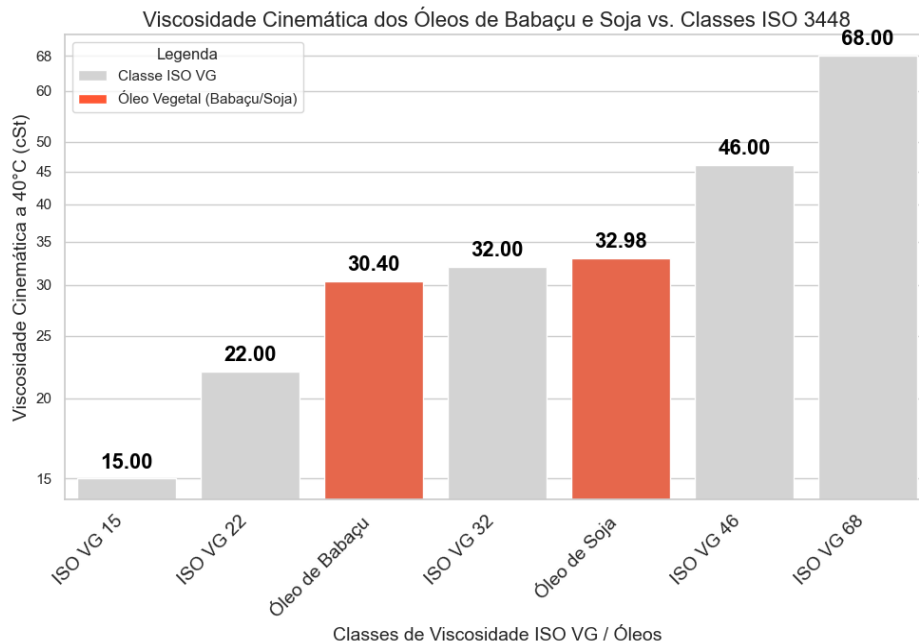
em aplicações onde a massa específica influencia o coeficiente de arrasto ou a capacidade de flutuação de contaminantes, essa característica precisa ser cuidadosamente avaliada.



**Figura 2** - Massa específica do Babaçu e da Soja em relação a óleos industriais comerciais.

A viscosidade é o parâmetro mais importante para o desempenho lubrificante. O óleo de babaçu registrou 30,4 cSt e o óleo de soja, 32,98 cSt a 40°C. Com base na norma ISO 3448, ambos se enquadram na classe ISO VG 32 (faixa de 28,8 – 35,2 mm<sup>2</sup>/s). Isso demonstra sua adequação para diversas aplicações industriais, como sistemas hidráulicos e lubrificação de engrenagens leves.

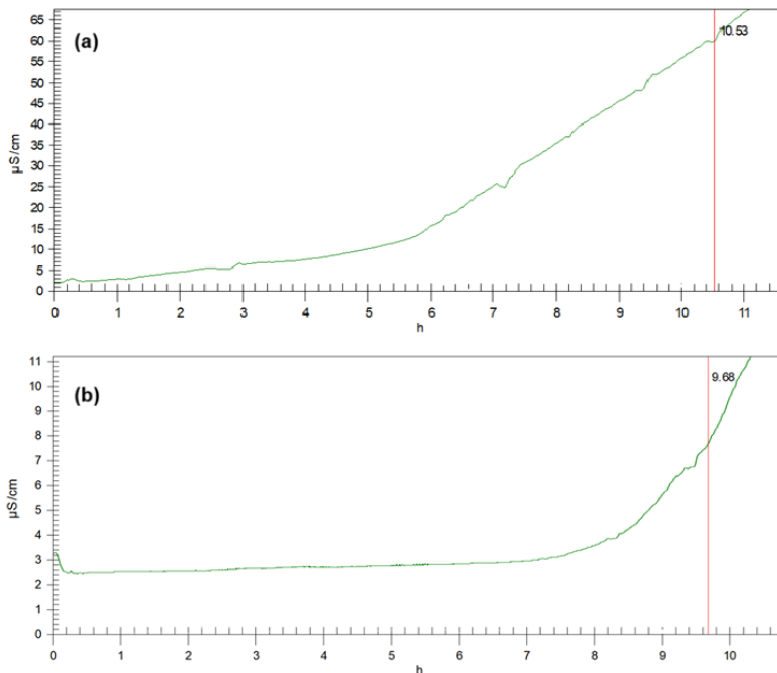
Conforme a Figura 3, a viscosidade cinemática do óleo de babaçu (30,4 cSt) e do óleo de soja (32,98 cSt) a 40°C se enquadra na classe ISO VG 32. Esta classe possui uma faixa de viscosidade de 28.8 a 35.2 mm<sup>2</sup>/s. A proximidade dos valores obtidos para o babaçu e a soja com o ponto médio da classe ISO VG 32 (32 cSt) indica uma excelente adequação para diversas aplicações industriais que demandam esta especificação. Exemplos incluem sistemas hidráulicos, equipamentos que operam em temperaturas moderadas e lubrificação de engrenagens leves, onde a viscosidade é crucial para garantir a proteção e eficiência (USMAN et al., 2024). A conformidade da viscosidade com uma classe ISO VG padronizada facilita a integração desses biolubrificantes em sistemas existentes.



