

Análise das Propriedades Físico-Químicas do Biodiesel de Girassol e do Ecodiesel nas Proporções B2.5, B7.5, B10, B25, B50 E B75

Daniele da Silva Oliveira* (Mestranda do PPGCN na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN)

Luiz Di Souza (Prof. Ad. do Dq e do PPGCN na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN)

Vinícius Patrício da Silva Caldeira (Prof. do PPGCN na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN)

Marília Gabriela Araújo Pereira (Graduanda em Química na Universidade do Estado do RN – UERN)

Miguel Martins dos Santos Neto (Graduando em Química na Universidade do Estado do RN – UERN)

Tamara Miranda de Moura (Graduanda em Química na Universidade do Estado do RN – UERN)

*danielequimica@hotmail.com

Resumo: O biodiesel é um dos biocombustíveis que vem tendo destaque na produção mundial de energias alternativas. Uma opção de oleaginosa que se destaca para produção de biodiesel é o girassol, uma cultura que apresenta características favoráveis sob o ponto de vista agrônomo, como ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento em óleo (aproximadamente 48 a 52%). O girassol apresenta boa tolerância à seca e ao calor, podendo tornar-se uma importante alternativa para o semiárido brasileiro. No Brasil, a utilização dos óleos vegetais puros como combustíveis não está autorizada. A Lei nº 11.097, determina que todo diesel vendido no país, deve ser constituído pela mistura de óleo diesel/biodiesel, conforme especificação da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Atualmente é obrigatório a mistura de 7 % de biodiesel no óleo diesel. Assim se faz necessário estudar o comportamento das misturas para observar se obedecem a legislação, o que é feito pela verificação do valor de algumas propriedades que tem limites máximos ou mínimos e métodos de análise pré-estabelecidos. Nesse trabalho objetivou-se produzir o ecodiesel nas proporções B2.5, B7.5, B10, B25, B50 e B70 a partir do biodiesel de girassol, caracterizá-los via propriedades físico-químicas e térmicas e verificou se os mesmos obedecem a legislação vigente. Foram determinadas as propriedades físico-químicas: viscosidade, densidade, índice de saponificação, ponto de fulgor e combustão do biodiesel e dos ecodiesel e realizadas as análises termogravimétricas (TG/DTG). Os resultados obtidos via TG e DTG mostram que óleo de girassol, apresentou uma única perda de massa que ocorreu na temperatura de 415 °C. Essa única etapa de decomposição pode ser atribuída à volatilização e/ou decomposição dos triglicerídeos. O biodiesel apresentou apenas uma única perda de decomposição térmica na temperatura de 265 °C, referente a volatilização e/ou decomposição dos ésteres metílicos. Os resultados mostraram que a conversão de triglicerídeos em ésteres metílicos foi de 98,1 %. As propriedades físico-químicas densidade e viscosidade do biodiesel apresentaram-se fora das especificações da ANP. Para os ecodiesel ainda não existem normas para todas as quantidades que foram analisadas. Foi observado que os valores de viscosidade, densidade, índice de saponificação e ponto de fulgor e combustão são proporcionais ao aumento da quantidade de biodiesel nas misturas (ecodiesel), sendo este um resultado esperado, devido ao acréscimo dos ésteres (biodiesel) que possuem massa molecular maior que a dos hidrocarbonetos presentes no diesel. Este acréscimo gera uma maior lubrificidade, reduzindo a quantidade de lubrificantes a ser adicionado ao diesel. O resultado do ponto de fulgor indica que o biodiesel e os ecodiesel possuem maior segurança no armazenamento, em relação ao diesel.

Palavras-chave: Biodiesel de girassol; ecodiesel; caracterização.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos problemas ambientais existentes na atualidade é causada pela ação direta ou indireta do homem, dentre eles pode ser destacada a poluição atmosférica, pelo aumento da temperatura média da terra (efeito estufa) e a poluição dos mares e oceanos. Grande parte destes problemas resultam do modelo energético global, cuja matriz tem como fonte principal de matéria-prima os recursos naturais não renováveis, especialmente o petróleo (ALTIPARMAK et al., 2007; RUSCHEL et al., 2014).

