

COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO BIOCOMBUSTÍVEL PRODUZIDO A PARTIR DO ÓLEO DOS GRÃOS DE ABÓBORA

LUCIANA P. TEIXEIRA¹, EDNILTON T. DE ANDRADE², ÂNGELO JOSÉ L. BRAZ³, VITOR G. FIGUEIRA⁴

¹ Eng^a Agrícola, Doutoranda em Engenharia Mecânica, PGMEC-UFF, lucianapteixeira@yahoo.com.br

² Eng^o Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Associado, UFLA, ednilton@deg.ufla.br

³ Eng^o Agrícola, Mestre em Engenharia Mecânica, Centro Universitário Anhanguera de Niterói, angelojlbraz@yahoo.com.br

⁴ Eng^o Agrícola, Mestre em Engenharia de Biosistemas, CONAB, figueiravotor@yahoo.com.br

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O óleo oriundo do grão de abóbora pode ser usado tanto na alimentação ou como matéria prima para a produção de biocombustível. Apesar de cada vez mais ganhar espaço com estudos relacionados a aproveitamento de resíduos, no que envolve seu aproveitamento energético pouco se conhece a respeito do comportamento reológico do biocombustível produzido a partir do óleo proveniente dos grãos de abóbora. Dessa maneira, o estudo objetivou analisar as características reológicas do biocombustível produzido a partir do óleo do grão da abóbora, verificando o comportamento de sua viscosidade em relação a variação de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e temperatura. A partir dos resultados obtidos para o biocombustível do óleo dos grãos de abóbora (B100) verificou-se que o mesmo se comporta como um fluido newtoniano, sendo a tensão proporcional a taxa de deformação. A viscosidade média, para os intervalos de tensão de cisalhamento e taxa de deformação entre, respectivamente, 0 a 1,1 Pa e 0 e 140 s⁻¹, foi de 0,00806 Pa s⁻¹.

PALAVRAS CHAVES: *Cucurbita moschata*, Viscosidade, Energia de ativação

REOLOGICAL BEHAVIOR OF BIOFUEL OF PUMPKIN GRAINS OIL

ABSTRACT: The pumpkin grain oil can be used as food or as raw material for biofuel production. Regarding the energy utilization little is known about the rheological behavior of the biofuel produced from the oil of the pumpkin grains. Thus, the study aimed to analyze the rheological characteristics of the biofuel produced from the oil of the pumpkin grain, verifying the behavior of the viscosity in function of variations of shear stress, of the strain rate and of the temperature. The results obtained for the biofuel of the oil of pumpkin grain (B100) showed that it behaved like a Newtonian fluid, in which the shear stress is proportional to the strain rate, and the viscosity decreases with increasing temperature. For the shear stress between 0 to 1.1 Pa and strain rate range 0 to 140 s⁻¹, the average viscosity was 0.00806 Pa s⁻¹.

KEYWORDS: *Cucurbita moschata*, Viscosity, Activation energy

INTRODUÇÃO

Os grãos da abóbora são subprodutos agrícolas ricos em lipídios, proteínas, fibras e micronutrientes, sendo utilizados tostados, ou como matéria prima para a produção de óleo (Rubatzky & Yamaguchi, 1999; Murkovic, 1996; Sant'anna, 2005). O óleo oriundo do grão de abóbora pode ser usado tanto na alimentação, como matéria prima para a produção de biocombustível.

Segundo El-Soukkary (2001), os grãos de abóbora podem apresentar uma produção equivalente a 450g de óleo para cada 1kg de grãos prensados, com aproximadamente 30% de teor de água, em b.u. O óleo produzido a partir da prensagem dos grãos da abóbora vem ganhando destaque nos últimos anos (Murkovic & Pfannhauser, 2000; Pumar et al., 2005; Rezig et al. 2012; Veronezi & Jorge, 2012), principalmente em estudos relacionados com aproveitamento de resíduos, contudo seu comportamento reológico, necessário para a definição de projetos, avaliação de processos e operação de equipamentos, ainda não é conhecido; da mesma maneira com o que ocorre com o biocombustível produzido a partir desse óleo.

