UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEWID BRUNO DA SILVA DIAS

Utilização de Vegetais Típicos da Amazônia para a Produção de Biolubrificantes e Biocombustíveis: Uma Revisão Bibliográfica das Publicações nos Últimos Dez Anos.

Tucuruí - PA
2025

DEWID BRUNO DA SILVA DIAS

Utilização de Vegetais Típicos da Amazônia para a Produção de Biolubrificantes e Biocombustíveis: Uma Revisão Bibliográfica das Publicações nos Últimos Dez Anos.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica pela Unidade Federal do Pará.

Orientador(a): Dr. Fernando Nunes

Tucuruí - PA
2025

DEWID BRUNO DA SILVA DIAS

Utilização de Vegetais Típicos da Amazônia para a Produção de Biolubrificantes e Biocombustíveis: Uma Revisão Bibliográfica das Publicações nos Últimos Dez Anos.

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a obtenção do Grau de bacharel em Engenharia Mecânica pela Unidade Federal do Pará.

Orientador(a): Prof. Dr. Fernando Nunes Da Silva

Data de Aprovação: **17/02/25**
Conceito: **EXCELENTE**

Banca Examinadora:

gov.br
Documento assinado digitalmente
FERNANDO NUNES DA SILVA
Data: 12/03/2025 23:39:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Orientador
Prof. Dr. Fernando Nunes da Silva – UFPA

gov.br
Documento assinado digitalmente
JULIANA RICARDO DE SOUZA
Data: 12/03/2025 09:43:30-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Examinadora Externa
Prof. Dr. Juliana Ricardo de Souza

gov.br
Documento assinado digitalmente
WASSIM RAJA EL BANNA
Data: 12/03/2025 20:59:08-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Examinador Interno
Prof. Dr. Wassim Raja El Banna

RESUMO

Este artigo go analisa a utilização de vegetais da Amazônia na produção de biolubrificantes e biocombustíveis, destacando suas propriedades físico-químicas e o potencial sustentável em comparação aos óleos convencionais derivados do petróleo. A pesquisa teórica abrange plantas oleaginosas como andiroba, buriti, copaíba e castanha-do-pará, evidenciando vantagens como biodegradabilidade, estabilidade térmica e desempenho técnico. Embora apresentem benefícios ambientais significativos e oportunidades econômicas, desafios como a infraestrutura inadequada e os custos de produção ainda precisam ser superados. A exploração sustentável desses recursos é fundamental para garantir a preservação da biodiversidade amazônica, contribuindo para um futuro mais sustentável e alinhado às demandas por alternativas renováveis.

***Palavras-chave**: Fontes vegetais; Propriedades físico-químicas; Plantas oleaginosas; Sustentabilidade.*

ABSTRACT

This article analyzes the use of Amazonian plants in the production of biolubricants and biofuels, highlighting their physicochemical properties and sustainable potential compared to conventional petroleum-derived oils. The theoretical research encompasses oilseed plants such as andiroba, buriti, copaiba, and Brazil nut, demonstrating advantages such as biodegradability, thermal stability, and technical performance. Although these oils present significant environmental benefits and economic opportunities, challenges such as inadequate infrastructure and production costs still need to be overcome. Sustainable exploitation of these resources is crucial to ensuring the preservation of Amazonian biodiversity, contributing to a more sustainable future aligned with the demand for renewable alternatives.

Keywords: Plant Sources; Physicochemical Properties; Oilseed plants; Sustainability.

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS 7
METODOLOGIA 10
ANÁLISE DAS PROPRIEDADES E RESULTADOS 12
Propriedades Físico-Químicas dos Óleos Vegetais 12
Viscosidade e índice de Viscosidade 12
Estabilidade Térmica e Oxidativa 13
Ponto de Fulgor 13
Biodegradabilidade 13
Comparação com Óleos de Origem Petroqímica 14
Potencial Econômico e Ambiental 14
Desafios e Limitações 15
Lacunas e Perspectivas para Pesquisas Futuras 15
CONSIDERAÇÕES FINAIS 16
REFERÊNCIAS 18

Considerações Iniciais

A demanda por fontes de energia e insumos industriais sustentáveis está crescendo à medida que a sociedade se torna mais consciente das limitações dos combustíveis fósseis e de seu impacto ambiental. Entre os insumos mais críticos para o funcionamento de máquinas e sistemas mecânicos estão os óleos lubrificantes e os combustíveis (Macedo *et al*., 2023; Farias *et al*., 2023).

Os lubrificantes desempenham um papel essencial na redução do atrito e desgaste entre componentes móveis, aumentando a eficiência e a durabilidade de motores e máquinas. Já os combustíveis fornecem a energia necessária para o funcionamento de motores de combustão interna, tanto em veículos quanto em equipamentos industriais (Rios, 2021; Andrade, 2023).

Historicamente, os óleos lubrificantes e combustíveis têm sido derivados do petróleo, um recurso não renovável com implicações ambientais consideráveis, tanto na extração quanto no uso. O processo de refino gera subprodutos poluentes e sua combustão libera gases de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global (Zugaib, 2023; Leite, 2023).

Em contrapartida, os biolubrificantes e biocombustíveis, derivados de fontes vegetais, surgem como alternativas mais ecológicas. Esses produtos são obtidos a partir de óleos vegetais, que são renováveis, biodegradáveis e, em muitos casos, apresentam propriedades técnicas comparáveis ou superiores aos derivados de petróleo (Forezi, 2023; Silva *et al*., 2024).

No contexto da produção de óleos lubrificantes e combustíveis, as plantas oleaginosas são fontes primárias de matéria-prima. Oleaginosas são plantas que acumulam grandes quantidades de óleo em suas sementes, frutos ou polpas, de acordo com a Tabela 1, tem-se os principais óleos vegetais potencialmente utilizados (Mafuani, 2023).

