



## Coeficiente de expansão térmica do óleo de babaçu, biodiesel de babaçu e energia de ativação de escoamento do óleo de babaçu

## Coefficient of thermal expansion of babassu oil, babassu biodiesel and babassu oil energy activation for flow

Audrei Giménez Barañano<sup>1</sup>

Saulo de Oliveira Gentil Tebas<sup>2</sup>

Patrícia Fontes Pinheiro<sup>3</sup>

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo a determinação do coeficiente de expansão térmica do óleo de babaçu e do biodiesel de óleo de babaçu, e a energia de ativação de escoamento de óleo de babaçu, por meio de dados experimentais de massa específica e viscosidade, analisados mediante inferência estatística. Os valores de coeficiente de expansão térmica foram de  $7,832216 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $8,2368 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  para o óleo de babaçu e o biodiesel de babaçu, respectivamente. O valor de coeficiente de expansão térmica do óleo de babaçu foi superior à literatura, enquanto para o biodiesel de babaçu está na faixa encontrada na literatura. A energia de ativação do óleo de babaçu foi de 35,0380 kJ/mol.K, menor do que o encontrado na literatura.

**Palavras-chave:** óleo de babaçu; biodiesel; coeficiente de expansão térmica; energia de ativação de escoamento.

**Abstract:** The goal of this study was to determine the thermal expansion coefficient of babassu oil and babassu oil biodiesel, and the flow activation energy of babassu oil, by means of density and viscosity experimental data, analyzed by statistical inference. Thermal expansion coefficient values were  $7,832216 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $8,2368 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  for babassu oil and babassu biodiesel, respectively. Thermal expansion coefficient of babassu oil was superior to the literature, while the babassu biodiesel is in the range found in the literature. Activation energy value of babassu oil was 35,0380 kJ/mol.K, lower than that found in the literature.

**Keywords:** babassu oil; biodiesel; thermal expansion coefficient; energy activation.

<sup>1</sup> UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

<sup>2</sup> UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

<sup>3</sup> UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

## 1. Introdução

O grande crescimento industrial causado pela globalização aumentou significativamente o consumo de diferentes fontes de combustíveis, principalmente os líquidos. Com o intuito de diversificar a matriz energética foi criado o biodiesel, um combustível líquido menos poluente e não dependente do petróleo, Lôbo et al. (2009).

Com a inclusão do biodiesel na matriz energética fez-se necessário conhecer suas propriedades. Dentre essas propriedades se destacam as propriedades térmicas, capacidade calorífica, expansão térmica e condutividade térmica, que expressam o comportamento de um material submetido ao calor, Callister (2002). E a variação de suas propriedades em função da temperatura, Cabral et al. (2002).

O coeficiente de expansão térmica ou coeficiente de expansão volumétrica é uma constante que indica a variação do volume provocada pela variação da temperatura a pressão constante, Callister (2002). O conhecimento desse coeficiente é de extrema importância, uma vez que este influencia diretamente o cálculo do faturamento do biodiesel nas indústrias e/ou bases de carregamento Santos et al. (2010).

Outra propriedade importante dos materiais é a energia de ativação de escoamento. A energia de ativação de escoamento é uma propriedade que interfere nos cálculos de dimensionamento de trocadores de calor, bombas e sistemas de filtração, Steffe (1996). A energia de ativação de escoamento também é relacionada à viscosidade e à temperatura, e quanto maior a energia de ativação mais sensível é a viscosidade a alteração da temperatura Pereira et al., (2003).

Este artigo objetiva a determinação da energia de ativação e do coeficiente de expansão térmica do óleo de babaçu e do biodiesel de óleo de babaçu, por meio da regressão linear dos dados experimentais de viscosidade e massa específica.

## 2. Materiais e métodos

As medidas de massa específica foram realizadas em densímetro digital de bancada, e a viscosidade realizada em um viscosímetro do tipo Ostwald, em banho com temperatura controlada.

O coeficiente de expansão térmica foi obtido na Equação (2), proveniente da manipulação da equação de estado (1), conforme Smith et al., (2007) e Canciam (2012):

$$V = V(P, T) \quad (1)$$

onde V é volume dependente da pressão e temperatura, P é a pressão e T é a temperatura.

$$\ln(d_0/d) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (2)$$

onde  $d_0$  representa a massa específica na temperatura  $T_0$ ,  $d$  a massa específica na temperatura T, e  $\beta$  é o coeficiente de expansão térmica.

A energia de ativação de escoamento foi obtida pela equação (3), por meio da manipulação da equação de Arrhenius (4), conforme Canciam (2011).

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

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{(E_a/R \cdot T)} \quad (4)$$

onde,  $\eta$  é a viscosidade aparente na temperatura  $T$ ,  $\eta_0$  é o parâmetro de ajuste,  $E_a$  é a energia de ativação para viscosidade,  $R$  é a constante universal dos gases ideais.

