

# Análise comparativa do biodiesel produzido a partir de óleo de algodão não refinado e refinado via rotas metílica e etílica

Silva, Fabio Sousa Guedes  
Santos, Heurilen Reis dos  
Carvalho, Jucélio de Oliveira  
Silveira, Luis Ricardo Nascimento da  
Palmer, Tiago Motta  
Bortoleto, Gisele Gonçalves

## Resumo

O biodiesel é um biocombustível, advindo de óleos vegetais e gordura animal. Sendo obtido através de óleos renováveis, torna-se uma alternativa aos derivados de petróleo, representando uma importante fonte energética para o Brasil. Deste modo, no presente estudo foi avaliado o processo de produção de biodiesel metílico e etílico de algodão, realizando um comparativo entre seu óleo não refinado e refinado como matéria-prima. Realizou-se análise das duas matérias-primas com relação à densidade, viscosidade, potencial hidrogeniônico (pH), índice de acidez, umidade e índice de saponificação, bem como, com exceção da umidade, dos biodieseis gerados após a reação de transesterificação. Por fim, avaliou-se o teor de metanol residual nos biodieseis, o rendimento percentual da produção e teor de ésteres, para comprovar sua síntese. Foi possível obter biodiesel somente a partir da rota metílica. Não houve diferença significativa entre os biodieseis advindos do óleo de algodão refinado e não refinado para os parâmetros avaliados, sugerindo que a etapa de refino do óleo de algodão pode ser desnecessária para a produção de biodiesel.

**Palavras-chave:** biocombustíveis, fontes renováveis, análises físico-químicas.

## Abstract

Biodiesel is a biofuel, derived from vegetable oils and animal fat. Being obtained through renewable oils, it becomes an alternative to petroleum derivatives, representing an important energy source for Brazil. Thus, in the present study, the production process of methyl and ethyl biodiesel from cotton was evaluated, comparing its unrefined and refined oil as raw material. The two raw materials were analyzed for density, viscosity, hydrogenation potential (pH), acidity index, moisture content and saponification index, as well as, except for moisture, the biodiesel generated after the transesterification reaction. Finally, the residual methanol content in the biodiesels, the percentage yield of the production and the content of the esters, were evaluated to prove their synthesis. It was possible to obtain biodiesel only from the methyl route. There was no significant difference between the biodiesel obtained from refined and unrefined cotton oil for the parameters evaluated, suggesting that the refining stage of the cotton oil may be unnecessary for biodiesel production.

**Key Words:** biofuels, renewable sources, physicochemical analyzes.

## Resumen

El biodiesel es un biocombustible, proveniente de aceites vegetales y grasa animal. Siendo obtenido a través de aceites renovables, se convierte en una alternativa a los derivados del petróleo, representando una importante fuente energética para Brasil. De este modo, en el presente estudio se evaluó el proceso de producción de biodiésel metílico y etílico de algodón, realizando un comparativo entre su aceite no

refinado y no refinado como materia prima. Se realizó un análisis de las dos materias primas con relación a la densidad, viscosidad, potencial hidrogenico (pH), índice de acidez, humedad e índice de saponificación, así como, con excepción de la humedad, de los biodiesel generados después de la reacción de transesterificación. Por último, se evaluó el contenido de metanol residual en los biodiesel, el rendimiento porcentual de la producción y el contenido de ésteres, para comprobar su síntesis. Fue posible obtener biodiesel solamente a partir de la ruta metílica. No hubo diferencia significativa entre los biodiesel provenientes del aceite de algodón refinado y no refinado para los parámetros evaluados, sugiriendo que la etapa de refinación del aceite de algodón puede ser innecesaria para la producción de biodiesel.

**Palabras-clave:** biocombustibles, fuentes renovables, análisis físico-químicos.

## INTRODUÇÃO

Segundo Biodieselbr (2006a): “O biodiesel é um combustível para ser utilizado nos carros ou caminhões com motores diesel, feito a partir das plantas (óleos vegetais) ou de animais (gordura animal)”. Este tem como objetivo de substituir os combustíveis de origem fóssil. Desta maneira, os óleos vegetais são extraídos principalmente de oleaginosas e gorduras animais, como algodão, pinhão-manso, soja, dendê, babaçu, canola etc.

De acordo com a Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005, biocombustível é combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 2005).

Atualmente, no Brasil, são cultivados mais de 1.519 mil hectares de algodão. Por ser uma importante cultura para o agronegócio brasileiro, esta cultura se caracteriza pela alta produtividade que vem aumentando no Brasil a cada ano (ABRAPA, 2019). Com produção de 2.664 toneladas de pluma na safra 2018/19 (ABRAPA, 2019), o Brasil é o 5º maior produtor de algodão do mundo (AMIPA, 2019).

No território brasileiro, a planta é a segunda maior cultura oleaginosa plantada, porém o cultivo do algodão tem como principal objetivo a fibra para a indústria têxtil. Desta planta, tem-se que entre 40% e 60% são formados pelo caroço, e enquanto a fibra é enviada para indústria, do caroço é extraído o óleo, que tem na produção de biodiesel um bom nicho de mercado, além do já tradicional farelo para a ração animal (BIODIESELBR, 2006b).

O biodiesel é equivalente ao diesel de petróleo em igualdade, pois possuem as mesmas propriedades, além do biodiesel apresentar algumas vantagens, como na sua queima por exemplo onde produzem menos gases durante a sua exaustão, possui um alto ponto de fulgor que permite um bom armazenamento e pode ser também um excelente lubrificante (ANPPAS, 2004).

Para tanto, este trabalho tem como principal intuito, avaliar comparativamente a viabilidade da produção de biodiesel utilizando-se o óleo de algodão não refinado e refinado, evidenciando as possibilidades de produção do biodiesel pela rota metílica ou etílica a partir dessas matérias-primas.

## REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### BIODIESEL

No final de 2004, governo federal brasileiro lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com finalidade inicial de incluir o biodiesel na matriz energética do país, de forma a promover inclusão social e desenvolvimento regional, sendo o principal resultado desse primeiro momento definir um arcabouço legal e regulatório. Atualmente, este biocombustível já se tornou realidade no Brasil, garantindo-o posição destacada em comparação ao resto do mundo, e fortalecendo, juntamente com o bioetanol, participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira e valorizando a imagem do país com relação à variedade de fontes energéticas (ANP, 2016).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP (2019), o biodiesel é um biocombustível, proveniente de fontes renováveis que pode ser gerado a partir de gorduras de animais e espécies vegetais tais como a soja, palma, girassol, babaçu, amendoim, mamona e pinhão-mansão, sendo a soja, atualmente no Brasil, a matéria-prima mais usada.

