

ANÁLISE COMPARATIVA DA PRODUÇÃO DE BODIESEL OBTIDO A PARTIR DE DIFERENTES OLEAGINOSAS

Anne Carmen ten Boom¹, Fernanda Hugo Figueiró¹, Edilaisa Januário de Melo², José Izaquiel Santos da Silva³

¹ Graduandas em Engenharia Química pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Diamantina-MG.
E-mail: actenboom@hotmail.com

² Doutoranda em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

³ Professor do Curso de Engenharia Química pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Diamantina-MG.

Recebido em: 15/08/2022 – Aprovado em: 15/09/2022 – Publicado em: 30/09/2022
DOI: 10.18677/EnciBio_2022C2

RESUMO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que a maior parte da população vive em regiões com a qualidade de ar imprópria. A combustão do diesel emite muitas partículas poluentes, prejudiciais à saúde e devido a isso, há a procura de combustíveis alternativos que gerem menos danos. O objetivo deste trabalho foi a comparação de biodieseis obtidos utilizando como matérias-primas óleos refinados e brutos de oleaginosas. Foram produzidos em laboratório biodieseis de soja, girassol, canola, pequi, macaúba e babaçu através da transesterificação básica dos óleos. Para os óleos com alto índice de acidez, realizou-se um pré-tratamento por meio de esterificação ácida. Com isso, foi possível obter biodieseis dentro das normas brasileiras da Resolução ANP n° 45 a partir de óleo de soja, girassol, macaúba e babaçu. Já para o biodiesel de canola são necessários maiores estudos e para o óleo de pequi não foi possível obter uma boa conversão em biodiesel.

PALAVRAS-CHAVE: óleos brutos, óleos refinados; Transesterificação básica

COMPARATIVE ANALYSIS OF BODIESEL PRODUCTION FROM DIFFERENT OILSEEDS

ABSTRACT

The World Health Organization (WHO) estimates that most of the population lives in regions with poor air quality. Diesel combustion emits many polluting particles, harmful to health and because of this, there is a demand for alternative fuels that generate less damage. The aim of this work was the comparison of biodiesels obtained using using crude and refined oilseed oils. They are soybean, sunflower, canola, pequi, macauba and babassu through the basic transesterification of the oils. For oils with a high acidity index, a pre-treatment was carried out by acid esterification. It was possible to obtain biodiesel within the Brazilian norms of ANP Resolution No. 45 from soybean, sunflower, macauba and babassu oil. For canola biodiesel, further studies are needed and for pequi oil it was not possible to obtain a good conversion into biodiesel.

KEYWORDS: Basic transesterification, crude oils, refined oils

INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um grande problema atual e, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que 91% da população mundial vive sob condições de qualidade do ar inapropriadas. A produção e utilização de combustíveis fósseis é responsável pela emissão da maioria dos gases que causam degradação ambiental e prejuízos à saúde. A combustão do diesel é responsável pela emissão de centenas de compostos, sejam gases ou particulados, que fazem mal à saúde, podendo penetrar na corrente sanguínea e nos pulmões e até mesmo causar câncer. Além disso, estima-se que, entre 2007 até 2030, a emissão do gás carbônico aumente em 80%. Com isso, acredita-se que o uso de combustíveis alternativos possa diminuir os impactos ambientais e à saúde causados pelos veículos a diesel e pelos combustíveis fósseis (SINGH *et al.*, 2019; MAHLIA *et al.*, 2020; AGHBASHLO;LAM, 2021; REZENDE *et al.*, 2021).

Atualmente, 80% da energia global é baseada em combustíveis fósseis, ou seja, de fontes não-renováveis (AGHBASHLO;LAM, 2021). Além do mais, o custo do petróleo e outros combustíveis fósseis têm aumentado, assim como as reservas de petróleo tem diminuído. Com isso, há o aumento da preocupação com a segurança energética, o que acarretou no aumento da procura por combustíveis alternativos, sendo um dos tipos os provenientes da biomassa (SOUZA *et al.*, 2020; MAMEDE *et al.*, 2020; CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020).

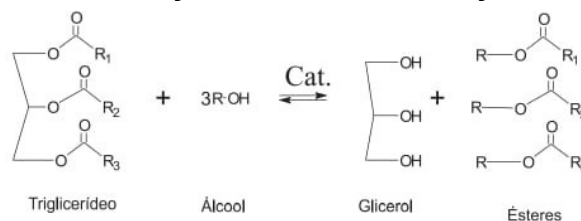
O biodiesel é definido como um conjunto de alquilésteres de ácidos graxos, sendo originado de óleos vegetais, gorduras animais e algas (THANGARAJ *et al.*, 2018; MAHLIA *et al.*, 2020; REZENDE *et al.*, 2021). Ele é um biocombustível que tem como objetivo reduzir o uso de combustíveis fósseis como o diesel, podendo ser adicionado na mistura do diesel ou como combustível alternativo, já possuindo papel importante na matriz energética de muitos países, incluindo diversos países do G20, como França, Reino Unido, Itália, Alemanha, Estados Unidos, entre outros (VIEIRA *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2019; CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; REZENDE *et al.*, 2021; ZULQARNAIN *et al.*, 2021; FAZAL *et al.*, 2022).

O biodiesel apresenta como vantagens em relação aos combustíveis fósseis: biodegradabilidade, sustentabilidade, renovabilidade, não inflamabilidade e a não toxicidade, podendo ser usado em motores de combustão do tipo diesel sem nenhuma modificação. Além disso, ele diminui a emissão de gases poluentes, uma vez que os compostos aromáticos, nitrogenados e sulfurados estão presentes em quantidades ínfimas e a presença de oxigênio faz com que esse combustível tenha a queima mais eficiente e mais limpa, com cerca de 90% a menos de hidrocarbonetos (SILVA *et al.*, 2018; THANGARAJ *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2019; CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; MAHLIA *et al.*, 2020; MAMEDE *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2020; REZENDE *et al.*, 2021). Além do mais, suas propriedades lubrificantes são melhores do que as do diesel, o que favorece a maior durabilidade do motor. Outra vantagem, é o fato de o ponto de fulgor ser maior, além de apresentar menor risco de transporte, armazenagem e manuseio mais seguros do que o diesel (MAHLIA *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; ZULQARNAIN *et al.*, 2021).

