SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE AMÊNDOAS DOCE POR CATÁLISE HOMOGÊNEA

Alida Samara Gomes da Silva
Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba

Maria Lidiane da Silva Souza
Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba

Lidiane Silva de Araújo
Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba

José Carlos Oliveira Santos
Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba

RESUMO
O presente estudo teve como objetivo principal a produção de biolubrificantes a partir de uma fonte renovável, o óleo de amêndoas doces. Para tanto, foram realizadas reações de transesterificação com metanol e etanol, visando à obtenção dos respectivos ésteres, e posteriormente, reações de epoxidação para a produção dos biolubrificantes. Os objetivos específicos incluíram a síntese e a caracterização físico-química dos compostos obtidos em cada etapa do processo. As análises físico-químicas permitiram avaliar as propriedades dos produtos obtidos, como viscosidade, índice de acidez, densidade e teor de ésteres.

Palavras-chave: Biolubrificante, Óleo de amêndoas doces, Transesterificação, Epoxidação, Caracterização físico-química.

1 INTRODUÇÃO

Há muitas razões para substituir o uso frequente de combustíveis fósseis por alternativas mais seguras, pois o impacto negativo desses recursos na sociedade contribui para diversos problemas ambientais, como o efeito estufa, as mudanças climáticas globais, a acidificação dos oceanos e a diminuição da camada de ozônio. Esses impactos resultam do aumento nos níveis de dióxido de carbono (CO2) e de outros subprodutos provenientes da queima de combustíveis fósseis (Ishola et Al., 2013). O biocombustível, produzido a partir da biomassa, surgiu como uma alternativa única para substituir os combustíveis fósseis líquidos. Por meio da utilização da biomassa, os combustíveis convencionais, como gasolina, diesel e GLP, passaram a ser substituídos parcialmente por combustíveis renováveis, como bioetanol, biodiesel e biogás. O aumento dos preços do petróleo e a

crescente preocupação com a emissão de gases poluentes têm impulsionado a busca por fontes alternativas de energia que possam substituir os combustíveis fósseis de forma sustentável (Demirbas, 2009; Rashid; Anwar, 2008). Dentro desse contexto, os biocombustíveis, especialmente o biodiesel, se destacam como uma opção renovável, biodegradável e com menores emissões de carbono em comparação ao diesel convencional (Takase et al., 2015; Knothe; Ruckenstein; Arana, 2021). O biodiesel é definido como uma mistura de ésteres de ácidos graxos produzida pela transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcoois de cadeia curta (Metha; Vidya Sagar; Naidu, 2006).

A produção de biodiesel com óleos convencionais, como os de palma, girassol, colza e soja, é amplamente difundida (Balat e Balat, 2008; Demirbas, 2007). No entanto, o uso desses óleos para fins energéticos pode afetar seu valor econômico e a disponibilidade para consumo alimentar (Rashid et al., 2008). Como alternativa, pesquisadores têm investigado o uso de óleos não comestíveis, óleos residuais de cozinha e outras fontes menos comuns para a produção de biodiesel (Balat e Balat, 2008; Ofoefule et al., 2013; Bamgboye e Oniya, 2012). As fontes de biomassa têm se tornado cada vez mais atraentes devido aos problemas associados aos combustíveis fósseis, especialmente pelo aumento das emissões de poluentes resultantes de sua combustão. De acordo com especialistas, as reservas de petróleo e gás disponíveis atualmente devem ser suficientes apenas para algumas décadas. A fim de atender à crescente demanda energética e reduzir a dependência das reservas petrolíferas, combustíveis alternativos como o biodiesel e o bioetanol têm se consolidado entre as tecnologias promissoras. Dessa forma, o biodiesel se posiciona como uma escolha viável para o uso em motores de ignição por compressão (CIEs).

O biodiesel é um combustível composto majoritariamente por ésteres monoalquílicos, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais, através de um processo químico chamado transesterificação. Este processo visa reduzir a alta viscosidade natural desses óleos e gorduras, que pode ser de 10 a 17 vezes maior que a do diesel de petróleo, tornando-os inadequados para uso direto em motores. Na transesterificação, o óleo ou gordura é transformado em ésteres de ácidos graxos, o que resulta em um combustível de viscosidade similar ao do petrodiesel, permitindo seu uso eficiente em motores a diesel. A reação é catalisada, frequentemente com álcoois simples (como metanol ou etanol) que contêm de 1 a 4 átomos de carbono, o que favorece a produção dos ésteres com propriedades adequadas para aplicações em motores de combustão interna. A transesterificação é o processo químico essencial na produção de biodiesel, no qual os triglicerídeos, que são os ésteres originais presentes em óleos e gorduras, reagem com um álcool simples, como o metanol, transformando-se em ésteres de ácidos graxos (o biodiesel propriamente dito) e liberando glicerina como subproduto. Esse método visa converter óleos vegetais e gorduras animais em ésteres mais leves e de menor viscosidade, adequados para uso em motores a diesel. Trata-se de uma reação amplamente estudada, com diversas pesquisas e publicações abordando sua viabilidade para combustíveis