### ALGODÃO

No território brasileiro, uma das culturas oleaginosas mais cultivadas é o algodão, sendo que a partir do seu caroço é retirado o óleo, sendo utilizado para produção do biodiesel. Este óleo se mostra muito atraente para o mercado de biodiesel, pelo seu baixo preço. Hoje em dia é considerada a terceira matéria-prima mais utilizada para produção de biodiesel no país, porém é um óleo impuro que necessita de um pré-tratamento (BIODIESELBR, 2006c).

Segundo pesquisa da agência Embrapa, dentre as variedades de algodão, no processo de extração obtém-se teores de óleo variando entre 15,21% e 26,01%, também gerando aproximadamente 5,5% de linter, 47,5% de torta, 25,7% de casca e 5% de resíduos de elaboração (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Partindo-se da premissa de que o óleo foi extraído mecanicamente (prensa) ou quimicamente (solventes), o resultado obtido é conhecido como óleo bruto de algodão. Para se ter o refinamento desse óleo são realizados os seguintes processos: neutralização alcalina - na qual ocorre a redução do teor de ácidos graxos livres -, decomposição, remoção do gossipol -

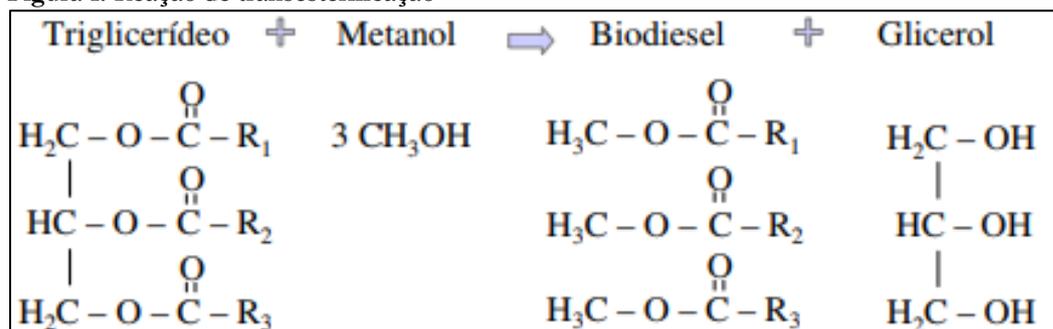
composto polifenólico que confere a cor amarela ao óleo -, que, por sua vez, auxilia no desempenho da terra clarificante (branqueamento) (GRIMALDI, 2017). Em seguida, passa pela centrifuga, depois pela lavagem, branqueamento, e por último é realizada a fase de filtragem, obtendo-se finalmente o óleo refinado (NASCIMENTO, 2007).

## TRANSESTERIFICAÇÃO

De acordo com Barros e Jardine (2019), os óleos de origem vegetal são constituídos por uma molécula de glicerol ligada a três de ácido graxo, chamados de triglicerídeos e ácidos graxos livres. No método de transesterificação, para conseguir o biodiesel, os triglicerídeos contidos no óleo sofrem alcoólise, resultando em moléculas menores de ésteres de ácido graxo (biodiesel) a partir de um agente transesterificante (álcool primário) e um catalisador (alcalino, ácido) (BARROS; JARDINE, 2019).

Durante o processo de transesterificação, conforme demonstrado na Figura 1, o triglicerídeo reage com um álcool simples, podendo ser o álcool etílico ou álcool metílico, formando ésteres, metílico ou etílico, que são constituintes do biodiesel, e glicerol (ENCARNAÇÃO, 2007).

Figura 1: Reação de transesterificação



Fonte: Encarnação (2007).

A reação pode ser catalisada por bases, as mais comuns são hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), por ácidos tais como ácido clorídrico (HCl) ou ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ou por meio de lipases (enzimas). Na presença de catalisador alcalino (base) a reação ocorre com maior velocidade em comparação com o catalisador ácido, considerando um maior rendimento e seletividade, e ainda se nota que causa menores danos em relação à corrosão dos

equipamentos. Desta forma os catalisadores básicos KOH e NaOH são mais eficientes e mais utilizados comercialmente (ENCARNAÇÃO, 2007).

Além do catalisador, outro fator importante para se elevar o rendimento da reação é a temperatura e agitação nos parâmetros ideais, uma vez que em excesso pode implicar em diversos fatores como o gasto energético ser maior do que os ganhos com a velocidade da reação e o excesso de reação que pode provocar a coalescência mais lenta do glicerol (GARCIA, 2006).

No processo de transesterificação pode ser usado o etanol e o metanol, porém metanol domina a produção industrial de biodiesel no país apesar de seu uso oferecer algumas desvantagens como sua alta toxicidade, podendo causar cegueira e ou até mesmo provocar a morte do técnico que o manipula no laboratório. O metanol também é um produto importado, dessa forma diminui o seu custo-benefício. Apesar de apresentar essas desvantagens, o metanol se mostra mais atraente que o etanol pelo simples fato de que é muito mais simples fazer biodiesel com álcool metílico (SUAREZ, 2008). Segundo Garcia (2006), o etanol mesmo que o anidro implica em muitas dificuldades na separação do glicerol.

O álcool metílico se mostra mais eficiente independentemente do catalisador ou das condições em que realize a transesterificação, sempre terá uma velocidade e rendimento final da reação elevado em comparação ao álcool etílico. É possível fazer biodiesel com etanol, porém para se conseguir grandes rendimentos, é preciso uma maior quantidade de álcool, maior temperatura e maior tempo, onerando o processo de produção. O etanol também facilita a formação de emulsões no final da reação, na qual é necessário destilar o álcool para se obter uma boa separação da glicerina, o que torna a purificação do biodiesel um processo mais caro e complicado (SUAREZ, 2008).