No Brasil, em 2005, foi implementada a Lei 11097/2005 que estabelece a obrigatoriedade da utilização de biodiesel na matriz energética do País a partir de 2008, sendo que, no ano de 2022, a quantidade de biodiesel adicionada ao diesel deve ser de 14% a 15% V/V (volume/volume) e determina que essa quantidade seja de 15% em 2023 (ANP, 2021).

O biodiesel pode ser obtido por meio de diversos métodos. O mais empregado é a transesterificação, que tem por objetivo diminuir a viscosidade do óleo, sendo um método simples, barato e mais efetivo. Nesse método, os triglicerídeos presentes na matéria-prima reagem com um álcool produzindo ésteres e glicerol, de acordo com a reação mostrada na reação da Figura 1 (RAMOS *et al.*, 2011; CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; MAHLIA *et al.*, 2020; MAMEDE *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; REZENDE *et al.*, 2021).

FIGURA 1. Reação de transesterificação



Fonte: Lima *et al.*, 2007b

Diversos álcoois podem ser utilizados, mas os mais comuns são o metanol e etanol, que possuem cadeias curtas. Usualmente, o álcool é utilizado em excesso, com o intuito de deslocar o equilíbrio da reação para produção de biodiesel, sendo que para o metanol, normalmente utiliza-se uma razão molar álcool:óleo de 6:1 (CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; MAMEDE *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; ZULQARNAIN *et al.*, 2021).

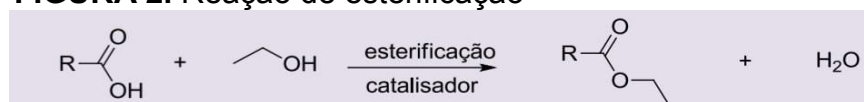
Para melhorar a eficiência da reação podem ser utilizados catalisadores, que podem ser bases, ácidos, enzimas ou catalisadores heterogêneos. A catálise básica é a mais comum de ser usada por ser a mais simples, a mais barata, muito disponível e ter alto rendimento de transesterificação (geralmente cerca de 4000 vezes maior do que catalisadores ácidos) mesmo a temperaturas mais baixas e em pouco tempo de reação. Os catalisadores básicos mais utilizados na indústria são o hidróxido de sódio e hidróxido de potássio, visto que possuem baixo custo e grande disponibilidade (CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; FATTAH *et al.*, 2020; MAMEDE *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; MOHIDDIN *et al.*, 2021; REZENDE *et al.*, 2021; ZULQARNAIN *et al.*, 2021).

No entanto, a presença de ácidos graxos livres e água pode acarretar na reação de saponificação, que prejudica a produção de biodiesel, diminuindo o rendimento da reação, assim como afeta sua qualidade final, aumentando a viscosidade do biodiesel (THANGARAJ *et al.*, 2018; CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; FATTAH *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; ZULQARNAIN *et al.*, 2021). Além disso, a purificação do combustível pode ser prejudicada pela presença de ácidos graxos livres, pelo fato de que estes podem promover a emulsificação, dificultando a separação do glicerol e dos ésteres (THANGARAJ *et al.*, 2018; CHOZHAVENDHAN *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; REZENDE *et al.*, 2021). Matérias primas com teor de ácidos graxos acima de 1% (THANGARAJ *et al.*, 2018; ELGHARBAWY *et al.*, 2021), 2% (FATTAH *et al.*, 2020; REZENDE *et al.*, 2021) ou 2mg KOH/g (SANTOS *et al.*, 2017) não são indicadas para a transesterificação básica, uma vez que os ácidos graxos livres com as bases, geram uma reação de saponificação, formando sais e glicerol, o que consumiria o catalisador da transesterificação, interferindo no seu rendimento; além de promoverem uma emulsificação dificultando a separação o glicerol. Porém, é possível realizar um pré-tratamento para a diminuição do teor de ácidos graxos e posteriormente realizar a transesterificação (FATTAH *et al.*, 2020). Em alguns óleos,

como os da região Norte e Nordeste do Brasil, a acidez é uma característica natural, necessitando de um pré-tratamento (STASHIW *et al.*, 2016).

Um método para diminuir o teor de ácidos graxos é a realização de uma etapa de esterificação (Figura 2) do óleo antes da realização da transesterificação. Essa reação pode ser catalisada por ácidos, os mais comuns são o ácido sulfúrico, ácido hidroclorídrico, ácido fosfórico e ácido sulfônico (THANGARAJ *et al.*, 2018; FATTAH *et al.*, 2020; ELGHARBAWY *et al.*, 2021; MOHIDDIN *et al.*, 2021).

FIGURA 2. Reação de esterificação



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

O biodiesel pode ser obtido de diversas matérias primas que sejam fontes de lipídeos. Os óleos vegetais são compostos por cerca de 95% de triglicerídeos, pequenas quantidades de diglicerídeos e monoglicerídeos, além de pequenas quantidades de não glicerídeos (em óleos brutos menos de 5% e em refinados menos de 2%), como fosfatídeos; ceras; hidrocarbonetos insolúveis; entre outros (REDA, CARNEIRO, 2007).

A produção de biodiesel não deve ser dependente de uma única matéria-prima vegetal, uma vez que a produção de óleo da safra pode variar, já que a plantação pode sofrer estresse causado pelo ambiente ou seres vivos, o que torna a produção imprevisível (REZENDE *et al.*, 2021). A soja corresponde a 80% da produção total de óleo vegetal no Brasil, mas ela apresenta um rendimento baixo, comparando com outras oleaginosas, o que faz necessário a procura de outras espécies que tenham um maior potencial de extração (FAVARO *et al.*, 2018).