Dessa maneira, o presente estudo objetivou analisar as características reológicas do biocombustível produzido a partir do óleo do grão da abóbora, verificando o seus respectivos comportamentos em relação a variação de tensão, taxa de deformação e temperatura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O óleo do grão de abóbora utilizado como matéria prima foi obtido a partir prensagem a frio dos grãos de abóbora com teores de água inferiores a 8%, em base seca. A partir desse óleo, utilizando-se para a reação o etanol e o hidróxido de sódio, através do processo de transesterificação, foi produzido o biocombustível. Para o estudo, o biocombustível analisado foi o B100.

Para a análise das características reológicas foi verificado o comportamento do fluido quando submetido a tensão e variação de temperatura. Para esta análise, procede-se o estudo da viscosidade de um fluido de maneira a possibilitar a caracterização da sua resistência ao escoamento (Park & Leite, 2010), levando em conta a influencia da temperatura (Gratão et al., 2004; Potter & Wiggert, 2010). Os dados empíricos da variação da viscosidade foram obtidos através do comportamento do fluido para diferentes tensões de cisalhamento e taxas de deformação (Schramm, 2006).

Para a determinação da viscosidade foi utilizado o Reômetro RS50 com banho termostático K20 com cabeça controladora DC5, desenvolvido pelo fabricante Haake. Para a leitura e obtenção de dados foi utilizado o software RheoWin Pro Job Manager. Os procedimentos utilizados se basearam na análise de curva de fluxo para a temperatura de 40°C, e a curva de temperatura, de 24 a 85 °C, por meio da utilização do sensor DG 41. Para as análises experimentais foram utilizadas amostras de 6,3 ml, correspondente ao indicado pelo fabricante para o sensor selecionado.

Para a modelagem do comportamento reológico do biocombustível do óleo do grão de abóbora foram utilizadas as Equações 1, 2 e 3, indicadas por Ferguson & Kembrowski (1991) e Potter & Wiggert (2010). A Equação 1 indica a relação dada pela Equação de Andrade entre a viscosidade e temperatura (Potter & Wiggert, 2010). Já, as Equações 2 e 3, apresentam a equação proposta por Arrhenius (Ferguson & Kembrowski, 1991), que indica a dependência da viscosidade dos fluidos com a temperatura e parâmetros reológicos, como a energia de ativação (Canciam, 2010).

$$\eta = A \exp(B T) \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 + \left(\frac{E_a}{R T_{abs}} \right) \quad (2)$$

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + \left(\frac{E_a}{R} \right) \left(\frac{1}{T_{abs}} \right) \quad (3)$$

em que,

- η - viscosidade, em $N s m^{-2}$;
- T - temperatura, em $^{\circ}C$;
- A e B - parâmetros de ajuste da equação;
- T_{abs} - temperatura absoluta, em K ;
- E_a - energia de ativação, em $kJ mol^{-1}$,
- R - constante universal dos gases; e
- η_0 - constante.

Segundo Pereira, Queiroz e Figueiredo (2003), a energia de ativação indica o quanto a viscosidade varia em função da alteração da temperatura, onde maiores valores de energia de ativação demonstram uma maior suscetibilidade à alteração da viscosidade com a alteração da temperatura.

A partir da obtenção dos dados experimentais foi simulado o comportamento reológico do biocombustível produzido do óleo proveniente dos grãos de abóbora. Para isto foram utilizadas as Equações 1 e 3 ajustadas para o produto analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise da curva de fluxo do biocombustível pôde-se verificar a variação das tensões de cisalhamento em função da alteração da taxa de deformação aplicadas. A Figura 1 apresenta o comportamento das tensões de cisalhamento e viscosidade do biocombustível do óleo dos grãos de abóbora (B100) em virtude da variação da taxa de cisalhamento.

