



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências
Câmpus de Rosana

RYAN GONÇALVES DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIODIESEL: EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA SEMENTE
DE MAMÃO PAPAYA E APROVEITAMENTO DA CASCA COMO CATALISADOR

Rosana / SP

2024

RYAN GONÇALVES DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIODIESEL: EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA SEMENTE
DE MAMÃO PAPAYA E APROVEITAMENTO DA CASCA COMO CATALISADOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia

Orientadora: Profa. Dra. Andréia Fátima
Zanette

Rosana / SP

2024

O48p

Oliveira, Ryan Gonçalves

Produção sustentável de biodiesel: extração do óleo da semente de mamão papaya e aproveitamento da casca como catalisador / Ryan Gonçalves Oliveira. -- Rosana, 2024

51 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana

Orientadora: Andréia Fátima Zanette

1. Biodiesel. 2. Biocombustíveis. 3. Transesterificação. I. Título.

RYAN GONÇALVES DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIODIESEL: EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA SEMENTE
DE MAMÃO PAPAYA E APROVEITAMENTO DA CASCA COMO CATALISADOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Energia da
Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus
de Rosana, Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Energia.

Rosana, 30/10/2024.

Componentes da Banca Examinadora:

Presidente e Orientador: Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette, UNESP, Câmpus de Rosana.

Membro Titular: Profa. Dra. Claudia Gonçalves de Azevedo, UNESP, Câmpus de Rosana.

Membro Titular: Profa. Dra. Leticia Sabo Boschi, UNESP, Câmpus de Rosana.

Dedico este trabalho de modo especial, à minha família, amigos e a todos que estiveram comigo ao longo desses anos de graduação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me guiar durante toda essa jornada acadêmica.

Entrar na faculdade foi para mim um verdadeiro recomeço. Após passar por momentos de desafios e incertezas, tive que reaprender e me reinventar para alcançar meus objetivos. Esse recomeço foi fundamental para meu crescimento, tanto pessoal quanto acadêmico, e me preparou para enfrentar os desafios com determinação e resiliência.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus amigos, que foram fundamentais em todos os momentos dessa caminhada. Em especial, agradeço aos companheiros de graduação Pablo André, Pedro Mark, André Teodoro, Maycon Tcharly, Arthur Batista, João Victor Toni, João Lucas Berti, Kevin Azevedo, entre tantos outros, pelo apoio incondicional, pelas conversas e por sempre me incentivarem a continuar, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha namorada, Livia, que esteve ao meu lado com paciência, amor e compreensão durante todo o processo. Sua presença foi um alicerce constante, me ajudando a enfrentar cada desafio com serenidade e força. Seu suporte emocional foi essencial para que eu pudesse continuar firme e focado, mesmo nos momentos mais desafiadores.

À minha mãe, que é minha maior inspiração. Seu amor incondicional, sua dedicação e sua coragem me motivaram a seguir em frente, mesmo quando tudo parecia mais difícil. Ela sempre foi meu pilar, me ensinando a ter força para enfrentar qualquer adversidade. Cada conquista minha é reflexo de tudo o que ela me ensinou. Ao meu pai, que infelizmente já não está mais entre nós, deixo minha eterna gratidão. Sua memória esteve comigo em todos os momentos dessa jornada, e sei que ele estaria imensamente orgulhoso de cada passo que dei. Seu exemplo de vida e seus ensinamentos me acompanharam ao longo de todo o percurso.

Aos meus sogros, Adriana e Eraldo, agradeço por me acolherem como parte da família e por todo o apoio durante meus estudos.

Agradeço também à minha orientadora, Andréia Fátima Zanette, pelo conhecimento transmitido, paciência e dedicação durante a realização deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para a conclusão deste projeto. Não posso deixar de agradecer à minha amiga Nanci, por toda a orientação e paciência que teve comigo, especialmente ao me ensinar a utilizar os equipamentos do laboratório. Sua ajuda foi indispensável para o desenvolvimento desta pesquisa, e sou muito grato por sua disposição e generosidade ao compartilhar seu conhecimento.

Por fim, dedico este trabalho a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa jornada, direta ou indiretamente. Meu muito obrigado a todos!

“O mundo está cheio de pessoas talentosas que fracassaram. Talento não é tão importante. O que realmente importa é o quão dedicado você é ao seu ofício. Ser disciplinado é uma coisa, mas ser dedicado é um jogo diferente.”

Cristiano Ronaldo

RESUMO

A dependência global do petróleo, particularmente no setor de transporte, como aviação, transporte fluvial, ferroviário e rodoviário, que utiliza majoritariamente óleo diesel, é evidente. No entanto, além de ser um recurso limitado, o uso do petróleo está associado a riscos ambientais significativos durante todo o seu ciclo, desde a extração até o consumo. Esse processo resulta na emissão de poluentes, incluindo dióxido de carbono, que contribuem diretamente para a degradação da qualidade do ar e para problemas ambientais. Diante desses desafios, o presente estudo explora a produção de biodiesel a partir do óleo da semente de mamão (*Carica papaya*), utilizando um catalisador de baixo custo derivado da casca do mamão, com o objetivo de oferecer uma alternativa mais sustentável ao diesel de origem fóssil. O Brasil, como o segundo maior produtor de mamão do mundo, apresenta um grande potencial para o aproveitamento das sementes dessa fruta, que possuem um teor de óleo variando entre 18% e 30%. Além disso, o mamoeiro é uma planta de fácil adaptação a diferentes regiões tropicais, tornando sua produção viável em diversas áreas. Para atingir os objetivos propostos, foi realizada a extração do óleo das sementes de mamão, seguida por uma caracterização físico-química detalhada. Posteriormente, produziu-se biodiesel empregando um catalisador obtido da calcinação da casca do mamão, com o intuito de reduzir a dependência do petróleo e minimizar os impactos ambientais. A extração do óleo foi realizada pelo método Soxhlet, usando álcool etílico como solvente e resultando em um rendimento de 27,66%, superior ao rendimento do óleo de soja (18-20%). A densidade de 1.083,9 kg/m³ e a viscosidade de 58,858 mm²/s indicam que o óleo é denso e espesso, exigindo ajustes, como a transesterificação, para adequá-lo ao uso como biodiesel. A acidez de 5,262 KOH/g sugere a necessidade de um pré-tratamento para facilitar o processo. Com índice de refração de 1,4675, o óleo de mamão demonstra propriedades promissoras, indicando viabilidade para biodiesel e contribuindo para uma alternativa renovável aos combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Biodiesel. Óleo das sementes de mamão. Catalisador de baixo custo. Casca de mamão.

ABSTRACT

The global dependence on petroleum, particularly in the transportation sector, including aviation, maritime, rail, and road transport, which primarily uses diesel, is evident. However, in addition to being a limited resource, petroleum use is associated with significant environmental risks throughout its life cycle, from extraction to consumption. This process results in pollutant emissions, including carbon dioxide, which directly contribute to air quality degradation and environmental problems. In light of these challenges, this study explores the production of biodiesel from papaya seed oil (*Carica papaya*), using a low-cost catalyst derived from papaya peel, aiming to offer a more sustainable alternative to fossil diesel. Brazil, as the world's second-largest papaya producer, has great potential for utilizing the seeds of this fruit, which have an oil content ranging from 18% to 30%. Moreover, the papaya plant is easily adaptable to various tropical regions, making its production viable in several areas. To achieve the proposed objectives, papaya seed oil was extracted and then subjected to a detailed physicochemical characterization. Subsequently, biodiesel was produced using a catalyst obtained from calcined papaya peel, aiming to reduce petroleum dependence and minimize environmental impacts. The oil extraction was carried out using the Soxhlet method, with ethyl alcohol as the solvent, resulting in a yield of 27.66%, which is higher than soybean oil yield (18-20%). The density of 1,083.9 kg/m³ and viscosity of 58.858 mm²/s indicate that the oil is dense and thick, requiring adjustments, such as transesterification, to make it suitable for biodiesel use. The acidity of 5.262 KOH/g suggests the need for pre-treatment to facilitate the process. With a refractive index of 1.4675, papaya oil shows promising properties, indicating its feasibility for biodiesel production and contributing to a renewable alternative to fossil fuels.