## **METODOLOGIA**

O experimento foi desenvolvido nos laboratórios da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Piracicaba, Deputado Roque Trevisan (22°41'33.7" S; 47°37'30.7" W e altitude de 512 m). A execução do estudo foi dividida em três etapas, conforme a seguir: caracterização das matérias-primas – óleo de algodão refinado e não-refinado - obtenção e caracterização dos biodieseis.

O óleo de algodão não-refinado - Figura 2(a) - possui finalidade para uso estético, em que o produto foi extraído da semente de algodão por prensagem à frio e adquirido em uma loja virtual de produtos naturais, enquanto o óleo de algodão refinado tipo 1 - Figura 2(b) - foi obtido em uma rede de supermercados, com sua principal finalidade como produto alimentício.

**Figura 2: Matérias-primas – óleos de algodão**



2(a) Não refinado

Fonte: Autores.



2(b) Refinado

As análises realizadas nas matérias-primas foram: densidade, viscosidade, potencial hidrogeniônico (pH), índice de acidez, umidade e índice de saponificação; sendo essas análises, com exceção da umidade, também realizadas nos biodieseis produzidos. Por fim, foi realizado a análise do teor de metanol residual no biodiesel, seu rendimento percentual e teor de ésteres, para confirmar sua produção.

### POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

A determinação do pH foi realizada utilizando tira universal de pH- marca Kasvi, conforme a Figura 3.

**Figura 3: Determinação do pH em óleo de algodão com tira universal de pH.**

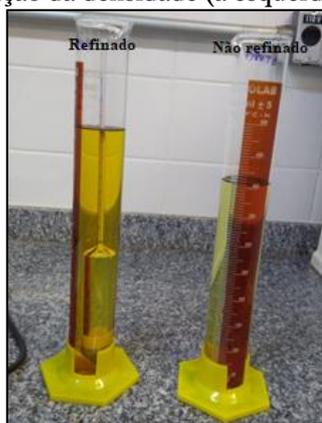


Fonte: Autores.

## DENSIDADE

A determinação da densidade foi realizada utilizando densímetro para peso específico (0,850-0900 g. mL<sup>-1</sup> – marca Rivaterm - e 0,900-0,950 g mL<sup>-1</sup> – marca HG), conforme a Figura 4.

Figura 4: Determinação da densidade (à esquerda) de óleo de algodão



Fonte: Autores.

## VISCOSIDADE

A análise de viscosidade foi realizada utilizando um viscosímetro Cup-Ford, segundo metodologia adaptada de Almeida et al. (2011). A nivelção do aparelho foi conferida utilizando um nível de bolha. Assim sendo, o orifício (número 4) foi fechado manualmente, e o copo preenchido até o nível mais elevado. Então, o excesso foi removido. Simultaneamente, o orifício foi aberto, iniciando-se a contagem de tempo no cronômetro.

O tempo foi anotado em segundos ao se notar a primeira interrupção do fluxo de escoamento. Para determinar a viscosidade cinemática ( $\nu$ ), foi utilizado a expressão de acordo com a Tabela 1, segundo o orifício escolhido (Equação 1, Equação 2 e Equação 3), sendo os resultados de viscosidade expressos em mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Tabela 1: Cálculo da viscosidade cinemática para diferentes orifícios do viscosímetro cup-ford

Orifício	Expressão da viscosidade cinemática ( $\nu$ )	
2	$\nu = 2,388t - 0,007t^2 - 57,008$	Equação 1
3	$\nu = 2,314t - 15,200$	Equação 2
4	$\nu = 3,846t - 17,300$	Equação 3

Fonte: Almeida et al. (2011).

## UMIDADE

A análise do teor de água baseou-se no método sugerido pela AOCS Bc 2 – 49 (AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY, 1985, citado por OLIVEIRA et al., 2015). Dessa maneira, cápsulas de porcelana lavadas foram submetidas à secagem em estufa por 1 hora, a 105°C. Em seguida, foram esfriadas em dessecador e pesadas, a fim de se obter a massa inicial (M1). Após esta etapa, adicionou-se cerca de 5 g da amostra (MA) nas cápsulas, sendo repetido o processo de aquecimento na mesma temperatura e durante o mesmo tempo utilizados anteriormente. Assim sendo, as amostras foram esfriadas no dessecador e pesadas, obtendo-se o peso final (M2). O cálculo para determinação da umidade (U%) foi realizado conforme a Equação 4.

$$U\% = \frac{[(M1 + MA) - M2]}{A} \cdot 100 \quad \text{Equação 4}$$

## ÍNDICE DE ACIDEZ

Foram dissolvidos 10 g da amostra em 10 mL de isopropanol, utilizando 3 gotas de fenolftaleína como indicador e titulando com hidróxido de potássio 0,1 N padronizado até a viragem para coloração rósea (BORTOLETO et al., 2017). Realizou-se o mesmo procedimento sem a adição da amostra. Assim sendo, obteve-se a massa de amostra (MA), o volume em mL gasto na titulação da amostra (VA) e na titulação do branco (VB), bem como a concentração real da solução de hidróxido de potássio (N), sendo o índice de acidez (IA) calculado segundo a Equação 5, expresso em mg KOH/g de amostra.

$$IA = \frac{(VA - VB) \cdot N \cdot 56,1056}{MA} \quad \text{Equação 5}$$

## ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO

A determinação do índice de saponificação foi realizada segundo Silva e Neto (2013) e AOCS (1993), citado por Oliveira et al. (2015). Pesou-se 2 g da amostra em um balão de fundo redondo e adicionou-se 20 mL de solução alcoólica de hidróxido de potássio (KOH) 4% (m/m). O próximo passo foi submeter o balão em um condensador de refluxo, aquecendo a mistura até

que ocorra ebulição, e mantendo nessas condições por 30 minutos. Após este tempo, retirou-se o balão do condensador, transferiu-se a amostra para frascos Erlenmeyers, adicionou-se duas gotas do indicador fenolftaleína e realizou-se titulação a quente com ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol/L padronizado até que a coloração rosa desaparecesse. Para realizar o branco, desenvolveu-se o mesmo procedimento, entretanto sem adicionar amostra.