Além do mais, as diferentes regiões possuem diferentes matérias primas, por exemplo o pequi é um fruto típico das regiões de Campo, Cerrado e Cerradão, a macaúba é típica do Cerrado, mas pode se adaptar em regiões subtropicais e semiáridas brasileiras, já o babaçu é típico da região do Cerrado. Assim como o cultivo de cada espécie depende das condições climáticas, topográficas e do solo, características que variam de acordo com a região. Então, para que o custo de produção seja mais baixo, a escolha de qual safra será utilizada deve levar em conta sua facilidade de obtenção e as características locais (LIMA *et al.*, 2007b; Santos *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; MAHLIA *et al.*, 2020; ZULQARNAIN *et al.*, 2021). A Tabela 1 mostra informações relacionadas a composição e a produtividade de extração dos óleos das oleaginosas soja, girassol, canola, pequi, babaçu e macaúba.

TABELA 1. Informações das matérias primas de interesse

Matérias-primas	Composição de ácidos graxos	Produtividade da extração do óleo (kg/ha)	Autores
Soja	85% ácidos insaturados (54% ácidos linoleicos) 15% ácidos saturados	500	Reda e Carneiro, 2007; FAVARO <i>et al.</i> , 2018
Girassol	9% ácidos linolênicos 11% ácidos saturados	-	Reda e Carneiro, 2007; Santos <i>et al.</i> , 2021

Canola	94% ácidos insaturados (26% ácidos linoleicos e 10% ácidos linolênicos) 6% ácidos saturados	-	Reda e Carneiro, 2007; Santos <i>et al.</i> , 2021
Pequi	-Polpa: 61,35% ácidos insaturados (55,87% ácidos oleicos 35,17% ácidos palmíticos) 37,97% ácidos insaturados -Amêndoa: 52,48% ácidos insaturados (43,76% ácidos oleicos 43,56% ácidos palmíticos) 47,17% ácidos saturados	-	Lima <i>et al.</i> , 2007a
Babaçu	84% ácidos insaturados (44% a 48% ácido láurico) 16% ácidos saturados	960	Lima <i>et al.</i> , 2007b; Tebas <i>et al.</i> , 2020
Macaúba	69,7% Ácidos saturados (40,8% ácido láurico) 30,3% ácidos insaturados (26,9% ácido oleico)	6000	Silva <i>et al.</i> , 2018; Magalhães <i>et al.</i> , 2020

Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso, o estudo sobre a produção de biodiesel a partir de matérias de baixo valor agregado promoveria uma diminuição do custo final da produção desse combustível (VIEIRA *et al.*, 2018). Ademais, as oleaginosas podem ser utilizadas na agricultura familiar como uma alternativa da consolidação das energias renováveis, pelo motivo de auxiliar as comunidades carentes. Assim como, a utilização do biodiesel pode trazer independência energética à população (STACHIW *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2020; MAHLIA *et al.*, 2020). Desse modo, é importante o estudo sobre a produção de biodiesel a partir de diferentes matérias-primas.

Os objetivos deste presente trabalho foram: comparar resultados obtidos de biodieseis produzidos a partir de diferentes óleos provindos de diferentes oleaginosas em laboratório, como soja, girassol, canola, babaçu, macaúba e pequi, diferenciando-os como oriundos de óleos refinados e brutos, e, além disso, avaliar se suas propriedades, como viscosidade cinemática, massa específica e índice de acidez estão de acordo com as normativas vigentes.

MATERIAL E MÉTODOS

A seleção dos óleos a serem usados nesse artigo é baseada na diferença de tratamento do óleo. Foram escolhidos óleos de soja (marca Liza), girassol (marca Sinhá) e canola (marca Purilev) como sendo os óleos refinados. Já os óleos brutos, que foram obtidos em *e-commerces*, são os de pequi, babaçu e macaúba.

As equações a seguir foram utilizadas para os cálculos das propriedades. A Equação 1 mostra o cálculo do teste de acidez, onde V é o volume da solução de NaOH gasto na titulação em L, f é o fator de correção de NaOH (obtido na padronização da solução), 5,61 é referente à multiplicação da concentração teórica da solução de NaOH utilizada na titulação pela massa molar do KOH (56,1 g/mol), P é a massa em g da amostra de óleo ou biodiesel utilizada.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V * f * 5,61}{P} \quad (1)$$

Além disso, a Equação 2 mostra o cálculo da massa específica.