**Figura 3** - Comparação da Viscosidade Cinemática dos Óleos de Babaçu e Soja com as Classes ISO 3448.

A estabilidade oxidativa é, talvez, a característica físico-química que mais limita o uso de óleos vegetais como bases lubrificantes. Isso ocorre porque as duplas ligações dos ácidos graxos presentes nesses óleos são sítios oxidativos, tornando sua estabilidade à oxidação naturalmente baixa. Embora diversos estudos tenham proposto soluções para contornar essa limitação, neste trabalho, o foco foi a avaliação do óleo vegetal puro, sem nenhuma modificação.

Os resultados de estabilidade oxidativa do óleo de babaçu puro são apresentados na Figura 4a. Nela, podemos notar um aumento gradual na condutividade da solução aquosa, que se deve à crescente formação de vapores ácidos ao longo de 10,53 horas. Já o óleo de soja puro mostra um comportamento oxidativo inicial diferente, com a condutividade permanecendo praticamente inalterada. Isso indica que, no começo, não há formação de ácidos voláteis. Esse padrão se mantém até a oxidação dos ácidos carboxílicos, que ocorre em 9,68 horas, conforme ilustrado na Figura 4b.



**Figura 4.** Estabilidade oxidativa do (a) óleo de babaçu puro e (b) do óleo de soja puro

Os resultados demonstram que ambos os óleos puros apresentam boa estabilidade oxidativa, com tempo de oxidação superior a 9 horas, o que pode ser considerado satisfatório, dependendo da aplicação e dos requisitos específicos de uso. A título de comparação, a norma europeia EN 14112, aplicada ao biodiesel, estabelece um tempo mínimo de 6 horas. Assim, o desempenho dos óleos puros, mesmo sem passarem pelo processo de transesterificação, revela-se promissor. No caso dos lubrificantes, os valores exigidos de estabilidade oxidativa são mais variados, conforme diferentes normas específicas, cada uma voltada à sua respectiva finalidade.

## CONCLUSÃO

Este estudo realizou uma caracterização abrangente das propriedades físico-químicas do óleo de babaçu e do óleo de soja em sua forma pura, confirmando de forma contundente a viabilidade individual de ambos como bases promissoras para o desenvolvimento de biolubrificantes. Os resultados demonstraram que ambos os óleos apresentaram baixa coloração ASTM, indicando boa transparência. Os pontos de fulgor elevados (261°C para babaçu e 279,5°C para soja) destacam a segurança térmica superior desses óleos em comparação com lubrificantes minerais convencionais. As massas específicas encontradas (921,44 kg/m<sup>3</sup>

para babaçu e 919,97 kg/m<sup>3</sup> para soja) estão dentro das faixas esperadas para óleos vegetais e são compatíveis com as aplicações convencionais de lubrificantes.

Em termos de viscosidade cinemática a 40°C, o óleo de babaçu (30,4 mm<sup>2</sup>/s) e o óleo de soja (32,98 mm<sup>2</sup>/s) foram consistentemente classificados na classe ISO VG 32, conforme a norma ISO 3448. Esta classificação, evidenciada pela comparação com o espectro das normas ISO 3448, destaca a aptidão individual desses óleos para aplicações exigentes, como sistemas hidráulicos e lubrificação leve, onde a aderência a especificações de viscosidade é crucial para garantir proteção e eficiência. Adicionalmente, a boa estabilidade oxidativa observada para ambos os óleos puros, com tempo de oxidação superior a 9 horas, supera o requisito mínimo de algumas normas aplicadas ao biodiesel, revelando seu desempenho promissor mesmo sem modificações (EN 14112).