Assim sendo, obteve-se as seguintes informações: diferença entre o volume em mL de HCl 0,5 mol/L gasto na titulação da amostra e o do branco (V), fator de correção do HCl 0,5 mol/L (f) e a massa em gramas da amostra (m). Dessa maneira, com a Equação 6, calcula-se o índice de saponificação (IS), expresso em mg KOH/g de amostra (SILVA; NETO, 2013).

$$IS = \frac{V \cdot f \cdot 28}{m}$$

Equação 6

## PRODUÇÃO DOS BIODIESEIS

Primeiramente, realizou-se a secagem dos óleos estudados em estufa a 105°C, durante 24 horas, a fim de garantir que não houvesse presença de água nas matérias-primas, podendo interferir na reação de formação de biodiesel, em seguida, foram esfriados em dessecador. Assim sendo, a produção dos biodieseis a partir do óleo de algodão refinado e não refinado já caracterizados na etapa anterior, utilizando metanol como reagente alcoólico, e metilato de sódio como catalisador, foi realizada com base no procedimento adotado por Bortoleto et al. (2017).

Pesou-se em distintos frascos Erlenmeyers, 150 mL de cada óleo e adicionou-se 6 mL do catalisador metilato de sódio dissolvidos em 60 mL do reagente metanol. As misturas foram levadas a um agitador magnético com aquecimento, durante 60 minutos, na faixa de 55-65°C, em capela de exaustão de gases. Assim sendo, foram transferidas para distintos funis de separação, as quais ficaram em repouso durante pelo menos 24 horas, a fim de que houvesse a separação entre as fases. Para a produção de biodiesel utilizando etanol como reagente alcoólico, adaptou-se o procedimento de Batista, Maynart e Suffredini (2008), adotando-se o mesmo processo utilizado com o metanol, com a substituição deste álcool por 90 mL de etanol e mantendo as quantidades de óleo e de catalisador.

Cada reação, utilizando óleo de algodão refinado e não refinado e alterando o reagente alcoólico foi realizado em duplicata, caracterizando o seguinte delineamento experimental: 2 óleos de algodão (refinado e não refinado) x 2 reagentes alcoólicos (etanol e metanol) x 2 repetições = 8 amostras.

A purificação dos biodieseis foi realizada por meio de lavagem em água, segundo Geris et al. (2007) citado por Salvador et al. (2016). Dessa forma realizaram-se pelo menos três lavagens com água destilada à 90°C na proporção 1:1, até que, conforme realizado por Oliveira et al. (2015), o pH da água de lavagem fosse neutro, mensurado em fita universal de pH. Então, conforme proposto por Salvador et al. (2016), secou-se o biodiesel em estufa, a fim de retirar toda sua umidade resultante do processo de lavagem. A secagem foi realizada a 105°C durante 24 horas, conforme proposto por Bortoleto et al. (2017).

## RENDIMENTO PERCENTUAL

O rendimento percentual (%R) dos biodieseis sintetizados foi determinado a partir da massa de óleo ( $M_{\text{Óleo}}$ ) empregada na produção de cada biodiesel e a massa final de biodiesel ( $M_{\text{Biodiesel}}$ ) sintetizada, conforme a Equação 7 (OLIVEIRA et al. 2015; CARTONI, 2009):

$$\%R = \frac{M_{\text{Biodiesel}} \cdot 100\%}{M_{\text{Óleo}}} \quad \text{Equação 7}$$

## TEOR DE ÉSTERES

A determinação do teor de ésteres (%) foi realizada baseando-se em Soares, Melchert e Rocha (2017). Foram utilizados tubos Eppendorf de 1,5 mL para misturar 500 µL da amostra: etanol (1:50), 60 µL de solução de cloridrato de hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ ) e 300 µL de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ). Passado 15 minutos da mistura, adicionou-se 200 µL de sulfato ferroso mono hidratado [ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] em ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) para formação do complexo violeta. Utilizou-se etanol absoluto como branco, para diluir as amostras de biodiesel 1:50 (v/v), para o preparo das soluções de referência com 4 concentrações de biodiesel/éster (0, 10, 20 e 30%) e para diluição em 50 vezes das soluções de referências.

As medidas foram tratadas como radiação refletida, obtendo-se os valores referentes aos canais RGB (*green, red, blue*) através do aplicativo PhotoMetrix, sendo utilizadas apenas informações do canal G, por ser o canal mais sensível e a cor complementar do complexo violeta. A reflexão total (255) e absorção total (0) são referentes, respectivamente à captura de uma superfície branca e violeta intenso.

## DETERMINAÇÃO DE METANOL

A determinação de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) residual nos biodieseis foi realizada por cromatografia gasosa (CG). Para isso, foram transferidos 3 mL da amostra em vial. As análises por CG foram realizadas em cromatógrafo gasoso (PerkinElmer modelo Clarus 600), acoplado a um detector de ionização de chama (*flame ionization detector* - FID) e utilizando uma curva analítica preparada com 8 soluções padrões de metanol, expressas em m/v (massa em gramas do analito e 100 mL de solução), com as seguintes concentrações: 0,0396, 0,0792, 0,1188, 0,1584, 0,1980, 0,2376, 0,2772 e 0,3168%.

Utilizou-se uma coluna capilar (PerkinElmer modelo Elite-WAX) com dimensões de 30 m x 0,25 mm x 0,5  $\mu\text{m}$ . O gás de arraste utilizado foi nitrogênio a uma vazão de 1,20  $\text{mL min}^{-1}$ , enquanto a vazão do hidrogênio foi 45  $\text{mL min}^{-1}$  e do ar sintético 450  $\text{mL min}^{-1}$ . A injeção foi executada com um amostrador automático (Combpal, modelo CTC Analytics, Pal System), com o forno para *headspace*, onde a amostra foi incubada anteriormente à injeção a 60°C por 5 min e com agitação de 500 rpm. O volume de injeção da amostra foi de 300  $\mu\text{L}$  a uma velocidade de 250  $\mu\text{L s}^{-1}$ , empregando-se o *split* de 1:10. A temperatura do forno foi de 100°C por 5 minutos. O injetor foi operado a 150°C e o detector a 300°C.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados de viscosidade, índice de acidez, índice de saponificação e rendimento percentual foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade. Esses procedimentos foram realizados utilizando o pacote Laercio versão 1.0-1 (SILVA, 2010) no software do programa R versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção e purificação do biodiesel foi possível somente utilizando metanol como reagente alcoólico, uma vez que houve formação demasiada de sabão durante a lavagem do biodiesel ao substituir este reagente por etanol, independente da matéria-prima – óleo de algodão não refinado - Figura 5(a) - e refinado - Figura 5(b).

