

ESTUDO DA SÍNTESE DO BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE ALGODÃO PRÉ-TRATADO

Thalys de Freitas Fernandes¹; Gerônimo Barbosa Alexandre²; Gilmar Trindade de Araújo³

^{2,3}Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química
E-mails - thalys.fernandes@yahoo.com.br; gilmartaraujo@gmail.com

¹Instituto Federal do Pernambuco, Professor EBTT do Curso Técnico em Eletroeletrônica
E-mail - geronimo.alexandre@garanhuns.ifpe.edu.br

RESUMO

O biodiesel é um biocombustível obtido a partir de uma fonte oleosa, seja animal ou vegetal, que tem ganhado bastante espaço na matriz energética brasileira. Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo avaliar as condições operacionais que permite obter a máxima conversão do óleo de algodão em biodiesel, para as rotas etílica e metílica. Assim, elaborou-se um planejamento experimental contendo como variáveis independentes do processo a temperatura e o tempo reacional. Foi utilizado para a síntese do biodiesel, o óleo de algodão pré – tratado, catalisador homogêneo e álcool etílico e metílico. A reação de transesterificação se processou em um reator de 500 mL, com refluxo e agitação constante. Dos experimentos, observou-se através da cromatografia gasosa que para a temperatura de 55 ° C e um tempo de reação de 40 minutos, que as maiores conversões para a rota etílica e metílica foram de 96,51 e 87,37 %, respectivamente. Para essas conversões a caracterização do biodiesel mostrou que, o índice de acidez, a viscosidade cinemática, a densidade e o teor de água estão de acordo com a Resolução 07/2008 da ANP. A análise de absorvância a 232 nm mostrou traços de oxidação no biodiesel que, entretanto, pode ser minimizado melhorando as condições de secagem e de armazenamento do biodiesel.

Palavras-chave: biodiesel, transesterificação, catálise homogênea.

ABSTRACT

The Biodiesel is a biofuel obtained from an oil source, whether animal or plant, which has gained a lot of space in the Brazilian energy matrix. In this scenario, this study aimed to evaluate the operating conditions allowing for maximum conversion of cottonseed oil for biodiesel, to the methyl and ethyl routes. Thus developed an experimental planning containing as independent variables of the process: a temperature and the reaction time. It was used for the synthesis of biodiesel, cottonseed oil, pre - treated, a homogeneous catalyst, and ethyl and methyl alcohol. The transesterification reaction was performed in a reactor of 500 ml, under reflux and with constant stirring. From experiments, it was found by gas chromatography that to the temperature of 55 °C and to a 40 minutes reaction time, the higher conversions were of 96.51 and 87.37%, to methyl alcohol route and to ethyl alcohol respectively. For these conversions, the featuring biodiesel showed through of the acid index, kinematic viscosity, density and water content are according to the ANP Resolution 07/2008. The absorbance at 232 nm analysis showed traces of oxidation in biodiesel, however, it can be minimized by improving the conditions of drying and biodiesel storage.

Key-Words: biofuel, transesterification, homogeneous catalysis.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as principais matérias-primas para a obtenção de biocombustível, estão às oleaginosas: algodão, amendoim, dendê, girassol, mamona, pinhão-manso e a soja, merecendo destaque a primeira (CONAB, 2013). O algodoeiro herbáceo *Gossypium hisutum* é uma planta de grande complexidade morfológica, possuindo particularidades importantes utilizadas, inclusive, na identificação da espécie dentro do gênero *Gossypium* e da família Malvacea, da qual ele faz parte (BELTRÃO, 1999). A sua semente contém de 14 a 25% em média de óleo, o qual 1 – 2 % é de ácido graxo mirístico, 18 – 25% de palmítico, 1 – 25% de esteárico, 1 – 2% de palmitoléico, 17 – 38% de oléico e 45 – 55% de linoleico (FERNANDES *et al.* 2010).