Keywords: Biodiesel, Papaya seed oil, Low-cost catalyst, Papaya peel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reação de transesterificação	19
Figura 2 – Mecanismo de transesterificação com catalisador ácido	24
Figura 3 - Mecanismo de transesterificação com catalisador básico.....	25
Figura 4 - Almofariz e pistilo na trituração das sementes de mamão.....	29
Figura 5 - Cartucho e sementes de mamão trituradas.....	29
Figura 6 - Processo de Extração: método Soxhlet.	30
Figura 7 – Picnômetro com óleo.	32
Figura 8 – Determinação da viscosidade: Método de Ostwald Cannon Fenske.	32
Figura 9 – Aparelhos utilizados para determinação do índice de acidez.....	34
Figura 10 – Refratômetro utilizado para medir o índice de refração.....	35
Figura 11– Almofariz e pistilo na trituração das cascas.	36
Figura 12 - Reator batelada utilizada na reação de transesterificação.....	37
Figura 13 – Bomba a vácuo: sistema de filtração.	37
Figura 14 – Centrífuga utilizada para separação da glicerina e biodiesel.	38
Figura 15 – Cascas de mamão após calcinação	43
Figura 16 – Biodiesel produzido	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de adição de biodiesel ao diesel no Brasil.	21
Tabela 2 – Matéria-prima para produção de biodiesel no Brasil.	22
Tabela 3 – Produção em toneladas em área de plantio de mamão no Brasil.	23
Tabela 4 – Quantidade de sementes em cada amostra.	39
Tabela 5 – Massa residual após evaporação completa do solvente.	39
Tabela 6 – Rendimento na extração do óleo de mamão.	39
Tabela 7 – Pesagem o óleo de mamão e água destilada em picnômetro.	40
Tabela 8 – Dados experimentais para o índice de acidez do óleo de mamão.	41
Tabela 9 – Variáveis das reações de transesterificação.	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos reagentes utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.....	27
Quadro 2 - Descrição dos equipamentos utilizados.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Biodiesel.....	18
3.2 Processo de produção do biodiesel (transesterificação)	19
3.3 Biodiesel no Brasil	20
3.4 Mamão papaya no Brasil	22
3.5 Catalisadores.....	24
3.6 Catalisador heterogêneo a partir da casca de mamão papaya.....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Material utilizado	27
4.2 Métodos	28
4.2.1 <i>Processo de extração do óleo da semente de mamão</i>	<i>28</i>
4.2.2 <i>Análise do óleo extraído da semente de mamão.....</i>	<i>31</i>
4.2.2.1 <i>Densidade do óleo</i>	<i>31</i>
4.2.2.2 <i>Viscosidade: Métodos e equipamentos utilizados</i>	<i>32</i>
4.2.2.3 <i>Índice de Acidez.....</i>	<i>33</i>
4.2.2.4 <i>Índice de refração.....</i>	<i>35</i>
4.2.3 <i>Preparação do catalisador.....</i>	<i>35</i>
4.2.4 <i>Produção de biodiesel</i>	<i>36</i>
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Rendimento obtido da extração de óleo das sementes de mamão.....	39
5.2 Resultados da caracterização do óleo da semente de mamão.....	40
5.2.1 <i>Dados de densidade do óleo do mamão</i>	<i>40</i>
5.2.2 <i>Resultados da viscosidade do óleo da semente de mamão.....</i>	<i>41</i>
5.2.3 <i>Análise do índice de acidez do óleo da semente de mamão</i>	<i>41</i>
5.2.4 <i>Resultados do Índice de Refração</i>	<i>42</i>
5.3 Processo de produção de biodiesel	42
5.3.1 <i>Calcinação da casca de mamão</i>	<i>42</i>
5.3.2 <i>Síntese do biodiesel a partir do óleo da semente de mamão.....</i>	<i>43</i>
6 CONCLUSÃO.....	46
7. REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Combustíveis são de suma importância na economia industrial de um país, visto que são utilizados em setores de transportes agrícolas, industriais e urbanos, áreas que possuem um crescimento simultâneo. Devido ao aumento da demanda de energia nas indústrias, surge um desafio: a poluição ocasionada a partir da queima dos combustíveis fósseis. Diante desta problemática surge a busca por fontes de energia renovável, que causem um menor impacto ambiental (Ferreira, 2021).

Os biocombustíveis são apresentados com uma solução promissora para enfrentar esse desafio, já que resíduos de biomassa, disponibilizados de forma gratuita, podem ser convertidos em diversas fontes de energia por meio de processos químicos e biológicos. Esses materiais renováveis tem grande potencial para atender à demanda energética global. Embora não tenham sido amplamente explorados nas últimas décadas, esses recursos poderiam ter desempenhado um papel significativo como fontes sustentáveis de energia. Entre os biocombustíveis, o biodiesel se destaca por ser um combustível renovável e biodegradável, além de ter as propriedades físico-químicas similares com a do diesel de petróleo. Suas vantagens em relação ao diesel de petróleo são: não ser tóxico, não possuir enxofre e ser um lubrificante de melhor rendimento. O biodiesel, além disso, pode ser combinado ao diesel convencional e utilizado em motores sem a preocupação e necessidade de adaptações (Melo, 2010).

Ainda que o biodiesel possa ser obtido por uma variedade de óleos vegetais, nem todos são apropriados como matéria-prima para produção, devido a suas propriedades desfavoráveis. Apesar dos óleos vegetais mostrarem um potencial como alternativa ao diesel, são encontradas algumas limitações, tais como a alta viscosidade e baixa volatilidade, o que o torna inadequado para uso direto em motores a diesel (Costa, 2024).

O biodiesel é geralmente produzido por meio da reação de transesterificação, um processo no qual óleos vegetais ou gorduras animais reagem com álcool e um catalisador, resultando na formação de ésteres. Devido à diversidade de plantas oleaginosas utilizadas como matéria-prima, o biodiesel contribui para redução dos impactos ambientais dos combustíveis fósseis, fato que tem atraído crescente atenção e apoio de instituições governamentais e industriais, impulsionando o desenvolvimento do setor (Freitas *et al.*, 2022).

Atualmente o tipo de matéria-prima que é utilizada para produção de biodiesel é tema de discussões, uma vez que algumas matérias-primas alimentares são utilizadas na produção de biocombustíveis, o que eleva o preço dos alimentos em escala global, por diminuir a oferta destinada ao consumo humano. Para que a produção de biodiesel seja viável economicamente,

é importante utilizar matérias-primas alternativas que não concorram com a produção de alimentos e que mantenham os custos competitivos, tornando o processo mais sustentável (Duarte *et al.*, 2022).

O mamão papaya é um fruto consumido em abundância em nosso país. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, o Brasil tem a segunda maior produção deste fruto no mundo, atrás apenas da Índia. Além do seu alto valor nutritivo, o mamão papaya pode ser uma fonte de matéria-prima para produção de biodiesel devido a suas características físico-químicas e o seu alto teor de óleo existente nas suas sementes. O seu cultivo ocorre durante o ano todo, dessa forma gera emprego e produz frutos que contém uma quantidade considerável de sementes, viabilizando a produção em larga escala deste óleo (Nayak *et al.*, 2019).

A semente do mamão não tem nenhuma aplicação, seja no ramo industrial ou mesmo no consumo doméstico, de modo que se apresenta como uma alternativa viável para produção do biodiesel quando comparada a outros tipos de matéria-prima. Embora não existam tantas pesquisas que se concentrem na utilização da semente de mamão para produção de biodiesel, alguns estudos mostram que o óleo extraído da semente do mamão possui alto teor de ácido oleico (72,81%), quantidades razoáveis de ácidos graxos saturados (21,56%) e pequenas quantidades de ácidos graxos poli-insaturados (5,12%). Valores como esses são semelhantes ou até superiores na quantidade encontrada em sementes amplamente utilizadas. Além disso, um único fruto gera uma quantidade significativa de sementes, o que é relevante, pois uma maior disponibilidade de sementes contribui diretamente para o aumento da produção de óleo. (Oliveira, 2019).

A fim de produzir biodiesel de forma mais barata e segura, o uso de catalisadores heterogêneos eficientes e baratos, obtidos a partir de biomassa residual, pode tornar a produção de biodiesel mais econômica e ambientalmente segura. Esse tipo de catalisador tem sido amplamente estudado como uma opção viável para a produção industrial de biodiesel, devido aos seus benefícios em comparação com os catalisadores homogêneos. Entre as vantagens, destacam-se a estabilidade térmica, a fácil separação, a não corrosividade e o potencial de reuso. O desenvolvimento de catalisadores heterogêneos está focado na conversão de resíduos de biomassa em catalisadores sólidos eficazes para o processo de transesterificação. A casca de mamão, devido ao seu alto teor de potássio, que é de grande importância para a atividade catalítica, surge como uma alternativa eficaz e sustentável. Com aproximadamente 516,33 mg/kg de potássio, as cascas de mamão tornam-se catalisadores eficientes. Sendo um resíduo abundante da produção global de mamão, sua utilização na produção de biodiesel contribui para

a redução do desperdício, da poluição e dos custos, aproveitando um material que de outra forma seria descartado (Etim et al., 2020; Cordeiro et al., 2011).

2 OBJETIVO

Diante do exposto, o trabalho tem como objetivo investigar a extração do óleo da semente de mamão e a utilização da casca de mamão como catalisador para a produção de biodiesel. A pesquisa busca avaliar a viabilidade dessa alternativa sustentável, aproveitando resíduos da indústria do mamão, e contribuir para o desenvolvimento de processos mais econômicos e ambientalmente seguros na produção de biodiesel.

Objetivos específicos:

- i. Obtenção da semente de mamão papaya e extração do óleo com álcool etílico.
- ii. Produção e caracterização do catalisador a partir da casca do mamão.
- iii. Produção de biodiesel em um reator batelada, avaliando as seguintes variáveis: tempo, temperatura, quantidade do catalisador e razão molar.
- iv. Purificação do biodiesel produzido.
- v. Análise dos resultados obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tópico a seguir apresenta uma revisão sobre benefícios, características, processos e diferentes matérias-primas utilizadas na obtenção do biodiesel.

3.1 Biodiesel

Devido suas características sustentáveis e de baixa emissão de poluentes, o biodiesel apresenta vantagens ambientais. É considerado um recurso renovável pois utiliza como matéria-prima principal óleos vegetais, que são renováveis e presentes em grande quantidade em todo o território nacional e mundial. Com a sua utilização, a dependência do petróleo diminui, além disso, permite utilizar resíduos que seriam descartados e evita poluição, devido ao fato de que com apenas uma gota de óleo é possível que 25 litros de água sejam contaminados. O biodiesel possui a capacidade de aumentar a vida útil do motor pois é um lubrificante de alta qualidade, além do mais, possui fácil transporte e armazenamento com baixo risco de explosão. A utilização dos biocombustíveis oferece benefícios ambientais, contribuindo para a diminuição da poluição e redução de gases do efeito estufa (Circunvis *et al.*, 2022).

O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer matéria-prima que possua quantidades significativas de ácidos graxos livres ou triglicerídeos. De forma geral, óleos vegetais, gorduras residuais ou gorduras de origem animal são as mais utilizadas. No Brasil existe um padrão para a comercialização do biodiesel, baseado na ANP 14/2021, em que é necessário cumprir diversas normas de qualidade (Saltarim *et al.*, 2023).