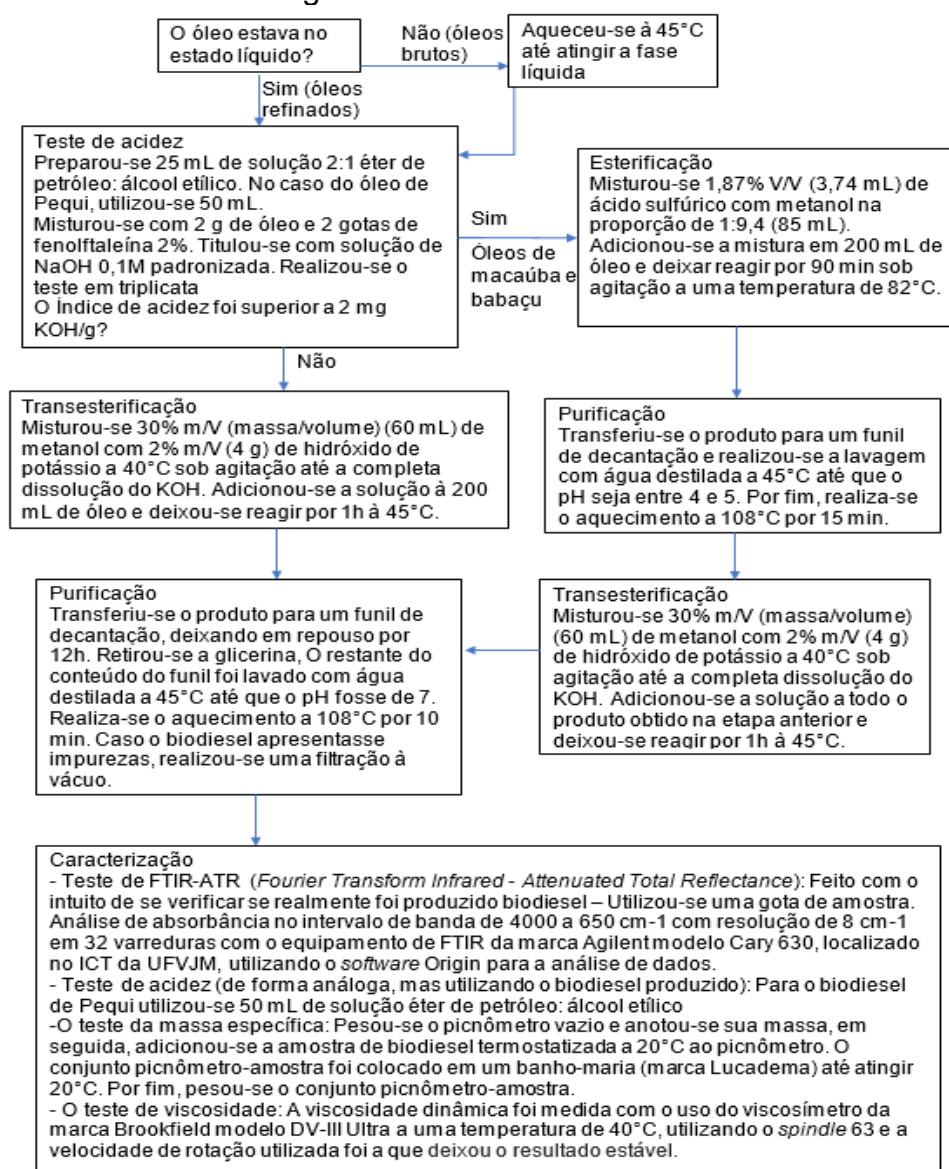
$$\text{Massa específica} = \frac{\text{Massa}_{\text{Picnômetro+amostra}}(g) - \text{Massa}_{\text{Picnômetro vazio}}(g)}{\text{Volume}_{\text{Picnômetro}}(mL)} \quad (2)$$

Como o viscosímetro representou a viscosidade dinâmica e a normativa utilizada avalia os resultados através da viscosidade cinemática, então é necessário obtê-la pela Equação 3.

$$V_{\text{cinemática}} = \frac{V_{\text{dinâmica}}}{\text{Densidade}} \quad (3)$$

A Figura 3 mostra o procedimento realizado neste trabalho. O pré-tratamento, síntese e purificação foram realizados com base no trabalho de Silveira (2014).

FIGURA 3. Metodologia



Fonte: Autoria própria (2022)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os índices de acidez dos óleos analisados. É notável que os óleos de babaçu e macaúba apresentaram um índice de acidez muito superior a 2mg KOH/g, o que justificou a adição de uma etapa de esterificação anterior à transesterificação básica. Apesar do óleo de pequi apresentar acidez elevada em relação aos óleos refinados, ainda está abaixo do limite indicado para a realização da transesterificação básica, o que tornou justificável a realização de uma transesterificação sem tratamento prévio da acidez.

TABELA 2. Resultado do Índice de Acidez dos óleos

Óleo	Índice de acidez (mg KOH/g)
Soja	0,39
Girassol	0,51
Canola	0,63
Babaçu	6,18
Macaúba	10,91
Pequi	1,88

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 3 mostra valores encontrados na literatura para o índice de acidez dos óleos analisados. Para o óleo de pequi, é observado que o valor apresentado neste trabalho se aproxima dos estudos, sendo que em todos os casos esse valor se encontra próximo de 2mgKOH/g. Já para o óleo de babaçu, o valor apresentado neste artigo é muito superior aos estudos, o que informa que o teor de ácidos graxos é muito superior, em relação a Lima *et al.* (2007b) essa discrepância é esperada, uma vez que utilizaram um óleo refinado, que possui um limite máximo de acidez, para análises. É importante notar que, embora o índice de acidez para o óleo de macaúba deste trabalho seja muito superior ao limite de 2mgKOH/g, ainda é menor que o do estudo de Vieira *et al.* (2018), sendo afirmativa a presença menor de ácidos graxos livres, ainda que bem elevada. Ressalta-se que em todos os casos o índice de acidez foi mais elevado do que o permitido para a realização da transesterificação básica.