**Figura 5: Lavagem dos biodieseis produzidos a partir de etanol como reagente alcoólico e óleo de algodão não refinado (esquerda) e refinado (direita)**



5(a) Não refinado



5(b) Refinado

Fonte: Autores.

De acordo com Batista, Maynard e Suffredini (2008), a utilização de etanol é um fator de resistência, uma vez que este combustível apresenta características higroscópicas e forma um azeótropo com a água, favorecendo que parte da reação de transesterificação por catálise alcalina homogênea resulte em sabões, por conta da presença de água. Ainda, os autores destacam que a utilização de etanol como reagente alcoólico facilita a formação de uma emulsão estável entre o glicerol e o biodiesel, dificultando a separação dos produtos.

Ao utilizar a rota etílica alcalina convencional, Batista, Maynard e Suffredini (2008) avaliou a síntese de biodiesel a partir de óleo de soja comum, etanol como reagente alcóolico e hidróxido de sódio como catalisador. Conforme esperado, os autores observaram que o glicerol não se separou do biodiesel, sendo necessário a adição externa de glicerol para a separação. Entretanto, os autores também avaliaram *blends* de etanol e metanol como reagentes alcoólicos e concluíram que o limite para que haja separação eficiente dos produtos seja de pelo menos 10% de metanol em 90% de etanol (v/v).

Jesus et al. (2012) ao estudar a produção de biodiesel a partir de óleos de girassol bruto, desodorizado e parcialmente refinado, empregando etanol como reagente alcoólico e hidróxido de sódio como catalisador, observou que o óleo bruto apresentou rendimento de síntese entre os mais baixos, havendo uma maior tendência de rendimento para o óleo degomado e em seguida para o óleo neutralizado, porém os autores destacam que o rendimento de síntese é um parâmetro que necessita avaliar também a presença de triglicerídios, glicerídios parciais e ácidos graxos livres (AGL).

Com relação à reação de transesterificação partindo de metanol, observou-se a separação das fases – biodiesel e glicerina – independente da matéria-prima – óleo de algodão não refinado - Figura 6(a) - e refinado - Figura 6(b), bem como os biodieseis finais purificados a partir dessas matérias-primas - Figura 6(c). O rendimento da produção dos biodieseis partindo deste reagente alcoólico pode ser observado na Tabela 2.

**Figura 6: Produção de biodiesel produzido a partir de metanol como reagente alcoólico e óleo de algodão não refinado e refinado e biodieseis finais purificados**



6(a) Não refinado

6(b) Refinado

6(c) Biodieseis finais purificados

Fonte: Autores.

**Tabela 2: Rendimento da produção de biodiesel produzido a partir de metanol como reagente alcoólico e óleo de algodão não refinado e refinado**

Tratamentos	Rendimento (%)
Biodiesel de óleo não refinado	91,78
Biodiesel de óleo refinado	96,22
CV (%)	4,48
Valor F	1,11 <sup>NS</sup>
Prob. >F	0,40

NS: não significativo ( $p > 0,05$ ); CV: coeficiente de variação; Prob.: probabilidade.

Fonte: Autores.

Conforme observado na Tabela 2, não houve diferença significativa no rendimento da reação ao utilizar como matéria-prima óleo de algodão não refinado (91,78%) ou refinado (96,22%), sugerindo que a etapa de refino do óleo para produção de biodiesel não é necessária. Oliveira et al. (2015), ao avaliar a produção de biodiesel a partir de óleo de soja ou de algodão, metanol como reagente alcoólico e KOH como catalisador, obtiveram rendimento de 88% para o biodiesel proveniente do óleo de algodão e 92,47% no caso do óleo de soja. Esses resultados se

assemelharam aos obtidos neste trabalho. No que se refere aos resultados obtidos para o teor de ésteres dos biodieseis de óleo de algodão refinado e não refinado obtidos pela rota metílica, encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3: Teor de éster nos biodieseis produzidos a partir de metanol como reagente alcoólico**

Tratamentos	Teor de éster (%)
Biodiesel de óleo não refinado A	>96,5
Biodiesel de óleo não refinado B	>96,5
Biodiesel de óleo refinado A	>96,5
Biodiesel de óleo refinado B	>96,5

Fonte: Autores.

Conforme observado na Tabela 3, o teor de éster obtido para as repetições de cada tratamento – biodiesel de óleo de algodão não refinado e refinado – foi acima de 96,5%. Fernandes (2011), ao produzir biodiesel metílico (com metóxido de potássio) e etílico (com etóxido de potássio) partindo de óleo de algodão refinado, obteve respectivamente, teor de ésteres de aproximadamente 99,6 e 99,5%. De acordo com Fernandes (2011), a legislação proposta pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estabelece um teor mínimo de ésteres de 96,5%, indicando que tanto os biodieseis produzidos pelo autor quanto do presente estudo foram obtidos com reações de conversão de forma satisfatória, encontrando-se em conformidade com a legislação.

Mediante ao insucesso da produção de biodiesel a partir de etanol, foi realizada a caracterização somente do biodiesel a partir de metanol, conforme será discutido a seguir. Os valores obtidos de pH e densidade para as matérias-primas e biodieseis a partir de metanol encontram-se na Tabela 4, bem como o teor de água – umidade - para o óleo de algodão não refinado e refinado. No caso dos biodieseis apresenta-se a média dos valores obtidos da duplicata do processo de produção, enquanto no caso dos óleos a única medida realizada.

**Tabela 4: Densidade e pH dos óleos e biodieseis produzidos a partir de metanol como reagente alcoólico e umidade dos óleos**

Tratamentos	pH	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )	Umidade (%)
Óleo não refinado	6	915,0	0,0694
Óleo refinado	6	913,5	0,0229
Biodiesel de óleo não refinado	6	886,8	-
Biodiesel de óleo refinado	6	875,5	-

Fonte: Autores.