Uma grande variedade de oleaginosas é utilizada na produção de biodiesel no mundo, como a colza, soja, girassol, pinhão-mansão, amendoim, algodão, dendê, milho, entre outras. A escolha pela matéria-prima vai de acordo com o clima e aptidão agrícola de cada região. Cada região possui um melhor desempenho em condições específicas de solo, clima e geografia, fazendo com que seja fundamental o cultivo em ambientes adequados para ter eficiência na produção. Óleos vegetais extraídos dessas plantas possuem múltiplas aplicações, como lubrificantes, culinária, produtos farmacêuticos e cosméticos e, em geral, sua composição possui triglicerídeos e por este fato pode ser convertido em biodiesel. Além disso, outros insumos, como gordura animal, também podem ser utilizados na produção desse biocombustível (Oliveira *et al.*, 2017).

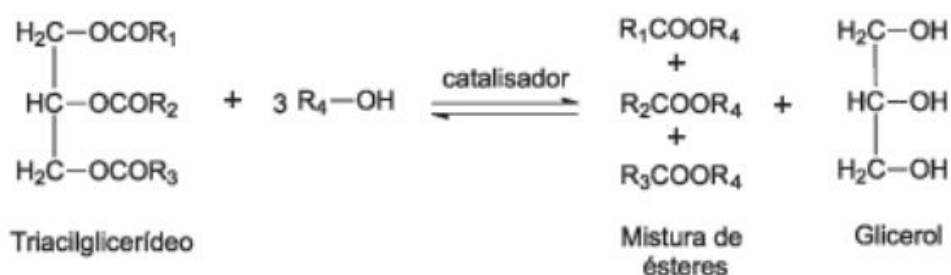
3.2 Processo de produção do biodiesel (transesterificação)

A produção do biodiesel é realizada a partir de dois principais processos, a esterificação e a transesterificação. A esterificação ocorre quando um álcool reage com ácidos graxos, já a transesterificação acontece quando o álcool reage com triglicerídeos. (Santos *et al.*, 2021)

A reação de transesterificação ganha destaque pelo fato de que além da utilização das matérias-primas como gorduras animais, óleos vegetais ou resíduos gordurosos, ela envolve outros elementos químicos essenciais. Entre os elementos estão os álcoois de cadeia curta (metanol ou etanol) que reagem com triglicerídeos presentes nos óleos. O processo de transesterificação requer a presença de um catalisador para facilitar a reação e acelerar o processo de conversão dos triglicerídeos em ésteres, podendo estes catalisadores serem de natureza ácida, básica ou enzimática (Lima, 2020; Valle, 2009).

Como o resultado da reação de transesterificação tem-se a produção do biodiesel, composto por uma mistura de ésteres, bem como a formação do glicerol, que é um subproduto da reação. A Figura 1 apresenta a reação de transesterificação, na qual o tricilglicerídeo, que é uma molécula de gordura ou óleo, composta por três cadeias de ácidos graxos ligadas a uma molécula de glicerol, reage com um álcool. Com a ajuda de um catalisador, que acelera a reação sem ser consumido, as cadeias de ácidos graxos se desligam do glicerol e se ligam às moléculas de álcool. Isso resulta na formação de ésteres, que é o biodiesel, enquanto o glicerol é liberado como subproduto da reação. (Santos *et al.*, 2021; Geris *et al.*, 2007).

Figura 1 – Reação de transesterificação



Fonte: Geris *et al.*, 2007.

A proporção entre álcool e óleo é de 3:1. No entanto, como a reação ocorre em equilíbrio, o excesso de álcool é recomendado para deslocar a reação no sentido da formação dos produtos. É demonstrado em estudos que as conversões de óleo em ésteres mais eficientes são obtidas quando uma razão molar de 6:1 é utilizada em catálises homogêneas com bases, já para catálises

homogêneas ácidas deve ser utilizada uma quantidade ainda maior de álcool (Miguel *et al.*, 2007).

3.3 Biodiesel no Brasil

A trajetória da utilização de biocombustíveis no Brasil é antiga e existe desde a década de 1920, quando o instituto nacional de tecnologia (INT) iniciou estudos em relação a combustíveis alternativos e renováveis. Iniciou-se nos anos 1930 a adição de etanol anidro na gasolina, por conta da grande dependência de petróleo e seus derivados na época. Em meados dos anos 1970, o Brasil deu início ao programa nacional do álcool (Proálcool), tendo como principal objetivo a substituição de parte da gasolina automotiva por álcool hidratado, além de utilizar o álcool anidro como aditivo a gasolina, tornando a queima menos poluente. Surgiram na mesma época iniciativas com foco na substituição do diesel por óleos vegetais, tanto in natura quanto os transesterificados. Em uma dessas iniciativas foi proposta a utilização de óleos de mamona e soja para produção de biodiesel, acarretando a criação do Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-Óleo), instituído pelo Conselho Nacional de Energia por meio da resolução nº 007, de 22 de outubro de 1980. Havia a previsão de regulamentar uma mistura de 30% de óleo vegetal ao óleo diesel, com a perspectiva de substituição total no futuro. Contudo, com o fim da crise do petróleo e a consequente redução nos preços do petróleo, o uso de óleos vegetais se tornou economicamente inviável, levando ao abandono do programa Pró-Óleo em 1986 (Galvis, 2020).

No ano de 2004, em dezembro, o Governo federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), com objetivo de promover a produção de biodiesel no país, com foco na inclusão social e desenvolvimento regional. O programa tinha em vista a substituição de combustíveis fósseis, incentivando a produção do biodiesel a partir de diversas oleaginosas como pinhão-mansão, mamona e dendê (Ribeiro *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2020).

No Brasil, o controle das emissões veiculares tem a regulamentação feita através do Programa da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), com foco em tornar os combustíveis mais sustentáveis. Em relação aos óleos diesel, foram adotadas medidas para redução do teor de enxofre. A partir de 01/01/2014, a venda do diesel S-1800, que continha até 1800 mg/kg ou ppm de enxofre, foi proibida para veículos rodoviários. Os limites estabelecidos para o diesel S-10 e o S-500 são de até 10 mg/kg e 500 mg/kg de enxofre, respectivamente. Os novos motores são projetados para funcionar exclusivamente com o diesel S-10, que é ambientalmente mais sustentável. Para melhorar a sustentabilidade dos combustíveis usados em veículos pesados, como ônibus, caminhões, entre outros, além de geradores e usinas

térmicas, desde 1º de janeiro de 2018, todo diesel comercializado no Brasil deve conter um percentual obrigatório de biodiesel. Essa porcentagem teve início no ano de 2008 com 2% e ao longo dos anos teve um aumento gradual, atingindo 12% em outubro de 2023. Há previsões de que essa mistura aumente para 15% até o ano de 2026, com a possibilidade de que isso ocorra antes, devido ao papel de liderança do Brasil na corrida por energias renováveis (Silva et al., 2023).

Tabela 1 – Cronograma de adição de biodiesel ao diesel no Brasil.

Mês/ano	Percentual adição
Janeiro 2008	2 %
Julho 2008	3 %
Julho 2009	4 %
Janeiro 2010	5 %
Agosto 2014	6 %
Novembro 2014	7 %
Março 2018	10 %
Abril 2023	12 %
Abril 2024*	13 %
Abril 2025*	14 %
Abril 2026*	15 %

Fonte: Silva *et al.*, 2023

Para fortalecer o compromisso do Brasil com o uso de fontes renováveis, o biodiesel surge como uma alternativa importante, especialmente para veículos comuns, trazendo ganhos ambientais e econômicos ao longo de toda a cadeia, da produção até a comercialização. O óleo de soja é a principal matéria-prima, representando 80,79% da produção, seguido pela gordura bovina com 15,82%. Outras fontes em menor escala incluem óleo de algodão, óleo de fritura reutilizado, gordura suína e óleo de frango, além de fontes não comestíveis que também são promissoras para a produção de biodiesel (Sousa, 2023).

Tabela 2 – Matéria-prima para produção de biodiesel no Brasil.

Óleos Comestíveis	Óleos não-comestíveis	Outras fontes
Óleo de semente de algodão	Óleo de pinhão manso	Microalgas
Óleo de coco	Karanja	<i>Spirulina platensis</i>
Óleo de girassol	Óleo de Mahua	Óleo de fritura
Óleo de canola	Neem	Gorduras animais
Óleo de soja	Óleo de eucalipto	Sebo de carne Bovina
Óleo de Rícino	Óleo de linhaça	Gordura de aves domésticas
Óleo da semente de mostarda	Semente de seringueira	Óleo de peixe
Óleo de amendoim	Polanga	Gordura de Frango

Fonte: Sousa, 2023

3.4 Mamão papaya no Brasil

A vasta diversidade de sementes oleaginosas no Brasil, coloca o país em uma posição de destaque, com grande potencial para se tornar um importante produtor de matérias-primas e produtos derivados de óleos vegetais, como extratos e óleos. O avanço tecnológico na obtenção desses produtos permite ao Brasil não apenas ser um fornecedor de matéria-prima, mas também buscas a liderança na oferta de produtos com maior valor agregado. Em relação ao mamão, as sementes podem compor de 15 a 20% da massa do fruto, com valores dependentes da variedade do mamão analisado (Silva *et al.*, 2023; Rosário, 2019).

O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor de mamão no mundo, com um mercado internacional em crescimento, embora maior parte da produção seja para consumo interno. O Brasil é superado apenas pela Índia, que possui 10,8% da produção global do fruto. Em 2017, 64% do mamão produzido em solo brasileiro foi cultivado nos estados da Bahia e Espírito Santo, que representam os maiores produtores nacionais, gerando 680 mil toneladas, alguns outros estados como Minas Gerais, Ceará e Rio Grande do Norte também se destacam na produção (Rosário, 2019).

No Brasil, o mamão é consumido em sua forma natural e utilizado como ingrediente em produtos industriais, como iogurtes e sorvetes. Suas sementes, geralmente descartadas pela indústria alimentícia e no uso doméstico, podem ter utilidade como uma fonte potencial de óleo, rico em triacilgliceróis benéficos e ácido oleico. O óleo extraído da semente de mamão tem aproveitamento em diversos setores, sendo eles em produção de cosméticos, produtos farmacêuticos e até como óleo comestível, mas não no setor de biocombustíveis (Chielli *et al.*, 2016; Duarte, 2023).