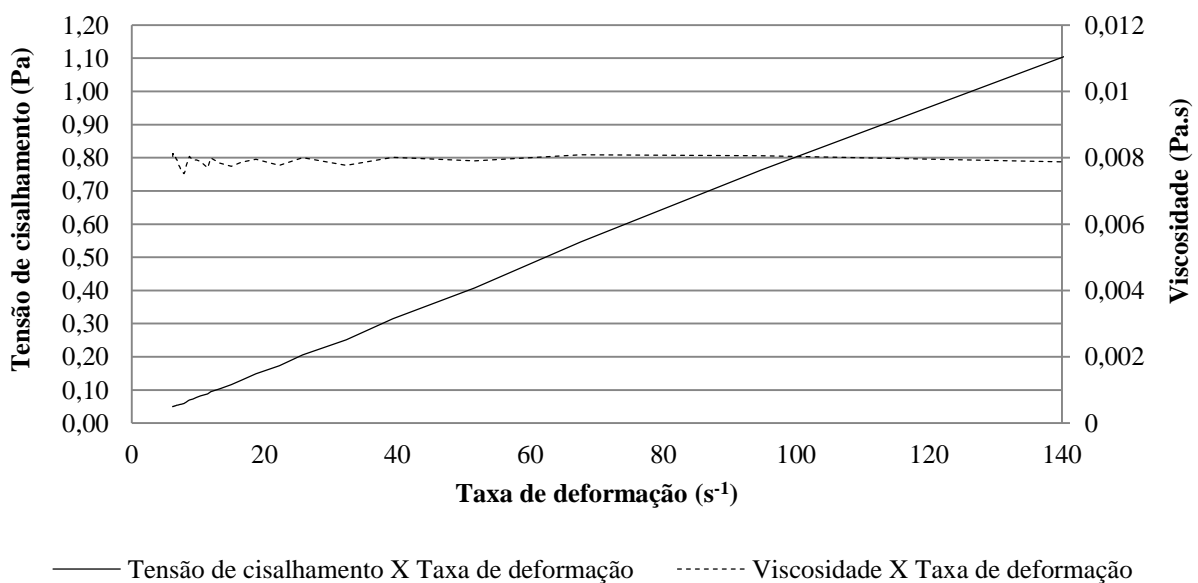


FIGURA 1. Viscosidade e tensão de cisalhamento do biocombustível do óleo do grão de abóbora (B100).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 1, a tensão de cisalhamento aumenta proporcionalmente com o aumento da taxa de cisalhamento, logo a viscosidade apresenta pouca ou nenhuma variação. Os resultados obtidos demonstram que o biocombustível do óleo proveniente do grão da abóbora apresenta comportamento característico de um fluido newtoniano, tendo proporcionalidade constante entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento. Assim, a partir da média dos valores determinados experimentalmente, a viscosidade do biocombustível (B100) proveniente desse óleo do grão de abóbora foi de $0,00806 \text{ Pa s}^{-1}$, para tensão de cisalhamento variando de 0 a $1,1 \text{ Pa}$ e taxa de deformação entre os intervalos de 0 e 140 s^{-1} .

Já, para a análise da curva de temperatura do biocombustível do óleo dos grãos da abóbora foi utilizada uma variação de temperatura de $24,5$ a $84,4^\circ\text{C}$. Esta análise teve o objetivo de estudar a viscosidade perante diferentes condições de temperaturas. A Tabela 1 e a Figura 2 apresentam a variação da viscosidade do biocombustível do óleo dos grãos da abóbora (B100) em função da variação de temperatura.

TABELA 1. Variação da viscosidade do biocombustível do óleo do grão de abóbora (B100) em função da variação da temperatura.

Biocombustível do óleo do grão da abóbora	
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Viscosidade (Pa s^{-1})
24,5	0,01219
29,8	0,01117
31,8	0,00991
40,3	0,00857
48,8	0,00666
56,2	0,00564
63,3	0,00480
70,3	0,00424
77,4	0,00368
84,4	0,00332