O pH das matérias-primas – óleos – e dos biodieseis apresentaram característica levemente ácida (pH 6). Com relação à densidade, observou-se que houve um decréscimo deste parâmetro nos biodieseis em relação aos óleos. Oliveira et al. (2015) obtiveram densidade de 874,8 e 875,2 kg m<sup>-3</sup> para os biodieseis obtidos de, respectivamente, óleo de algodão e soja, sendo estes valores mais semelhantes ao biodiesel obtido neste trabalho a partir de óleo de algodão refinado (875,5 kg m<sup>-3</sup>) do que óleo de algodão não refinado (886,8 kg m<sup>-3</sup>). De acordo com Oliveira et al. (2015), a Resolução ANP n° 45 estabelece que a densidade deve apresentar entre 850 – 900 kg m<sup>-3</sup>, ficando os biodieseis dentro desta faixa.

Com relação à umidade, observa-se baixo teor de água nos óleos estudados, sendo 0,0694% para o óleo de algodão não refinado e 0,0229% para o óleo de algodão refinado. Essa característica é importante no processo de produção de biodiesel, uma vez que, de acordo com Serqueira (2014), a alta umidade provoca reação de saponificação, justificando o fato de ter sido realizado a secagem dos óleos antes da produção de biodiesel. Ao avaliar a umidade de óleos refinados de soja, canola, milho e girassol, Fuentes (2011) obtiveram valores que não ultrapassaram 0,07%. Fernandes (2011) também obteve baixo teor de água para o óleo de algodão refinado, cerca de 0,0004%

No que se refere às análises de viscosidade, índice de acidez e índice de saponificação, encontra-se na Tabela 5 os resultados obtidos tanto para os óleos quanto para os biodieseis a partir de metanol.

**Tabela 5: Viscosidade, índice de acidez e índice de saponificação dos óleos e biodieseis produzidos a partir de metanol como reagente alcoólico**

Tratamentos	Viscosidade (mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Índice de acidez (mg KOH g <sup>-1</sup> amostra)	Índice de saponificação (mg KOH g <sup>-1</sup> amostra)
Óleo não refinado	93,47 a	0,13	144,16 b
Óleo refinado	96,10 a	0,08	143,45 b
Biodiesel de óleo não refinado	39,87 b	1,45	175,45 a
Biodiesel de óleo refinado	39,32 b	0,57	181,76 a
CV (%)	5,39	110,44	5,92
Valor F	155,30*	2,13 <sup>NS</sup>	9,73**
Prob. >F	1,4 10 <sup>-4</sup>	0,24	0,03

\*: altamente significativo (p<0,01); \*\*: significativo a 5% de probabilidade; NS: não significativo (p>0,05); CV: coeficiente de variação; Prob.: probabilidade. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Duncan.

Fonte: Autores.

De acordo com Silva e Neto (2013), a viscosidade cinemática refere-se à medição da resistência ao escoamento sob ação da gravidade de certa massa de fluido em relação ao seu

volume, correspondendo ao atrito interno dos fluidos por ocasião basicamente das interações intermoleculares. Nesse contexto, nota-se na Tabela 5 que os valores de viscosidade de ambos óleos de algodão estudados – não refinado ( $93,47 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) e refinado ( $96,10 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) – não diferiram estatisticamente, bem como ambos biodieseis produzidos a partir destas matérias-primas -  $39,87 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  para o biodiesel sintetizado a partir de óleo de algodão não refinado e  $39,32 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$  para o biodiesel sintetizado a partir de óleo de algodão refinado - entretanto os óleos diferiram estatisticamente dos biodieseis.

Com relação ao índice de acidez, caracteriza-se como a massa de hidróxido de potássio (KOH) em miligramas necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes e um grama de amostra de óleo (SILVA; NETO, 2013). No caso do óleo de algodão não refinado, o baixo índice de acidez sugere que, apesar de ele não ter passado pelo processo de refino, ele passou por um processo de correção de acidez durante sua fabricação.

Esse baixo índice de acidez apresentado tanto pelo óleo de algodão não refinado ( $0,13 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra) quanto pelo óleo de algodão refinado ( $0,08 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra) é uma característica importante, pois, segundo Silva e Neto (2013), a utilização de matérias-primas com índice de acidez elevado é um dos grandes problemas enfrentado pela produção de biodiesel por transesterificação – rota convencional – restringindo a utilização desta rota a alguns poucos óleos vegetais, uma vez que pode ocasionar formação de sabão e prejudicar o rendimento da reação por ocasião do consumo do catalisador básico. Ao avaliar o índice de óleo de algodão refinado, Fernandes (2011) obteve valor equivalente à  $0,52 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra, enquanto para o biodiesel metílico e etílico partindo desta matéria-prima, valores de, respectivamente,  $0,17$  e  $0,16 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra.

A Resolução ANP nº 42 (ANP, 2008) estabelece que o índice de acidez não deve ultrapassar  $0,80 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra, portanto somente o biodiesel sintetizado a partir de óleo de algodão refinado se enquadrado nesta resolução. Com relação ao biodiesel sintetizado com óleo de algodão não refinado, o alto coeficiente de variação ( $110,44\%$ ) explica este resultado, sendo que a realização da síntese de biodiesel a partir desta matéria-prima além de duas vezes (duplicata) poderia esclarecer os resultados, pois uma repetição se enquadrado na resolução enquanto a outra não.

Ao avaliar o índice de saponificação (IS), observa-se que o óleo não refinado ( $144,16 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra) não diferiu estatisticamente do óleo refinado ( $143,45 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra), enquanto esses valores diferiram dos resultados obtidos para os biodieseis a partir tanto do óleo não refinado ( $175,45 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra) quanto refinado ( $181,76 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra),

sendo que no caso dos biodieseis a matéria-prima não influenciou no índice de saponificação. Por outro lado, Fernandes (2011) obteve valor inferior de índice de saponificação para óleo de algodão refinado, equivalente à  $170 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra.

Segundo Oliveira et al. (2015), o IS é definido como a massa em miligramas de hidróxido de potássio (KOH) necessários para neutralizar – saponificar – um grama de ácidos graxos – gordura. Os autores, ao sintetizar biodiesel, obtiveram biodieseis com IS mais semelhantes ao obtidos com o biodiesel a partir de óleo de algodão refinado neste trabalho, sendo que os valores foram de  $97,14 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra o biodiesel sintetizado com óleo de algodão e  $96,69 \text{ mg KOH g}^{-1}$  amostra com óleo de soja.