Tabela 3 – Produção em toneladas em área de plantio de mamão no Brasil.

Estado	Produção (t)	Área de colheita (ha)
Bahia	368.875	9.045
Espirito Santo	311.150	6.118
Ceará	115.525	2.663
Rio Grande do Norte	86.342	1.847
Minas Gerais	43.556	1.346
Total Brasil	1.057.101	26.714

Fonte: Rosário, 2019

A semente de mamão é considerada uma boa fonte de óleo, tem um rendimento em torno de 25,6%, sendo útil para diversas finalidades. A composição de ácidos graxos do óleo extraído mostra uma predominância do mesmo insaturados, como ácido oleico, além de possuir ácido palmítico e esteárico. Essa composição sugere que o óleo tem propriedades adequadas para diversas aplicações, incluindo a produção de biodiesel, apresentando características semelhantes com outros óleos comumente empregados nessa finalidade (Oshin, 2020).

Um estudo comparativo foi realizado para análise da composição de ácidos graxos do óleo de semente de mamão extraído a partir de dois métodos, utilizando solventes orgânicos e por meio de enzimas. Ambos resultados mostram que o ácido oleico é o componente predominante, com porcentagens variando na casa dos 76%, seguido pelo ácido palmítico, presente entre 12,8% e 13,9%. O ácido esteárico teve valores entre 4,4% e 4,9%, enquanto o ácido linoleico teve a variação entre 3% e 3,3%. A composição de ácidos graxos não mostrou diferenças significativas entre os métodos de extração. Os triacilgliceróis predominantes foram sn-glicerol-oleil-oleil-oleil 44,1% e 1-palmitil-dioleil-glicerol, juntamente com estearil-oleil-linoil-glicerol 30,2% (Melo, 2010).

Um teste foi conduzido para avaliação do desempenho do biodiesel produzido a partir do óleo da semente de mamão em um motor a diesel. Durante os experimentos, foi observado que o biodiesel apresentava aumento na pressão do cilindro, o que pode ser atribuído ao elevado nível de cetano e presença de oxigênio, fatores que favorecem uma combustão eficiente. Foi verificado que a taxa de liberação de calor das misturas de biodiesel é menor em comparação ao diesel convencional, o que pode impactar a eficiência térmica do motor. Análises mostram que misturas de biodiesel de semente de mamão possuem um processo de ignição e finalização da combustão mais rápido quando comparado ao diesel fóssil, sugerindo um desempenho

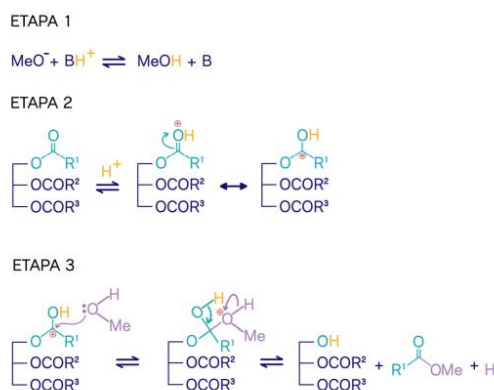
promissor. Resultados assim, destacam a viabilidade do biodiesel da semente de mamão como uma alternativa sustentável ao diesel, com potencial para ser utilizado em motores. Porém, são necessários estudos para exploração de seu desempenho em diferentes condições operacionais e confirmar sua eficiência em aplicações práticas (Anwar, 2019).

3.5 Catalisadores

A reação de transesterificação pode ter sua catálise realizada a partir de três principais tipos de catalisadores, os homogêneos, heterogêneos e enzimáticos. Tanto a catálise homogênea, quando a catálise heterogênea podem ser divididas em catálise ácida e básica (Guarnieri, 2021).

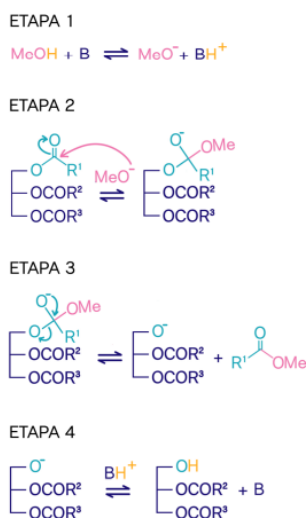
A catálise ácida possui três etapas. Na primeira etapa ocorre a protonação de carbonila presente no triglicerídeo, gerando um carbocátion. Na segunda etapa, o álcool reagente realiza um ataque nucleofílico sobre o carbocátion produzido na primeira etapa, assim, originando um intermediário tetraédrico que é instável. Na terceira e última etapa, ocorre um rearranjo de cargas que leva à formação de um éster. O processo se repete por três vezes, resultando na produção de glicerina e biodiesel (Evangelho, 2024; Leal, 2021).

Figura 2 –Mecanismo de transesterificação com catalisador ácido



Fonte: Evangelho, 2024

Diferente do mecanismo da catálise ácida, que envolve três etapas, a catálise básica possui quatro etapas distintas. Primeiramente, ocorre a formação de um alcóxido a partir do metanol. Após. Na segunda etapa, a espécie nucleofílica recém-criada ataca o carbono eletrolítico da carbonila do triglicerídeo. Na penúltima etapa, ocorre um rearranjo de cargas que resulta na geração do éster. Por último, na quarta etapa, é realizada a regeneração do catalisador básico. O processo básico, assim como o ácido, se repete por três vezes, levando à produção de glicerina e do biodiesel (EVANGELHO, 2024; LEAL, 2021).

Figura 3 - Mecanismo de transesterificação com catalisador básico.

Fonte: Evangelho, 2024

Catalisadores heterogêneos apresentam vantagens quando comparado aos homogêneos e enzimáticos, tais como: facilidade de recuperação e reutilização, simplicidade no processo de purificação do produto, menor consumo de energia e água, custos menores de purificação, além disso tem uma recuperação fácil do glicerol. Os catalisadores enzimáticos operam em condições suaves e tem utilização de matérias-primas com altos teores de ácidos graxos livres. Poucas indústrias utilizam essa tecnologia para produção de biodiesel, devido ao alto valor das lipases e das matérias-primas, entretanto, o principal obstáculo para sua implementação continua sendo o alto preço das enzimas. A imobilização das enzimas, no entanto, pode levar a redução dos custos. Em relação aos catalisadores homogêneos, são amplamente utilizados em indústrias, especialmente ácidos e bases fortes, que tem sido empregado na produção de biodiesel. No entanto, esse processo apresenta desvantagens significativas. A necessidade de manter o meio reacional livre de água é fundamental para evitar reações indesejadas, como a saponificação, que pode reduzir o rendimento da transesterificação e prejudicar a separação do glicerol e a purificação do biodiesel. Além disso, as etapas adicionais necessárias para neutralização dos catalisadores aumentam os custos operacionais. A utilização de ácidos e bases também pode causar corrosão nos equipamentos e gerar águas residuais, tornando o processo menos viável tanto ambientalmente quanto economicamente (Oliveira, 2024; Viomar, 2013).

3.6 Catalisador heterogêneo a partir da casca de mamão papaya

Catalisadores heterogêneos apresentam vantagens quando comparados aos homogêneos e enzimáticos. A sua capacidade de separação e reutilização se destacam, o que contribui para redução dos custos de produção. Enquanto os catalisadores homogêneos são dissolvidos em líquidos e se integram ao meio reacional, os heterogêneos permanecem sólidos durante o processo da transesterificação, facilitando assim, a recuperação e reutilização em próximas reações. A capacidade de reduzir a energia de ativação e acelerar a velocidade das reações é mais uma das vantagens do catalisador de origem heterogênea, que apresenta alta eficiência na conversão de ésteres metílicos e etílicos, e além disso, possui estabilidade química, estrutural e térmica, sendo ideal para uso em diferentes condições reacionais (Costa, 2024).

Uma de suas características mais interessantes é a possibilidade de obter o catalisador a partir de materiais descartáveis, como casca de ovo, espinhas de peixe, ossos de animais, entre outros. Esses catalisadores são amplamente estudados em diversas pesquisas devido à sua flexibilidade e à capacidade de gerar biodiesel de alta qualidade, sem a necessidade de processos de refino caros. Por possuir alta taxa de conversão e custos de produção mais econômico, os catalisadores heterogêneos se destacam como uma escolha eficiente e econômica para produção de biodiesel (Gomes, 2024; Costa, 2024).

A utilização da casca de mamão como catalisador na produção de biodiesel se destaca por motivos práticos e econômicos. A casca de mamão é um resíduo abundante e de fácil obtenção, resultante da alta produção global do fruto (Oladipo *et al.*, 2020).

Um dos principais fatores que torna a casca do mamão eficiente no processo catalítico é sua alta concentração de potássio, elemento essencial na catálise de reação da transesterificação. O potássio atua como agente catalisador, acelerando a conversão de óleos em biodiesel, além disso, a presença de outros minerais, como cálcio, zinco e ferro, pode ter contribuição para as propriedades catalíticas do material (Etim *et al.*, 2020).

Essas características tornam a casca do mamão uma alternativa viável para ser transformada em um catalisador heterogêneo. Portanto, a utilização da casca de mamão como catalisador na produção de biodiesel contribui para redução de resíduos ambientais, bem como promove uma produção mais econômica e sustentável, alinhado com os objetivos globais de desenvolvimento de energias renováveis e alternativas aos combustíveis fósseis (Etim *et al.*, 2020; Oladipo *et al.*, 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção apresenta os materiais, procedimentos e metodologias utilizados para a extração e caracterização do óleo de mamão papaya, além da produção de biodiesel em um reator em batelada.

4.1 Material utilizado

Para produção de biodiesel, foi utilizado o óleo extraído das sementes de mamão (*carica papaya*) adquirido em mercados locais. Foi utilizado o etanol na reação de transesterificação. Os outros materiais e reagentes foram adquiridos em grau analítico (P.A) e utilizados sem tratamento prévio. A relação dos reagentes utilizados nos experimentos é mostrada no quadro 1.