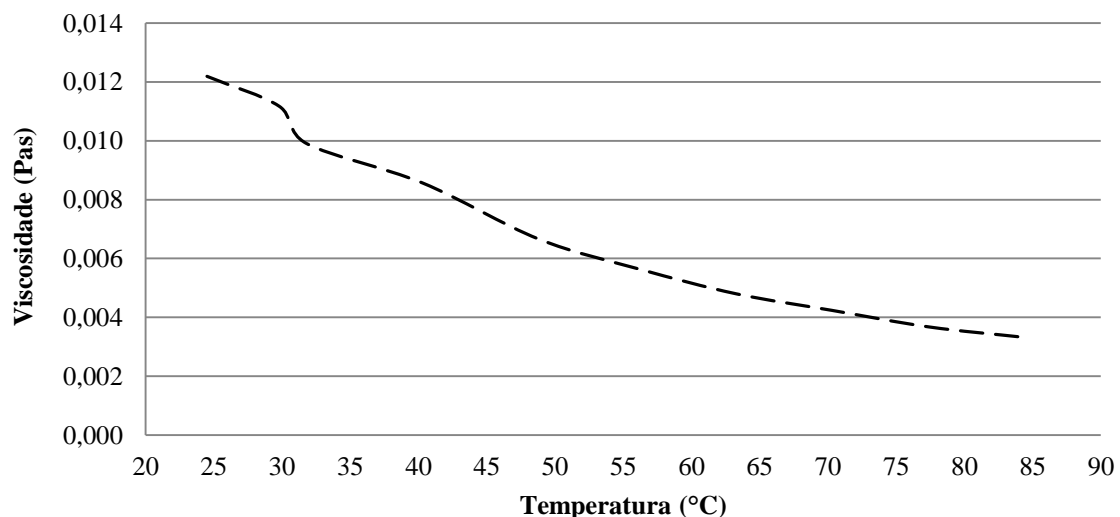


FIGURA 2. Variação da viscosidade do biocombustível do óleo do grão de abóbora em função da temperatura.

Na análise da curva de temperatura verificou-se, uma queda da viscosidade em função do aumento da temperatura. Isso indica, para os intervalos de temperatura analisados, que quanto maior a temperatura utilizada, menor é a resistência ao escoamento apresentada pelo B100 estudado.

Ainda a partir dos resultados experimentais obtidos, foi realizada uma simulação matemática do comportamento do biocombustível, a partir do uso do software STATISTICA®. Para a análise da Equação 1 obteve-se como coeficiente de determinação 99,42% de ajuste para o biodiesel. Assim, para os intervalos de temperatura entre 24,5 a 84,4°C, a viscosidade do biocombustível do óleo do grão da abóbora pode ser determinada pela Equação 4.

$$\eta = 0,02155 \times \exp(-0,0233 \times T) \quad (4)$$

Já, para a Equação 3, foi realizada a regressão linear de $\ln \eta$ versus $1/T_{\text{abs}}$, onde o coeficiente angular da reta corresponde numericamente à razão E_a/R e o coeficiente linear corresponde a $\ln \eta_0$ (Figura 3). Para a determinação do modelo, considerou-se a constante universal dos gases ideais (R) igual a $8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

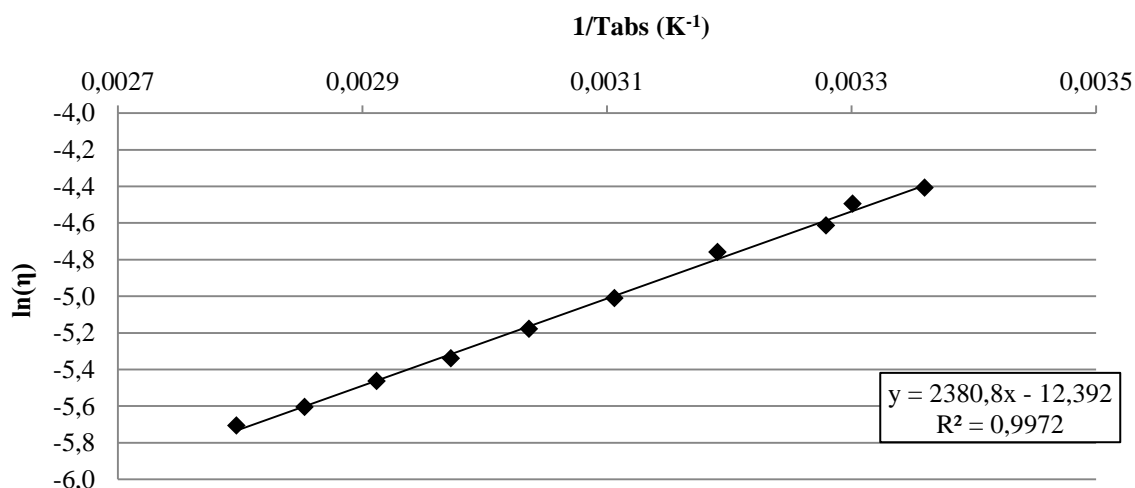


FIGURA 3- Regressão linear de $\ln \eta$ versus $1/T_{\text{abs}}$ do biocombustível do óleo da abóbora.