Em suma, as propriedades físico-químicas determinadas para os óleos de babaçu e soja puros os posicionam como alternativas robustas e ecologicamente sustentáveis aos lubrificantes de origem mineral. Este trabalho contribui significativamente para o avanço da pesquisa em biolubrificantes, apontando para o potencial desses óleos brasileiros no desenvolvimento de produtos com alto desempenho e menor impacto ambiental, abrindo caminhos para futuras investigações com formulações aditivadas e testes em condições operacionais reais.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Maranhão pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução ANP nº 911, de 18 de novembro de 2022. Atos Oficiais, Brasília, 2022. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-911-2022>. Acesso em: 13 mar 2026.

ARAÚJO, M. J. S. M.; MAIA, D. O.; GONDIM, A. D.; PARENTE, M. O. M.; PARENTE, H. N. Estudo da composição físico-química dos óleos de babaçu e buriti. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – CONEPETRO, 2016, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: Editora Realize, 2016.

BUNGE Alimentos S.A. Óleo de Soja Soya. Bunge Alimentos S.A., Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.soya.com.br/produtos/para-sua-casa/oleos/oleo-de-soja-soya/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

CAVALCANTI, E. D. C.; AGUIEIRAS, É. C. G.; DA SILVA, P. R.; et al. Improved production of biolubricants from soybean oil and different polyols via esterification reaction catalyzed by immobilized lipase from *Candida rugosa*. *Fuel*, v. 211, p. 555-564, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.119>.

COPPALJ – Cooperativa dos Pequenos Produtores Agroextrativistas de Lago do Junco LTDA. Óleo de Babaçu Refinado Orgânico. COPPALJ, Brasil, 2025. Disponível em: <https://coppalj.com.br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

ExxonMobil. Product Data Sheet – Mobil DTE 10 Excel Series. ExxonMobil, nov. 2013. Disponível em: [https://www.mobilindustrial.com.br/media/1473/mobil-dte-10-excel-serie-pds\\_2013.pdf](https://www.mobilindustrial.com.br/media/1473/mobil-dte-10-excel-serie-pds_2013.pdf). Acesso em: 12 fev. 2026.

FEITOSA, M. M.; SOUSA, E. C.; NASCIMENTO, L.; LEMOS, J. J. S. A soja no estado do Maranhão, Brasil: uma análise temporal da expansão e substituição das culturas alimentares. *Geografares*, Vitória, n. 37, jul./dez. 2023.

GIAKOUMIS, E. G. Analysis of 22 vegetable oils' physico-chemical properties and fatty acid composition on a statistical basis, and correlation with the degree of unsaturation. *Renewable Energy*, v. 126, p. 403-419, out. 2018. DOI: [10.1016/j.renene.2018.03.057](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.057).

ICONIC Base Oil. Boletim Técnico – IBO NH 20 – Óleo Mineral Naftênico. ICONIC Base Oil, revisão de 30 ago. 2024. Disponível em: <https://iconic-website.s3.amazonaws.com/arquivos-portal/arquivos/20240911/fdb02c5e-337b-471e-9db9-1e9ac2046cc6.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP). Boletim de Lubrificantes. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/documents/43/boletim-lubrificantes-i-marco-de-2025-1-1.pdf>. Acesso em: 12 mar 2026.

ISO (International Organization for Standardization). ISO 3448: Industrial liquid lubricants – ISO viscosity classification. 2. ed. Genebra: ISO, 1992.

KARMAKAR, G.; GHOSH, P.; SHARMA, B. K. Chemically modifying vegetable oils to prepare green lubricants. *Lubricants*, Basel, v. 5, n. 4, art. 44, 2017. DOI: [10.3390/lubricants5040044](https://doi.org/10.3390/lubricants5040044).

MARQUES, M. A.; PAULO, L. A. O.; GANDRA, K. M. B.; MINIM, V. P. R.; VIDIGAL, M. C. T. R. Effect of temperature on the physical properties' density, viscosity, and refractive index of babassu (*Orbignya sp.*) oil in the range between 293 and 333 K. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 22, n. 3, p. e3582, 2024. DOI: [10.55905/oelv22n3-016](https://doi.org/10.55905/oelv22n3-016).

MATOS, P. R. R. Utilização de Óleos Vegetais como Bases Lubrificantes. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MATOS, P. R. R. Biolubrificantes. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/rp/biolubrificantes.pdf>. Acesso em: 3 mar 2026.

MCNUTT, J.; HE, Q. Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 36, p. 1-12, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.02.008>.

MORTIER, R. M.; ORSZULIK, S. T. *Chemistry and Technology of Lubricants*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. DOI: 10.1023/b105569.

OLIVEIRA, N. A.; MAZZALI, M. R.; FUKUMASU, H.; GONÇALVES, C. B.; OLIVEIRA, A. L. Composition and physical properties of babassu seed (*Orbignya phalerata*) oil obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 150, p. 21-29, 2019. DOI: 10.1016/j.supflu.2019.04.009.