Quadro 1 - Descrição dos reagentes utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

Reagentes	Álcool Etílico	Éter Etílico	Hidróxido de sódio	Fenolftaleína	Biftalato de Potássio
Marca/Pureza	Êxodo científica 99,8%	Synth, PA	Synth, PA	Synth, PA	Synth, PA

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para realizar a extração e caracterização do óleo de mamão, assim como para produção do biodiesel, foram utilizados equipamentos especializados, cada um adaptado para as diferentes fases do processo. As especificações técnicas e detalhes desses dispositivos estão listados no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição dos equipamentos utilizados.

Equipamentos	Especificações
Balança semi analítica	Marte AD500, 510g, divisão 0,001g
Balança analítica	Marte AUW220D, 220/82g, divisão 0,1/0,01 mg
Estufa de secagem e esterilização	Vulcan
Almofariz e pistilo	Unilab
Banho Maria SL 150	SOLAB, aquecimento digital (SL-150)
Refratômetro ABBE	Megabrix, Refratômetro de bancada abbe AR1000
Forno Mufla	SPLABOR, Forno Mufla SP-1200DPR7
Bomba a vácuo	Bomba de vácuo SL-61
Centrífuga	FANEM, Centrífuga Excelsa II 206 BL

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.2 Métodos

A seguir são descritos os métodos utilizados para extrair o óleo das sementes de mamão e as análises empregadas para sua caracterização. É apresentado também o procedimento escolhido para a produção de biodiesel.

4.2.1 Processo de extração do óleo da semente de mamão

As sementes de mamão foram adquiridas em mercados locais no setor de hortifruti. Antes de ser iniciado o processo de extração, elas foram submetidas a um procedimento de lavagem e secagem em estufa, onde permaneceram por um período de 24 horas a uma temperatura de 70°C, até que toda umidade fosse eliminada. Em seguida, as sementes foram trituradas em um almofariz e pistilo (unilab), como mostra a Figura 4, com o objetivo de diminuir o tamanho das partículas e aumentar a área de contato com solvente.

Figura 4 - Almofariz e pistilo na trituração das sementes de mamão.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após serem devidamente trituradas, as sementes de mamão papaya foram colocadas em um cartucho de papel. Esse procedimento foi fundamental para preparar as sementes para a extração do óleo. Em seguida, as sementes no cartucho foram pesadas com precisão para garantir a exatidão dos dados para a análise posterior. A montagem do cartucho de papel, como ilustrado na Figura 5, permite um fluxo adequado do solvente durante o processo de extração, assegurando que todas as partes das sementes sejam efetivamente submetidas à ação do solvente.

Figura 5 - Cartucho e sementes de mamão trituradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A extração do óleo das sementes de mamão papaya foi realizada utilizando um solvente orgânico. Para isso, 300 ml de álcool etílico absoluto foram adicionados ao balão do sistema, acompanhados de pérolas de vidro para facilitar a agitação e a homogeneização da mistura. O

sistema foi conectado a um condensador, aplicando o método de Soxhlet, que é amplamente reconhecido por sua eficácia na extração de compostos lipofílicos.

O processo de extração foi conduzido ao longo de um período de 4 horas para garantir uma extração eficiente e maximizada do óleo. A montagem do sistema de Soxhlet foi configurada conforme Figura 6. A utilização do método Soxhlet destaca-se por sua capacidade de repetir o ciclo de extração, garantindo que a maior quantidade possível de óleo seja extraída das sementes, contribuindo para a eficiência do processo.

Figura 5 - Processo de Extração: método Soxhlet.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após a extração, a mistura resultante de óleo e solvente passou por um processo de evaporação em estufa, onde o solvente foi completamente removido. Essa remoção foi confirmada pela estabilização da massa do óleo, um indicador crucial de que o solvente havia sido eliminado com sucesso.

O rendimento do óleo obtido na transesterificação desempenha um papel fundamental na otimização do uso dos recursos e na viabilidade econômica da produção de biodiesel. Um alto rendimento é essencial para minimizar o desperdício de óleo e reduzir os custos por unidade de biodiesel produzido. Isso não apenas aumenta a eficiência do processo, mas também torna a produção de biodiesel mais competitiva em relação aos combustíveis fósseis. Com rendimentos elevados, é possível oferecer uma alternativa mais sustentável e econômica, contribuindo assim para a transição energética e a diminuição da dependência de fontes não-renováveis.

O rendimento do processo de extração é determinado a partir da Equação 1:

$$Rendimento = \frac{MF}{MCC} * 100 \quad (1)$$

Os dados utilizados na Equação 1 foram os seguintes:

- *MF*: Massa Final
- *MCC*: Massa dos Cartuchos Cheios

4.2.2 Análise do óleo extraído da semente de mamão

Após a extração, o óleo obtido das sementes de mamão papaya foi submetido a uma caracterização físico-química. Essa avaliação incluiu a determinação de parâmetros essenciais como densidade, viscosidade, índice de acidez e índice de refração, que são fundamentais para entender as propriedades do óleo e sua adequação para a produção de biodiesel.

4.2.2.1 Densidade do óleo

Para determinar a densidade do óleo foi utilizada a técnica de picnometria, empregando água deionizada como fluido de referência para o experimento. A Equação 2 apresenta o cálculo empregado para determinar a densidade do óleo de mamão.

$$Densidade = \frac{MÓ}{MAD} * 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (2)$$

Os dados utilizados na Equação 2 foram os seguintes:

- *MÓ*: Massa do Óleo
- *MAD*: Massa da água destilada

O procedimento inicial consistiu em preencher o picnômetro com água deionizada até o nível do capilar, seguido da pesagem do aparelho em uma balança analítica. Em seguida, o óleo foi adicionado ao picnômetro à temperatura ambiente (22°C), até alcançar o nível do capilar, conforme ilustrado na Figura 7, e o peso foi registrado novamente.

Figura 6 – Picnômetro com óleo.



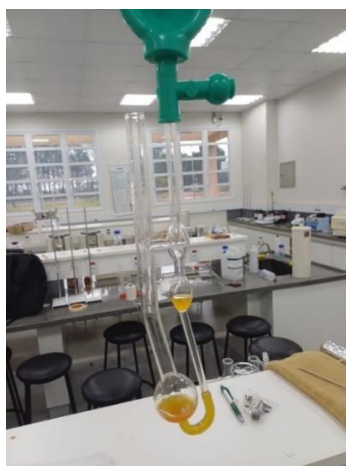
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.2.2.2 Viscosidade: Métodos e equipamentos utilizados

A determinação da viscosidade foi realizada utilizando o viscosímetro de Ostwald Cannon Fenske, mostrado na Figura 8. Durante o experimento, o óleo foi mantido a uma temperatura constante de 40°C. Inicialmente o viscosímetro foi imerso em um béquer com água a 40°C, que estava em um banho-maria para a garantia de uma estabilidade térmica.

Após isso, o viscosímetro foi preenchido com a amostra do óleo até que atingisse o início do capilar, sendo utilizado uma pera para sugar o fluido até que ultrapassasse o menisco superior. O óleo foi então liberado para escoar pelo tubo capilar, movido pela gravidade, até alcançar a marca inferior. O mesmo procedimento foi realizado com a água destilada, utilizada como referência padrão, a fim de obter os valores necessários para o cálculo da viscosidade.

Figura 7 – Determinação da viscosidade: Método de Ostwald Cannon Fenske.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Equação 3 foi utilizada para determinar a viscosidade:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\rho_1 * t_1}{\rho_2 * t_2} \quad (3)$$

A viscosidade do óleo de mamão foi calculada utilizando a Equação 3 e, levando em conta uma viscosidade da água a 40°C, de 0,653 mm²/s. Esse cálculo é realizado com base nos tempos medidos e nos valores de densidade obtidos a essa mesma temperatura.

Os dados utilizados na Equação 3 foram os seguintes:

- μ_1 : viscosidade do fluido em teste (mm²/s);
- μ_2 : viscosidade do fluido referência (mm²/s);
- ρ_1 : densidade do fluido em teste (kg/m³);
- ρ_2 : densidade do fluido referência (kg/m³);
- t_1 : tempo de escoamento do fluido em teste (min);
- t_2 : tempo de escoamento do fluido referência (min).

4.2.2.3 Índice de Acidez.

Seguindo o método AOCS Cd 3d-63, a determinação do valor ácido de uma amostra é realizada por meio de titulação, onde o índice de acidez corresponde à quantidade de KOH necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes. Esse índice reflete o nível de acidez dos ácidos graxos livres na amostra, sendo um parâmetro importante na indústria de óleos e gorduras para identificar sinais de deterioração, que podem comprometer a qualidade do produto final. O método AOCS Cd 3d-63 é uma técnica padronizada pela American Oil Chemists' Society (AOCS) para a análise de óleos e gorduras. A sigla "Cd" refere-se à seção que trata de métodos específicos de análise de óleos, enquanto "3d" indica um procedimento específico para a determinação do índice de acidez. O número "63" se refere ao ano em que o método foi introduzido ou revisado pela primeira vez. Este método é amplamente utilizado para avaliar a qualidade de óleos e gorduras, uma vez que valores elevados de índice de acidez indicam a presença de ácidos graxos livres, que podem resultar de processos de deterioração e afetar a estabilidade e o desempenho do óleo ou biodiesel produzido.

Na determinação do índice de acidez foram preparadas três soluções, sendo elas as seguintes:

1. Solução de KOH 0,1 N, utilizada como titulante da reação e padronizada com biftalato de potássio.
2. Solução de fenolftaleína 1%, utilizada como indicador ácido-base na reação.
3. Solução 1:1 de éter etílico e álcool etílico, utilizada como solvente da reação.

Foi adicionado aproximadamente 2g a 3g de óleo de mamão em um Erlenmeyer, seguido da adição de 50ml de uma mistura de éter etílico e álcool etílico na proporção 1:1, junto com 2 a 3 gotas de fenolftaleína. A titulação foi realizada utilizando a solução de KOH contida na bureta, conforme mostrado na Figura 9 e foi finalizada no momento em que a solução apresentou um tom rosa claro. Para garantir a precisão dos resultados, o procedimento foi realizado em triplicata.

Figura 8 – Aparelhos utilizados para determinação do índice de acidez.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para realizar o cálculo do índice de acidez foi utilizada a Equação 4, na qual $F = 0,1$. é definida como a concentração padrão da solução de KOH.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{MLG * 56,1 * F}{MA} \quad (4)$$

Os dados utilizados na Equação 4 foram os seguintes:

- MLG : ML Gastos
- MA : Massa da Amostra

4.2.2.4 Índice de refração

A medição do índice de refração foi realizada utilizando um refratômetro ABBE, como ilustrado na Figura 10. Inicialmente, foi adicionada uma gota do óleo de mamão na superfície do prisma refrativo do aparelho, que foi então travado. A segunda etapa consistiu em ajustar o espelho de reflexão e a visibilidade da ocular foi otimizada para melhor visualização. Por fim o botão de ajuste manual foi girado para alinhar a linha de separação no centro da escala, permitindo uma leitura precisa do índice de refração do óleo.

Figura 9 – Refratômetro utilizado para medir o índice de refração



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.2.3 Preparação do catalisador

O catalisador utilizado no presente estudo foi obtido a partir da calcinação das cascas de mamão papaya. Primeiramente, todo o excesso de polpa foi cuidadosamente removido com uma espátula, e as cascas foram lavadas em água deionizada para garantir a pureza do material.

Após a lavagem, as cascas foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, com o objetivo de eliminar completamente a umidade. Ao final dessa etapa, as cascas secas foram armazenadas em um dessecador para evitar a absorção de umidade até que estivessem prontas para a próxima fase. Na etapa seguinte, as cascas secas foram trituradas em pequenas partículas usando um almofariz e pistilo, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 10– Almofariz e pistilo na trituração das cascas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na sequência, as cascas trituradas foram submetidas a um processo de calcinação a uma temperatura de 700°C durante 4 horas, seguindo as orientações de Etim *et al* (2020). Esse processo é crucial, pois a calcinação transforma as cascas em um material com propriedades catalíticas desejáveis, ao remover impurezas e modificar a estrutura química.

Durante a calcinação, as altas temperaturas promovem reações térmicas que resultam na conversão de componentes orgânicos em cinzas inorgânicas, criando um catalisador mais ativo. Essa etapa é fundamental para garantir a eficácia do material no processo de produção de biodiesel, pois a natureza do catalisador impacta diretamente na eficiência da reação de transesterificação. Ao final do processo, o material resultante foi resfriado cuidadosamente e armazenado para as etapas seguintes da pesquisa.

4.2.4 Produção de biodiesel

O óleo extraído das sementes de mamão, juntamente com o catalisador produzido a partir das cascas, foi utilizado na síntese de biodiesel em um reator em batelada. O processo foi conduzido por um período de uma hora e meia, mantendo a temperatura em 60 °C. Durante essa fase, a reação entre o óleo, o etanol e o catalisador ocorreram no reator, conforme ilustrado na Figura 12. Esse controle de temperatura e tempo é crucial para otimizar a eficiência da transesterificação e garantir a máxima conversão dos reagentes em biodiesel.

Figura 11 - Reator batelada utilizada na reação de transesterificação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após a conclusão da reação, a mistura resultante foi submetida a um sistema de filtragem utilizando uma bomba a vácuo. Essa etapa é essencial para a separação do catalisador do biodiesel, conforme ilustrado na Figura 13. A filtragem garante a remoção eficiente do catalisador, permitindo que o biodiesel purificado seja obtido para as etapas seguintes de análise e caracterização.

Figura 12 – Bomba a vácuo: sistema de filtragem.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após a remoção do catalisador, o biodiesel foi separado da glicerina por meio da centrifugação, conforme ilustrado na Figura 14. A fase superior, rica em ésteres etílicos e etanol residual, foi transferida para um béquer e colocada em uma estufa a 100 °C por 24 horas para promover a evaporação do etanol.

Figura 13 – Centrífuga utilizada para separação da glicerina e biodiesel.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Rendimento obtido da extração de óleo das sementes de mamão

Após a implementação da metodologia para extração do óleo das sementes de mamão, os valores obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de sementes em cada amostra.

Amostra	1	2	3	4
Massa dos cartuchos vazios (g)	2,0529	2,1595	1,9909	1,7750
Massa dos cartuchos cheios (g)	13,7544	16,2189	12,8295	12,3426

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Durante o processo, 300ml de álcool etílico foi utilizado como solvente, mantido a uma temperatura média de 80°C. Após o tempo de extração, as amostras contendo óleo e solvente foram submetidas à evaporação em estufa a 80°C até que todo solvente fosse removido. Os resultados referentes à massa de óleo obtido para cada amostra são encontrados na Tabela 5 e em seguida os dados de rendimento de extração são apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 – Massa residual após evaporação completa do solvente.

Amostra	Massa final (g)
1	3,2510
2	3,8501
3	3,1277
4	3,8217

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 6 – Rendimento na extração do óleo de mamão.

Amostra	1	2	3	4	Média (%)
Rendimento (%)	27,68	27,38	28,85	26,72	27,66%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A extração de óleo das sementes de mamão apresentou um rendimento médio de 27,66%, um resultado significativamente positivo, especialmente quando comparado ao rendimento médio do óleo de soja, que é de aproximadamente 20% (Cavalcante *et al.*, 2010). Vale destacar que a soja é uma das principais matérias-primas para a produção de biodiesel, sendo amplamente utilizada pela sua disponibilidade e viabilidade. No entanto, as sementes de mamão, utilizadas como matéria-prima no presente estudo, normalmente não competem com o mercado alimentício, uma vez que, em geral, são descartadas como resíduo. Essa característica não apenas valoriza um material que, de outra forma, seria desperdiçado, mas também contribui para a sustentabilidade da produção de biodiesel, oferecendo uma alternativa promissora e eficiente ao uso de oleaginosas convencionais como a soja.

A utilização de resíduos como matéria-prima para a extração de óleo representa uma abordagem inovadora e responsável em relação ao meio ambiente. Ao aproveitar um subproduto da indústria alimentícia, o processo não apenas minimiza o desperdício, mas também promove a economia circular, onde os resíduos são reintegrados à cadeia produtiva.

5.2 Resultados da caracterização do óleo da semente de mamão

5.2.1. Dados de densidade do óleo do mamão

Os resultados experimentais são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Pesagem o óleo de mamão e água destilada em picnômetro.

Óleo (g)	Água destilada (g)
24,072	26,093

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A densidade do óleo de mamão, obtida como 1.083,9 kg/m³, é relativamente alta em comparação com o óleo de soja residual, que tem uma densidade média de 894 kg/m³ (Veronezi *et al.*, 2020). Esse valor elevado pode afetar a viscosidade do biodiesel, comprometendo sua fluidez e desempenho, especialmente em sistemas de injeção de motores a diesel. Para corrigir essa característica e tornar o biodiesel mais adequado para utilização, uma abordagem comum é a realização da transesterificação. Esse processo reduz a viscosidade do óleo, transformando-o em biodiesel com propriedades mais adequadas para combustão, mantendo sua qualidade e eficiência. Além disso, ajustes na proporção de álcool e catalisador durante a transesterificação

podem ser otimizados para alcançar a fluidez desejada, garantindo um biodiesel com melhor desempenho e menor impacto ambiental.

5.2.2. Resultados da viscosidade do óleo da semente de mamão

O valor encontrado para viscosidade do óleo de mamão foi de 58,858 mm²/s. Este é um valor próximo ao óleo de soja e ao de pinhão manso, que tem suas viscosidades em torno de 50 a 60 mm²/s. É válido lembrar que óleos com alta viscosidade pode ser prejudiciais na produção de biodiesel, já que dificultam a mistura dos reagentes e a conversão dos ácidos graxos, influenciando negativamente a taxa de reação e a eficiência da conversão.

5.2.3 Análise do índice de acidez do óleo da semente de mamão

Os valores de acidez para o óleo da semente de mamão foram determinados utilizando a Equação 4 e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados experimentais para o índice de acidez do óleo de mamão.

Amostras	1	2	3	Média (mg de KOH/g)
Massa de óleo (g)	1,413	1,428	1,423	
Volume de KOH (ml)	1,3	1,3	1,4	
Acidez (mg de KOH/g)	5,161	5,107	5,519	5,262

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Ao comparar os índices de acidez do óleo de semente de mamão com os de outros óleos, como o de abóbora, o de amêndoa da macaúba e o de pinhão manso, é evidente que o óleo de mamão apresenta um índice de acidez mais elevado. O valor encontrado para o óleo de abóbora é de 4,821 mg de KOH/g, enquanto o de pinhão manso é maior, com 6,548 mg de KOH/g. Em contraste, o óleo da macaúba apresenta um índice de acidez menor, com 3,49 mg de KOH/g (Costa, 2024).

Essas diferenças nos índices de acidez podem ser atribuídas a vários fatores, incluindo a composição química dos óleos e a forma como as sementes são processadas e armazenadas.

Além disso, a composição específica de cada tipo de semente também desempenha um papel significativo. Sementes diferentes têm perfis distintos de lipídios e ácidos graxos, o que pode resultar em variações nos índices de acidez.

O índice de acidez é um indicador da quantidade de ácidos graxos livres presentes no óleo, que pode ser influenciado pela degradação lipídica, oxidação e pela presença de água durante o armazenamento. Assim, a determinação do índice de acidez é essencial na produção do biodiesel, por refletir a qualidade do produto final. Esse índice mede a quantidade de ácidos graxos livres no óleo, os quais podem prejudicar a qualidade do biodiesel. Durante o processo de transesterificação, os ácidos graxos livres podem reagir formando subprodutos indesejados, como sabões, o que pode comprometer a qualidade do biodiesel.