Já os vários álcoois de cadeia curta que podem ser utilizados para a síntese do biodiesel, apenas o metanol e o etanol são mais frequentemente utilizados devido a questões econômicas e por razões relacionadas com o processo (SILVA, 2011). Como é o caso do metanol que possui uma cadeia mais curta e uma maior polaridade, proporcionando uma melhor separação entre os ésteres (o biodiesel) e a glicerina. Já a utilização do etanol pode ser atrativa do ponto de vista ambiental, uma vez que este álcool pode ser produzido a partir de uma fonte renovável e, ao contrário do metanol, não levanta preocupações relacionadas com a toxicidade. No entanto, a utilização de etanol, implica que este esteja isento de água, assim como o óleo utilizado como matéria prima apresente um baixo conteúdo de água, pois caso contrário, a separação entre a glicerina e o biodiesel será menos eficaz (SILVA, 2011).

A reação de transesterificação ou alcoólise é o processo químico mais empregado para a produção de biodiesel, na qual, o óleo vegetal triglicérido reage com um álcool na presença de um catalisador para formar ésteres monoalquílicos e a glicerina. Ela pode ser descrita como uma reação reversível em que um éster é transformado em outro pela mudança na porção alcóxi (MIYASHIRO, 2013).

Esta transformação ocorre em três etapas sequenciais: inicialmente, as moléculas de trialciligliceróis são convertidas em dialciliglicerol, depois em monoalciliglicerol e, finalmente, em glicerina, produzindo um mol de éster a cada etapa reacional. O coproduto, glicerol, deve ser recuperado devido ao seu valor como um insumo para as indústrias farmacêuticas e de cosméticos (PETERSON & HUSTRULID, 1998). Essa reação pode ser catalisada por uma base, por ácidos ou por enzimas. Como ela é reversível, faz-se necessário um excesso de álcool para forçar o equilíbrio

da reação para o lado do produto almejado. A estequiometria para a reação é de 3:1 (álcool:óleo). Contudo, na prática, essa relação é frequentemente utilizada como sendo 6:1 para aumentar a geração do produto (MORETI, 2015).

Atualmente, a catálise alcalina é predominante, no meio industrial, para a produção de biodiesel. O hidróxido de potássio (KOH) apesar de ser mais caro que o Hidróxido de Sódio (NaOH), vem sendo usado com vantagens na transesterificação, pois, facilita a separação do éster da glicerina. Como resultado da menor massa molecular do NaOH em comparação com o KOH, o sabão formado emulsiona mais facilmente dificultando o processo de separação do biodiesel (Fernandes *et al.* 2010).

Segundo SILVA (2009), o hidróxido de sódio é mais barato e é utilizado em menores quantidades. No entanto, uma vantagem significativa do hidróxido de potássio reside na possibilidade da destinação final dos resíduos do processo de purificação da glicerina direcionada para o fertilizante PK, o que não é possível na opção do hidróxido de sódio.

Ainda que represente a rota tecnológica mais utilizada para produção do biodiesel, o emprego do NaOH e KOH exige matéria-prima de baixa acidez para evitar o consumo improdutivo do álcool e formação de sabão (SILVA, 2011). Uma desvantagem adicional dessa rota tecnológica é a formação de água no meio reacional, decorrente da pré-solubilização dos hidróxidos no álcool para produção do alcóxido correspondente, que atua como verdadeiro catalisador da transesterificação. A presença de água favorece, inevitavelmente, a formação de sabão, paralelamente a sua conversão em ésteres, gerando dificuldades de purificação, formação de emulsão e perdas de rendimento (SCHUCHARD *et al.* 1998).

Nos processos reacionais da transesterificação é obtida uma mistura, na maioria das vezes, de reagentes e produtos, constituindo de ésteres, monoglicerídeos, diglicerídeos, glicerol, álcool, além de catalisadores, em várias concentrações. Na separação das fases, o principal objetivo é remover os ésteres dessa mistura, a baixo custo e assegurar um produto de alta pureza (MORETI, 2015). Para isso, é necessário o emprego eficiente de limpeza no produto final para garantir a remoção total desses contaminantes, já que um alto padrão de qualidade é exigido pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP.