Os combustíveis fósseis são considerados como um dos principais responsáveis pela poluição e alteração climática (CASTRO et al., 2005; GUARIEIRO; VASCONELOS; SOLCI, 2011; DRUMM et al., 2014). Várias pesquisas têm sido realizadas para desenvolver fontes alternativas de energia que possam atender ao aumento da demanda e reduzir a utilização de combustíveis fósseis e as degradações ambientais que eles têm causado (GALVÃO et al., 2011).

O biodiesel se apresenta como um combustível alternativo ao óleo diesel, e tem atraído atenção nas últimas décadas por ser renovável, biodegradável e ambientalmente correto (PARENTE, 2003; BAROUTIANA et al., 2010), além de possuir propriedades físicas muito semelhantes ao diesel. O processo mais utilizado para a produção de biodiesel é a transesterificação que consiste na reação dos triglicerídeos, principais componentes dos óleos e gorduras, com álcoois de cadeia curta, tais como metanol e etanol na presença de um catalisador normalmente básico (HOSSAIN; DAVIES, 2010; MAHAMUNI; ADEWUYI, 2009; REVELLAME et al., 2009; TYAGI; LO, 2013).

O tipo de óleo para produção do biodiesel pode ser obtido de vegetais, gorduras animais e resíduos industriais e domésticos. Na área vegetal, as principais fontes de óleo no Brasil são: a soja com aproximadamente 80% da produção total, seguida pelo algodão, colza, girassol, mamona, etc. (REPORTERBRASIL, 2010; TUDORACHI; MUSTATA, 2015). Na área animal, o sebo de boi, a gordura de frango e dos suínos são as principais fontes de matéria prima graxa para produção do biodiesel (COSTA NETO et al., 2000; ÖNER; ALTUN, 2009).

Uma alternativa de oleaginosa que se destaca para produção de biodiesel é o girassol (*Helianthus annuus L.*), uma cultura que apresenta características favoráveis sob o ponto de vista agrônomo, como ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento em óleo (aproximadamente 48 a 52%) (MOSER, 2009). O girassol apresenta boa tolerância à seca e ao calor, podendo tornar-se uma importante alternativa para o semiárido brasileiro. Como tal região não dispõe de uma boa infraestrutura agrícola e a maioria da população vive de agricultura familiar, o plantio de oleaginosas pode contribuir para incrementar a renda e estimular a permanência da população nas áreas rurais (EMBRAPA, 2005).

No Brasil, a utilização dos óleos vegetais puros como combustíveis não está autorizada. A lei que regulamenta o biodiesel no Brasil é a lei nº. 11.097, de janeiro de 2005. Nela estão especificadas todas as regras de produção e comercialização de Biodiesel.

O biodiesel é miscível com o diesel de petróleo em qualquer proporção. Em muitos países, esta propriedade levou ao uso de misturas binárias diesel/biodiesel, ao invés do biodiesel puro, essa mistura no Brasil é chamada de ecodiesel (DZIDA; PRUSAKIEWICZ, 2008; OLIVEIRA et al., 2012a).

A substituição do óleo diesel por biocombustíveis ou misturas deste com diesel é a questão mais focada atualmente para suprir a escassez dos combustíveis derivados do petróleo e reduzir os níveis de emissão de poluentes gasosos (KEGL, 2008; LAPUERTA; RODRIGUEZ-FERNANDEZ; AGUDELO, 2008; MACLEOD et al., 2008).

No ano de 2014 a ANP estabeleceu a liberação do ecodiesel B7 de acordo com a Medida Provisória nº 647, de 28 de maio de 2014 (ANP, 2014). Ainda de acordo com os dados do Ministério de Minas e Energia, cada ponto percentual a mais de biodiesel na mistura, representa uma economia direta de quase US\$ 500 milhões em importações de combustível. Diante das informações citadas, e levando-se em consideração a atual adição obrigatória de 7 % de biodiesel no óleo diesel, se faz necessário estudar o comportamento de outras porcentagens de misturas afim de avaliar se elas obedecem a legislação no que diz respeito aos valores dos limites máximos e mínimos das propriedades físico-químicas usadas como padrão para determinar a qualidade.

Assim nesse trabalho objetivou-se produzir o ecodiesel nas proporções B2.5, B7.5, B10, B25, B50 e B70 a partir do biodiesel de girassol, caracterizá-los via propriedades físico-químicas e térmicas e verificou se os mesmos obedecem a legislação vigente.