5.2.4 Resultados do Índice de Refração

Para a medição do índice de refração, foi utilizado um refratômetro que opera com base na escala de refração em porcentagem e seus valores correspondentes. O resultado, após análise foi de 1,4675, o que representa uma refração de 72,8%. Em comparação, o índice de refração do óleo de pinhão-manso é de 1,4695 (Sander, 2018), demonstrando uma similaridade significativa com o óleo da semente de mamão.

O índice de refração tem grande importância na produção de biodiesel, especialmente no que se diz ao controle de qualidade e ao acompanhamento do processo produtivo. A medida do índice de refração é bastante sensível a mudanças na composição do óleo. Variações no índice de refração podem indicar a presença de impurezas, adulterações ou degradação do óleo, ressaltando a necessidade de monitorar regularmente esse parâmetro como uma parte essencial do controle de qualidade.

5.3 Processo de produção de biodiesel

5.3.1 Calcinação da casca de mamão

A casca de mamão foi utilizada para a produção de um catalisador heterogêneo rico em potássio, um mineral fundamental para a atividade catalítica. Esse tipo de catalisador se mostra promissor na reação de transesterificação. Após realização da metodologia empregada, o catalisador produzido é apresentado na figura 15

Figura 14 – Cascas de mamão após calcinação

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5.3.2 Síntese do biodiesel a partir do óleo da semente de mamão

Para realizar o processo de transesterificação derivado do óleo extraído das sementes de mamão, foram empregadas duas concentrações diferentes de catalisador para síntese, visando avaliar sua influência na reação. As concentrações utilizadas foram de 3% e 6% em massa de catalisador em relação à massa de óleo.

Com base na literatura, as razões molares do óleo: álcool utilizadas nas reações foram de 1:6 e 1:9 e a temperatura e tempo de reação foram fixadas, respectivamente, em 60 °C e o 90 minutos, como mostrado na Tabela 9 (Costa, 2024; Oliveira, 2019).

Tabela 9 – Variáveis das reações de transesterificação.

Amostras	1	2	3	4
Volume de óleo (ml)	5	5	5	5
Volume de etanol (ml)	30	45	30	45
Temperatura (°C)	60	60	60	60
Tempo (min)	90	90	90	90
Catalisador (%)	3	3	6	6
Óleo:Etanol	1:6	1:9	1:6	1:9

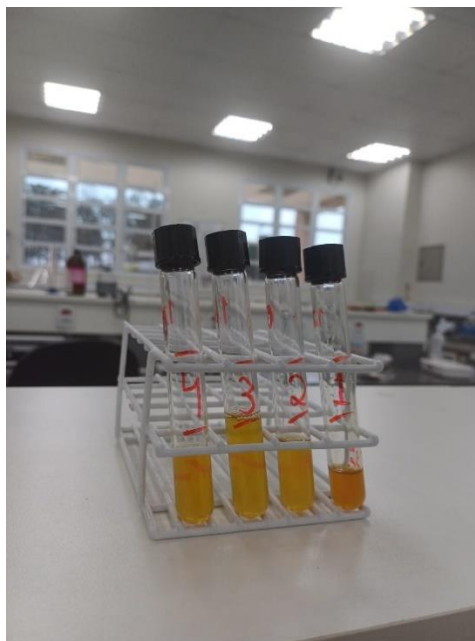
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A mistura de óleo, etanol e catalisador foi inserida em um erlenmeyer de 150ml para iniciar o processo de reação no reator a batelada. Após os 90 minutos estipuladas, a mistura resultante passou por um processo de filtragem a vácuo para que o produto gerado fosse separado do catalisador.

Após a remoção do catalisador, foi efetuada a separação do biodiesel e da glicerina em uma centrífuga, com a mistura inseridas em tubos Falcon de 15 ml. A centrífuga utilizada foi configurada para operar a 3000 rpm, com uma aceleração de 1520 rpm/s^2 por um período de 5 minutos.

A glicerina gerada na reação foi separada utilizando uma pipeta de Pasteur de vidro e o biodiesel gerado foi transferido para um béquer e submetido a um processo de secagem na estufa para remoção completa do álcool utilizado na transesterificação. Para isso, o biodiesel permaneceu por um período de 12 horas a uma temperatura de 100°C . Na Figura 16 é mostrado o biodiesel gerado no fim do experimento.

Figura 15 – Biodiesel produzido



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No entanto, não foi possível determinar com precisão o rendimento ou a qualidade final do biodiesel produzido devido à limitação de equipamentos no laboratório, como cromatografia gasosa ou espectroscopia, que são essenciais para avaliar a pureza e o rendimento do produto. Essas análises são fundamentais para caracterizar adequadamente o biodiesel, identificando impurezas e confirmando a conversão completa do óleo em biodiesel. A falta desses

instrumentos especializados impediu a realização de uma avaliação mais detalhada e precisa da qualidade do biodiesel gerado no experimento, o que limita as conclusões sobre sua viabilidade e adequação para uso como combustível. Assim, futuras análises com equipamentos mais avançados seriam necessárias para validar a pureza e o rendimento do biodiesel produzido.

6 CONCLUSÃO

A extração do óleo da semente de mamão apresentou um rendimento satisfatório de 27,66%, evidenciando a potencial utilização desta matéria-prima como alternativa para produção de biodiesel, especialmente quando considerado que é um resíduo que não compete com mercado alimentício diretamente. As características físico-químicas do óleo, como densidade de $1.083,9 \text{ kg/m}^3$ e viscosidade de $58,858 \text{ mm}^2/\text{s}$, se mostraram adequadas quando comparadas a outros óleos comumente utilizados na produção de biodiesel, como o de soja e pinhão-manso. No entanto, a alta viscosidade do óleo de mamão pode dificultar a mistura dos reagentes e reduzir a eficiência da reação de transesterificação.

Além disso, o índice de acidez do óleo, que se mostrou superior ao de outros óleos como o de abóbora e macaúba, destaca a necessidade de um tratamento adequado dos ácidos graxos livres antes da transesterificação. Esse tratamento é essencial para minimizar a formação de subprodutos indesejados, como sabões, que podem comprometer a qualidade do biodiesel. O índice de refração encontrado (1,4675) foi semelhante ao de outros óleos, indicando que, embora a viscosidade e a acidez possam exigir ajustes no processo, o óleo de mamão possui características compatíveis com a produção de biodiesel, reforçando sua viabilidade como matéria-prima alternativa.

A síntese de biodiesel utilizando catalisador heterogêneo de casca de mamão calcinada, mostrou-se promissora, com duas concentrações de catalisador sendo testadas (3% e 6%), demonstrando influência na eficiência da reação. No entanto, apesar de todo o processo ter sido realizado de acordo com as metodologias descritas, não foi possível determinar com precisão o rendimento ou a qualidade final do biodiesel produzido, devido à falta de equipamentos no laboratório para realizar análises mais detalhadas, como cromatografia gasosa ou espectroscopia, essenciais para avaliar a pureza e o rendimento do produto. Isso limita a conclusão sobre a qualidade do biodiesel gerado no experimento.

Em conclusão, o uso de sementes de mamão para a produção de biodiesel é viável e sustentável, oferecendo uma alternativa ao uso de óleos alimentares. No entanto, ajustes nos parâmetros de produção, como controle de acidez e viscosidade, são essenciais para garantir a qualidade do biodiesel. Para controlar a acidez, recomenda-se a neutralização com bases fortes como NaOH ou a destilação a vácuo. Já para reduzir a viscosidade, a transesterificação é o principal processo, sendo importante otimizar a proporção de metanol/óleo e o uso de catalisadores eficientes. Ajustes na temperatura e no tempo de reação também são fundamentais para melhorar a eficiência e a qualidade do biodiesel produzido.

7. REFERÊNCIAS

ANWAR, M. et al. Investigation on the impact of papaya biodiesel-diesel blends on combustion of an agricultural CI engine. Purpose-Led Publishing, [S.l.], p. 1-9, 14 dez. 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/463/1/012001. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/463/1/012001/meta>. Acesso em: 24 set. 2024.

CAVALCANTE, Anaísa Kato et al. Determinação e avaliação do teor de óleo em sementes de soja pelos métodos de ressonância magnética nuclear e Soxhlet. Biosci. J., Uberlândia - MG, p. 1-8, 5 set. 2010. Disponível em: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/08/911719/determinacao-e-avaliacao-do-teor-de-oleo-em-sementes-de-soja-pe_zpmmhlD.pdf. Acesso em: 6 nov. 2024.

CHIELLE, Daniel Padoin et al. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. Elsevier, [S.l.], p. 1-8, 17 abr. 2016. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669016301534?casa_token=tN_l6myMBXIAAAAA:Yz2Qs31Vm-f46TWcT0X8Xfs0NsDZynWPFSyi2ZusfvB_nnsp-gxxDUhjdHx_k_-9qntOOMP_N8s. Acesso em: 24 set. 2024.

CIRCUNVIS, Bruno Cesar et al. Processos de obtenção de biodiesel a partir de resíduos de sebo bovino: uma revisão bibliográfica. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 1-21, 8 ago. 2022.

CORDEIRO, Claudiney Soares et al. Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). International Year of Chemistry, Curitiba - PR, 7 jan. 2011.
COSTA, A. S. V. da S. V. da; PEREIRA, C. A. F. Análise técnico-social da produção de biodiesel no Brasil e no desenvolvimento agrícola do norte de Minas Gerais. DRd - Desenvolvimento Regional em Debate, [S.l.], v. 10, p. 789-809, 2020. DOI: 10.24302/drd.v10i0.2885. Disponível em: <http://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/2885>. Acesso em: 18 set. 2024.

COSTA, João Victor Toni. Produção de biodiesel a partir do óleo da semente de abóbora utilizando catalisador à base de óxido de cálcio. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Energia) – UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Rosana, 2024.