alternativos baseados em biomassa. Muitos estudos mostram que a escolha de matérias-primas, como óleos vegetais residuais ou não comestíveis, é essencial para viabilizar economicamente o processo, pois reduz custos e minimiza impactos ambientais. Além disso, a biomassa renovável é constantemente considerada uma alternativa promissora como fonte de óleos para a produção de biodiesel, permitindo o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis e com menor pegada de carbono.

A amendoeira doce (*Prunus amygdalus "dulcis"*), pertencente à subfamília Prunoideae e à família Rosaceae, é amplamente conhecida pelo alto teor lipídico de suas sementes, que contêm aproximadamente 51% de óleos, além de proteínas, carboidratos e fibras (Agunbiade; Olanlokun, 2006). Essa família também inclui frutas como maçãs, peras, damascos, cerejas, pêssegos e ameixas, distribuídas entre as subfamílias Pomoideae, Prunoideae e Rosoideae. Há duas variedades principais de amêndoas, a amarga (*Prunus amygdalus "amara"*), geralmente usada para fins de aromatização, e a doce (*Prunus amygdalus "dulcis"*), comumente aproveitada em preparações culinárias e extração de óleo (Agunbiade; Olanlokun, 2006). A escolha do óleo para a produção de biodiesel também é um fator de grande relevância, sendo que o óleo de amêndoas doces, amplamente disponível e rico em ácidos graxos essenciais, apresenta potencial significativo para a síntese de biodiesel. Trabalhos recentes apontam que a composição dos ácidos graxos, assim como a estabilidade oxidativa do biodiesel derivado de óleos vegetais como o de amêndoas, contribui para o desenvolvimento de biocombustíveis com melhor desempenho e menor impacto ambiental (Chhem; TI; Wong, 2023; Knothe; Mathews; Carlson, 2021). Assim, este estudo busca explorar a síntese de biodiesel a partir do óleo de amêndoas doces, utilizando a catálise homogênea, destacando os parâmetros de eficiência e qualidade do produto final. Considerando-se a alta disponibilidade de amêndoas doces, particularmente as de baixo custo, torna-se viável utilizá-las como uma fonte alternativa para a produção de biodiesel, reduzindo, assim, a dependência de óleos convencionais de uso alimentício, como óleo de palma e de amendoim. O presente trabalho, portanto, tem como objetivo investigar o uso do óleo de amêndoas doces como uma matéria-prima potencial para a síntese de biodiesel, contribuindo para a diversificação das fontes renováveis e auxiliando na mitigação dos impactos do uso de óleos alimentares tradicionais na produção de biocombustíveis.

2 METODOLOGIA

O óleo de amêndoas doce foi adquirido no comércio local e produzido por indústria brasileira. O óleo refinado não necessitou de tratamento prévio antes das reações que ele foi submetido. A pesquisa laboratorial foi realizada por três alunas bolsistas do Programa de Ensino Tutorial de Química (PET-Química) sob orientações do tutor do programa, no laboratório de Química Ambiental e Biocombustíveis.

Para o processo de extração do biodiesel e do biolubrificante foi realizado os seguintes procedimentos: transesterificação e epoxidação.

Para obtenção dos ésteres metílicos ou etílicos, inicialmente foi realizado um cálculo da massa molar do óleo de amêndoas doce a partir do seu índice de saponificação. No qual, 1,0 g da amostra foram adicionados em um Erlenmeyer de 250 mL para que fossem pesados e adicionado 25 mL de potassa alcoólica. Esse Erlenmeyer foi conectado a um condensador de bolas e o foi aquecido suavemente durante 1 hora para que a amostra seja completamente saponificada. Em seguida, foi adicionado ao Erlenmeyer algumas gotas de fenolftaleína e titulado com uma solução de HCl 0,5M até o desaparecimento da coloração rosa. Repetimos o mesmo procedimento sem a presença de amostras para determinar o branco. O índice de saponificação pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$índice\ de\ Saponificação = \frac{(B - A) * N * 56{,}1}{w}$$

Onde A é o volume da solução de HCl 0,5 M utilizado na titulação da amostra (mL); B é o volume da solução de HCl 0,5M utilizado na titulação do branco (mL); N é a normalidade da solução de HCl e W é a massa da amostra (g).