2. METODOLOGIA

2.1 Obtenção do óleo

A síntese do biodiesel foi feita com óleo da oleaginosa girassol, o qual foi comprado no comércio. Óleo passou por um pré-tratamento, onde foi seco em uma estufa na temperatura de 100 °C, por três horas, para retirar a umidade, que seria inapropriado para a reação de transesterificação.

2.2 Obtenção do diesel mineral

O Diesel foi gentilmente cedido pela PETROBRAS, sem nenhum tipo de aditivo, precaução necessária para que estes não interferissem nos resultados.

2.3 Obtenção do biodiesel

O biodiesel obtido a partir deste óleo foi preparado usando a razão molar (1:6) de óleo/álcool metílico, sendo que o excesso de álcool no meio reacional foi para favorecer o deslocamento da reação para direita (formação dos produtos), um dos fatores relevante para se obter um bom rendimento na reação e 1 % em peso de catalisador básico. As quantidades utilizadas foram: 227,28 g de óleo, 52 g de metanol e 2,27 g de KOH. Para a síntese utilizou-se o seguinte procedimento: inicialmente, colocou-se o óleo em um béquer, e com o auxílio de um agitador mecânico manteve em constante agitação. A parte realizou-se a preparação do metóxido de potássio, misturando-se o metanol ao hidróxido de potássio e agitando-o constantemente até total dissolução. Posteriormente essa solução foi acrescentada ao béquer, permanecendo em agitação por 2 horas. Ao término da reação, transferiu-se a mistura para um funil de decantação para a separação de fases. Após 1 h em repouso observou-se nitidamente duas fases, uma menos densa contendo os ésteres metílicos (biodiesel) e outra mais densa o glicerol (glicerina), as impurezas e os reagentes em excesso. Depois de 24 h em repouso a segunda fase (glicerina) foi removida do balão, restando apenas os ésteres metílicos, que, em seguida, foi lavado com água morna (água a 50 °C) (SANTOS, 2010). Para a avaliação do processo de lavagem foi realizada a medição do pH utilizando fenolftaleína para observar a coloração da água de lavagem, sendo o final da lavagem indicada pela ausência da cor rosa ao fim de sucessivas lavagens. Em seguida, o biodiesel foi seco em uma estufa a 100 °C para eliminar a umidade residual. O biodiesel obtido foi denominado de B100.

2.4 Obtenção do ecodiesel

O biodiesel de girassol foi adicionado ao diesel mineral puro na proporção B2.5, B7.5, B10, B25, B50 e B75. A mistura foi realizada. Por exemplo para o B10, pesando-se em uma balança analítica marca Shimadzu Corporation tipo AX 200, 90 gramas de diesel puro, usando um béquer para conter o líquido e acrescentou-se biodiesel até atingir 100 gamas. Essas misturas são chamadas de ecodieseis.

2.5 Caracterização físico-química do biodiesel de girassol e dos ecodieseis

O biodiesel (B100) foi caracterizados segundo o regulamento técnico da ANP, contido na resolução nº 45. As análises do biodiesel e do ecodieseis foram realizadas no Laboratório de Catálise, Ambiente e Materiais (LACAM), da UERN em triplicata com o resultado final sendo a média aritmética das três análises. As propriedades medidas foram: viscosidade, densidade, índice de saponificação, ponto de fulgor e combustão.

2.6 Termogravimetria (TG/DTG)

As curvas termogravimétricas foram obtidas por meio de uma termobalança, marca Mettler Toledo, modelo TGA/SDTA-851, com a variação de temperatura de 30 a 600 °C e razão de aquecimento 10°C/min, sob atmosfera inerte de Hélio, com vazão de 25 mL/min. Para realizar a análise foi utilizado cadinho de alumina de 900 µL e massa da amostra de aproximadamente 75 mg (SANTOS, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

➤ Análise Termogravimétrica (TG/DTG)

As curvas TG/DTG do óleo e do biodiesel de girassol podem ser visualizadas nos Gráficos 1. Pode-se observar que o óleo de girassol, apresentou uma única perda de massa que ocorreu na temperatura de 415 °C (Tabela 1). Essa única etapa de decomposição pode ser atribuída à volatilização e/ou decomposição dos triglicerídeos. Em relação ao biodiesel, observou-se que o mesmo apresentou apenas uma única perda de decomposição térmica quando atingiu a temperatura de 265 °C (Tabela 1), referente a volatilização e/ou decomposição dos ésteres metílicos (SANTOS, 2010). O resultado mostra que a conversão foi de 98,1 % de triglicerídeos em ésteres metílicos. Este valor é um indício de que o processo de reação foi muito eficiente na conversão dos ácidos em ésteres.

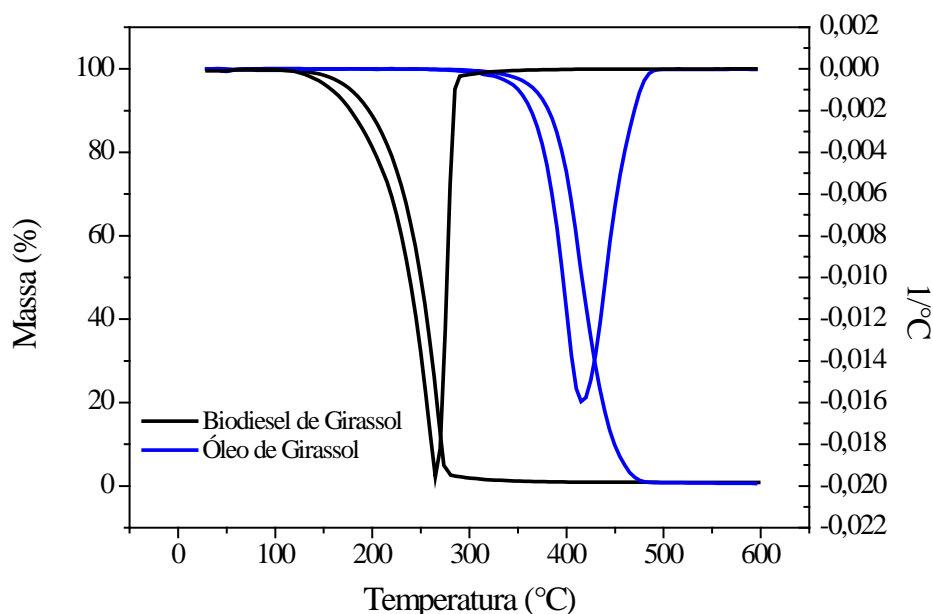


Gráfico 1- TG/DTG do óleo de girassol e do biodiesel.

Tabela 1- Dados da faixa onde ocorre a perda, temperatura de perda máxima, perdas de massa e resíduos do óleo e do biodiesel de girassol.

Amostras	T (°C)	T máx (°C)	P. de massa (%)	M. Residual (%)
Óleo de Girassol	300-495	415	98,7	1,3
B100 de Girassol	115-315	265	98,1	1,9

➤ Viscosidade

No Gráfico 2 podem-se observar os valores de viscosidade do diesel (D puro) e biodiesel, além dos valores para os ecodieseis. O biodiesel apresenta uma viscosidade mais elevada que o diesel e os ecodieseis, porém a medida que aumenta a quantidade de biodiesel no ecodiesel, ocorre um aumento na viscosidade. Esse comportamento já é esperado, em função da miscibilidade total existente entre os líquidos (OLIVEIRA et al., 2012a). As viscosidades das misturas são superiores a do diesel mineral, uma vez que acrescentam-se ésteres que possuem massa molecular maior do que a dos hidrocarbonetos presentes no diesel. Este aumento gera uma maior lubricidade, reduzindo a

quantidade de lubrificantes a ser adicionado ao diesel (CONCEIÇÃO et al., 2007). A viscosidade é influenciada pelas propriedades do ácido linoleico (C18:2), ácido graxo presente em grande quantidade no óleo de girassol que promove interações intermoleculares, como as forças Van der Waals que se acentuam devido a uma grande massa molecular por parte da molécula, contribuindo para o aumento do tempo de escoamento do biodiesel na medida. O diesel tem uma menor viscosidade pelo fato de suas moléculas ser formada por hidrocarboneto que tem estruturas menores, possibilitando um melhor empacotamento, e assim, aumentando as interações intermoleculares. Esse resultado mostra que a mistura sofre grande influência do biodiesel presente, visto que a viscosidade do diesel é inferior ao valor encontrado, ou seja, mesmo em proporções maiores na mistura, o diesel possui compostos menores e sofre influência dos compostos maiores presentes no biodiesel, que como já foi discutido, dificulta a mobilidade das moléculas no meio aumentando a viscosidade, neste caso, ambos sofrem esse efeito. Nos resultados da densidade, ocorreu comportamento semelhante. O biodiesel apresentou valor de viscosidade acima da norma estabelecida pela ANP que é de 3,0 - 6,0 (ANP, 2014). Para os ecodieseis ainda não existem normas para todas as quantidades que foram analisadas.