Com relação ao teor de metanol residual nos biodieseis sintetizados utilizando metanol como reagente alcoólico, encontra-se na Tabela 6 os valores mensurados para cada matéria-prima (óleo não refinado e refinado) e repetição (repetição A e repetição B).

**Tabela 6: Teor de metanol residual nos biodieseis produzidos a partir de metanol como reagente alcoólico**

Tratamentos	Teor de metanol % (m/v)
Biodiesel de óleo não refinado A	0,0494
Biodiesel de óleo não refinado B	<0,0396
Biodiesel de óleo refinado A	<0,0396
Biodiesel de óleo refinado B	<0,0396

Fonte: Autores.

A Resolução ANP n° 42 (ANP, 2008) estabelece que o teor máximo de metanol no biodiesel seja 0,5% (m/m). Considerando a densidade de cada tratamento (biodiesel) da Tabela 6, o teor de biodiesel de óleo refinado é equivalente a 0,0552% (m/m), enquanto para os demais tratamentos este valor não ultrapassa 0,0454% (m/m). Portanto, os biodieseis obtidos estão em conformidade com esta resolução.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante os resultados obtidos entre os biodieseis sintetizados a partir do óleo de algodão não refinado e refinado pela rota metilica, conclui-se que o objetivo do trabalho foi atingido, não sendo observada diferença significativa quanto aos parâmetros avaliados entre essas matérias-primas na produção de biodiesel, sugerindo que a etapa de refino do óleo de algodão pode ser desnecessária para a produção de biodiesel. Essa etapa de refino dependerá das características da matéria-prima, o que pode agregar valor ao processo como um todo. Segue para

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 2, julh./dez. 2019. P. 72-94.

Silva, Fabio Sousa Guedes; Santos, Heurilen Reis dos; Carvalho, Jucélio de Oliveira; Silveira, Luis Ricardo Nascimento da; Palmer, Tiago Motta; Bortoleto, Gisele Gonçalves

*Análise comparativa do biodiesel produzido a partir de óleo de algodão não refinado e refinado via rotas metílica e etílica*

estudos posteriores a produção de biodiesel utilizando a rota etílica, pois não apresentou os resultados esperados, indicando que a etapa de purificação do biodiesel com água não foi eficiente, sendo recomendado a utilização de outras formas de purificação, como a utilização de materiais adsorventes.

## AGRADECIMENTOS

Ao estagiário Evandro, professora Ana Lúcia e funcionários do laboratório Fernanda e Ariel.

## REFERÊNCIAS

ABRAPA – Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. *Algodão no Brasil*. 2019. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ALMEIDA, J. K. P. de et al. Caracterização físico-químicas de óleos vegetais utilizados para produção de biodiesel com metodologias alternativas simples. *In: Encontro nacional de engenharia de produção*, 31., 2011, Belo Horizonte. *Anais... ABEPRO*, 2011. p. 1-14. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_TN\\_STP\\_135\\_855\\_18349.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STP_135_855_18349.pdf). Acesso em: 2 mar. 2019.

AMARAL, F. P. *Estudo das características físico-químicas dos óleos da amêndoa e polpa da macaúba [Acronomia aculeata (Jacq.) Lodd. Ex Mart]*. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90468/amaral\\_fp\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90468/amaral_fp_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 02 mar. 2019.

AMIPA – Associação Mineira dos Produtores de Algodão. *Produção Eficiente do Algodão Brasileiro*. Disponível em: <https://amipa.com.br/sobre-o-algodao/producao>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ANPPAS – Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. *As oleaginosas como fonte energética renovável e incentivo a produção dos biocombustíveis no estado do Pará*. 2004. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/resumos/GT17-548-510-20100524232339.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Resolução ANP nº 42*. 2008. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2004/novembro&item=ranp-42--2004>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Biodiesel*. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 10 nov. 2019.

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 2, julh./dez. 2019. P. 72-94.

Silva, Fabio Sousa Guedes; Santos, Heurilen Reis dos; Carvalho, Jucélio de Oliveira; Silveira, Luis Ricardo Nascimento da; Palmer, Tiago Motta; Bortoleto, Gisele Gonçalves

*Análise comparativa do biodiesel produzido a partir de óleo de algodão não refinado e refinado via rotas metílica e etílica*

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Biodiesel*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/simp-biodisel>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ARAUJO, A. E. et al. *Algodão*. Brasília: Embrapa, 2004. Disponível em: <http://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000001-ebook-pdf.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2019.

BARROS, E.; MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, N. C. Análise das propriedades físico-químicas do óleo de soja degomado visando à produção de biodiesel. *In: Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar*, 8., 2013, Maringá. *Anais...* Maringá: Editora CESUMAR. Disponível em: [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit\\_mostra/Janaina\\_Fernandes\\_Medeiros\\_02.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Janaina_Fernandes_Medeiros_02.pdf). Acesso em: 02 mar. 2019.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. Matérias-primas e produtos. *Agência Embrapa de Informação Tecnológica*. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj0847od02wyiv802hvm3juldruvi.html>. Acesso em: 24 jun. 2019.

BATISTA, T. N.; MAYNART, M. C.; SUFFREDINI, H. B. Separação eficiente de glicerol e biodiesel utilizando-se *blends* de metanol e etanol. *In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, 31., 2008, Águas de Lindóia. *Anais...* Disponível em: <http://sec.s bq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T0762-1.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

BIODIESELBR. *Algodão*. 2006b. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/plantas/algodao/algodao>. Acesso em 23 de junho de 2019.

BIODIESELBR. *Algodão*. 2006c. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/plantas/algodao/algodao>. Acesso em: 03 mar. 2019.

BIODIESELBR. *O que é o Biodiesel?*. 2006a. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel>. Acesso em: 23 jun. 2019.

BORTOLETO, G. G. et al. Produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos de frango. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, v. 7, n. 2, p. 77-97, 2017. Disponível em: <http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/237/150>. Acesso em: 07 mar. 2019.

BRASIL. *Câmara dos deputados*: Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2005/lei-11097-13-janeiro-2005-535383-normaatualizada-pl.html>. Acesso em: 23 jun. 2019.

CARTONI, C. R. *Avaliação de catalisadores alcalinos na produção de biodiesel metílico derivado do óleo de soja: análise técnica, econômica e ambiental*. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97136/tde-20082013-090453/publico/EQD09005.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. *Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, Uma Avaliação Econômica*. 2007. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciências, Universidade

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 2, julh./dez. 2019. P. 72-94.

Silva, Fabio Sousa Guedes; Santos, Heurilen Reis dos; Carvalho, Jucélio de Oliveira; Silveira, Luis Ricardo Nascimento da; Palmer, Tiago Motta; Bortoleto, Gisele Gonçalves

*Análise comparativa do biodiesel produzido a partir de óleo de algodão não refinado e refinado via rotas metilica e etilica*

Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em:

<http://www.tpqb.eq.ufjr.br/download/biodiesel-via-trans-e-hidroesterificacao.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

FERNANDES, D. M. *Obtenção e caracterização físico-química dos biodieseis metílico e etílico de algodão*.

2011. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17343>. Acesso em: 24 jun. 2019.

FUENTES, P. H. A. *Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95494>. Acesso em: 24 jun. 2019.

GARCIA, C. M. *Transesterificação de óleos vegetais*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Universidade estadual de campinas, Campinas, 2006. Disponível em: <http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtls000386845.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2019.

GERIS, R. et al. Biodiesel de soja – reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. *Quím. Nova*, v. 30, n. 5, p. 1369-1373, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n5/a53v30n5>. Acesso em: 03 mar. 2019.

GRIMALDI, R. Óleo de Algodão – Composição e Refino. *Editora Stilo*, 2017. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/oleo-de-algodao-composicao-e-refino/>. Acesso em: 03 mar. 2019.

JESUS, F. F. et al. Influência do refino de óleo de girassol na síntese de biodiesel etílico. *In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 5.; Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 8., 2012, Salvador. Anais... Lavras: UFLA, 2012, p. 799-800*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65053/1/2012-085.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2019.

NASCIMENTO, R. A. *O óleo de algodão como fonte para o biodiesel*. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia*. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/cba6/palestras/1507.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2019.

OLIVEIRA; M. A. B. et al. Síntese e caracterização de biodiesel de algodão e soja. *In: Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 1.; Workshop de Engenharia de Petróleo, 3., 2015, Campina Grande. Anais... Editora Realize*. Disponível em: [http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade\\_4datahora\\_08\\_04\\_2015\\_21\\_54\\_11\\_idinscrito\\_1120\\_8ffa0c9459ba370fa993f866fcd91.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade_4datahora_08_04_2015_21_54_11_idinscrito_1120_8ffa0c9459ba370fa993f866fcd91.pdf). Acesso em: 17 fev. 2019.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Áustria, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 12 out. 2018.

SALVADOR, P. M. et al. Estudo de diferentes catalisadores para produção de biodiesel: viabilidade dos catalisadores heterogêneos. *Bioenergia em Revista: Diálogos*, v. 6, n. 2, p. 31-46, 2016.

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 2, julh./dez. 2019. P. 72-94.

Silva, Fabio Sousa Guedes; Santos, Heurilen Reis dos; Carvalho, Jucélio de Oliveira; Silveira, Luis Ricardo Nascimento da; Palmer, Tiago Motta; Bortoleto, Gisele Gonçalves

*Análise comparativa do biodiesel produzido a partir de óleo de algodão não refinado e refinado via rotas metilica e etilica*

Disponível em:

[www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/183/127](http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/183/127).

Acesso em: 02 mar. 2019.

SERQUEIRA, D. de S. *Avaliação da estabilidade oxidativa de misturas binárias de biodieseis metílicos obtidos a partir de óleos de soja, algodão, canola, girassol, milho e residual*. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17401>. Acesso em: 24 jun. 2019.

SILVA, L. S. da. *Laercio: Duncan test, Tukey test and Scott-Knott test*. R package version 1.0-1, 2010.

SILVA, T. A. R.; NETO, W. B. Estudo da redução da acidez do óleo residual para a produção de biodiesel utilizando planejamento fatorial fracionado. *Rev. Virtual Quím.*, Uberlândia, v. 5, n. 5, p. 828-839, 2013. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v5n5a05.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

SOARES, S.; MELCHERT, W. R.; ROCHA, F. R. P. A flow-based procedure exploiting the lab-in-syringe approach for the determination of ester content in biodiesel and diesel/biodiesel blends. *Talanta*, v. 174, p. 556-561, 2017.

SUAREZ, P. Metanol ou Etanol: algumas considerações. *Biodieselbr*, 2008. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/metanol-ou-etanol-consideracoes-20-02-08>. Acesso em: 23 jun. 2019.

Piracicaba/SP, estagiando no laboratório de físico-química da Mérieux Nutriscience, no mesmo município. Cursa inglês no nível B1+ na Achieve Languages, em Piracicaba/SP.

2 Heurilen Reis dos SANTOS possui curso Técnico profissionalizante em Química pela ETEC “Cel. Fernando Febeliano da Costa” – Centro Paula Souza (2014) e Ensino Médio pela EE. “Pedro de Mello” (2012). Atualmente é estagiário na APTA – Polo Regional Centro Sul – Piracicaba-SP. Tem experiência na área de Biotecnologia.

3 Jucélio de Oliveira CARVALHO discente da FATEC Piracicaba, curso de Tecnologia em Biocombustíveis.

4 Luis Ricardo Nascimento da SILVEIRA discente da FATEC Piracicaba, curso de Tecnologia em Biocombustíveis.

5 Tiago Motta PALMER discente da FATEC Piracicaba, curso de Tecnologia em Biocombustíveis.

6 Gisele Gonçalves BORTOLETO Bacharel em Química pelo IQ- UNICAMP (2001), licenciada em Química pela Faculdade de Educação da UNICAMP (2003), mestre em Química Analítica pelo IQ-UNICAMP (2003) e doutora em Ciências pelo IQ-UNICAMP (2007), realizou pós doutoramento no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA-USP (2007-2008). É professora dos cursos de Alimentos e de Biocombustíveis da FATEC Piracicaba - Centro Paula Souza desde 2008 e coordena o curso de Tecnologia em Biocombustíveis. Atualmente é membro do Conselho Técnico do Parque Tecnológico de Piracicaba, membro do Conselho Municipal de Educação e Representante de Curso do Conselho Regional de Química.