Conseqüentemente, para o desenvolvimento de processos ambientalmente corretos, e para redução dos custos com fabricação, novos processos de síntese de biodiesel estão sendo estudados, por exemplo, estudos baseados na utilização de catalisadores homogêneos e heterogêneos em

diferentes proporções, manipulação da temperatura da reação de transesterificação, assim como no tempo de reação e, estudos baseados na quantificação de reagentes, visando melhorias na conversão de óleos em ésteres (LUZ *et al.* 2015). Assim, este trabalho teve como objetivo obter as condições que fornecem a melhor conversão do óleo de algodão em biodiesel, através da catálise homogênea, utilizando as rotas etílica e metílica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Degomagem do óleo de algodão

O óleo de algodão comercial sofreu um processo de degomagem total, que consistiu na adição de 65 mL de ácido ortofosfórico a 85 % em 500 g do óleo à temperatura de 90 °C, sob agitação constante, por um tempo médio de 5,0 minutos. Em seguida, adicionou-se 24,5 mL de solução de hidróxido de sódio a 5,0 %. Finalmente, colocou-se a mistura para decantar e iniciou-se uma lavagem com água a quente, até a verificação do pH neutro.

Com isso, reduziu-se a acidez do óleo, além de sido retirada as impurezas presentes, como certas quantidades de gomas residuais. Após a degomagem, o óleo foi levado para a estufa a uma temperatura de 105 °C, onde permaneceu por um período de 3,0 h, para a eliminação da água. Após o tempo de secagem, esperou resfriar-se e pesou-se em balança analítica a massa final.

2.2. Planejamento experimental

Como variáveis independentes desse estudo foram avaliadas a Temperatura – T (°C) e o Tempo - t (minutos) de reação. Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis independentes do processo com seus respectivos níveis. Com nível inferior (-1), o nível central ou médio (0) e o nível superior (+1).

Tabela 1 – Tabelas das variáveis independentes do processo de síntese do biodiesel.

Variável	-1	0	+1
T / °C	50	55	60
t / minutos	30	40	50

Com o *software* Minitab® 17.0 foram montadas duas matrizes experimentais, uma para a síntese com rota etílica e outra para a síntese com rota metílica. A combinação dos níveis inferior e superior resultou em oito experimentos, acrescentando mais dois experimentos correspondentes ao ponto central, totalizando assim dez experimentos para cada rota de produção.

2.3. Síntese do biodiesel

Para a rota metílica, preparou-se o metóxido de potássio, misturando 21 g de álcool metílico absoluto 99,5 % anidro com 1,0 g de Hidróxido de Potássio (KOH), para cada 100 g do óleo de algodão, submetendo os reagentes a uma agitação constante, com um leve aquecimento e em refluxo, até a total dissolução do KOH. A estequiometria foi 1:6 (óleo: álcool) e uma massa de KOH correspondente a 1,0 % da do óleo. Para a rota etílica utilizou-se a mesma razão molar (óleo: álcool), sendo preparado o etóxido de potássio com 32,14 g de álcool etílico absoluto 99,8 % anidro com 1,0 g de KOH nas mesmas condições de refluxo e agitação.

2.3.1. A reação de transesterificação

O metóxido/etóxido de potássio foi inserido em um reator com capacidade para 500 mL, contendo a massa do óleo de algodão, em um reator com refluxo e sob agitação constante de 400 rpm. Na Figura 2 é apresentado o sistema reacional, onde ocorreu a transesterificação.

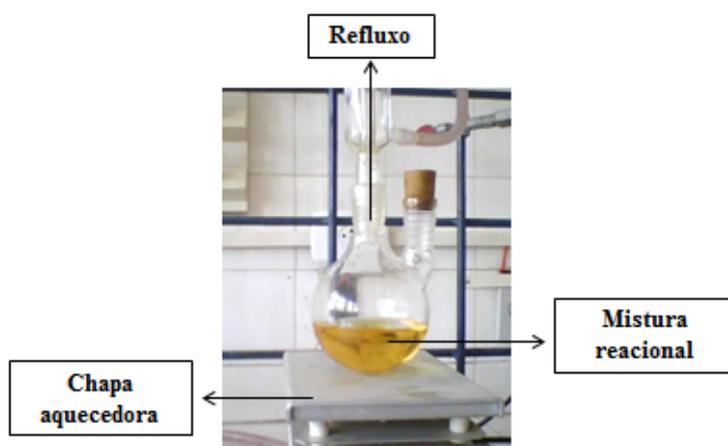


Figura 2: Sistema para a reação de transesterificação.

2.3.2. Separação e neutralização

Após cessar a reação, retirou-se a mistura do reator e inseriu-a em um funil de decantação, onde permaneceu por um período médio de 24 horas. Após esse tempo, observou-se a formação de duas fases distintas, conforme se observa na Figura 3, uma mais clara, rica em ésteres (biodiesel), e outra mais escura, rica em glicerol (glicerina).

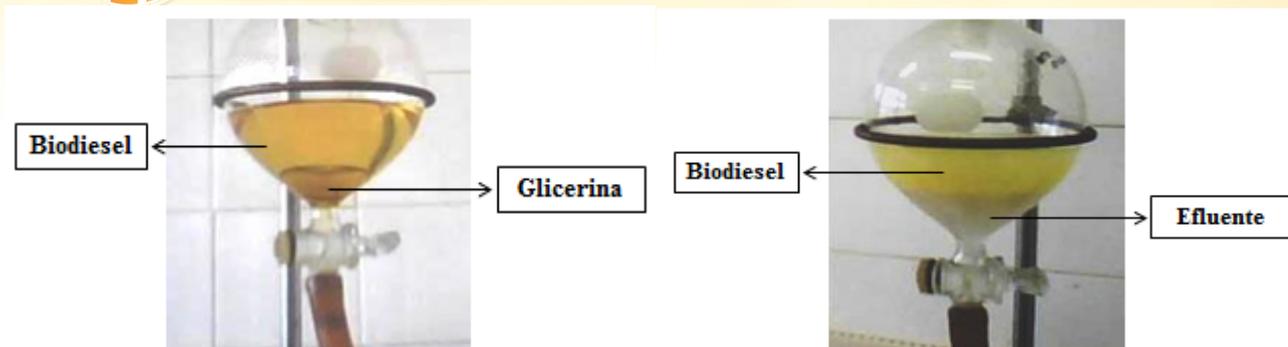


Figura 3: Formação de duas fases, biodiesel e glicerina. Figura 4: Formação de fases durante a lavagem do biodiesel.

Retirou-se a glicerina, quantificou-a e, em seguida, inseriram-se na porção decantada, algumas gotas de solução de Ácido Clorídrico (HCL) a 0,01 N, previamente pronta, para reduzir a alcalinidade deixada pelo (KOH).

Após 2,0 h do processo de neutralização, iniciou-se o processo de lavagem, que consistiu na inserção de 50 mL de água a 60 °C, no interior do decantador, deixando a mistura em repouso por um tempo médio de 30 minutos, conforme se observa na Figura 4. Observou-se, mais uma vez, a formação de duas fases: uma mais límpida (biodiesel), menos densa, e outra com aspecto leitoso (efluente), mais denso. Retirou-se então uma alíquota da parte leitosa, sendo adicionadas duas gotas da solução indicadora de fenolftaleína a 1 %, observando uma coloração rubro, o que ainda caracterizou um pH alcalino. Repetiu-se, em média, quatro vezes o processo de lavagem, até verificar-se um pH neutro, obtendo um aspecto mais límpido do biodiesel.

Como última etapa, separou-se a parte correspondente aos ésteres metílicos/etílicos, que foram submetidos à secagem, em estufa a 105 °C, por 24 horas, obtendo-se o biodiesel puro como produto final. Na Figura 5 é apresentado o fluxograma geral do processo de produção do biodiesel utilizando catalisador homogêneo.

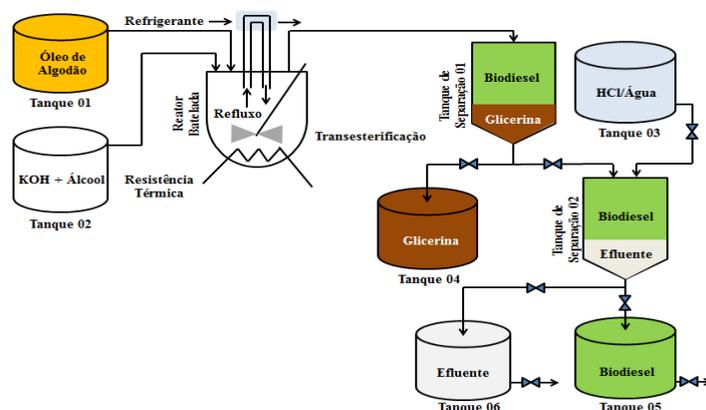


Figura 5: Fluxograma geral do processo de produção do biodiesel.

2.4. Caracterizações do biodiesel

A viscosidade do óleo e do biodiesel foram obtidas a 40 °C, num viscosímetro capilar CANNON FENSKE 520 23/ 300. Para essa operação foi ajustado um banho termostático a temperatura controlada, usando água como fluido refrigerante.

Para a medição do índice de acidez, pesou-se 2,0 g da amostra e adicionou-se 25 mL da solução de (éter etílico + álcool) na razão de 2:1, previamente neutralizada, com uma solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 0,01 N. Em seguida, adicionaram-se duas gotas de solução indicadora de fenolftaleína a 1 % e titulou-se com a mesma solução de hidróxido de sódio, até a predominância da coloração rosa.

Para se calcular o índice de acidez utilizou-se a seguinte equação:

$$IA = \frac{V \cdot f \cdot 0,561}{m} \quad (1)$$

Sendo: V é o volume de NaOH, f é o fator da solução de hidróxido de sódio e m é a massa da amostra;

O teor de água das amostras foi verificado pelo método de *Karl Fischer*, usando o titulador *Water Content Measuring Test Equipment*. Aquameter KFM 3000 da BAUR S.A.

A densidade relativa 20°C/4°C das amostras foram determinadas segundo as normas da ASTM D 445, D utilizando-se um densímetro digital, marca Anton Pear, modelo DMA – 35N.

A determinação da absorvidade a 232 e a 268 nm é um fator muito importante na análise dos combustíveis, pois, no caso do biodiesel, pode fornecer indicativo do estado de oxidação, revelando a presença de compostos secundários, dienos e trienos (SILVA, 2009). A oxidação dos ácidos graxos polinsaturados ocorre com formação de hidroperóxidos e deslocamento das duplas ligações, com conseqüente formação de dienos conjugados, que absorvem a 232 nm.

Os produtos secundários da oxidação, em particular, as acetonas ou as cetonas insaturadas, apresentam um máximo de absorção a 268 nm, até 270 nm. Esta diferença é particularmente interessante, permitindo separar estados de evolução oxidativa com base na relação de absorbância ($A_{268 \text{ nm}}/A_{232 \text{ nm}}$). Quanto maior o valor da absorbância a 232 nm, mais elevado será o conteúdo em peróxidos, que corresponde ao início do processo de oxidação. Ao contrário, quanto maior for o valor de absorvância a 268 nm, maior o teor de produtos secundários presentes (DANTAS, 2007).

Nessa análise, pôde-se determinar a presença de dienos e trienos conjugados no biodiesel, nas bandas 232 e 268 nm do espectro, respectivamente. Na análise utilizou-se um espectrofotômetro

de luz ultravioleta (UV), provido de cubetas de quartzo de comprimento $1,00 \pm 0,01$ cm. O agente de referência e de diluição foi o n-hexano padrão UV/HPLC, PA a 97 %. Pesou-se 0,02 g de biodiesel e dissolveu em 25 mL do solvente.

As amostras de biodiesel foram analisadas em um cromatografo a gás da marca Varian, modelo 450c com detector de ionização de chamas (FID), coluna capilar de fase estacionária Varian Select Biodiesel Glycerides + RG (Ultimetal) (15 mm x 0,32 mm x 0,45 mm). A temperatura inicial para a injeção foi de 100 °C e a do forno de 180 °C. O detector operou na temperatura de 380 °C. As amostras a serem analisadas foram pesadas, cerca de 50 mg, em frasco de 10 mL e posteriormente diluídas com n-hexano padrão UV/HPLC. Logo em seguida, injetou-se, 1,0 µL da solução preparada (amostras + solvente) e esperou-se a resposta do aparelho. Foi possível então quantificar os teores de mono, di e triglicerídeos e os ésteres, do biodiesel sintetizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do óleo de algodão

Na Tabela 2, encontram-se os parâmetros físico - químicos determinados para o óleo de algodão, após o processo de degomagem. As análises foram realizadas em triplicata e extraídas as médias para os valores medidos.

Tabela 2: Parâmetro físico – químicos para o óleo de algodão pós - tratado.

Parâmetros	Valor
Índice de Acidez / mgKOH.g ⁻¹	0,65
Teor de água / ppm	66,7
Viscosidade cinemática / mm ² .s ⁻¹	36,26
Densidade / g.cm ⁻³	0,919

O índice de acidez está abaixo do limite estabelecido pela Resolução 07/2008 da ANP, que é de 2,0 mgKOH.g⁻¹, assim, como o teor de umidade que deve ser menor que 500 ppm. Fatores importantíssimos para a síntese do biodiesel, pois, se a acidez do óleo for elevada, grande parte do catalizador reage com os ácidos graxos livres, formando sabão, ou seja, reduz a eficiência de

formação dos ésteres. Assim como o teor de água, que caso seja elevada, favorece a saponificação indesejada.

3.2. Caracterização do biodiesel

Os biodieseis sintetizados pelas rotas etílica e metílica foram purificados e armazenados, conforme se observa na Figura 7.



Figura 7: Biodiesel obtido com óleo de algodão via rotas etílica e metílica.

Através das análises cromatográficas, observou-se que as maiores conversões, tanto para a rota etílica, quanto para a metílica são obtidas quando a reação de transesterificação é realizada a uma temperatura de aproximadamente 55 °C e um tempo de 40 minutos. Na Tabela 3, observa-se que para essas condições operacionais obteve-se 96,51% de conversão para a rota etílica e 87,37 % para a rota metílica, que são representadas pelas quantidades de ésteres do biodiesel.

Tabela 3: Resultado da cromatografia gasosa para o biodiesel etílico e metílico.

Compostos do Biodiesel	Etílico (%)	Metílico (%)
Ésteres	96,51	87,37
Monoglicerídeos	2,07	0,24
Diglicerídeos	0,92	0,29
Triglicerídeos	0,5	12,1
Total	100	100

Observa-se ainda que a quantidade de triglicerídeos, que equivale à glicerina combinada presente no biodiesel, está elevada, principalmente para o biodiesel obtido pela rota metílica. Segundo a Resolução 07/2008 da ANP, esse valor tem que estar abaixo de 0,25 %, ou seja, para que haja uma diminuição da glicerina combinada e um aumento na glicerina livre, que são os monoglicerídeos e diglicerídeos, os quais resultam na formação dos ésteres. Os monoglicerídeos e

diglicerídeos também estão um pouco elevados para o biodiesel etílico, sendo recomendado valor menor que 1,0 % e 0,25 % em massa, respectivamente.

Quanto ao índice de acidez, observa-se que ambas as rotas apresentam resultados satisfatórios, praticamente a metade da acidez limite permitida pela ANP. Essa variável é de suma importância, pois, para o biodiesel, caso apresente acidez elevada, pode causar sérios problemas de corrosão, ao ser utilizado nos motores dos veículos.

Para a umidade, observa-se que os valores encontram-se abaixo do máximo exigido pela ANP, que é de 500 ppm. O fator indesejado da umidade, no biodiesel, é decorrente dos reagentes utilizados na reação, principalmente o catalisador e os álcoois etílico e metílico, que são higroscópicos. Além disso, a glicerina livre presente no produto faz com que o biodiesel se torne ainda mais higroscópico. Por isso, é mais indicado purificar o biodiesel assim que for sintetizado.

Na Tabela 4 são apresentados os demais resultados da caracterização físico – química do biodiesel, obtido na temperatura de 55 °C, para 40 minutos de reação.

Tabela 4: Caracterização físico – química do biodiesel.

Parâmetros	Biodiese	Biodiese	Limites
	l	l	
	Etílico	Metílico	ANP
Índice de Acidez/mg.KOH.g ⁻¹	0,4	0,42	< 0,80
Teor de água/ppm	107,7	101,6	< 500
Viscosidade cinemática/mm ² .s ⁻¹	5,33	4,45	3,0 - 6,0
Densidade/g.cm ⁻³	0,879	0,88	0,85 - 0,90
Absorbância/232 nm	0,819	0,989	--
Absorbância/268 nm	0,165	0,165	--

Com relação à viscosidade e a densidade, observa-se que os valores encontram-se situados no intervalo estabelecido pela ANP. Comparando a viscosidade do óleo de algodão com as do biodiesel, observa-se uma redução de 85,3 e 87,7 % para o biodiesel etílico e metílico, respectivamente. Segundo SILVA (2011), a redução das viscosidades, juntamente com o aspecto da coloração da mistura, são parâmetros indiretos que podem caracterizar a formação do biodiesel.

Com base nos valores encontrados para absortividade, obteve valores elevados na banda 232 nm, quando se compara com os resultados obtidos para a banda 268 nm, indicando alta oxidação do biodiesel para a rota etílica e metílica. Os resultados podem ser justificados com relação ao período de secagem do biodiesel, na estufa, e devido às condições de armazenamento: ambiente com luz e temperatura oscilante. Ou seja, o mecanismo de auto - oxidação do biodiesel, ocorrendo basicamente via radical livre, foi favorecido pelas condições de temperatura na amostra e pelo número de ligações duplas nos ésteres de ácidos graxos e consequente formação e conjugação de insaturações responsáveis pelas transições ($\pi \rightarrow \pi^*$) refletindo na elevada absorbância do biocombustível.

4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados mostraram que a melhor condição operacional para a obtenção do biodiesel etílico e metílico utilizando o óleo da semente de algodão pré-tratado, corresponde a uma temperatura de 55 °C e um tempo reacional de 40 minutos. Nessas condições obteve-se uma conversão de 96,51 % e 87,37 % do óleo em biodiesel etílico e metílico, respectivamente.

Os parâmetros: índice de acidez, teor de água, viscosidade cinemática e o peso específico, estão situados no intervalo exigido pela ANP, ou seja, o biodiesel se enquadra nos padrões estabelecidos para uso em motores automotivos. Entretanto a análise de absortividade no comprimento de onda 232 nm mostrou que o biodiesel sofreu oxidação, porém, esse fator pode ser minimizado com a redução do tempo de secagem do biodiesel, na estufa, evitando-se a contaminação dos reagentes antes da reação e melhorando as condições de armazenamento do biodiesel.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução nº 07/2008. Disponível em: <https://www.google.com.br/>. Acesso em 20 de Outubro de 2016;

ASTM D 445. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity). Annual Book of ASTM Standards, v. 05.01, p. 185-193, 2001.

BELTRÃO, N.E.M. O agronegócio do Algodão no Brasil, 1ª edição, Embrapa, Campina Grande – Paraíba, v.1, 1ª Edição, 1999;

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. – v. 1, n.1. Brasília, 2013;

DANTAS, M. B.; CONCEIÇÃO, M. M.; FERNANDES JR., V. J.; SANTOS, N. A.; ROSENHAIM, R.; MARQUES, A. L. B.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G.; Thermal and kinetic study of corn biodiesel obtained by the methanol and ethanol routes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.87, n. 3, March, 2007;

FERNANDES, T. F.; ARAÚJO G. T.; SILVA, A. S.; MENESES, J. M.; VASCONCELOS, R. F.; MELO, H. Síntese do biodiesel a partir do óleo de algodão via rota etílica e metílica. VII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande – PIBIC, Campina Grande, Paraíba, 2010;

LUZ, C. S. C.; MAINIER, F. B.; MONTEIRO, L. P. C. Comparação de oleaginosas para a produção de biodiesel. *Engevista*, v.17, n.2, p. 232 – 239, 2015;

MIYASHIRO, C. S.; OLIVEIRA, C.; CAMPOS, E.; TELEKEN, J. G. Produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleos residuais. *Revista brasileira de energias renováveis*, v.1, p. 63 – 76, 2013;

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS R.M. Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal of Brazilian Chemical Society*, v. 9, n. 1, p.199-210, 1998;

SILVA, A. SANTANA. Avaliação de catalisadores NiO e MoO suportadas em MVM-41 na obtenção de óleo de algodão. 142 p. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – PPGE/UFCEG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2011;

THAISA, C.FUGINERI. Biodiesel etílico de babaçu x diesel BS1800: ensaio de opacidade da fumaça do trator agrícola variando os horários do dia. 84 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, 2015;