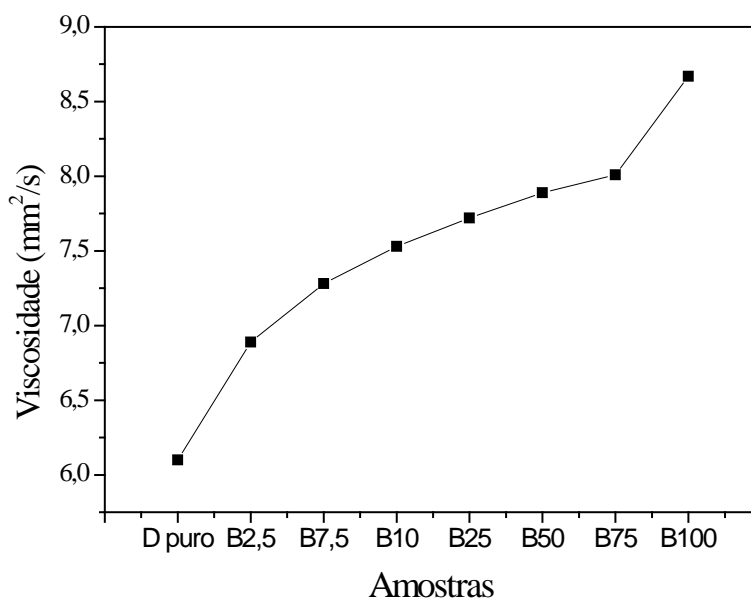


Gráfico 2- Variação da viscosidade em função da quantidade de biodiesel no ecodiesel.

➤ Densidade

O Gráfico 3 apresenta os resultados da densidade do diesel, dos ecodieseis, esses não apresentam variações significativas na densidade com a variação da quantidade de biodiesel mas apresentam densidade muito superior à do diesel. Da mesma forma que a viscosidade, a densidade também é influenciada pelas propriedades do ácido linoleico. A molécula apresenta duas insaturações uma no carbono 6 e a outra no carbono 9, o que dificulta as interações das forças de Van der Waals, diminuindo, tanto a área de contato entre as moléculas, como as forças de dispersão. Isso dificulta a agregação entre as moléculas, o que impede o empacotamento pelo aumento do espaço entre as mesmas, resultando em aumento da densidade quando comparado com o diesel (OLIVEIRA et al., 2012b). Os resultados mostraram que tanto o biodiesel como os ecodieseis apresentaram valores de densidade fora das normas estabelecidas, 875 - 900 g/cm³ para o biodiesel e 820 - 880 g/cm³ para os ecodieseis (ANP, 2014).

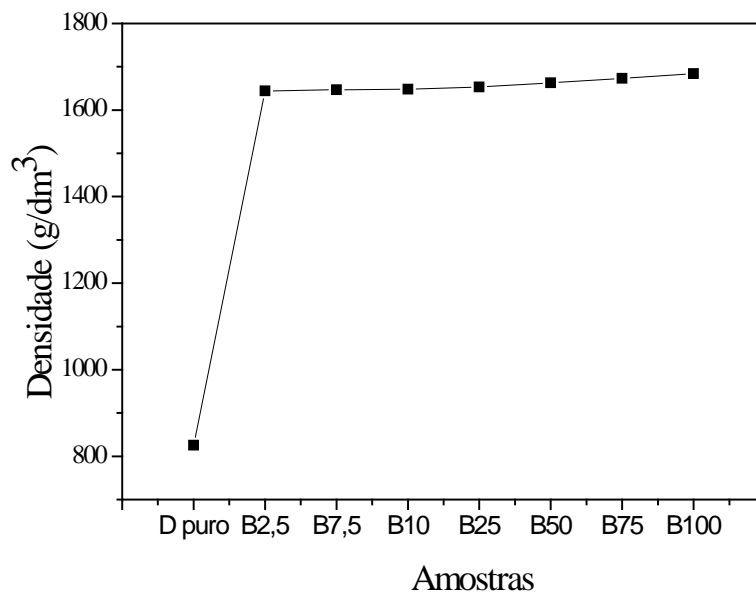


Gráfico 3- Variação da densidade em função da quantidade de biodiesel no ecodiesel.

➤ Índice de saponificação

O índice de saponificação para o B100 foi 198,09 mg KOH/g, valor superior ao B2.7 que foi 8,60 mg KOH/g (Gráfico 4), pode-se observa que a medida que aumenta a quantidade de biodiesel na mistura o valor do índice de saponificação aumenta. Isso ocorre devido o índice de saponificação ser inversamente proporcional ao tamanho dos compostos, mostrando este efeito de redução da massa para os ecodieseis.

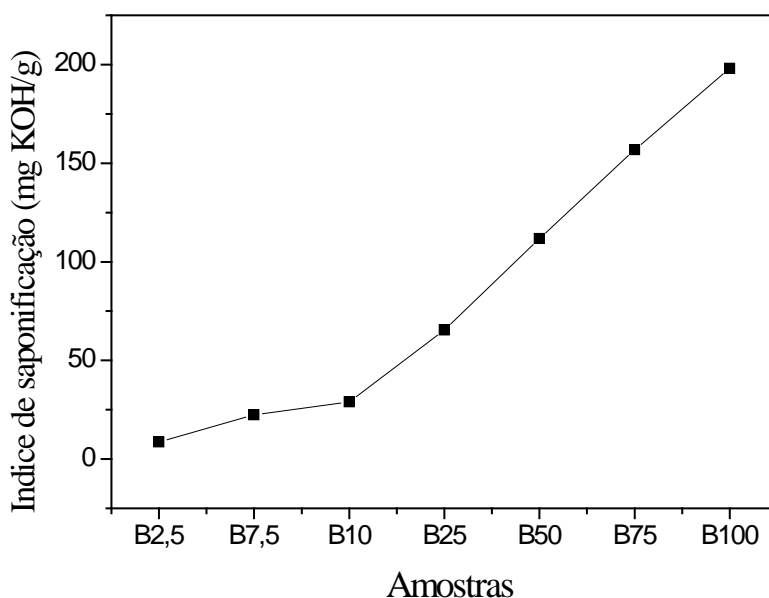


Gráfico 4- Variação do índice de saponificação em função da quantidade de biodiesel no ecodiesel.

➤ Ponto de Fulgor e Combustão

O ponto de fulgor e combustão são influenciados pelo peso molecular e composição estrutural das amostras. Ao comparar os valores do biodiesel com os ecodieseis fica evidente que a adição de biodiesel aumenta o ponto de fulgor dos ecodieseis (Gráfico 5), resultado esperado, devido ao aumento da massa molar dos compostos presentes na mistura. Os resultados para ponto de combustão seguem o mesmo comportamento pelos mesmos motivos (Gráfico 5). O ponto de fulgor para o biodiesel e

ecodieseis são mais elevados quando comparado ao diesel puro, o que indica uma melhor segurança no armazenamento, em relação ao diesel (RUSCHEL et al., 2015; SILVA et al., 2015).