Tabela 1. Ácidos graxos importantes em óleos vegetais.

Nome comum	Fórmula Molecular	Tipo de ácido graxo
Ácido palmítico	$C_{16} H_{32} O_2$	Saturado
Ácido esteárico	$C_{18} H_{36} O_2$	Saturado
Ácido oleico	$C_{18} H_{34} O_2$	Monoinsaturado
Ácido linoleico	$C_{18} H_{32} O_2$	Diinsaturado

Ácido linolênico	$C_{18} H_{30} O_2$	Triinsaturado
Ácido ricinoleico	$C_{18} H_{34} O_3$	Ácido graxo insaturado

Fonte: (Reeves, 2017; Greco-Duarte, 2017).

O Brasil, com destaque para a região amazônica, possui uma grande diversidade de plantas oleaginosas, muitas delas ainda pouco exploradas comercialmente. A Amazônia, como maior floresta tropical do mundo, abriga uma ampla gama de espécies com potencial para a produção de biolubrificantes e biocombustíveis, o que a coloca no centro de pesquisas que buscam alternativas para o desenvolvimento sustentável (Santos, 2024; Forezi, 2023).

Entre as plantas oleaginosas da Amazônia, algumas das mais promissoras para a produção de óleos lubrificantes e combustíveis são, por exemplo, a andiroba, o buriti e a copaíba.

Amplamente conhecida na região amazônica, a andiroba (*Carapa guianensis*), Figura 1, é uma árvore cujas sementes possuem um óleo rico em ácidos graxos insaturados. Esse óleo é tradicionalmente utilizado como repelente e para fins medicinais, mas suas propriedades o tornam adequado para a formulação de biolubrificantes devido à sua estabilidade térmica e resistência à oxidação (Silva, 2023a; Abreu *et al.*, 2024; Silva, 2023b).

Figura 1 – Andiroba (*Carapa guianensis*).

Fonte: (De Souza, 2006).

O buriti (*Mauritia flexuosa*), Figura 2, é uma palmeira encontrada em áreas alagadas da Amazônia. Seu óleo, extraído do mesocarpo do fruto, apresenta alta concentração de ácidos graxos e uma coloração avermelhada devido à presença de carotenoides. O óleo de buriti possui excelente capacidade antioxidante, tornando-o ideal para aplicações em biolubrificantes, além de ser potencialmente utilizável como óleo combustível em motores de combustão (Silva, 2023a; Santiago, 2023; Vidal, 2023).

Figura 2 – Buriti (*Mauritia flexuosa*).

Fonte: (Sampaio *et al.*, 2011).

A copaíba (*Copaifera langsdorffii*), Figura 3, é uma árvore nativa da Amazônia que exsuda um óleo-resina conhecido como "óleo de copaíba". Esse óleo é rico em compostos terpenoides e possui propriedades anti-inflamatórias, além de ser tradicionalmente usado em tratamentos medicinais. Na indústria, seu óleo tem sido estudado como biocombustível, dada sua capacidade de combustão limpa e alta densidade energética (Silva, 2023b; Pascoal, 2021; Forezi, 2023; Andrade, 2024).

Figura 3 – Copaíba (*Copaifera langsdorffii*)**.**

Fonte: (Rigamonte-Azevedo, 2004).

As propriedades físico-químicas desses óleos vegetais são fatores determinantes para sua aplicação na indústria de lubrificantes e combustíveis. As principais propriedades medidas incluem:

Viscosidade: A viscosidade de um óleo é a medida de sua resistência ao fluxo. Nos lubrificantes, a viscosidade é crucial para garantir uma camada de proteção adequada entre superfícies metálicas. Óleos com maior viscosidade tendem a proporcionar uma melhor proteção contra o desgaste, enquanto óleos com menor viscosidade reduzem a resistência ao movimento (Depiante, 2023; Amorim, 2023; Meira, 2021).

Índice de Viscosidade (IV): Este índice mede a variação da viscosidade de um óleo em função da temperatura. Um alto IV é desejável em biolubrificantes, pois indica que o óleo mantém suas propriedades de lubrificação mesmo sob variações térmicas significativas, garantindo eficiência tanto em temperaturas baixas quanto em altas (Rios, 2021; De Abreu *et al.*, 2023).

Estabilidade Térmica e Oxidativa: Óleos vegetais com boa estabilidade térmica e resistência à oxidação são mais duráveis e adequados para uso em sistemas mecânicos que operam em condições severas. A oxidação reduz a vida útil do lubrificante, enquanto a estabilidade térmica garante que o óleo não se decompõe facilmente em altas temperaturas (Mauss, 2020; Mendonça *et al.*, 2020).

Ponto de Fulgor: O ponto de fulgor é a temperatura mínima na qual o vapor do óleo pode inflamar-se em contato com uma fonte de ignição. Para os combustíveis, essa propriedade é crítica, pois influencia a segurança e o manuseio durante o transporte e armazenamento (Oliveira *et al.*, 2021).

A utilização de óleos vegetais da Amazônia oferece uma série de benefícios ambientais e econômicos. Além de serem renováveis e biodegradáveis, esses óleos podem reduzir significativamente a emissão de gases poluentes quando usados como combustíveis, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Em lubrificantes, esses óleos proporcionam menor toxicidade e melhor desempenho em sistemas mecânicos, aumentando a vida útil dos equipamentos (Gaertner, 2024; Gonçalves, 2024).

Este estudo, portanto, visa explorar de maneira detalhada o potencial das plantas oleaginosas amazônicas para a produção de biolubrificantes e biocombustíveis, por meio de uma revisão bibliográfica dos trabalhos publicados nos últimos dez anos. Fazendo, dessa forma, uma análise aprofundada das propriedades físico-químicas dos óleos extraídos dessas plantas, bem como, de suas viabilidades técnicas e econômicas.

Metodologia

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa teórica com o objetivo de explorar e analisar o potencial de vegetais provenientes da Amazônia na produção de biolubrificantes e

biocombustíveis. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica sistemática, focando em artigos científicos, livros, trabalhos acadêmicos (teses, dissertações e monografias) e documentos técnicos que tratam da produção de óleos lubrificantes e combustíveis a partir de fontes vegetais, com ênfase nas plantas oleaginosas da região amazônica, publicados nos últimos dez anos.

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico em bases de dados científicas reconhecidas, como Scielo, Google Scholar, ScienceDirect, Periódicos CAPES e periódicos especializados em engenharia, sustentabilidade e química de óleos vegetais. O objetivo foi identificar estudos que abordassem a utilização de plantas oleaginosas para a produção de óleos lubrificantes e combustíveis, com especial atenção às espécies amazônicas.

As referências foram selecionadas com base na relevância e qualidade dos estudos, priorizando aqueles que ofereciam dados técnicos sobre as propriedades físico-químicas dos óleos vegetais. Foram incluídos trabalhos que discutem a composição química de óleos como o de andiroba, buriti, copaíba e castanha-do-pará, além de suas aplicações industriais e seu desempenho como biolubrificantes e biocombustíveis.

A pesquisa envolveu uma análise comparativa entre as propriedades dos óleos vegetais amazônicos e os óleos lubrificantes e combustíveis convencionais derivados de petróleo. Foram considerados fatores como viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fulgor, estabilidade térmica e oxidativa, e biodegradabilidade. A análise teve como objetivo verificar a viabilidade técnica de utilização desses óleos vegetais em sistemas mecânicos e motores de combustão.

Foram estudadas as principais plantas oleaginosas da Amazônia, incluindo suas características biológicas e ecológicas, além das técnicas de extração e aproveitamento de seus óleos. O estudo envolveu a pesquisa de seus nomes populares e científicos, abordando a diversidade de espécies disponíveis e seu potencial para uso industrial.

Além dos aspectos técnicos, a pesquisa considerou as barreiras e oportunidades econômicas para a produção de biolubrificantes e biocombustíveis em larga escala. Foram discutidos fatores como a infraestrutura necessária, o custo de produção, a logística de transporte na região amazônica e as políticas públicas voltadas à sustentabilidade. A viabilidade econômica e a conservação ambiental também foram temas centrais para a discussão.

Dessa forma, a metodologia adotada permitiu um exame abrangente do estado da arte sobre o uso de vegetais da Amazônia para a produção de biolubrificantes e biocombustíveis.

Os dados levantados e analisados forneceram subsídios para as discussões e conclusões que serão apresentadas nas seções seguintes deste trabalho.

Análise das propriedades e resultados

A análise dos dados desta pesquisa foi baseada em uma avaliação teórica das propriedades físico-químicas dos óleos vegetais extraídos das plantas oleaginosas da Amazônia, comparando-os com os óleos lubrificantes e combustíveis convencionais de origem petroquímica. Os dados foram obtidos de estudos científicos que analisaram detalhadamente as características dos óleos de plantas como andiroba, buriti e copaíba.

Propriedades Físico-Químicas dos Óleos Vegetais

Os óleos vegetais provenientes da Amazônia apresentam características promissoras para o uso industrial, especialmente na produção de biolubrificantes e biocombustíveis. As principais propriedades analisadas incluem a viscosidade, o índice de viscosidade, a estabilidade térmica e oxidativa, o ponto de fulgor e a biodegradabilidade. Essas propriedades foram comparadas com as dos óleos derivados de petróleo para avaliar sua viabilidade técnica.

Viscosidade e Índice de Viscosidade (IV)

A viscosidade e o índice de viscosidade (IV) são propriedades fundamentais na avaliação de lubrificantes, influenciando diretamente sua estabilidade e desempenho em diferentes condições térmicas. Os óleos vegetais da Amazônia, como o óleo de andiroba (*carapa guianensis*) e o óleo de buriti (*mauritia flexuosa*), apresentam índices de viscosidade que variam entre 190 a 210 e 160 a 180, respectivamente. Esses valores são significativamente superiores aos dos óleos minerais convencionais (IV de 90 a 120) e comparáveis aos dos óleos sintéticos (IV de 150 a 200). A alta estabilidade térmica dos óleos amazônicos indica menor variação de fluidez em diferentes temperaturas, tornando-os adequados para aplicações industriais que exigem operação estável sob condições severas. Adicionalmente, o óleo de andiroba destaca-se por sua viscosidade adequada ao uso em lubrificantes industriais, enquanto o óleo de buriti, com um IV competitivo, é igualmente promissor. Tais características colocam os óleos vegetais como alternativas viáveis e sustentáveis aos lubrificantes derivados de combustíveis fósseis, especialmente em aplicações que demandam resistência térmica e baixo impacto ambiental (Macedo *et al.*, 2023; Forezi, 2023; Cavalcante *et al*., 2021).

Estabilidade Térmica e Oxidativa

A estabilidade térmica e a resistência à oxidação dos óleos vegetais da Amazônia destacam-se como fatores cruciais para sua aplicação como biolubrificantes. O óleo de copaíba (*copaifera sp.*), por exemplo, apresentou um Tempo de Indução à Oxidação (TIO) de aproximadamente 8 a 12 horas, enquanto lubrificantes minerais convencionais registram valores entre 4 e 6 horas, indicando uma resistência à oxidação até 50% superior. Essa propriedade contribui para a maior durabilidade e eficiência dos sistemas mecânicos, especialmente sob condições de alta temperatura e pressão. Essa elevada estabilidade é atribuída à presença de compostos antioxidantes naturais, como os terpenoides, que retardam a degradação oxidativa do óleo. Tais características tornam o óleo de copaíba uma alternativa sustentável e tecnicamente viável, particularmente em aplicações industriais que demandam maior resistência térmica e menor impacto ambiental (Santos, 2024; Mendonça *et al.*, 2020).

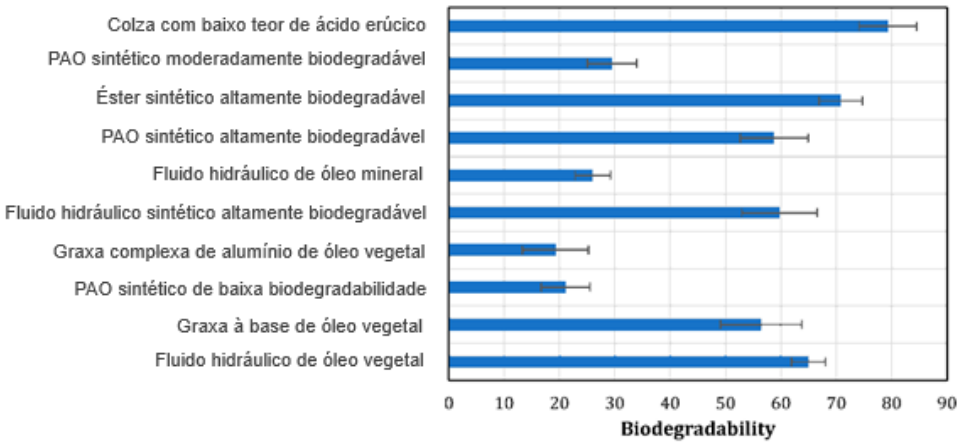
Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor, que reflete a segurança no manuseio de combustíveis, foi satisfatório nos óleos de buriti (*mauritia flexuosa*) e castanha-do-pará (*bertholletia excelsa*), ambos apresentando valores superiores aos combustíveis fósseis tradicionais. O óleo de buriti registrou um ponto de fulgor entre 260°C e 280°C, enquanto o da castanha-do-pará variou entre 250°C e 270°C, em contraste com os valores de 50°C a 70°C do diesel convencional. Esses resultados indicam que os biocombustíveis derivados dessas plantas oferecem maior segurança operacional, reduzindo significativamente o risco de ignição acidental durante o transporte e o armazenamento (Oliveira *et al.*, 2021; Vidal, 2023).

Biodegradabilidade

Uma das maiores vantagens dos óleos vegetais sobre os lubrificantes derivados de petróleo é sua biodegradabilidade. Os óleos amazônicos, como o óleo de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*) e o óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*), demonstraram altas taxas de degradação natural quando expostos ao ambiente, com valores variando entre 85% e 90% para o óleo de castanha-do-pará e entre 80% e 88% para o óleo de buriti em um período de 28 dias. Níveis de degradação semelhantes ao lubrificante do vegetal colza com baixo teor de ácido erúcico (*low erucic acid rapeseed*) (Figura 4). Agora, em comparação, aos lubrificantes derivados de petróleo que apresentam taxas significativamente menores, entre 15% e 30%**.** Essa diferença reduz consideravelmente o impacto ambiental, especialmente em casos de derramamento ou descarte inadequado, reforçando a sustentabilidade dos óleos vegetais (Gaertner, 2024; Silva, 2023b; Monte, 2021).

Figura 4 – Biodegradabilidade de diferentes bases lubrificantes conforme ASTM D5864.



Fonte: (Narayana Sarma e Vinu, 2022).

Comparação com Óleos de Origem Petroquímica

Os óleos vegetais, em geral, oferecem uma alternativa viável aos derivados de petróleo, tanto em termos de desempenho técnico quanto em sustentabilidade ambiental. Embora alguns óleos vegetais apresentem viscosidade inferior em temperaturas elevadas, como 7 a 10 cSt a 100°C, em comparação com os óleos minerais derivados de petróleo, que variam entre 10 e 15 cSt na mesma temperatura, essa desvantagem pode ser mitigada por meio de processos de modificação química, como a transesterificação. Esses processos melhoram as propriedades térmicas e reológicas dos óleos, tornando-os adequados para uma ampla gama de aplicações industriais. Além disso, os biolubrificantes e biocombustíveis amazônicos destacam-se pela ausência de compostos tóxicos em sua composição, o que reduz a contaminação do solo e dos corpos d'água, em contraste com os óleos petroquímicos, que possuem altos níveis de toxicidade e são altamente poluentes (Zugaib, 2023; Silva, 2023a; Almeida, 2021).

Potencial Econômico e Ambiental

Do ponto de vista econômico, a produção de biolubrificantes e biocombustíveis a partir de plantas oleaginosas da Amazônia pode contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável da região. A exploração sustentável dessas plantas pode gerar empregos e incentivar a preservação ambiental, ao mesmo tempo em que oferece alternativas energéticas menos dependentes de fontes fósseis (Mafuani, 2023; Gonçalves, 2024). Por outro lado, os benefícios ambientais são inegáveis. O uso de biocombustíveis amazônicos pode reduzir drasticamente as emissões de gases de efeito estufa, liberando 30% a 50% menos CO_2 em comparação aos combustíveis fósseis. Além disso, a maior biodegradabilidade dos

biolubrificantes ajuda a minimizar o impacto de resíduos industriais, promovendo uma operação mais limpa e sustentável (Almeida, 2021; Cavalcante *et al*., 2016).