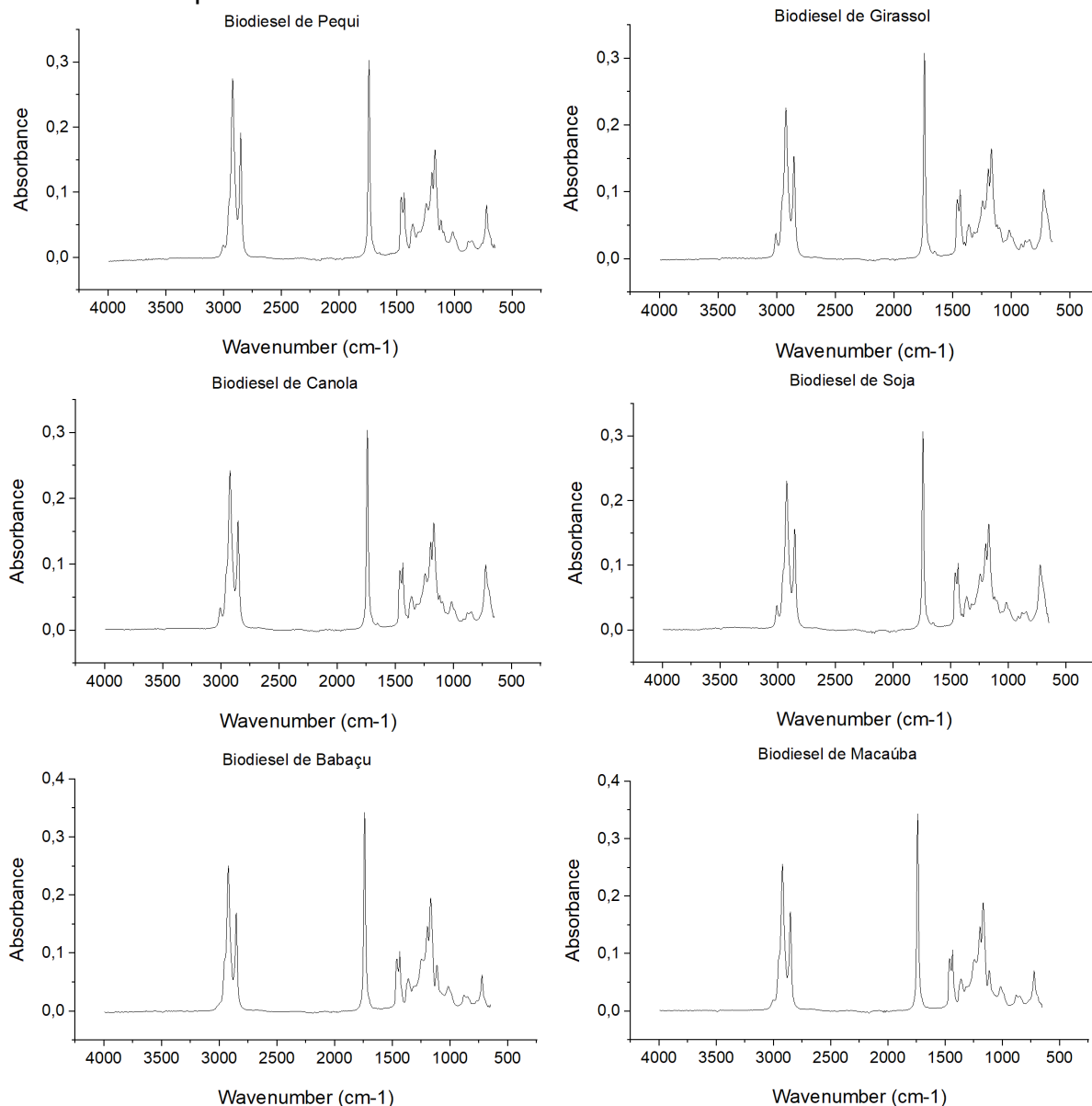
TABELA 3. Índice de acidez (mg KOH/g) encontrados na literatura para os óleos

Óleo	Lima <i>et al.</i> (2007b)	Silva <i>et al.</i> (2014)	Santos <i>et al.</i> (2017)	Batista <i>et al.</i> (2018)	Vieira <i>et al.</i> (2018)
Babaçu	0,505 (refinado)	-	-	-	1,4
Macaúba	-	-	-	4,05	67,5
Pequi	-	2,2	1,7	-	1,95

Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 4 mostra os resultados obtidos na análise de FTIR dos biodieseis produzidos, sendo os resultados analisados com base em Siatis *et al.* (2006) e Mahamuni e Adewuyi (2009). É possível perceber que em todos os biodieseis estão presentes os picos nas faixas de 1425-1447 cm^{-1} (grupo CH_3), 1188-1200 cm^{-1} (grupo O-CH_3), que são característicos do biodiesel. Já para o pico na faixa de 1370 a 1400 cm^{-1} (grupo -O-CH_2 , porção de glicerol dos glicerídeos), todos os biodieseis apresentaram esse pico, porém na maioria dos biodieseis, exceto de soja e girassol, esse pico apresentou uma baixa absorbância.

FIGURA 4. Espectros do FTIR dos biodieseis



Fonte: Autoria própria (2022)

Os picos 1075-1111 cm^{-1} , representados pelo grupo funcional $\text{O-CH}_2\text{-C}$ característicos do óleo vegetal e 1170 cm^{-1} (grupos C-O-C e C-C , que estão presentes no óleo e no biodiesel) estão também presentes em todos os biodieseis, porém notou-se que houve deslocamento, menor que 5% em relação aos intervalos de referência, no biodiesel de macaúba e de babaçu. Tal fato pode ser explicado pela possibilidade de possuir alguma impureza no biodiesel, oriunda do óleo de

origem, que pode ter interferido na análise, visto que em ambos os casos foi utilizado o óleo bruto na síntese.

Percebeu-se que todos os biodieseis possuem os picos característicos do biodiesel, portanto o produto obtido na reação de transesterificação foi o biodiesel. Percebeu-se, também, que alguns picos referentes aos triglicerídeos também estão presentes, o que indica que a conversão não foi de 100%.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para os testes de qualidade do biodiesel e também os limites permitidos pela Resolução da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP, nº 45 de 2014 (LEGISLAWEB, 2014).

TABELA 4. Propriedades dos biodieseis

Biodiesel	Índice de acidez (mgKOH/g)	Massa específica (g/cm ³)	Viscosidade cinemática (mm ² /s)
Referência ANP	0,50	0,850 a 0,900	3,00 a 6,00
Soja	0,30	0,890	5,39
Girassol	0,35	0,889	5,40
Canola	0,41	0,857	7,47
Babaçu	0,37	0,882	5,99
Macaúba	0,41	0,850	5,65
Pequi	0,50	0,846	7,56

Fonte: Autoria própria (2022)

Como a legislação afirma que o índice de acidez máximo aceitável é de 0,50mgKOH/g, pode-se verificar na Tabela 4, que todos os biodieseis produzidos estão dentro do limite permitido. O biodiesel de pequi apresentou acidez igual ao limite superior, tal fato pode ser explicado pela acidez do óleo de origem, que estava próxima do limite a ser considerado.