O coeficiente de expansão térmica e energia de ativação de escoamento foram obtidos por meio de regressão linear com análise de correlação, realizada pelo teste  $r$  de Pearson, e  $R^2$ .

### 3. Resultados e discussão

Os dados experimentais, de massa específica e viscosidade do óleo e biodiesel de babaçu, tabelas 1 e 2, foram aplicados em planilha de cálculo e obtida a regressão linear através da inferência estatística, e, como definidos pelas Equações 2 e 3, obtiveram-se os valores de energia de ativação e coeficiente de expansão térmica.

**Tabela 1:** Valores de massa específica em função da temperatura.

	<b>Biodiesel de óleo de babaçu</b>	<b>Óleo de babaçu</b>
<b>Temperatura (K)</b>	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
298,15	870,58	
303,15	867,04	912,56
308,15	863,51	908,98
313,15	859,97	905,34
318,15	855,44	901,83
323,15	852,91	898,32
328,15	849,38	894,84
333,15	845,85	891,36
338,15	842,33	887,89
343,15	838,80	884,42
348,15	835,28	880,96
353,15	831,75	877,51
358,15	828,23	874,07
363,15	824,70	870,63
368,15	821,16	867,19

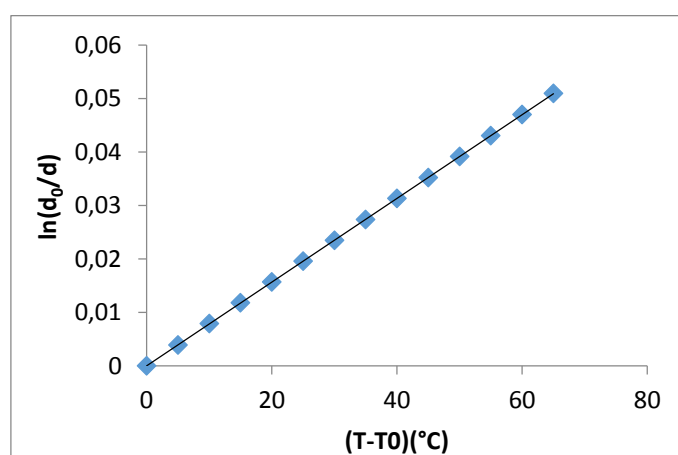
**Tabela 2:** Viscosidade do óleo de babaçu em função da temperatura.

<b>Temperatura (K)</b>	<b>Viscosidade (Pa.s)</b>
308,15	0,023001654
313,15	0,018585431
318,15	0,014934977
323,15	0,011884581
328,15	0,010176268

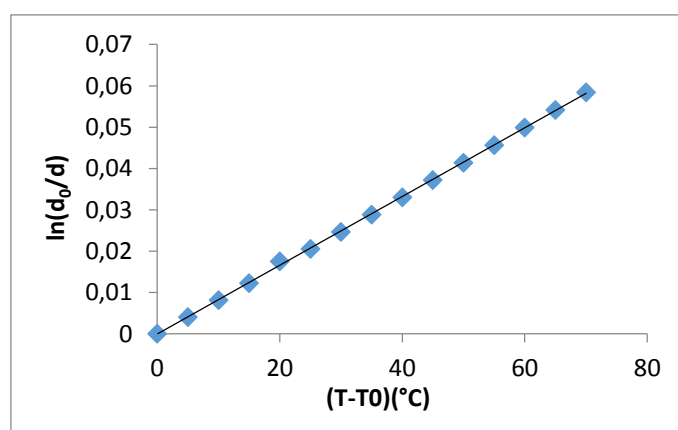
333,15	0,008123257
338,15	0,006931868
343,15	0,005486341
348,15	0,004889189

Para o cálculo do coeficiente de expansão do biodiesel de óleo de babaçu a temperatura  $T_0$  foi de 25°C e a massa específica,  $d_0$ , de 870,58 kg/m<sup>3</sup>, e para o cálculo do coeficiente de expansão térmica do óleo de babaçu a temperatura  $T_0$  foi de 30°C e a massa específica,  $d_0$ , de 912,56 kg/m<sup>3</sup>.

As figuras 1 e 2 ilustram a relação  $\ln(d_0/d)$  versus  $(T-T_0)$  para o óleo de babaçu e biodiesel de babaçu respectivamente, obtido a partir dos dados da tabela 1.