Desafios e Limitações

Apesar das propriedades favoráveis e do grande potencial dessas oleaginosas, existem limitações que devem ser abordadas. Uma delas é o custo de produção dos óleos vegetais, que ainda é elevado em comparação aos derivados de petróleo. O custo de produção dos óleos amazônicos, como o óleo de castanha-do-pará e o óleo de buriti, varia entre R$ 10,00 e R$ 20,00 por litro, enquanto os óleos derivados de petróleo têm um custo de produção entre R$ 3,00 e R$ 5,00 por litro**.** A viabilidade econômica de utilizar óleos amazônicos em larga escala depende de investimentos em tecnologia e infraestrutura para melhorar os processos de extração e refino, além de políticas públicas que incentivem o uso de biolubrificantes e biocombustíveis no setor industrial (Gaertner, 2024; Andrade, 2024; Monte, 2021). Outro desafio está relacionado à disponibilidade de matéria-prima. Embora a Amazônia abrigue uma vasta quantidade de plantas oleaginosas, a exploração excessiva pode gerar desequilíbrios ecológicos. Portanto, é fundamental que as práticas de manejo sejam sustentáveis, garantindo que a produção desses óleos não prejudique a biodiversidade local (Maciel, 2021).

Lacunas e Perspectivas para Pesquisas Futuras

Ao longo desta revisão, foram identificados avanços na caracterização físico-química e no desempenho dos biolubrificantes e biocombustíveis de origem vegetal. No entanto, ainda existem desafios a serem superados para viabilizar sua aplicação em larga escala.

Um dos principais entraves é a viabilidade econômica, uma vez que poucos estudos abordam os custos envolvidos em cada etapa da produção, desde a extração da matéria-prima até a modificação química para melhorar suas propriedades (Silva et al., 2022). Além disso, a ausência de regulamentações específicas dificulta investimentos e a inserção dos biolubrificantes no mercado, diretamente do biodiesel, que já conta com incentivos fiscais em diversos países (Ferreira, L., & Andrade, M., 2023).

A implementação de práticas sustentáveis na produção de biolubrificantes exige uma análise criteriosa do impacto ambiental ao longo de todo o processo produtivo. Fatores como o uso de solventes químicos, o alto consumo energético nas etapas industriais e a geração de resíduos precisam ser melhor investigados para garantir que a produção desses compostos seja realmente sustentável (Mendes et al., 2021). Além disso, a padronização das propriedades físico-químicas ainda representa um desafio, uma vez que as características dos biolubrificantes podem variar conforme a matéria-prima utilizada e o método de

processamento adotado, o que pode dificultar sua aceitação em larga escala pela indústria (Ramos et al., 2023).

Além das questões econômicas e regulatórias, um aspecto técnico que ainda necessita de mais investigações é a realização de testes tribológicos para avaliar o desempenho dos biolubrificantes sob condições reais de atrito. Muitos estudos abordam as propriedades físico-químicas dos óleos vegetais, como viscosidade e estabilidade térmica, mas não testam a sua eficiência na redução do desgaste e do coeficiente de atrito em superfícies metálicas (Pereira et al., 2023). A ausência desses testes dificulta a aceitação dos biolubrificantes para aplicações industriais e automotivas, pois não há comprovação experimental suficiente de sua performance comparada aos lubrificantes convencionais. Dessa forma, futuras pesquisas devem considerar não apenas o desempenho técnico dos biolubrificantes e biocombustíveis, mas também sua viabilidade econômica, regulamentação e impacto ambiental, a fim de viabilizar sua aplicação em larga escala. Além disso, a realização de ensaios tribológicos mais abrangentes, como testes de pino sobre disco e análise de desgaste por microscopia, será fundamental para validar sua eficiência e garantir maior confiabilidade no uso industrial e automotivo (Santos & Oliveira, 2024).

Considerações finais

Este trabalho teórico abordou o potencial dos óleos vegetais provenientes de plantas oleaginosas da Amazônia para a produção de biolubrificantes e biocombustíveis, com uma análise comparativa em relação aos óleos convencionais de origem petroquímica. A partir da revisão bibliográfica e da análise das propriedades físico-químicas dos óleos de espécies como a andiroba, buriti, copaíba e castanha-do-pará, concluiu-se que essas plantas oferecem uma alternativa viável e sustentável para a indústria de lubrificantes e combustíveis.

Os óleos vegetais amazônicos se destacaram por suas propriedades técnicas, especialmente em relação à viscosidade, estabilidade térmica e oxidativa, e biodegradabilidade, fatores essenciais para a aplicação industrial. Além disso, a produção de biolubrificantes e biocombustíveis a partir dessas fontes tem o potencial de reduzir significativamente o impacto ambiental, tanto pela menor emissão de gases de efeito estufa quanto pela maior biodegradabilidade em relação aos derivados de petróleo.

Do ponto de vista econômico e social, o desenvolvimento dessa cadeia produtiva pode contribuir para a geração de empregos e renda nas comunidades amazônicas, incentivando a preservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais. No entanto, desafios como a

infraestrutura inadequada e os custos elevados de produção ainda precisam ser enfrentados para que esses produtos se tornem competitivos no mercado global.

Ademais, é essencial que a exploração das plantas oleaginosas seja feita de forma sustentável, garantindo que a biodiversidade da Amazônia seja preservada e que os impactos negativos sobre o ecossistema sejam minimizados. Políticas públicas que incentivem a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e o uso de biolubrificantes e biocombustíveis são fundamentais para o avanço dessa indústria.

Os biolubrificantes e biocombustíveis vegetais mostram grande potencial sustentável, mas ainda enfrentam desafios para sua ampla adoção. A viabilidade econômica continua sendo um entrave, devido aos altos custos de produção e à falta de incentivos específicos, dificultando sua competitividade com os derivados do petróleo. Além disso, a ausência de regulamentações claras impacta os investimentos e a inserção desses produtos no mercado. Outro fator crítico é a necessidade de estudos sobre a sustentabilidade do processo produtivo, considerando o impacto ambiental da extração, modificação e descarte desses compostos. Além disso, a padronização das propriedades físico-químicas e a realização de testes tribológicos são fundamentais para validar sua eficiência em aplicações industriais e automotivas. Portanto, futuras pesquisas devem focar na otimização dos processos produtivos, no desenvolvimento de políticas de incentivo e na realização de testes que garantam a confiabilidade e a viabilidade desses produtos em larga escala.