COSTA, Maycon Tcharly Camilo. Caracterização do óleo de resíduo de frigorífico e produção de biodiesel utilizando catalisador de baixo custo à base de óxido de cálcio. 2024. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Energia) – UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Rosana, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/b49122b7-4996-48b8-90ad-e619607e9f72>. Acesso em: 5 out. 2024.

DUARTE, G. S.; DOS SANTOS, S. N.; FIORILLO, J. A.; FERREIRA, Érica S.; ARANHA, C. P. M. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: caracterização do óleo extraído de sementes de mamão (*Carica papaya*). Contribuciones a las Ciencias Sociales, [S.l.], v. 16, n. 9, p. 18265-18280, 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.9-263. Disponível em:

<https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/2310>. Acesso em: 24 set. 2024.

DUARTE, Victória Huch et al. Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. Meio Ambiente (Brasil), [S.l.], p. 1-19, 16 set. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.7325288. Disponível em: <https://zenodo.org/records/7325288>. Acesso em: 9 set. 2024.

ETIM, A. O.; ELOKA-EBOKA, Andrew C.; MUSONGE, P. Potential of Carica papaya peels as effective biocatalyst in the optimized parametric transesterification of used vegetable oil. Research, Durban, South Africa, p. 1-10, 3 jun. 2020.

EVANGELHO, Ana Carolina dos Santos Ramos. Comparação de métodos catalíticos para obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja. 2024. 53 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Química Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Porto Alegre - RS, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/279049>. Acesso em: 3 out. 2024.

FERREIRA, Débora Cristina Lima. Extração da papaína a partir da casca do mamão (Carica papaya) e sua imobilização em esferas de hidrogel para síntese de ésteres de interesse energético. 2021. 58 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção – CE, 2021. Disponível em: <https://www.repositorio.unilab.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2122/1/SARA%20JANE%20ODE%20OLIVEIRA%20TCC%20disserta%20a7%20a3o.pdf>. Acesso em: 5 set. 2024.

FREITAS, S. G. D. de; FLORINDO, D. N. F.; RODRIGUEIRO, M. M. da S.; MOLLO NETO, M.; OLIVEIRA, K. S. M.; SANTOS, P. S. B. dos. Biodiesel production from soybean, corn, sunflower and canola oil by transesterification: a systematic review. Research, Society and Development, [S.l.], v. 11, n. 5, p. e33411527167, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.27167. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/27167>. Acesso em: 9 set. 2024.

GALVIS, Maria Teresa Cardenas. Avaliação e classificação de oleaginosas capazes de contribuir na diversificação de matérias-primas para uma produção sustentável do biodiesel. 2020. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, [S.l.], 2020. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1162072>. Acesso em: 18 set. 2024.

GERIS, Regina et al. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. SciELO Brasil, [S.l.], 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/5RCVpxvN94V8bFnpv8sJSLJ/#>. Acesso em: 18 out. 2024.

GOMES, J. L. B. Extração e caracterização do óleo da semente de abóbora para produção de biodiesel utilizando catalisador de baixo custo derivado de ossos de frango. 53 f. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana, 2023.

GUARNIERI, Guilherme de Paula. Potenciais novos catalisadores para produção de biodiesel: lipases fúngicas de Thermomyces lanuginosus e Rhizomucor miehei imobilizadas sobre suportes nanozeolíticos trocados com cátions lantanídeos. 2021. 75 p. Dissertação (Mestrado em Biofísica Molecular) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2021.

Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/3231407b-b6c4-4ecf-854b-9b6b9d21cd66/content>. Acesso em: 3 out. 2024.

LEAL, Cristiane. Simulação e intensificação do processo de produção do biodiesel a partir do óleo de soja via catálise homogênea e heterogênea. 2021. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/55201/55201.PDF>. Acesso em: 3 out. 2024.

LIMA, Bruno Felipe Bernardo. Síntese de biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleo de soja etílico catalisado por hidróxidos duplos lamelares. 2020. 30 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/7739/1/S%C3%ADntese%20de%20biodiesel%20a%20partir%20da%20rea%C3%A7%C3%A3o%20de%20transesterifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%B3leo%20de%20soja%20et%C3%ADlico%20catalisado%20por%20hidr%C3%B3xidos%20duplos%20lamelares%20%28HDL%29.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v. 11, n. 6, p. 1300-1311, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032105001073>. Acesso em: 16 set. 2024.

MELO, Maria Ladjane Sodré de. Caracterização, estabilidade oxidativa e determinação do potencial energético do biodiesel derivado do mamão (Carica papaya L.): uma fonte não convencional. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

NAYAK, Milap G.; VYAS, Amish P. Optimization of microwave-assisted biodiesel production from papaya oil using response surface methodology. *Elsevier*, [S.l.], p. 1-11, 14 jan. 2019.

OLADIPO, Babatunde et al. Pawpaw (Carica papaya) peel waste as a novel green heterogeneous catalyst for moringa oil methyl esters synthesis: process optimization and kinetic study. *Energies*, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 1-25, 9 nov. 2020. DOI: 10.3390/en13215834. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5834>. Acesso em: 5 out. 2024.

OLIVEIRA, Sara Jane de. Produção de biodiesel a partir do óleo da semente do mamão (Carica papaya) por meio de catálise alcalina homogênea. 2019. 51 f. Dissertação (Mestrado em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção – CE, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.unilab.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2122/1/SARA%20JANE%20ODE%20OLIVEIRA%20TCC%20disserta%20c3%a7%20c3%a3o.pdf>. Acesso em: 9 set. 2024.

OLIVEIRA, Thiago et al. Um estudo de matérias-primas para fabricação de biodiesel. *Educação, Gestão e Sociedade*, [S.l.], ano 7, p. 1-30, 27 ago. 2017. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170919090714.pdf. Acesso em: 14 set. 2024.

OLIVEIRA, William Santos. Produção de biodiesel por transesterificação empregando catalisadores à base de nanotubos de carbono e nanopartículas magnéticas. 2024. 41 p. Trabalho

de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Produção e Transportes) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S.l.], 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/277237>. Acesso em: 3 out. 2024.

OSHIN, Taiwo Toyin et al. Histological and cytotoxic evaluation of *Carica papaya* seed oil and its potential biodiesel feedstock. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, [S.l.], p. 1-10, 31 dez. 2021. DOI: 10.5897/JECE2020.0468. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/JECE/article-full-text/1094CC968319>. Acesso em: 24 set. 2024.

RIBEIRO, V. S.; SILVA, M. A. da R. Política pública do biodiesel no Brasil: uma análise na perspectiva do ciclo das políticas públicas. *DRd - Desenvolvimento Regional em Debate*, [S.l.], v. 10, p. 833–861, 2020. DOI: 10.24302/drd.v10i0.2813. Disponível em: <http://ojs.unc.br/index.php/drd/article/view/2813>. Acesso em: 18 set. 2024.

ROSÁRIO, Henrique Fiegenbaum do. Caracterização de farinhas de sementes de mamão papaia e formosa. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/200377>. Acesso em: 21 set. 2024.

SALTARIN, M. J.; SILVA, M. S.; MARTINS, L. O. S.; ROCHA, A. M.; FERNANDES, F. M.; HOCEVAR, L. S.; FREIRES, F. G. M.; TORRES, E. A. A logística inversa dos óleos de gorduras residuais na produção de um biodiesel sustentável: uma revisão. *Revista de Gestão e Secretariado*, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 1170–1183, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i1.1582. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/1582>. Acesso em: 15 set. 2024.

SANDER, R. F. Síntese enzimática heterogênea do biodiesel a partir do óleo de pinhão manso. p. 87, 2018.

SANTOS, L. O.; MELO, G. F.; LAURENTINO, J. V. A. Estudo e análise das principais e alternativas oleaginosas para produção de biodiesel: uma revisão integrativa. *Engineering Sciences*, v. 9, n. 2, p. 81-99, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0008.

SILVA, F. R. da; SILVA, F. J. L. B. da; SANTOS, R. de S.; MENDES, M. de L.; GONGORA, B.; LISBOA, F. da S.; SEQUINEL, R. Biodiesel in Brazil: an analysis of production, consumption, and prospects in the energy transition. *Research, Society and Development*, [S.l.], v. 12, n. 11, p. e43121143670, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i11.43670. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/43670>. Acesso em: 21 set. 2024.

SILVA, Miriam Paz de Melo e et al. Evolução da extração supercrítica de matrizes de sementes oleaginosas cultivadas no Brasil: uma revisão. *International Seven Journal of Health Research*, São José dos Pinhais, v. 2, n. 4, p. 1-47, 12 jul. 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/ISJHR/article/view/1920>. Acesso em: 21 set. 2024.

SOUSA, Bruna Araújo de. Óleo da semente de macaúba (*Acrocomia aculeata*): extração, obtenção de biodiesel e caracterização da conversão e viscosidade cinemática. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis) – Universidade Federal do Ceará, [S.l.], 2023. Disponível em:

<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76047>. Acesso em: 21 set. 2024.

VALLE, Pedro Wallace de Paula Amaral. Produção de biodiesel via transesterificação do óleo de nabo forrageiro. 2009. 206 p. Tese (Doutor em Ciências – Química) – Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, [S.l.], 2009. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-873PRW/1/produ_o_de_biodiesel_via_transesterifica_o_do_leo_do_nabo.pdf. Acesso em: 16 set. 2024.

VERONEZI, C. M. Síntese de biodiesel a partir de óleo de soja residual. Revista Científica Unilago, [S.l.], v. 1, ed. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista_cientifica/article/view/369. Acesso em: 14 out. 2024.

VIOMAR, Aline. Estudo das variáveis da produção de biodiesel. 2013. Dissertação acadêmica (Mestre em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro-PR, [S.l.], 2013. Disponível em: <https://tede.unicentro.br/jspui/bitstream/tede/18/1/PR%20ALINE%20VIOMAR.pdf>. Acesso em: 3 out. 2024.