A partir da análise da Figura 3, pela obtenção da inclinação da reta obteve-se a relação entre a energia de ativação e a constante universal dos gases (E_a/R), que foi de 2380,8K, então E_a foi $19,79 \text{ kJ. mol}^{-1}$, $\ln \eta_0$ foi $-12,392 \text{ Pa.s}^{-1}$ e η_0 foi $4,0 \times 10^{-6} \text{ Pa s}^{-1}$. Para esta análise, o coeficiente de determinação corresponde a 99,54% (Equação 4).

$$\eta = 4,0 \times 10^{-6} + \exp\left(\frac{19,79}{8,314 \cdot 10^{-3} \times T}\right) \quad (4)$$

CONCLUSÃO

A partir dos resultados analisados para o biocombustível proveniente do óleo dos grãos de abóbora (B100) verificou-se que o mesmo se comporta como um fluido newtoniano, sendo a tensão proporcional a taxa de deformação. O comportamento reológico do biocombustível, para os intervalos analisados, pode ser adequadamente representado pelas equações ajustadas aos parâmetros obtidos neste estudo, estando, então, de acordo com o comportamento descrito

na literatura. A viscosidade média, para os intervalos de tensão de cisalhamento e taxa de deformação entre, respectivamente, 0 a 1,1 Pa e 0 e 140 s⁻¹, foi de 0,00806 Pa s⁻¹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANCIAM, C. A.. Efeito da temperatura na viscosidade de óleos vegetais refinados. Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng., Ponta Grossa. 2010
- EL-SOUKKARY, FA. Evaluation of pumpkin seed products for bread fortification. *Plant Foods Human Nutrition*, 2001;56:365-84. <https://doi.org/10.1023/A:1011802014770>
- FERGUSON, J.; KEMBLOWSKI, Z. *Applied Fluid Rheology*. Elsevier Applied Science, London. 1991
- GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. *Ciência e Tecnologia de Alimentos: Campinas*, v.24, n.4, p.652-656, 2004.
- MURKOVIC, M et al. Variability of vitamin E content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Z Lebensm Unters Forsch*. 1996.
- MURKOVIC, M.; PFANNHAUSER, W. Stability of pumpkin seed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 102, n. 10, p. 607-611, 2000
- PARK, K. J.; LEITE, J. T. C. Reologia. Disponível em :<<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/fa-20/Reologia>. UNICAMP>. Acesso em Agosto de 2010.
- PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris*, L.). *Revista Ciências Exatas e Naturais: Guarapuava*, v.5, n.2, p. 179-186, 2003.
- POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. *Mecânica dos fluidos*. Tradução da 3ª edição Norte-Americana. São Paulo: Cengage Learning. 2010.
- PUMAR, M.; SAMPAIO, C.R.P.; FREITAS, M.C.J. Estudo comparativo das abóboras baiana (*Cucurbita moschata*) e moranga (*Cucurbita maxima*): frações e composição química das farinhas de semente. In: *Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos*, 6, 2005, Campinas. Anais... Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2005. CD Rom.
- REZIG, L.; CHOUAIBI, M.; MSAADA, K.; HAMDI, S. Chemical composition and profile characterisation of pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil. *Industrial Crops and Products*, v. 37, p. 82-87, 2012.
- RUBATZKY, V.E.; YAMAGUCHI, M. *World vegetables: Principles, production, and nutritive values*. 2.ed. New York: Chapman & Hall. 843p. 1999.
- SANT'ANNA, L. C. Avaliação da composição físico-química da semente de abóbora (*Curcubita pepo*) e do efeito do seu consumo sobre o dano oxidativo hepático de ratos (*Rattus norvegicus*). 2005. 69. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.
- SCHRAMM, G. *Reologia e Reometria. Fundamentos Teóricos e Práticos*. Ed. Artliber 2006.
- VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Aproveitamento de sementes de abóbora (*Cucurbita* sp) como fonte alimentar. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 14, n. 1, p. 113-124, 2012.