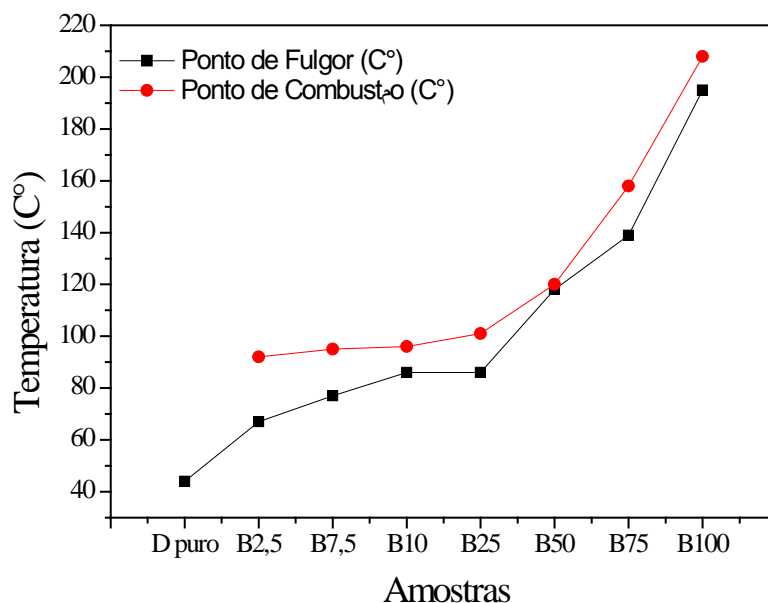


Gráfico 5- Variação do ponto de fulgor e combustão em função da quantidade de biodiesel no ecodiesel.

4. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a conversão de triglicerídeos em ésteres metílicos foi de 98,1 %. As propriedades físico-químicas densidade e viscosidade do biodiesel apresentaram-se fora das normas da Resolução nº 45 da ANP. Para os ecodieseis ainda não existem normas para todas as quantidades que foram analisadas. Foi observado que os valores de viscosidade, densidade, índice de saponificação e ponto de fulgor e combustão são proporcionais ao aumento da quantidade de biodiesel nas misturas (ecodieseis), sendo este um resultado esperado, devido ao acréscimo dos ésteres (biodiesel) que possuem massa molecular maior que a dos hidrocarbonetos presentes no diesel. Este acréscimo gera uma maior lubricidade, reduzindo a quantidade de lubrificantes a ser adicionado ao diesel. O resultado do ponto de fulgor indica que o biodiesel e os ecodieseis possuem maior segurança no armazenamento, em relação ao diesel.

Obtaining Biodiesel Sunflower and Ecodiesel in Proportions B2.5, B7.5, B10, B25, B50 and B75

Abstract: Biodiesel is a biofuel that comes with prominence in world production of alternative energy. An oleaginous alternative that stands for biodiesel production is the sunflower, a culture that has favorable characteristics from the agronomic standpoint, as short cycle, high quality and good yield in oil (approximately 48 to 52%). Sunflower has good tolerance to drought and heat, could become an important alternative in the Brazilian semiarid region. In Brazil, the use of pure vegetable oil as fuel is not allowed. Law No. 11,097, stipulates that all diesel sold in the country must be made by mixing diesel / biodiesel oil, as specified by the National Petroleum Agency (ANP). It is currently required the mixture of 7% biodiesel in diesel fuel. Thus it is necessary to study the behavior of mixtures to see if obey the law, which is done by checking the value of some properties that have maximum or minimum limits and pre-established analytical methods. This work produced the ecodiesel in proportions B2.5, B7.5, B10, B25, B50 and B75 from the sunflower biodiesel characterizes them via physicochemical properties and thermal and check whether they comply with current legislation. They determined the physicochemical properties viscosity, density, saponification number, flash point and combustion of biodiesel and ecodieseis and made the thermogravimetric analysis (TG / DTG). The results obtained through TG and DTG show that sunflower oil, showed a weight loss only occurred at

a temperature of 415 ° C. This single-step decomposition can be attributed to volatilization and / or decomposition of the triglycerides. Biodiesel showed only a single loss of thermal decomposition at a temperature of 265 ° C, referring to volatilization and / or degradation of the methyl esters. The results showed that the conversion of triglycerides to methyl esters was 98.1%. The physicochemical properties density and viscosity of biodiesel showed up outside the ANP specifications. For ecodiesels there are still no standards for all quantities that were analyzed. It was observed that the viscosity values, density, saponification index and flash point and combustion are proportional to the increase of the amount of biodiesel in the blends (ecodiesels), which is an expected result, due to the addition of the esters (biodiesel) having a mass molecular higher than the hydrocarbons present in diesel. This increase produces a greater lubricity, reducing the amount of lubricant to be added to diesel. The result of flashpoint indicates that biodiesel and ecodiesels have greater safety in storage, compared to diesel.

Keywords: Sunflower biodiesel; ecodiesel; Description.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIPARMAK, D. et al. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 8, p. 241-246, 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP Nº 45, de 25 de agosto de 2014. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Acesso em: 23 set. 2015.

BRASIL. Presidência da República. Lei 11.097. Brasília: 2005. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=470>>. Acesso em: 23 set. 2015.