**Figura 1:** Compressibilidade térmica do óleo de babaçu.



**Figura 2:** Compressibilidade térmica do biodiesel de babaçu.

Com auxílio da planilha de cálculo, as equações de regressão linear dos dados da Tabela 1 foram obtidas. Sendo a equação (5) e (6) do óleo de babaçu e biodiesel de babaçu respectivamente.

$$\ln\left(\frac{d_0}{d}\right) = 7,83216 \cdot 10^{-4}(T - T_0) - 3,14949 \cdot 10^{-5} \quad (5)$$

$$\ln\left(\frac{d\alpha}{d}\right) = 8,2368.10^{-4}(T - T_0) - 7,53348.10^{-5} \quad (6)$$

O coeficiente de expansão térmica obtido a partir das equações 14 e 15 para o óleo de babaçu e biodiesel de babaçu foi  $7,83216 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e  $8,2368 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  respectivamente. O  $R^2$  para o óleo de babaçu e biodiesel de babaçu foi 0,9999 e 0,9997 respectivamente, enquanto a correlação, realizada pelo teste  $r$  de Pearson, entre as duas variáveis foi de 0,999 para ambos, o que indica uma alta correlação entre as duas variáveis, ou seja, associação é significativa.

O coeficiente de expansão térmica do biodiesel obtido é um valor superior ao do óleo de babaçu, uma possível explicação é o fato do óleo (triacilglicerol) possuir cadeias moleculares maiores, o que fortalece as ligações intermoleculares dipolo-instantâneo dipolo-induzido, enquanto o biodiesel (éster) tem cadeias moleculares muito menores, e em consequência ligações intermoleculares de dipolo-instantâneo dipolo-induzido mais fracas. Como as forças repulsivas, no biodiesel, são mais fortes que as forças intermoleculares e o aumento da temperatura favorecem o aumento das forças repulsivas o biodiesel tende a se expandir mais do que o óleo.

De acordo com Santos (2010) há uma correlação entre o coeficiente de expansão térmica e a energia de ligação química, de maneira que materiais com ligações fortes tem baixo coeficiente de expansão térmica. Esse fato pode ser visto na comparação dos dados experimentais com os dados obtidos por Cancian (2008), Cancian (2011) e Cancian (2012), mostrados na tabela 1. Além disso, na comparação se pode observar também que o valor obtido para o coeficiente de expansão térmica o biodiesel de óleo de babaçu em comparação com o biodiesel de soja, mamona e girassol, está de acordo.

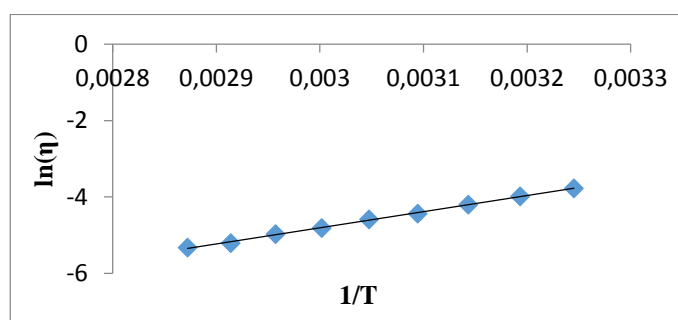
**Tabela 3:** Coeficientes de expansão térmica experimentais e da literatura.

	<b>Babaçu</b> $^\circ\text{C}^{-1}$	<b>Soja</b> $^\circ\text{C}^{-1}$	<b>Mamona</b> $^\circ\text{C}^{-1}$	<b>Girassol</b> $^\circ\text{C}^{-1}$
Biodiesel	$8,236.10^{-4}$	$8,532.10^{-4}$ Cancian (2012)	$8,221.10^{-4}$ Cancian (2012)	$8,127.10^{-4}$ Cancian (2012)
Óleo	$7,832.10^{-4}$	$7,467 . 10^{-4}$ Cancian (2008)	$5,274 \times 10^{-4}$ Cancian (2011)	$6,985.10^{-4}$ Cancian (2012)

No caso da expansão térmica dos óleos, o óleo de mamona é menor do que do óleo de soja, girassol e babaçu. Isso se deve à composição química, já que o principal ácido graxo do óleo de mamona é o ácido Ricinoleico (>80%), segundo Schneider (2002), com 18 carbonos em sua cadeia e, diferentemente dos outros, tem um grupo hidroxila ramificado. Esse grupo faz ligações de hidrogênio, enquanto os carbonos realizam ligações de Van der Waals, mais fracas do que as de hidrogênio. No óleo de babaçu, o principal ácido graxo é o láurico (>40%), segundo Machado et al. (2006), que tem cadeia de 12 carbonos e não tem grupo hidroxila. O principal ácido graxo do óleo de soja é o linoleico (>49%), segundo Neto et al. (2000), que tem 18 carbonos e não há

grupo hidroxila. O óleo de girassol tem o ácido oleico como ácido graxo predominante (>50%), segundo Aued-Pimentel et al. (2009), esse ácido graxo tem 18 carbonos e nenhum grupo hidroxila, logo só há ligações de Van der Waals. