

Monitoramento das propriedades dos biodíeseis metílicos de soja puro, aditivado e comercial, sob condições de estocagem ao relento em recipientes de aço-carbono

Marco Aurélio Rodrigues de Melo ^[1], Giuseppe Cavalcanti de Vasconcelos ^[2], Williams Silva Guimarães de Lima^[3], Maria Andrea Mendes Formiga Melo ^[4], Ary da Silva Maia ^[5] e Eduardo Homem de Siqueira Cavalcanti ^[6].

[1]marcoareliorodriguesdemelo@gmail.com. UFPB/CCEN/DQ/Lacom, João Pessoa- PB. [2]giuseppecv@gmail.com. IES, Cabedelo - PB. [3]williams_guimaraes@hotmail.com. IES, Cabedelo - PB. [4]andreaformigamelo@gmail.com.br. SMS, João Pessoa - PB. [5]arimaia@quimica.ufpb.br. UFPB/CCEN/DQ/Lacom, João Pessoa- PB. [6]eduardo.cavalcanti@int.gov.br. INT/Lacor, Rio de Janeiro - RJ.

RESUMO

Aumento da demanda mundial por combustíveis líquidos, aquecimento global, segurança e estabilidade energética, vontade política por desenvolvimento nos campos da agricultura, social e energético são pontos que mostram a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para a produção do biodiesel, a partir de diversas culturas agrícolas espalhadas por todos os países bem como a busca dos aditivos que melhorem sua estabilidade e estocagem. Diante deste cenário, o objetivo deste estudo foi investigar o comportamento oxidativo do biodiesel de soja puro e com adição de antioxidantes sob condições de estocagem ao relento, avaliando as propriedades físicas, químicas, fluidodinâmicas, teor de água e susceptibilidade à oxidação do biodiesel comercial. O biodiesel de soja metílico foi obtido na sua forma comercial (com adição de antioxidante, BSA100 - TBHQ) e na sua forma pura (sem adição de antioxidante, BS100) e puro – com adição de antioxidantes naturais, BSM50 - 50% de biodiesel de soja puro e 50% de biodiesel de macaúba puro, BS100-13 e BS100-14 - aditivo de extrato de uva Syrah e Petit Verdot –, respectivamente. A Cromatografia gasosa identificou o biodiesel metílico de soja, verificando a existência de 50,41%, referente à linolenato de metila que influencia sensivelmente em sua susceptibilidade no processo de oxidação. As caracterizações físicas e químicas foram realizadas, determinando-se alguns parâmetros: índice de acidez, massa específica e viscosidade cinemática, demonstrando valores dentro do limite permitido, conforme Resolução ANP no 14/2012. Com o aumento do tempo de armazenamento, ocorreu um expressivo aumento do teor de água nos biodieseis bem superior ao limite (350 ppm). Os aditivos produziram pequenos acréscimos no valor da estabilidade à oxidação. Após 30 dias de armazenamento em frascos de aço-carbono, os biodieseis metílicos de soja não mais atenderão à regulamentação da ANP.

Palavras-chaves: Biodiesel. Armazenamento. Antioxidantes. Estabilidade.

ABSTRACT

The Increasing global demand for liquid fuels, global warming, security and energy stability, political will for development in the fields of agriculture, social and energy as well as the search for additives that improve the stability and storage of them are points that show the need for the development of new technologies for the production of biodiesel from various agricultural crops spread throughout many countries. In this sense, the objective of this study was to investigate the pure biodiesel and biodiesel with the addition of antioxidants, evaluating the physical, chemical, fluid dynamics, water content and susceptibility to commercial biodiesel oxidation. Methyl soybean biodiesel was obtained in its commercial form (with the addition of antioxidant, BSA100 - TBHQ) and in its pure form (without the addition of antioxidant, BS100) and pure (with the addition of natural antioxidants, BSM50 - 50% biodiesel of pure soybean (50% pure biodiesel), BS100-13 and BS100-14 - Syrah grape extract additive and Petit Verdot, respectively). Gas Chromatography identified the soybean methyl biodiesel, verifying the existence of 50.41%, referring to the methyl linolenate that sensibly influences its susceptibility in the oxidation process. Physical and chemical characterizations were performed, based on the following parameters: acidity index, specific mass and kinematic viscosity, showing values within the limit established by ANP Resolution no. 14/2012. With increasing storage time, there was a huge increase in the water content of biodiesel well above the limit (350 ppm). The additives caused an increase in the oxidation stability value. After 30 days of storage in carbon steel jars, soybean methyl biodiesel will no longer meet ANP regulations.

Key-words: Biodiesel. Storage. Antioxidants. Stability.

1 Introdução

Aumento da demanda mundial por combustíveis líquidos, aquecimento global, segurança e estabilidade energética, vontade política por desenvolvimento nos campos da agricultura, social e energético são pontos que mostram a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para a produção do biodiesel a partir de diversas culturas agrícolas espalhadas por todos os países (SOUZA *et al.*, 2009) bem como a busca dos aditivos que melhorem sua estabilidade e estocagem (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

Biodiesel é um combustível obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais que compõe, junto com o etanol, importante oferta para o segmento de combustíveis (PAULILLO *et al.*, 2007). Ambos são denominados de biocombustíveis por derivarem de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser utilizada para a produção de energia) e por serem menos poluentes e renováveis (CANDEIA *et al.*, 2009).

O biodiesel, quando comparado ao diesel, acarreta menor prejuízo ao meio ambiente e viabiliza vantagens econômicas. Sua produção e o cultivo de matérias-primas gera milhares de novos empregos na agricultura familiar nas regiões mais pobres do Brasil (ARRUDA *et al.*, 2017).

O biodiesel apresenta em sua composição ésteres (metílicos ou etílicos) de ácido graxos, de origem vegetal ou animal, produzidos através da reação química de um álcool na presença de um catalisador com óleos ou gorduras, cujo processo é mundialmente conhecido como transesterificação (SUBRAMANIAM, 2013). Entre as matérias-primas mais utilizadas para sua produção, o grão de soja tem sido destaque, sendo o mais utilizado na produção do biodiesel nacional.

Na qualidade de combustível, o biodiesel tem todas as características necessárias para substituir o diesel mineral, com a vantagem de ser virtualmente livre de enxofre e de compostos orgânicos nocivos ao ser humano e ao ambiente. Seu caráter renovável está apoiado no fato de serem suas matérias-primas oriundas de fontes renováveis, ao contrário dos derivados de petróleo (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009).

Atualmente, existe uma demanda de combustível cada vez maior, provocada pelas crescentes dificuldades de exploração dos combustíveis fósseis e também por sua utilização como estratégia política,

considerando que um programa para os biocombustíveis terá, cada vez mais, que levar em conta a utilização de plantas de alta produtividade como matéria-prima (MATTEI, 2010).

Em relação à produção de biodiesel, a macaúba possui algumas vantagens sobre outras plantas de destaque no Brasil (RAMOS; MANGRICH; CORDEIRO, 2011). Essa planta apresenta volume que ultrapassa 30 toneladas de biomassa por hectare, o que resultaria em cerca de 5.000 litros de biodiesel produzidos por hectare (OLIVEIRA, 2016). Além disso, a macaúba mostra-se cultura pouco exigente de água para cultivo.

As características físicas e químicas do biodiesel são bastante distintas, possibilitando aplicações diversas. O ácido oléico, componente majoritário, é um ácido graxo monoinsaturado que apresenta na sua composição 18 átomos de carbonos e apenas uma insaturação. Esta configuração molecular lhe confere características importantes em sua matéria graxa e, por ser resistente à oxidação, pode ser utilizado em misturas para correção da estabilidade oxidativa de óleos com número elevado de insaturações (AMARAL *et al.*, 2011).

A soja desponta como uma das principais matérias-primas para a produção de biodiesel, sendo apontada atualmente como a única oleaginosa com escala produtiva suficiente para produzir de imediato esse tipo de óleo. Isto porque cerca de 90% da produção brasileira de óleo é derivado dessa matéria-prima (CALIXTO, 2011).

O uso de aditivos naturais tem como função impedir alterações, manter ou intensificar as propriedades dos biodieseis por algum período (RAMOS, 2017). Esses aditivos são os antioxidantes, substâncias ou misturas de substâncias em porções mínimas, utilizados com o objetivo de conferir funcionalidade, desempenho e requisitos de qualidade, acrescentando melhora às propriedades já existentes nesse tipo de combustível (SILVA *et al.*, 2017).

Os antioxidantes são desenvolvidos para otimizar a estabilidade oxidativa dos biodieseis. Capturam os radicais livres à medida que são formados, interrompendo a reação em cadeia, favorecendo a estabilidade do biocombustível. Também são adicionados a lubrificantes, para aumentar sua durabilidade, manter suas propriedades e garantir o bom funcionamento dos motores. (FILHO *et al.*, 2013).

O armazenamento é um dos pontos críticos da sustentabilidade da cadeia do biocombustível e deve

ser monitorado e avaliado para garantia do produto. Devido à ação do ar, da luz, temperatura e umidade, a constituição química do biodiesel pode alterar-se com o tempo (FATTAH *et al.*, 2014). Ao contrário dos combustíveis fósseis, que são relativamente inertes e mantêm as suas características essenciais pouco alteradas ao longo da estocagem, o biodiesel degrada mais rapidamente devido aos fatores bióticos e abióticos.

Quanto aos processos oxidativos do biodiesel, estes podem ser minimizados pela adição de antioxidantes (BORSATO *et al.*, 2010), os quais desempenham papel fundamental na prevenção da iniciação e propagação da oxidação deste produto. Entre os antioxidantes mais utilizados em biodiesel de soja, encontra-se o Terc-butil-hidroquinona (TBHQ), o qual é considerado o mais eficaz em óleos vegetais da indústria alimentícia (BORSATO *et al.*, 2012). Sua estrutura química permite que o biodiesel se mantenha estável durante seu armazenamento (JAIN; SHARMA, 2010).

Neste sentido, estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de aperfeiçoar a qualidade do biodiesel, em função de cada oleaginosa, buscando assim aprimorar as propriedades físico-químicas e, então, solucionar os problemas existentes na área do controle da qualidade, armazenamento e outros (RODRIGUES FILHO, 2010).

Desta forma, este estudo visa propor a aplicação de um composto, através do preparo de blenda com biodiesel de macaúba, buscando a melhoria da estabilidade oxidativa e das propriedades físicas e químicas do biodiesel de soja, como também uma análise detalhada dos processos corrosivos durante o armazenamento prolongado.

Diante deste cenário envolvendo o monitoramento da qualidade do biodiesel, o objetivo deste estudo foi investigar o comportamento oxidativo do biodiesel de soja puro e com antioxidantes sob condições de estocagem ao relento, avaliando as propriedades físicas, químicas, fluidodinâmicas, teor de água e suscetibilidade à oxidação do biodiesel comercial.

2 Material e métodos

Considerando que a soja é a principal matéria-prima para biodiesel no Brasil, o biodiesel de soja metílico foi utilizado como matriz (OLIVEIRA; ZANIN, 2015) obtido na sua forma comercial (com adição de antioxidante, BSA100-TBHQ) e na sua forma pura (sem adição de antioxidante, BS100), blenda (com

adição de antioxidantes naturais, BSM50-50% de biodiesel de soja puro e 50% de biodiesel de macaúba puro) e puro aditivado BS100-13 e BS100-14-aditivo de extrato de uva Syrah e Petit Verdot, respectivamente. O monitoramento foi conduzido em quatro tempos amostrais de biodiesel (0, 30, 60 e 90 dias).

Os biodieseis metílicos foram armazenados em recipientes de aço-carbono, dotados de tampa rosqueada polimérica e de respiro, e monitorizados durante 90 dias, com remoções mensais envolvendo alíquotas de 20% do volume de 1L a cada 30 dias para análises periódicas, com o intuito de avaliar a estabilidade oxidativa, propriedades físicas, químicas, teor de água e fluidodinâmica para as condições de armazenamento.

As análises dos biodieseis foram realizadas de acordo com as normas da American Society of Testing and Materials (ASTM) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT-NBR) indicadas pela Resolução no 14 de 2012 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

O teor de ésteres do biodiesel foi realizado conforme a NBR 15342, usando um cromatógrafo em fase gasosa, marca Shimadzu, modelo GC-2010, com amostrador automático. A coluna capilar utilizada foi a DB-23 (30 m; 0,25 mm; 0,25 μ m). O gás de arraste utilizado foi o hélio em uma vazão de 96 mL.min⁻¹ e o volume de injeção da amostra foi de 1,0 μ L.

A massa específica (20°C/4°C) das amostras foi determinada segundo o método ABNT NBR 14065.

A viscosidade cinemática foi determinada utilizando-se um viscosímetro cinemático manual, na temperatura de 40 °C, conforme método ABNT NBR 10441. Para calcular a viscosidade das amostras, utilizou-se a seguinte equação:

$$v = C \times t$$

em que: v = viscosidade cinemática (mm². s⁻¹);
C = constante capilar do viscosímetro (mm². s²);
t = tempo (s).

O teor de água foi determinado de acordo com o método EN ISO 12937-Karl Fisher coulométrico.

O ponto de entupimento de filtro a frio foi realizado conforme ABNT-NBR 14747.

A estabilidade oxidativa foi determinada em um equipamento Rancimat 743, segundo a norma EN 14112.

3 Resultados e discussão

Os resultados obtidos da caracterização física, química, cromatografia gasosa, do comportamento fluidodinâmico, das análises oxidativas dos biodieseis de soja durante armazenamento em tanques de aço-carbono, durante o período de 90 dias, serão apresentados e discutidos a seguir.

As alíquotas dos biodieseis foram avaliadas por via de parâmetros estabelecidos pela Resolução 14/2012 da ANP.

3.1 Cromatografia Gasosa (CG/MS)

A Cromatografia em fase Gasosa determinou o percentual de ésteres do biodiesel de soja e de macaúba.

A Tabela 1 mostra a identificação do biodiesel metílico de soja e de macaúba. Para a soja, foi observado que existem 50,41% referente à linolenato de metila e 35,19% referente ao ácido láurico na macaúba, sendo estas composições químicas refletidas nos resultados de estabilidade oxidativa, propriedades físicas, químicas e de fluxo.

Tabela 1– Composição dos ésteres metílicos presentes no Biodiesel de Soja e Macaúba por Cromatografia gasosa

Biodiesel	Soja	Macaúba
C12:0	-	35,19
C16:0	4,75	8,82
C18:0	2,07	3,08
C18:1	10,92	29,21
C18:1(E)	0,48	-
C18:2	30,69	4,07
C18:3	50,41	-
Outros	0,68	44,55
Total	100,00	100,00

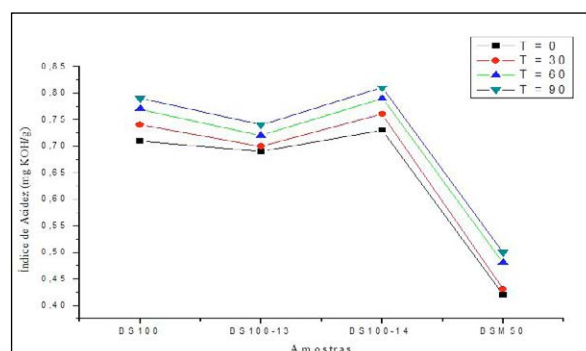
Fonte: autor.

3.2 Propriedades físicas e químicas dos biodieseis metílicos de soja (puro, blenda e aditivados)).

As caracterizações físicas e químicas foram realizadas, determinando-se alguns parâmetros, como: índice de acidez, massa específica e viscosidade cinemática, os quais indicaram valores dentro dos limites permitidos.

Os valores de acidez de quase todos os biodieseis ficaram acima do limite estabelecido pela ANP, que é de 0,5 mg.KOH/g. A acidez durante o armazenamento é de muita importância, pois a alteração de seus valores significa presença de água, levando à formação de ácidos, promovendo a oxidação do biodiesel (SILVA; NETO, 2013). Um elevado índice de acidez favorece a corrosão dos tanques de armazenamento do biodiesel e também formação de sedimentos. Não foi observado o resultado do BSA100 – TBHQ por falha no equipamento.

Figura 1– Índice de acidez dos biodieseis metílicos de soja



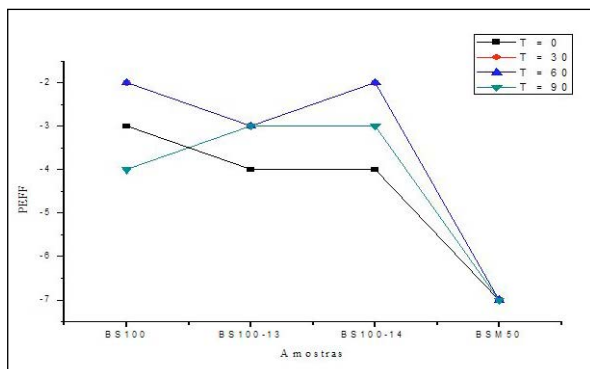
Fonte: autor.

Na Figura 1, observa-se a evolução do índice de acidez dos biodieseis metílicos de soja, com o aumento do tempo de estocagem.

3.3 Propriedades Fluidodinâmicas

O biodiesel é susceptível às baixas temperaturas, a problemas de ignição na partida e de desempenho. Um combustível pode solidificar ou congelar em baixas temperaturas, devido a vários parâmetros experimentais, como, por exemplo: Ponto de Entupimento de Filtro a Frio (PEFF) (ROSENHAIM, 2009).

Figura 2 – Ponto de entupimento de filtro a frio dos biodieseis metílicos de soja



Fonte: autor.

Observou-se que os biodieseis metílicos de soja se encontram dentro dos padrões especificados pela ANP, Resolução nº 14 de 2012, (Limite: -19°C) Figura 2. Nota-se também que, ao longo do armazenamento, ocorreu um discreto aumento nos valores de temperatura. Não foi observado o resultado para BSA100 – TBHQ por falha no equipamento. Figura 3.

3.4 Massa Específica a 20 °C

A massa específica do biodiesel está relacionada com as estruturas moleculares dos seus alquil ésteres. Quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior será sua massa específica (LÔBO; FERREIRA, 2009).

Observou-se, nos valores de massa específica dos biodieseis de soja, que praticamente não ocorreu mudança em suas massas específicas ao longo do armazenamento (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa específica a 20 °C dos biodieseis de soja

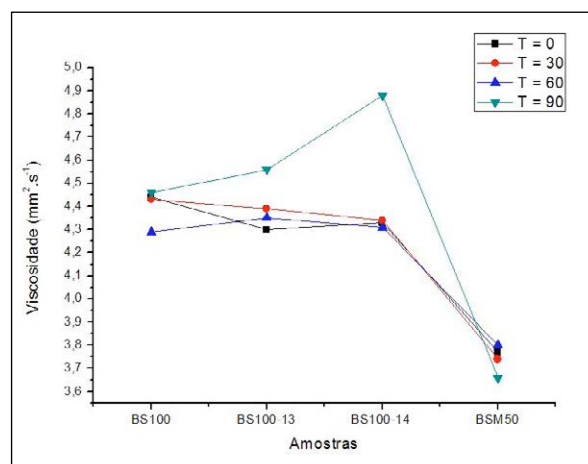
Biodiesel	Massa específica 20 °C (kg.m ⁻³) Limite (850 – 900) Amostras			
	T0	T30	T60	T90
BS100	0,8811	0,8816	0,8820	0,8826
BSA100	0,8812	0,8815	0,8819	0,8817
BS100-13	0,8810	0,8815	0,8819	0,8823
BS100-14	0,8810	0,8814	0,8821	0,8827
BSM50	0,8767	0,8770	0,8773	0,8776

Fonte: autor.

3.5 Viscosidade Cinemática

A Viscosidade Cinemática expressa a resistência oferecida pela substância ao escoamento sob gravidade. Os resultados obtidos dos biodieseis de soja estão de acordo com os valores da literatura recente (MELO *et al.*, 2014). Não foi observado resultado para o BSA100 – TBHQ por falha no equipamento. Figura 3.

Figura 3 – Viscosidade Cinemática a 40°C dos biodieseis metílicos de soja



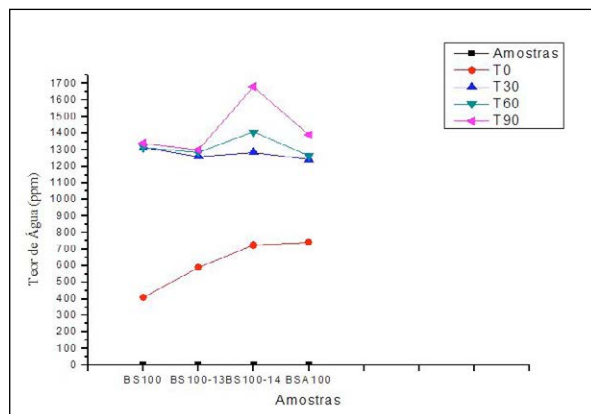
Fonte: autor

Percebe-se também que todos os biodieseis se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pela ANP, que é entre 3,0 – 6,0 mm²/s (Figura 3).

3.6 Teor de água (Karl Fisher)

A presença de água contribui para elevação de acidez, podendo, assim, facilitar a corrosão dos tanques de armazenamento. Uma das razões pelas quais o biodiesel pode absorver a água é a persistência de mono e diglicerídeos que sobram de uma reação incompleta em sua produção. Estas moléculas podem agir como um emulsificante, permitindo que a água se misture com o biodiesel. No processo produtivo, uma secagem pouco eficiente também corrobora a presença de água no biodiesel (MELO *et al.*, 2016).

Figura 4 – Karl-Fisher dos biodieseis metílicos de soja



Fonte: autor.

Nota-se que, com o aumento do tempo de armazenamento, ocorre um expressivo teor de água nos biodieseis bem superior ao limite (350 ppm) (Figura 4).

Esse aumento do teor de água ocorre, provavelmente, devido à umidade do ar, ou à ineficiência do processo de secagem após a reação de transesterificação.

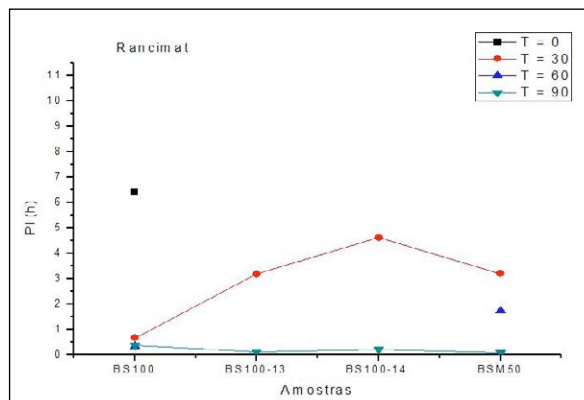
A operação de secagem do biodiesel não é suficiente para garantir um baixo teor de água. Isso ocorre devido à afinidade do biodiesel pela água, característica que o torna tão higroscópico que o contato com a umidade do ar eleva consideravelmente seu teor de água (MELO *et al.*, 2016). Não observado o resultado do BSM50 - 50% por falha no equipamento.

3.7 Estabilidade Oxidativa

A Estabilidade Oxidativa é de grande importância para o biodiesel, uma vez que relaciona a capacidade de o biodiesel sofrer degradação à presença do oxigênio, água, calor, traços de metais, antioxidantes e peróxidos (CINI *et al.*, 2013).

O biodiesel também se altera conforme o tempo e as condições de armazenamento. Os tanques de armazenamento podem desfavorecer a qualidade, devido apresentar metais em sua composição (MORAIS *et al.*, 2013).

Figura 5 – Rancimat dos biodieseis metílicos de soja



Fonte: autor.

Para avaliar a estabilidade oxidativa de biodiesel, a ANP-Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis utiliza a Norma Europeia (EN 14112), para indicar a susceptibilidade das amostras à degradação oxidativa, nas condições de teste (MELO *et al.*, 2016).

Observou-se uma diminuição no Período de Indução (PI) de todos os biodieseis durante o armazenamento. Ressalta-se, entretanto, que o biodiesel de soja/macauába obteve maior PI (10,99 h).

Vários estudos demonstram que, no período de indução determinado pelo método Rancimat correlaciona-se bem com a evolução de parâmetros de qualidade resultantes da degradação do biodiesel, como índice de acidez e viscosidade cinemática (MELO *et al.*, 2014). Não foi observado o resultado para o BSM50 - 50% por falha no equipamento.

4 Conclusões

A cromatografia gasosa identificou eficientemente a composição do teor de ésteres de ácidos graxos, mostrando valor aproximado ao registrado na literatura. Foi confirmada a presença majoritária de ácido linoléico para o biodiesel de soja e do ácido láurico para o biodiesel de macauába;

Os biodieseis metílicos de soja apresentaram parâmetros físico-químicos dentro dos limites estabelecidos, com exceção do índice de acidez dos biodieseis BS100, BS100A, BS100-13, BS100-14 e da estabilidade oxidativa dos biodieseis BS100, BS100A, BS100-13, BS100-14, que apresentaram valores fora dos limites estabelecidos pela norma vigente;

Nota-se que os biodieseis metílicos de soja aditivados acrescentam uma melhora nas propriedades

de fluxo a frio, demonstrando, assim, ser um aditivo anticongelante.

Todos os biodieseis apresentaram um teor de água bem superior ao limite (350 ppm), não estando de acordo com os parâmetros exigidos pela ANP.

Observou-se que os aditivos produziram pequeno aumento no valor da estabilidade à oxidação; no biodiesel metílico de soja, quando adicionados 50% de biodiesel metílico de macaúba, ocorreu um sensível aumento na estabilidade oxidativa – possivelmente o biodiesel de macaúba age como aditivo antioxidante natural para biodiesel metílico de soja, que apresentou valores muito baixos no período de indução oxidativa (PI) a 110 °C.

Após 30 dias de armazenamento em recipientes de aço-carbono, os biodieseis metílicos de soja não mais atenderam aos parâmetros de regulamentação da ANP.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, F. P. *et al.* Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amendoas de fruts de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart] coletada na região de botucatu, SP¹, **Revista Energia na Agricultura**, ISSN 1808-8759, 2011.
- ANP (2012) - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso: 19/05/2017.
- ARRUDA, T. B. M. G. *et al.* Blends of diesel and biodiesel of cooking oil waste and moringa (*Moringa oleifera* Lam): kinetic and thermal analysis and monitoring during storage. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, v. 6, p. 1-7, 2017.
- BORSATO, D. *et al.* Aplicação do delineamento simplex-centroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel b100 em mistura com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1726-1731, 2010.
- BORSATO, D. *et al.* Cinética da oxidação de biodiesel de óleo de soja em mistura com tbhq: determinação do tempo de estocagem. **Química Nova**, v. 35, n. 4, p. 733-737, 2012.
- CALIXTO, C. D. **Óleo de quiabo como fonte alternativa para produção de biodiesel e avaliação de antioxidantes naturais em biodiesel etílico de soja**. 120 f. Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Dissertação de Mestrado, 2011.
- CANDEIA, R. A. *et al.* Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel diesel blends. **FUEL (GUILDFORD)**, v. 88, p. 738-743, 2009.
- CINI, J. R. de M. *et al.* Comparação dos métodos de determinação da estabilidade oxidativa de biodiesel b100, em mistura com antioxidantes sintéticos. Aplicação do delineamento simplexcentroide com variável de processo. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 79-84, 2013.
- DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009.
- FATTAH, I.M. R. *et al.* Effect of antioxidants on oxidation stability of biodiesel derived from vegetable and animal based feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 356-370, 2014.
- FILHO, D. B. O. *et al.* Utilização de aditivos naturais no biodiesel para o melhoramento da sua estabilidade oxidativa. **Cadernos de Prospecção**, v. 6, n. 2, p. 249-256, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9771/S.CPROSP.2013.002.028>. Acesso: 15/05/2017.
- Jain, S.; Sharma, M. P. Stability of biodiesel and its blends: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 667-678, 2010.
- LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. BIODIESEL: PARÂMETROS DE QUALIDADE E MÉTODOS ANALÍTICOS. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.
- MATTEI, L. Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): Trajetória, Situação Atual e Desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, ISSN 2357-9226, 2010.
- MELO, M. A. M. F. Non-conventional oils for biodiesel production: a study of thermal and oxidative stability. **J Therm Anal Calorim** v.117, p. 845-849, 2014.
- MELO, M. A. R. *et al.* Avaliação do teor de água, propriedades físico-químicas e estabilidade oxidativa de biodieseis e suas blends. **Revista Principia**, ISSN 1517-0306, 2016.
- MELO, M. A. R. *et al.* Study of the oxidative stability of oils vegetables for production of Biodiesel. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, ISSN 1981-8203, 2014.

MELO, M. A. R. *et al.* Quality of biodiesel soy, castor beans and blends during storage. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n. 5, p. 143-148, 2016.

MORAIS, V. S. de. *et al.* Cor astm: um método simples e rápido para determinar a qualidade do biodiesel produzido a partir de óleos residuais de fritura. **Química Nova**, v. 36, n. 4, p. 587-592, 2013.

OLIVEIRA, K. C. de; ZANIN, V. A Bioeconomia e os Biocombustíveis no cenário Brasileiro. **Rev iPecege**, v. 1, n. 2, DOI: 10.22167. ISSN 2359-5078, 2015.

OLIVEIRA, M. Óleo para o biodiesel. **Revista Pesquisa Fapesp**, Edição 245, 2016. Acesso: 20/04/2017.

PAULILLO, L. F. *et al.* Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis? **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 45, n. 3, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-0032007000300001>>. Acesso: 19/06/2017.

RAMOS, L. P.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. **Rev. Virtual Química**, ISSN 1984-6835, 2011.

RAMOS, L. P. *at al.* Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias, de Produção e Propriedades Combustíveis. **Rev. Virtual Quim.**, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017

RODRIGUES FILHO, M. G. **Cardanol e Eugenol modificados – Uso como antioxidants no controle oxidativo do biodiesel etílico de algodão**. 121f, João Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Tese de Doutorado, 2010.

ROSENHAIM, R. **Avaliação das propriedades fluidodinâmicas e estudo cinético por calorimetria exploratória diferencial pressurizada (PDSC) de biodiesel etílico derivado de óleo de fritura usado**. 2009. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, 2009.

SILVA, E. V. *et al.* Content of food pigments and antioxidant capacity of natural dye obtained from pout pepper. **Revista de Química Industrial**, ISSN: 2358-1697, 2017.

SILVA, T. A. R.; NETO, W. B. Estudo da Redução da Acidez do Óleo Residual para a Produção de Biodiesel Utilizando Planejamento Fatorial Fracionado. **Revista Virtual de Química**, DOI: 10.5935/1984-6835.20130060, 2013.

SOUZA, H. M. *et al.* Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, n. 7º, p. 7-26, 1º Sem. 2009.

SUBRAMANIAM, D. *et al.* Bio-diesel production and its engine characteristics — An expatiate view. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 361-370, 2013.