De acordo com a legislação, a massa específica deve estar entre 850 kg/m³ e 900kg/m³, desse modo notou-se que apenas o biodiesel de pequi ficou fora dos parâmetros, estando abaixo do limite inferior permitido (Tabela 4). Isso ocorreu pelo fato de que os ácidos graxos predominantes no óleo de pequi serem ácidos graxos insaturados, o que acarretou na redução da densidade. É sabido que quanto maior o grau de insaturação das cadeias carbônicas, menor será o empacotamento entre as moléculas, pelo fato de que as interações intermoleculares serão mais fracas, consequentemente menor será a densidade (LÔBO, FERREIRA, 2009; VIEIRA *et al.*, 2018). Embora o biodiesel de macaúba esteja dentro dos limites, sua densidade está no limite inferior, sendo a segunda mais baixa. Isso se justifica pelo fato dos ácidos graxos de cadeia curta serem predominantes do óleo de macaúba. Silva *et al.* (2018) encontraram para o biodiesel obtido a partir do óleo da amêndoa da macaúba uma porcentagem de 65,38% de ácidos graxos com menos de 14 carbonos, o que provoca a queda na massa específica (LÔBO, FERREIRA, 2009; VIEIRA *et al.*, 2018).

A legislação estipula que a viscosidade cinemática deve estar entre 3 mm²/s e 6mm²/s, desse modo, como mostrado na Tabela 4, apenas os biodieseis de canola e pequi estão fora dos limites, estando mais viscosos do que o permitido. Para o caso do biodiesel de pequi, isso ocorreu uma vez que ele apresentou uma baixa conversão em éster. Sabe-se que a reação de transesterificação tem o efeito de diminuir a viscosidade, e como essa reação não teve um bom rendimento, a viscosidade permaneceu alta. Em relação ao biodiesel de canola, a alta viscosidade pode ser causada por fatores como baixa conversão. Desse modo, é necessária a realização de testes mais precisos para se obter uma conclusão satisfatória. O biodiesel de babaçu apresentou a viscosidade próxima do limite superior, então deve-se ter uma precaução quando comparado com os biodieseis de soja e girassol.

A Tabela 5 mostra valores para as propriedades encontrados na literatura para os biodieseis analisados. Nota-se que para a soja que a viscosidade cinemática e a massa específica foram superiores neste presente trabalho, porém o índice de acidez foi inferior. Para o biodiesel de girassol os valores de viscosidade cinemática e de massa específica encontrados pelo presente trabalho foram superiores aos da literatura. Já o biodiesel de canola apresentou uma viscosidade cinemática superior e uma massa específica inferior, embora ainda dentro dos padrões. Em todos os casos, o aumento da viscosidade pode ser explicado pela uma menor conversão durante a reação de transesterificação.

TABELA 5. Comparações com outros autores

Autores	Método de produção	Índice de acidez (mg KOH/g)	Densidade (g/cm ³)	Viscosidade cinemática (mm ² /s)
Lima <i>et al.</i> (2007b)	Esterificação ácida, onde utilizou-se 2,5g do óleo, 2 g de metanol e 0,2mL de ácido sulfúrico	Biodiesel de babaçu: 0,224	Biodiesel de babaçu: 0,880	Biodiesel de babaçu: 4,0
Ferrari e Azevedo Filho (2012)	Transesterificação a 45°C por 30min utilizando uma proporção molar de etanol:óleo de 13,3:1 e uma concentração de CH ₃ ONa de 4,42%.	Biodiesel de macaúba: 0,28	Biodiesel de macaúba: 0,8737	-
Silva <i>et al.</i> (2014)	Transesterificação básica utilizando a proporção molar de 6:1 metanol:óleo, concentração de NaOH de 1% w/w, 100 g de óleo, por 40 min a 40°C	Biodiesel de pequi: 0,47	Biodiesel de pequi: 0,86969	Biodiesel de pequi: 4,27
Batista <i>et al.</i> (2018)	Transesterificação utilizando uma proporção mássica de óleo:NaOH de 100:1 e de óleo:metanol de 5:1	Biodiesel de macaúba: 0,25	Biodiesel de macaúba: 0,871	Biodiesel de macaúba: 4,8
Efe <i>et al.</i> (2018)	Transesterificação utilizando metanol e NaOH a uma temperatura de 56°C por 1	-	Biodiesel de soja: 0,8677 Biodiesel de	Biodiesel de soja: 4,25 Biodiesel de

	hora		girassol: 0,8680 Biodiesel de canola: 0,8654	girassol: 4,22 Biodiesel de canola: 4,43
Nascimento <i>et al.</i> (2018)	Transesterificação com CH ₃ OK durante 1 hora a 60°C	Biodiesel de soja: 0,26	-	-
Vieira <i>et al.</i> (2018)	Esterificação ácida	Biodiesel de pequi: 0,28 Biodiesel de babaçu: 0,46	-	-

Fonte: Autoria própria (2022)

Para o biodiesel de babaçu, observando os dois estudos, o índice de acidez deste presente trabalho apresentou um valor que, apesar de estar entre os dois trabalhos, está distante, o que ocorreu graças aos diferentes métodos utilizados. Em relação à massa específica e viscosidade cinemática, a massa específica do babaçu em relação ao Lima *et al.* (2007b), é bem próxima, contudo, a viscosidade cinemática é muito superior comparando com esse estudo, o que pode estar associado a uma menor conversão de éster ou ao fato da referência ter utilizado um óleo já refinado. Ressalta-se que Silva *et al.* (2014) conseguiram adquirir um biodiesel de pequi dentro das normas utilizando uma esterificação ácida.