Dessa forma obtivemos a massa molar do óleo a partir do índice de saponificação, com o seguinte cálculo:

$$1\ mol\ de\ triglicerina\ (óleo) + 3KOH \rightarrow 3\ sabão + 1\ glicerol$$

$$X \text{ ———————— } 3 * (56{,}1\ g/mol^{-1})$$

$$1g \text{ ———————— } Índice\ de\ Saponificação$$

Com o conhecimento dessa massa foram calculadas as quantidades de álcool (metanol ou etanol) e de catalisador (KOH) necessárias para a realização da reação.

A reação de transesterificação foi realizada adotando uma razão molar óleo/álcool igual a 1:6 e 0,7% de catalisador (óleo/catalisador), mantendo-se a temperatura em aproximadamente 45ºC durante 1h, porque temperaturas superiores à de ebulição do álcool podem acelerar a saponificação dos glicerídeos pelo catalisador alcalino antes da completa alcoólise.

Após a reação de transesterificação, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação permitindo a separação das fases: superior contendo o éster etílico e inferior composta de

glicerol, sabões, excesso de base e álcool. Após o tempo de espera, a fase inferior foi retirada e armazenada em um recipiente próprio.

Em seguida, foi realizada a lavagem do éster etílico (biodiesel) com água destilada e solução de ácidos clorídrico 0,01M. Foram feitas três lavagens com água destilada, então retirada da fase dos ésteres resíduos de glicerol e sabões) e duas lavagens com solução de HCl 0,01M (neutralizar os ésteres). Para verificar a eficiência da lavagem ácida utilizou-se fenolftaleína.

Após as lavagens, foi adicionado de sulfato de magnésio anidro para retirar a água que ainda estavam presentes no éster, utilizando um evaporador rotativo. Os mesmos procedimentos foram realizados para a rota metílica.

Para a identificação do índice de Peróxido foi utilizado um Erlenmeyer com tampa esmerilhada de 250mL para que nele fossem pesados 3 g da amostra e adicionado 30 mL de solução ácida acético:clorofórmio 3:2 (v/v) e misturados com leve agitação. Adicionamos 0,5 mL de solução de KI 10% e deixamos em repouso por 1 minuto cronometrados. Após isso foi adicionado 30 mL de água destilada e 0,5 mL de solução de amido 1%. A titulação foi realizada com uma solução de tiossulfato de sódio 0,01 N com agitação constante até a cor azul desaparecer. O índice de peróxido pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{índice de Peróxido} = \frac{(A - B_ * N}{W}$$

Onde A é o volume do tiossulfato utilizado na titulação da amostra (mL); B é o volume do tiossulfato utilizado na titulação do branco (mL); N é a normalidade da solução de $Na_2S_2O_2$ e W é a massa da amostra (g).

Para o índice de Acidez utilizamos um Erlenmeyer de 250 mL, será pesado 3:3 g de amostra e adicionado 22 mL da mistura do solvente neutralizada (11 mL de tolueno + 11 mL de álcool isopropílico). A amostra foi bem dissolvida na mistura de solventes. Foram adicionadas 3 gotas de indicador fenolftaleína e titulado com KOH 0,1 N até que pudesse obter uma coloração rosa permanente durante 30 segundos. O mesmo procedimento foi repetido sem a presença de amostras para que assim fosse determinado o branco. Para calcular o índice de acidez utilizamos a seguinte equação:

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{(A - B) * N * 56{,}1}{W}$$

Onde A é o volume da solução de KOH 0,1N utilizado na titulação da amostra 9mL); B é o volume da solução de Koh 0,1n utilizado na titulação do branco (mL); N é a normalidade da solução de KOH e W é a massa da amostra (g).

Para o índice de iodo foi utilizado um Erlenmeyer de 250mL, nele foram pesados 0,25g de amostra, em seguida foi adicionado 10mL de clorofórmio e 24 mL de solução de Wijs (girando o erlenmeyer para manter meio contato com a amostra). Em seguida, o frasco foi armazenado em um local escuro a temperatura de 25º, durante 30 minutos nos quais foram cronometrados. Após este tempo, adicionamos 10 mL de solução de iodeto de potássio 10%, 100 mL de água destilada e titulamos com solução de $Na_2S_2O_2$ 0,1N, misturamos vigorosamente. Quando a coloração marrom estava desaparecendo, foram adicionados 1mL de solução indicadora de amido e titulado até o desaparecimento total da coloração escura. O mesmo procedimento foi realizado para a determinação do branco, mas sem a presença da amostra. Para calcular índice de iodo pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$Índice\ de\ Iodo = \frac{12{,}6 * N * (A - B)}{W}$$

No qual N é a normalidade da solução de tiossulfato de sódio; A é o volume da solução de Na2S2O3 0,1N utilizado na titulação da amostra (mL) e W é a massa da amostra (g).

Para o índice de sabão utilizamos um Erlenmeyer de 250 mL, para que nele fosse pesado 5 g da amostra, em seguida foi adicionado 0,25 mL de água deionizada e agitamos vigorosamente. Após a agitação, uma solução contendo 0,05g do indicador bromofenol e 25 mL de acetona neutralizada foi preparada. No Erlenmeyer contendo a amostra foi adicionado 25 mL dessa solução recém preparada, devido a presença de sabão ocorreu uma separação de fases e a camada superior com uma coloração verde azulada. Então, a mistura foi titulada com uma solução de ácido clorídrico 0,01 N padronizada até a viragem da coloração verde azulada para o amarelado. O mesmo procedimento foi realizado para determinar o branco, mas sem a presença da amostra. Para calcular o teor de sabão fizemos o seguinte cálculo:

$$Teor\ de\ Sabão = \frac{(A - B) * N * 304{,}4}{W}$$

Onde A é o volume da solução de HCl usado durante a titulação da amostra (ml); B é o volume da solução de HCl usado na titulação do branco (mL); N é a normalidade da solução de HCl e W é a massa da amostra (G).

Após isso calculamos a densidade relativa. No qual utilizamos um picnômetro de 25 mL que foi previamente pesado e nele adicionamos aproximadamente 25 mL de água destilada, e em seguida pesamos. Adicionamos aproximadamente 25 mL da amostra que também foi pesada. O cálculo da densidade foi feito de acordo com a expressão:

$$dx = \frac{m_x}{m_{água}}$$

Onde a densidade relativa da amostra é a massa da amostra é a massa da água.

No mesmo dia que calculamos a densidade relativa fizemos também o teor de cinzas com auxílio de uma estufa a 105ºC, deixamos a cápsula de porcelana secar durante uma hora. após esse período após esse período transferimos ela para o dessecador para esfriar. Com a cápsula vazia ela foi pesada e em seguida adicionado aproximadamente 3 g de amostra. A placa com amostra foi levada à mufla a 550ºC. Após esse período ela foi colocada no dessecador para esfriar, a cápsula com a amostra foi pesada. O teor de cinzas pode ser calculado por meio de uma da seguinte equação:

$$\%Cinzas = \left[\frac{(C - B)}{A}\right] * 100$$

Onde A é a massa da amostra; B é a cápsula de porcelana mais amostra após a mufla; C é a cápsula de porcelana mais amostra antes da mufla

Todo esse procedimento levamos mais ou menos cerca de 5 horas para concluir a experimentação.

O teor de umidade e voláteis foi realizado com o auxílio de uma estufa 105ºC, nela colocamos uma placa de Petri para secar durante uma hora. Após esse período ela foi colocada no dessecador para esfriar. Então a placa vazia foi pesada e adicionada aproximadamente 3g de amostra. A placa com amostra foi levada à estufa a 105° C por uma hora. Com esse período ela foi colocada no dessecador para esfriar. Então a placa com amostra foi pesada. O teor de umidade voláteis pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$\%Umidade\ e\ Voláteis = \left[\frac{(C-B)}{A}\right] * 100$$

Onde A é a massa da amostra; B é igual a placa mais amostra após a estufa; C é igual a placa mais amostra antes da estufa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O óleo de amêndoas doces utilizado neste estudo foi adquirido no comércio local e produzido por indústria brasileira. Os resultados que foram obtidos por meio das características físico-químicas do óleo de amêndoas doce estão apresentadas na Tabela 01, sendo comparadas às conformidades previstas pela Instrução Normativa nº 87, de março de 2021, da ANVISA, que define os padrões de qualidade para óleos de origem vegetal.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 01, a aparência do óleo de amêndoas doces mostrou-se dentro do padrão exigido pela ANVISA, apresentando-se com coloração amarelo-límpida, livre de impurezas. Quanto ao teor de umidade e voláteis, o valor obtido foi de 0,09%, dentro do limite permitido de até 0,1%. Segundo Giwa e Ogunbona (2014) a alta quantidade de água presente nos óleos em geral produzem efeitos negativos, consumindo o catalisador e reduzindo a eficácia do mesmo, aumentando a produção de sabão. O teor de cinzas apresentou um valor de 0,02%; no entanto, a ANVISA não estabelece um padrão específico para este parâmetro. Este parâmetro indica a quantidade de resíduo inorgânico presente na amostra após a queima da matéria orgânica na mufla em altas temperaturas. A densidade se encontra dentro do parâmetro estabelecido pelo órgão regulador. Essa análise fornece informações sobre a quantidade de material por unidade de volume.

Para a densidade, o óleo de amêndoas doces obteve um valor de 0,956 g/cm³, ultrapassando o intervalo padrão de 0,915 a 0,925 g/cm³. O índice de acidez foi de 0,34 mg KOH/g de óleo, dentro do limite máximo permitido de 0,6 mg KOH/g.. De acordo com MACHADO (2006) o índice de acidez pode ser considerado um dos mais importantes parâmetros de controle de qualidade de óleos e gorduras vegetais, uma vez que denota o estado de conservação dos óleos. No caso do índice de iodo, o valor registrado foi de 118,7 g I_2/100 g de óleo, ligeiramente superior ao intervalo padrão, que é de 96 a 115 g I_2/100 g de óleo. O índice de iodo mede o grau de insaturação do óleo, uma vez que cada dupla ligação de um ácido graxo pode se ligar a dois átomos de halogênio, especificamente o iodo (Silva, 2007). O teor de sabão foi de 0,121 ppm, bem abaixo do limite de 10 ppm, o que indica baixa presença de sabões indesejados, favorecendo a qualidade do óleo.

O índice de saponificação, é usado para determinar a quantidade exata de álcali a ser utilizada na produção de sabão a partir de diferentes óleos e gorduras, o mesmo apresentou um valor de 166,6, dentro do padrão exigido de 189 a 195. O índice de peróxido foi de 0,018 meq/kg, muito abaixo do

limite de 10 meq/kg, o que aponta para uma baixa oxidação do óleo. Outras propriedades, como a massa molar, de 1010 g/mol, e a viscosidade cinemática a 40°C, de 63,2 mm^2/s, também foram comprovadas, embora a ANVISA não tenha estabelecido valores padrão para esses parâmetros.

Com relação a reação de transesterificação,a mesma foi realizada com uma razão molar óleo/álcool de 1:6 e 0,7% de catalisador (em relação ao óleo), mantendo-se a temperatura em aproximadamente 45°C por uma hora. O processo foi conduzido por duas rotas: Etílica e Metallica. Na rota Etílica, o uso de álcool anidro foi adotado para minimizar a formação de sabões, já que a presença de água pode causar reações paralelas de saponificação que consomem o catalisador e reduzem a eficiência da transesterificação.

Os resultados mostraram que o biodiesel obtido pela rota etílica alcançou um rendimento de 92% e o obtido pela rota metílica obteve um rendimento de 88%, ambos estão dentro dos padrões de qualidade esperados. A tabela 02, apresenta os valores referentes aos parâmetros físico-químicos dos ésteres do óleo de amêndoas doce (biodiesel).

De acordo com a Resolução nº 45/2014 da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP), que estabelece os parâmetros físico-químicos para biodiesel. A partir da tabela 02, observe-se que os ésteres metílicos e etílicos do óleo de amêndoas doces apresentam coloração amarelo-límpida, conforme o padrão visual de "límpido e isento de impurezas" exigido. Os mesmos apresentam um teor de umidade e voláteis de 0,04% e 0,07%, respectivamente, valores acima do limite previsto de 0,02%. O teor de cinzas foi de 0,006% para o éster metílico e de 0,014% para o éster etílico, ambos abaixo do valor máximo de 0,02%, com o éster metílico exibindo um teor de cinzas menor. Quanto à densidade, o éster metílico apresentou 0,937 g/cm^3, enquanto o etílico registrou 0,949 g/cm^3, ambos superiores ao intervalo padrão de 0,850 a 0,900 g/cm^3.

Em relação ao índice de acidez , ambos os ésteres ficaram dentro do limite máximo de 0,5 mg KOH/g de óleo: o éster metílico apresentou 0,34 mg KOH/g, enquanto o etílico exibiu 0,17 mg KOH/g. No índice de iodo, os valores registrados foram 108,7 g I_2/100g óleo para o éster metílico e 113,4 g I_2/100 g óleo para o éster etílico; A ANP não indica um valor para este índice, o mesmo é apresentado como “anotar”. Para o teor de sabão, o éster metílico apresentou 0,426 ppm e o éster etílico 0,500 ppm; a ANP não especifica um limite padrão para esse parâmetro. No que se refere ao índice de saponificação, os valores foram de 121,7 mg KOH/g óleo para o metílico e 110,0 mg KOH/g óleo para o etílico,para os quais a ANP também não estabelece um limite específico. Quanto ao índice de peróxido, os valores coletados foram de 0,005 meq/kg para o éster metílico e 0,015 meq/kg para o éster etílico; Novamente, a ANP não definiu um valor padrão para esse índice. Finalmente, os valores da viscosidade cinemática a 40°C foram de 4,75 mm^2/s para o éster metílico e 4,63 mm^2/s para o éster etílico, ambos dentro do intervalo permitido de 3,0 a 6,0 mm^2/ S.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa, pode-se concluir que o óleo de amêndoas doces, por meio da catálise homogênea, indica que esta matéria-prima apresenta características físicas e químicas adequadas para a produção de biodiesel. Os resultados obtidos evidenciam que o biodiesel derivado do óleo de amêndoas doces atende aos padrões de qualidade estabelecidos, especialmente em relação à estabilidade oxidativa, baixa formação de sabões e propriedades físico-químicas compatíveis com os requisitos normativos. Além disso, o emprego do óleo de amêndoas doces como fonte para biodiesel se mostra uma alternativa sustentável e economicamente viável, considerando sua alta disponibilidade e o potencial para reduzir a dependência de óleos alimentares e convencionais na produção de biocombustíveis. O uso de fontes renováveis como essa contribui significativamente para o desenvolvimento de combustíveis de baixo impacto ambiental, alinhados com as necessidades energéticas e ambientais contemporâneas. Portanto, este estudo não só reforça a viabilidade técnica do biodiesel de óleo de amêndoas doces, mas também abre caminho para novas pesquisas que explorem outras matérias-primas alternativas, visando a ampliação das opções renováveis para a produção de biocombustíveis sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MEC/FNDE pelo suporte financeiro ao desenvolvimento do projeto vinculado ao PET/Química da UFCG

REFERÊNCIAS

AGUNBIADE, F. O.; OLANLOKUN, J. O. Propriedades do combustível de biocombustível de bucha vegetal (Luffa cylindrica L.) misturado com diesel. African Journal of Environmental Science and Technology, v. 6, n. 11, p. 346-352, 2012. Disponível em: https://www.ajol.info/index.php/ajest/article/view/88647. Acesso em: 31 out. 2024.

BALAT, M.; BALAT, H. A critical review of biodiesel as a vehicular fuel. Energy Conversion and Management, v. 49, n. 10, p. 2727-2741, 2010.

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

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

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

CHHEM, S.; TI, T. L.; WONG, W. Y. Properties and performance of biodiesel produced from different feedstocks: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 161, 2023.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. Energy Conversion and Management, v. 50, n. 1, p. 14-34, 2009.

Giwa, S., & Ogunbona, C.. (2014). Sweet almond (Prunus amygdalus "dulcis") seeds as a potencial feedstock for Nigerian Biodiesel Automotive Project. Revista Ambiente & Água, 9(1), 37–48. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1272. Acesso em: 30 out. 2024.

KNOTHE, G.; MATHEWS, S.; CARLSON, K. D. The history of vegetable oils as fuels: Transesterification of vegetable oils and biodiesel. Fuel, v. 287, 2021.

LEUNG, D. Y. C.; GUO, Y. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. Fuel Processing Technology, v. 87, n. 10, p. 883-890, 2006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421507001516?via%3Dihub. Acesso em: 31 out. 2024.

MACHADO, G. C; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. Revista Ceres. v. 53, n. 308, p. 463 - 470, 2006.

SILVA, A. F.; FLECK, E.; MELLO, M. I. S.; REIS, M. F. P. Reciclagem - óleos de fritura. Anais: Mostra de trabalhos / projetos dos técnicos de nível superior da prefeitura de Porto Alegre. Porto Alegre, 2007.

TAKASE, M. et al. Biodiesel production from waste cooking oil: A sustainable approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 47, p. 1-13, 2015.