BAROUTIANA, S. et al. Potassium hydroxide catalyst supported on palm shell activated carbon for transesterification of palm oil. **Fuel Process Technol**, v. 91, n. 32, p. 1378-1385, 2010.

CASTRO, M. P. P. et al. Thermal properties measurements in biodiesel oils using photothermal techniques. **Chemical Physics Letters**, v. 411, n. 1-3, p. 18-22, 2005.

CONCEIÇÃO, M. M. et al. Dynamic kinetic calculation of castor oil biodiesel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 87, n. 3, p. 865-869, 2007.

COSTA NETO, P. R. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**, v. 18 n. 1, p. 66-78, 2014.

DZIDA. M.; PRUSAKIEWICZ, P. The effect of temperature and pressure on the physicochemical properties of petroleum diesel oil and biodiesel fuel. **Fuel**, v. 87, n. 10, p. 1941-1948, 2008.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 2005. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 23 set. 2015.

GALVÃO, L. P. F. C. et al. Comparative study of oxidative stability of sunflower and cotton biodiesel through P-DSC. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 106, n. 2, p. 625-629, 2011.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

HOSSAIN, A. K.; DAVIES, P. A. Plant oils as fuels for compression ignition engines: a technical review and life-cycle analysis. **Renew Energy**, v. 35, n. 1, p. 1-13, 2010.

KEGL, B. Effects biodiesel on emissions of a bus diesel engine. **Bioresource Technology**, v. 88, n. 4, p. 836-873, 2008.

LAPUERTA, M.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J.; AGUDELO, J. R. Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 4, p.731-740. 2008.

MACLEOD, C. S. et al. Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalysts for application to an intensified method of biodiesel production. **Chemical Engineering Journal**, v. 135, n. 1-2, p. 63-70, 2008.

MAHAMUNI, N. N.; ADEWUYI, Y. G. Optimization of the synthesis of biodiesel via ultrasound-enhanced base-catalyzed transesterification of soybean oil using a multifrequency ultrasonic reactor. **Energy & Fuels**, v. 23, n. 5, p. 2757-2766, 2009.

MOSER, B.R. Biodiesel production, properties, and feedstocks. Invited review, **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 45, p. 229–266, 2009.

OLIVEIRA, D. S. et al. Obtenção do biodiesel de *Moringa Oleífera Lam* e do ecodiesel na proporção B5, B10, B20 E B30. **Química: ciência, tecnologia e sociedade**, v. 1, n. 2, p. 49-60, 2012a.

OLIVEIRA, D. S. et al. Obtenção do biodiesel através da transesterificação do óleo de *Moringa Oleífera Lam*. **Holos**, v. 1, n. 28, p. 49-61, 2012b.

ÖNER, C.; ALTUN, S. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use alternative fuel in a injection diesel engine. **Applied Energy**, v. 86, n. 10, p. 2114-2120, 2009.

PARENTE, E. J. S., **Biodiesel**: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Unigráfica, 2003.

REPORTERBRASIL. **Os impactos da soja na safra 2009/10**. Centro de Monitoramento de Agrocombustíveis. 2010. Disponível: <http://reporterbrasil.org.br/estudo_soja_cma_reporter_brasil_2010>. Acesso em: 23 set. 2015.

REVELLAME, E. et al. Biodiesel from activated sludge through in situ transesterification. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 85, n. 5, p. 614-620, 2009.

RUSCHEL, C. F. C, et. al. Análise exploratória aplicada a espectros de reflexão 12 total atenuada no infravermelho com transformada de fourier (atr-ftir) de blendas de biodiesel/diesel. **Química Nova**, v. 37, n. 5, p. 810-815, 2014.

SANTOS, A. G. D. **Avaliação da Estabilidade Térmica e Oxidativa do Biodiesel de Algodão, Girassol, Dendê e Sebo Bovino**. 2010. 185f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2010.

SILVA, A. A. L. et al. Síntese e Caracterização de Biodiesel de Sebo Bovino e de sua Mistura B10. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 21-27, 2015.

TUDORACHI, N.; MUSTATA, F. Thermal degradation and evolved gas analysis of some vegetable oils using TG/FT-IR/MS technique. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 119, n. 3, p. 1703-1711, 2015.

TYAGI, V. K.; LO, S. Sludge: A waste or newable source for energy and resources recovery?. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 708-728, 2013.