Com base nos testes realizados, percebeu-se que é possível produzir biodiesel a partir do óleo de soja e de girassol apenas com a realização da reação de transesterificação, já para o óleo de canola, seria necessária uma correção da viscosidade e estudos mais precisos para a determinação dessa propriedade, porém a transesterificação foi capaz de produzir um biodiesel com massa específica e índice de acidez adequados. Para o óleo de pequi, apenas a realização da reação de transesterificação não é adequada para a obtenção de biodiesel, uma vez que apresentou baixa conversão e o biodiesel obtido não está dentro das normas de qualidade. Como o óleo de pequi apresentou um índice de acidez de 1,88mgKOH/g, sugere-se a realização de uma etapa de esterificação para diminuir a acidez. Vieira *et al.* (2018) obteve índice de acidez menor que 0,5mgKOH/g para o óleo de pequi através da esterificação ácida), o que pode favorecer a reação de transesterificação. Já para os casos dos óleos de macaúba e babaçu, a realização da esterificação seguida da transesterificação produziu um biodiesel dentro das normas.

Foi possível perceber que os óleos brutos, que são matérias primas de baixo valor agregado, por possuírem maior teor de ácidos graxos livres, necessitam de uma etapa de pré-tratamento antes da transesterificação, ou seja, possuem maior número de etapas produtivas do que os óleos refinados. Nota-se a importância da comparação entre a produção de biodiesel a partir de matérias primas brutas e refinadas de alto e baixo valor agregado, algo que não é muito encontrado na literatura. Além disso, esse trabalho mostra que é viável a produção de biodiesel a partir de alguns óleos com alto teor de ácidos graxos livres através de métodos simples e relativamente baratos, o que favorece a diversificação da matriz para produção de biodiesel.

CONCLUSÕES

É possível observar que o estudo sobre a produção de biodiesel a partir de diferentes matérias primas é importante. Não seria possível tornar o biodiesel amplamente utilizado caso a produção seja baseada apenas na soja, uma vez que o cultivo não seria capaz de atender à crescente demanda, além do fato do rendimento da plantação de soja em óleo ser baixo em compara o com as outras oleaginosas estudadas nesse artigo. A produ o do biodiesel a partir da transesterifica o básica sem pré-tratamento apresentou bons resultados para o óleo de soja e de girassol, porém para o óleo de canola seria necessário a realiza o de testes mais precisos ou a realiza o de ajustes no processo com o intuito de corrigir a viscosidade. Para o óleo de pequi, a transesterifica o básica sem um pré-tratamento não se mostrou adequada, apresentando uma baixa conversão de glicerídeos em ésteres e produzindo um biodiesel fora dos padrões. Para esse caso, pelo fato desse óleo apresentar um valor próximo da acidez máxima e distante em rela o aos óleos refinados, a realiza o de uma esterifica o prévia poderia melhorar o desempenho da rea o, sendo necessária a realiza o de estudos e testes para analisar a eficiência dessa possibilidade. Ademais, os óleos de macaúba e babaçu apresentaram bons resultados em rela o   produ o de biodiesel, sendo que as rea o de esterifica o seguidas das transesterifica o básicas produziram biodieseis dentro das normas para as propriedades analisadas, portanto o pré-tratamento foi benéfico.

REFERÊNCIAS

AGHBASHLO, M.; LAM, S. S. Machine learning technology in biodiesel research: A review. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 85, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100904>>. doi: 10.1016/j.pecs.2021.100904.

ANP. **Nota técnica conjunta n  10/2021/ANP**. Assunto: Proposta de novo modelo de comercializa o de biodiesel. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/ntconj2021.pdf>>. Acesso em: 16 de ago. de 2022.

BATISTA, C. E. D., FABRISA, J. D., CAVALCANTE, L. C. D., FERRAZ, V. P., ANDRADE JUNIOR, B. C. *et al.* Monitoramento da composi o em ésteres do biodiesel do óleo de amêndoa da macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) em contato direto com o a o carbono e o a o carbono galvanizado. **Química Nova**, v. 42, n. 4, p. 387-396, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170356>>. doi:10.21577/0100-4042.20170356.

CHOZHAVENDHAN, S., SINGH, M. B. P., FRANSILA, B., KUMAR, R. P., DEVI, G. K. A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 1-2, p. 1-6, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.04.002>>. doi: 10.1016/j.crgsc.2020.04.002.

EFE,  ., CEVIZ, M. A., & TEMUR, H. Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sunflower oils on DI diesel engine. **Renewable Energy**, v. 119, p. 142-151, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.011>>. doi:10.1016/j.renene.2017.12.011.

ELGHARBAWY, A. SADIK, A. H., SADEK, O. M., KASABY, M. A. A review on biodiesel feedstocks and production technologies. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 66, n.1, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072021000105098>>. doi: 10.4067/S0717-97072021000105098.

FAVARO, S. P. ; CARDOSO, A. N.; SCHULTZ, E. L.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; LEAL, W. G. de O. *et al.* **Armazenamento e processamento da macaúba: Contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa.** Embrapa, 6, 40, 2018.

FATTAH, I. M. R., ONG, H. C., MAHLIA, T. M. I., MOFIJUR, M., SILITONGA, A. S. *et al.* State of the Art of Catalysts for Biodiesel Production. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, n. 101, 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00101>>. doi: 10.3389/fenrg.2020.00101.

FERRARI, R. M., AZEVEDO FILHO, J. A. Macauba as promising substrate for crude oil and biodiesel production. **Journal of Agricultural Science and Technology**, p. 1119-1126, 2012. Disponível em: <<http://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/55d3e291c2e8f.pdf>>. doi: 10.17265/2161-6264/2012.10B.008.

LEGISLAWEB. **Resolução ANP Nº 45 DE 25/08/2014.** Legislaweb, 2014. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>>.

LIMA, A., SILVA, A. M. O., TRINDADE, R. A., TORRES, R. P., MANCINI-FILHO, J.. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 29, n. 3, p.695-698, 2007a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000300052>>. doi: 10.1590/S0100-29452007000300052.