Em resumo, a utilização de vegetais provenientes da Amazônia para a produção de biolubrificantes e biocombustíveis representa uma alternativa promissora aos produtos de origem petroquímica, alinhando-se às demandas por tecnologias mais limpas e sustentáveis. Contudo, para que essa alternativa se consolide em larga escala, é necessário superar os desafios técnicos e econômicos, além de promover um equilíbrio entre a exploração dos recursos naturais e a preservação ambiental.

Referências

- ABREU, Laura Figueiredo *et al*. Qualidade oxidativa durante o armazenamento de sementes de andiroba beneficiadas para prensagem. 2024.
- ALMEIDA, Richard Manuel Batista. Novas oportunidades de aproveitamento do biogás no Brasil. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) -Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
- AMORIM, Beatriz Palacio de. Análise do mercado e desafios no refino de óleos lubrificantes automotivos. 2023.
- ANDRADE, Luana. Transparência site PROTEC. 2024.
- ANDRADE, Caio Mendonça de. DESGASTE DE PEÇAS METÁLICAS EM MOTORES ALIMENTADOS POR BIODIESEL OBTIDO POR MEIO DE ÓLEO RESIDUAL. 2023. Tese de Doutorado.
- CAVALCANTE, Glene Henrique Rodrigues *et al*. Estudo de óleos nativos da Amazônia (Babaçu e Andiroba): modificação química, caracterização e avaliação como biolubrificante. 2016.
- CECILIA, Juan Antonio *et al*. An overview of the biolubricant production process: Challenges and future perspectives. Processes, v. 8, n. 3, p. 257, 2020.
- DE ABREU, Leonardo Gomes *et al*. Óleo de babaçu: uma plataforma para obtenção de biocombustíveis. 2023.
- DE AVELAR, Marcilene Calandrine; PONTES, Altem Nascimento; DE PAULA, Manoel Tavares. Educação Ambiental para conservação dos elementos naturais do Parque Natural Municipal de Castanhal (PA). Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 18, n. 1, p. 299-317, 2023.
- DEPIANTE, Raryanne Nunes. Estimativa da degradação do óleo lubrificante em motores diesel de locomotivas a partir de parâmetros físico-químicos utilizando redes neurais artificiais. 2023.
- FARIAS, Higor Henrique *et al*. Epoxidação etílica do óleo de pinhão-manso para obtençao de lubrificante biodegradável. 2023.
- FOREZI, Luana Silva Magalhães. Aqui tem química! Interciência, 2023.
- GAERTNER, Joao Victor Casali. OS DESAFIOS DO TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEL NO BRASIL. 2024.
- GONÇALVES, Giullia de Paula. Políticas públicas no setor de biocombustíveis no Brasil relacionadas à diminuição de gases de efeito estufa. 2024.

- GRECO-DUARTE, J.; Cavalcanti-Oliveira, E.D.; Da Silva, J.A.C.; Fernandez-Lafuente, R.; Freire, D.M.G. Two-Step Enzymatic Production of Environmentally Friendly Biolubricants Using Castor Oil: Enzyme Selection and Product Characterization. Fuel 2017, 202, 196–205.
- LEITE, Viviane Gonçalves. Estudo sobre biocombustíveis alternativos para motores de ciclo diesel no Brasil, Argentina e Paraguai. 2023.
- MACEDO, Andrew Diego Medeiros *et al*. Uso do óleo de mamona (Ricinus communis) na obtenção de lubrificantes biodegradáveis. 2023.
- MACIEL, Dayanna dos Santos Costa. Design e Sustentabilidade. Editora Intersaberes, 2021.
- MAFUANI, Francisco Alberto. PERSPECTIVAS DA TECNOLOGIA DO BIODIESEL E SUA VIABILIDADE PARA INCLUSÃO SOCIAL DE PEQUENOS AGRICULTORES ANGOLA & BRASIL. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 4, n. 1, p. e412637-e412637, 2023.
- MAUSS, Cristiane Jaqueline. Efeito antioxidante de lignina em compostos elastoméricos para banda de rodagem de pneus. 2020.
- MEIRA, Ana Sofia Neves da Silva. Os lubrificantes biodegradáveis e não biodegradáveis-o estado atual de desenvolvimento e estudo comparativo entre os dois tipos de lubrificantes. 2021. Tese de Doutorado.
- MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte *et al*. Contribuições ao estudo das propriedades de misturas asfálticas produzidas com ligante modificado por adição de lignina. 2020.
- MONTE, Pollyana Maria Pimentel. Análise de ecoeficiência do óleo extraído da amêndoa de castanha de caju. 2021.
- NARAYANA SARMA, Rakesh; VINU, Ravikrishnan. Current status and future prospects of biolubricants: properties and applications. Lubricants, v. 10, n. 4, p. 70, 2022.
- PASCOAL, Diego Roberto da Cunha. Impregnação/deposição de bioativos da copaíba (*copaifera sp*.) em curativos biopoliméricos usando CO_2 supercrítico e imersão em diclorometano. 2021.
- OLIVEIRA, Milton Cristian de et al. Revisão bibliográfica das principais normas e legislação para o armazenamento e transporte de combustíveis: etanol e derivados de petróleo. 2021.