PONTE, F. A. F.; RODRIGUES, J. S.; MALVEIRA, J. Q.; RAMOS FILHO, J. A. S.; ALBUQUERQUE, M. C. G. Avaliação físico-química dos óleos de babaçu (*Orbignya speciosa*) e coco (*Cocos nucifera*) com elevado índice de acidez e dos ácidos graxos (C6 a C16). *Scientia Plena*, v. 13, n. 12, p. 1-8, 2017.

PORRO, R. A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 14, n. 1, p. 23-47, jan./abr. 2019.

REFINARIA de Mataripe S.A. Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – Óleo Básico Bright Stock PBS 30. FISPQ n<sup>o</sup> ACE0023, revisão 1, 25 nov. 2021. Refinaria de Mataripe S.A., São Francisco do Conde, BA. Disponível em: <https://www.acelen.com.br/pdf/fispq/oleos/OLEO-BASICO-BRIGHT-STOCK-PBS-30.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2026.

RIBEIRO FILHO, P. R. C. F. Síntese e características tribológicas de lubrificantes de base biológica obtidos a partir dos óleos de pequi, soja e mamona. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

SALES, A. R. R. de; ALBUQUERQUE, T. da N.; XAVIER, L. E.; SANTANA, A. G. de; SILVA, O. S. da; COSTA, S. dos S.; FONSECA, S. B. da; MEIRELES, B. R. L. de A. Caracterização físico-química do óleo de coco babaçu industrial e artesanal e suas aplicações tecnológicas. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 25734-25748, maio 2020.

SHELL. Technical Data Sheet – Shell Tellus S2 MX 32. Shell, 06 jul. 2016. Disponível em: [https://jaflda.pt/wp-content/uploads/2022/11/TELLUS\\_S2\\_MX\\_32.pdf](https://jaflda.pt/wp-content/uploads/2022/11/TELLUS_S2_MX_32.pdf). Acesso em: 11 mar. 2026.

SHELL. Technical Data Sheet – Shell Tellus S4 VE 32. Shell, versão 1.6 (25 fev. 2024). Disponível em: [https://www.shell.com/business-customers/lubricants-for-business/sector-expertise/power-industry/wind-power/windeurope-electric-city/\\_jcr\\_content/root/main/section/simple\\_2118681472/text.multi.stream/1726581234352/36113475c294fbfae38dfd1851b45237178b8079/tellus-s4-ve-32-technical-data-sheet.pdf](https://www.shell.com/business-customers/lubricants-for-business/sector-expertise/power-industry/wind-power/windeurope-electric-city/_jcr_content/root/main/section/simple_2118681472/text.multi.stream/1726581234352/36113475c294fbfae38dfd1851b45237178b8079/tellus-s4-ve-32-technical-data-sheet.pdf). Acesso em: 11 mar. 2026.

SHRIVASTAVA, S.; KUMAR, D.; PRAJAPATI, P.; et al. Chemical transesterification of soybean oil as a feedstock for stable biodiesel and biolubricant production by using Zn Al hydrotalcites as a catalyst and performing tribological assessment. *Industrial Crops and Products*, v. 178, p. 116002, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116002>.

USMAN, M. K. et al. Comparative study on lubrication properties of biodiesel and biolubricant trans-esterified from desert seed oil with conventional lubricants. *Frontiers in Chemical Engineering*, 2024. DOI: [10.3389/fceng.2024.1451187](https://doi.org/10.3389/fceng.2024.1451187).

VAN EEKEREN, A. C. T.; VAN EEKEREN, J. T. E. F. Lubricant properties and test methods. Third edition (L.R. Rudnick, Ed.). *Journal of Tribology*, v. 140, n. 4, p. 048001, 2018. DOI: [10.1007/s11249-018-1007-0](https://doi.org/10.1007/s11249-018-1007-0).

VIBRA Energia S.A. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – Lubrax Hydra XP 32. FISPQ n<sup>o</sup> 1002275, revisão de 24 jul. 2023. Vibra Energia S.A., Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: [https://documentos-publicos.petrobras.com.br/api/fichas/fispq-arm/download?folder=&item=12175769%20PETROBRAS%20DISTRIBUIDORA%20\(LUBRAX\).pdf](https://documentos-publicos.petrobras.com.br/api/fichas/fispq-arm/download?folder=&item=12175769%20PETROBRAS%20DISTRIBUIDORA%20(LUBRAX).pdf). Acesso em: 11 fev. 2026.