LIMA J. R. O., SILVA, R. B., SILVA, C. C. M., SANTOS, L. S. S., SANTOS JUNIOR R. S. *et al.* Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 600-603, 2007b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300019>>. doi: 10.1590/S0100-40422007000300019.

MAGALHÃES, K. T., TAVARES, T. S., NUNES, C. A. The chemical, thermal and textural characterization of fractions from Macauba kernel oil. **Food Research International**, v. 130, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108925>>. doi:10.1016/j.foodres.2019.108925.

MAHAMUNI, N. N.; ADEWUYI, Y. G. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Method To Monitor Soy Biodiesel and Soybean Oil in Transesterification Reactions, Petrodiesel-Biodiesel Blends, and Blend Adulteration with Soy Oil. **Energy & Fuels**, v. 23, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ef900130m>>. doi: 10.1021/ef900130m.

MAHLIA, T.M.I., SYAZMI, Z. A. H. S., MOFIJUR, M., PG ABAS, A. E., BILAD, M. R. *et al.* Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 118, 2020. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119307348>>. doi: 10.1016/j.rser.2019.109526.

MAMEDE, A. A. S., LOPES, A. A. S., MARQUES, R. B., MALVEIRA, J. Q., RIOS, M. A. S.. Soybean and babassu biodiesel production: a laboratory scale study and an exergy analysis approach. **Matéria**, v.25, n.4, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1150>>. doi: 10.1590/S1517-707620200004.1150.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de produção de biodiesel. **Revista Virtual Química**, v. 3, n. 5 p. 385-405, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20110043>>. doi: 10.5935/1984-6835.20110043

REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, v. 27, p. 60-67, 2007. Disponível em: <<https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariadealimentos/disciplinas/files/2008/04/art07.pdf>>.

REZENDE, M. J. C., LIMA, A.L., SILVA, B.V., MOTA, C. J. A., TORRES, E. A. *et al.* Biodiesel: An Overview II. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 7, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210046>>. doi: 10.21577/0103-5053.20210046.

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. Disponível em: <<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0008>>. doi: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0008.

SANTOS, R. C. M., GURGEL, P. C., LOPES, R. V. V., SALES, M. J. Avaliação Cinética do Biodiesel obtido a Partir do óleo de Pequi. **Acta Mechanica Et Mobilitatem**, v. 2, n. 2, 2017. Disponível: <<https://www.amm.demec.ufmg.br/index.php?journal=revista&page=article&op=view&path%5B%5D=31&path%5B%5D=33>>.

SIATIS, N. G.; KIMBARIS, A. C.; PAPPAS, C. S.; TARANTILIS, P. A.; POLISSIOU, M. G. Improvement of Biodiesel Production Based on the Application of Ultrasound: Monitoring of the Procedure by FTIR Spectroscopy. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 83, n. 1, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11746-006-1175-1>>. doi: 10.1007/s11746-006-1175-1.

SILVA, W. L. G., SALOMÃO, A. A., SOUZA, P. T. ANSOLIN, M., TUBINO, M. Binary Blends of Biodiesel from Macauba (*Acromia aculeata*) Kernel Oil with Other Biodiesels. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 2, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170134>>. doi: 10.21577/0103-5053.20170134.

SILVA, T. A., ASSUNÇÃO, R. M. N., VIEIRA, A. T., OLIVEIRA, M. F., BATISTA, A. C. F.. Methylic and ethylic biodiesels from pequi oil (*Caryocar brasiliense Camb.*):

Production and thermogravimetric studies. **Fuel**, v.136, p. 10-18, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.07.035>>. doi: 10.1016/j.fuel.2014.07.035.

SILVEIRA, S. D. Produção de biodiesel de óleo de macaúba (*Acrocomia aculeata*) via esterificação seguida de transesterificação metílica com catalisador básico. 2014, 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SINGH, D. *et al.* A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. **Fuel**, v. 262, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236119319076>>. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116553.

SOUZA, M. G. S.; GUIMARÃES, M. G.; MACEDO, J. L.; RODRIGUES, J. P.; GHESTI, G. F. Caracterização e Utilização de Óleo Residual de Pequi (*Caryocar brasiliense*) na Produção de Biocombustíveis Líquidos. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 5, n. 2, p. 41–49, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/28222>>. doi: 10.26512/ripe.v5i2.28222.

STACHIW, R., RIBEIRO, S. B., JARDIM, M. A. G., POSSIMOSER, D., ALVES, W. C. *et al.* Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 81 - 90, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4392201501151>>. doi: 10.1590/1809-4392201501151.

TEBAS, S. O. G., BARAÑANO, A. G., PINHEIRO, P. F., LACERDA V. Mild conditions in the transesterification reaction of babassu oil and purified fusel oil. **Chemical Engineering Communications**, v. 208, n. 3, 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00986445.2019.1710495>> DOI: 10.1080/00986445.2019.1710495.

THANGARAJ, B., SOLOMON, P. R., MUNIYANDI, B., RANGANATHAN, S., LIN, L. Catalysis in biodiesel production—a review. **Clean Energy**, v. 3, n. 1, p. 2–23, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ce/zky020>>. doi: 10.1093/ce/zky020.

VIEIRA, J. S. C., SOUSA, T. L., ROSAS, L. S., LIMA, A. L., RONCONI, C. M. *et al.* Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais contendo alto teor de ácidos graxos livres. **Química Nova**, v. 41, n. 1, p. 10-16, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170148>>. doi: 10.21577/0100-4042.20170148.

ZULQARNAIN, AYOUB, M., YUSOFF, M. H. M., NAZIR, M. H. ZAHID, I. *et al.* A Comprehensive Review on Oil Extraction and Biodiesel Production Technologies. **Sustainability**, v. 13, n. 788, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su13020788>>. doi: 10.3390/su13020788.