- REEVES, C.J.; Siddaiah, A.; Menezes, P.L. A Review on the Science and Technology of Natural and Synthetic Biolubricants. J. Bio-Tribo-Corros. 2017, 3, 11.
- RIOS, Ítalo Castro. Síntese e caracterização de novas moléculas derivadas da mistura de ácidos graxos do óleo da mamona (*ricinus communis L*.) para aplicação em biolubrificantes. 2021.
- SANTIAGO, João Vinicius Pereira. Valorização do lodo primário industrial à partir da extração de óleos e gorduras. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SANTOS, Jamisdean Sales. Avaliação tribológica de óleo vegetal de palma com nanopartículas de cobre e nanotubos de carbono. 2024.
- SILVA, Fernando Alves da *et al*. Desenvolvimento e caracterização de lubrificantes biodegradáveis a partir do óleo de milho. 2024.
- SILVA, Liliane Pereira. Caracterização física e química das sementes de andiroba (*carapa guianensis*) visando a extração do óleo. 2023a.
- SILVA, Erickson Fabiano Moura Sousa. Desenvolvimento de lubrificantes verdes: adição de nanopartículas a óleos vegetais e estudo dos desempenhos. 2023b.
- VIDAL, Maria de Fátima. Extrativismo: Recursos Florestais Naturais. 2023.
- ZUGAIB, Antônio Cesar Costa. A BIOECONOMIA CIRCULAR COMO ESTRATÉGIA PARA AGREGAÇÃO DE VALOR À CACAUICULTURA BRASILEIRA.2023.
- PEREIRA, A. et al. Análise tribológica de biolubrificantes à base de óleos vegetais, v. 18, n. 2, p. 89-104, 2023.
- SILVA, J. et al. Contribuição dos insumos no custo total do bioprocesso para produção de biolubrificantes em escala de laboratório. *Revista de Sustentabilidade, Tecnologia e Humanismo*, Campinas, v. 10, n. 1, p. 45-60, 2022.
- FERREIRA, L.; ANDRADE, M. Mercado de biolubrificantes poderá crescer até 6% no Brasil até 2024. *Portal Lubes*, 2023.
- MENDES, R. et al. Produção de biodiesel e biolubrificantes: uma abordagem integrada. *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, 2021.
- RAMOS, T. et al. Óleos básicos vegetais biodegradáveis como potencial alternativa. *Repositório Institucional da UFOP*, 2023.
- PEREIRA, A. et al. Obtenção de biolubrificante a partir de óleo de palma (*Elaeis guineensis*). *Embrapa Agroenergia*, 2023.

- SANTOS, R.; OLIVEIRA, M. Avaliação do coeficiente de atrito e desgaste em biolubrificantes: uma abordagem experimental, v. 12, n. 1, p. 45-62, 2024.

ANEXO I – Resumo dos principais trabalhos consultados

Título do Artigo	Autores	Ano de Publicação	Propriedades Medidas	Foi medida a lubricidade? Qual técnica?	Planta (nome popular e nome científico)	Parte da Planta	Principal composto Obtido	Aplicações
Qualidade oxidativa durante o armazenamento de sementes de andiroba beneficiadas para prensagem	Laura Figueiredo Abreu Osvaldo Ryohei Kato Breno Augusto Cabral Thomaz Sheineanne Borges de Jesus	2024	Viscosidade e Índice de Viscosidade	Propriedades relacionadas foram analisadas com base na literatura, incluindo viscosidade e índice de viscosidade	Andiroba (Carapa guianensis)	Semente	Ácidos graxos insaturados	Biolubrificantes
Caracterização física e química das sementes de andiroba (Carapa Guianensis) visando a extração do óleo.	Liliane Pereira da Silva	2023	Estabilidade Térmica e Oxidativa, Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade	Propriedades relacionadas foram analisadas com base na literatura, incluindo viscosidade e índice de viscosidade	Andiroba (Carapa guianensis)	Semente	Ácidos graxos insaturados	Biolubrificantes
Desenvolvimento de lubrificantes verdes: adição de nanopartículas a óleos vegetais e estudo dos desempenhos.	Erickson Fabiano Moura Sousa Silva	2023	Viscosidade, Índice de Viscosidade e Biodegradabilidade	Propriedades relacionadas foram analisadas com base na literatura, incluindo viscosidade e índice de viscosidade	Andiroba (Carapa guianensis)	Semente	Ácidos graxos insaturados	Biolubrificantes
Valorização do lodo primário industrial à partir da extração de óleos e gorduras.	João Vinicius Pereira Santiago	2023	Viscosidade, Índice de Viscosidade, Estabilidade Térmica e Oxidativa, Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade	Propriedades relacionadas analisadas, mas sem detalhamento experimental específico	Buriti (Mauritia flexuosa)	Mesocarpo	Carotenoides	Biolubrificantes e Biocombustíveis
Extrativismo: Recursos Florestais Naturais.	Maria de Fatima Vidal	2023	Índice de Viscosidade, Estabilidade Térmica e Oxidativa	Propriedades relacionadas analisadas, mas sem detalhamento experimental específico	Buriti (Mauritia flexuosa)	Mesocarpo	Carotenoides	Biolubrificantes e Biocombustíveis
Transparência site PROTEC.	Luana Andrade	2024	Viscosidade, Indice de Viscosidade e Biodegradabilidade.	Estudos literários indicaram alta resistência ao atrito e estabilidade térmica	Copaíba (Copaifera langsdorffii)	Óleo-resina	Compostos terpenoides	Biocombustíveis
Aqui tem química! Interciência.	Luana da Silva Magalhães Forezi Fernando de Carvalho da Silva Vitor Francisco Ferreira	2023	Biodegradabilidade, Estabilidade Térmica e Oxidativa	Estudos literários indicaram alta resistência ao atrito e estabilidade térmica	Copaíba (Copaifera langsdorffii)	Óleo-resina	Compostos terpenoides	Biocombustíveis
Impregnação/deposição de bioativos da copaíba (copaifera sp.) em curativos biopoliméricos usando CO2 supercrítico e imersão em diclorometano.	Diego Roberto da Cunha Pascoal	2021	Viscosidade, Índice de Viscosidade, Estabilidade Térmica e Oxidativa, Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade	Estudos literários indicaram alta resistência ao atrito e estabilidade térmica	Copaíba (Copaifera langsdorffii)	Óleo-resina	Compostos terpenoides	Biocombustíveis

Os Desafios Do Transporte De Combustível No Brasil	Joao Victor Casali Gaertner	2024	Viscosidade, Índice de Viscosidade, Estabilidade Térmica e Oxidativa,	Literatura abordou características de combustibilidade e lubrificação	Castanha-do-Pará (Bertholletia excelsa)	Sementes	Ácidos graxos essenciais	Biolubrificantes e Biocombustíveis
Análise de ecoeficiência do óleo extraído da amêndoa de castanha de caju	MONTE, P. M. P.	2021	Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade	Literatura abordou características de combustibilidade e lubrificação	Castanha-do-Pará (Bertholletia excelsa)	Sementes	Ácidos graxos essenciais	Biolubrificantes e Biocombustíveis
Desgaste De Peças Metálicas Em Motores Alimentados Por Biodiesel Obtido Por Meio De Óleo Residual.	Caio Mendoça de Andrade	2023	Viscosidade, Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade	Sim, técnica ASTM D5864	Babosa (Aloe vera)	Folhas	Polissacarídeos	Biolubrificantes e Biocombustíveis
Síntese e caracterização de novas moléculas derivadas da mistura de ácidos graxos do óleo da mamona (Ricinus communis L.) para aplicação em biolubrificantes.	Ítalo Castro Rios	2021	Viscosidade, Estabilidade Oxidativa	Não especificado	Buriti (Mauritia flexuosa)	Fruto	Carotenoides	Cosméticos e Lubrificantes
Estudo de óleos nativos da Amazônia (Babaçu e Andiroba): modificação química, caracterização e avaliação como biolubrificante	Glene Henrique Rodrigues Cavalcante	2016	Viscosidade, Índice de viscosidade, Viscosidade Cinemática e estabilidade oxidativa	Foi medido utilizando a técnica de desgaste por deslizamento	Andiroba (Carapa guianensis) Babaçu (Obignya phalerata)	Semente Amêndoas	Poliol	Biolubrificantes
An overview of the biolubricant production process: Challenges and future perspectives. Processes	Juan Antonio Cecilia	2020	Viscosidade, Estabilidade Térmica e Biodegradabilidade					Biolubrificantes
Óleo de babaçu: uma plataforma para obtenção de biocombustíveis.	Leonardo Gomes de Abreu	2023			Babaçu (Obignya phalerata)		Ácidos graxos	Biocombustíveis
Epoxidação etílica do óleo de pinhão-manso para obtenção de lubrificante biodegradável	Andrew Diego Medeiros Macedo Higor Henrique Faria José Carlos Oliveira Santos	2022	Viscosidade e Estabilidade Térmica		Pinhão Manso (Jatropha curcas)		Ésteres epoxidados	Biolubrificantes
Two-Step Enzymatic Production of Environmentally Friendly Biolubricants Using Castor Oil: Enzyme Selection and Product Characterization. Fuel	Amine Arslan Anders Rancke-Madsen Jesper Brask	2020	Viscosidade e Estabilidade Térmica		Mamona (Ricinus communis)		Estolide	Biolubrificantes
Uso do óleo de mamona (Ricinus communis) na obtenção de lubrificantes	Andrew Diego Medeiros Macedo	2023	Viscosidade e Estabilidade Térmica		Mamona (Ricinus communis)			Biolubrificantes

biodegradáveis								
Os lubrificantes biodegradáveis e não biodegradáveis-o estado atual de desenvolvimento e estudo comparativo entre os dois tipos de lubrificantes	Ana Sofia Neves da Silva Meira	2020	Viscosidade, Índice de Viscosidade, Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade e Toxidade	Foi medido com a técnica bola/disco	Soja (Glycine max) Canola (Brassica napus) Girassol (Helianthus annuus) Mamona (Ricinus communis)	Sementes	Triglicerídeos Ácidos Graxos Ésteres	Biolubrificantes
Current status and future prospects of biolubricants: properties and applications.	Rakesh Narayana Sarma Ravikrishnan Vinu	2022	Viscosidade, Ponto de Fulgor, Biodegradabilidade, Estabilidade Termo Oxidativa e Estabilidade de Armazenamento	Foi medido utilizando a técnica de desgaste por deslizamento	Soja (Glycine max) Canola (Brassica napus) Girassol (Helianthus annuus) Mamona (Ricinus communis)	Sementes	Triglicerídeos Ácidos Graxos Ésteres	Biolubrificantes
A Review on the Science and Technology of Natural and Synthetic Biolubricants	Carlton J. Reeves, Arpith Siddaiah Pradeep L. Menezes	2017	Viscosidade, Índice de Viscosidade, Ponto de Fulgor, Estabilidade Termo Oxidativa, Biodegradabilidade e Estabilidade Hidrolítica	Foi medido utilizando a técnica de desgaste por deslizamento	Soja (Glycine max) Palma (Elaeis guineensis) Mamona (Ricinus communis) Colza (Brassica napus	Sementes	Triglicerídeos Ácidos Graxos Ésteres	Biolubrificantes Naturais e Sintéticos
Avaliação tribológica de óleo vegetal de palma com nanopartículas de cobre e nanotubos de carbono	Amisdean Sales dos Santos	2024	Viscosidade Estabilidade Térmica	Sim. Ensaio de desgaste por deslizamento.	Palmeira Oleaginosa (Elaeis guineensis Jacquin)	Fruto	Triglicerídeos Ácidos Graxos Saturados Ácidos Graxos monoinsaturados Ácidos Graxos Poli-insaturados	Lubrificante
Desenvolvimento e caracterização de lubrificantes biodegradáveis a partir do óleo de milho	Fernando Alves da Silva	2024	Estabilidade Térmica Desempenho tribológico Propriedades Antioxidantes	Teste de desgaste por deslizamento	Milho (Zea mays)	Grão	Éster Metílico	Lubrificante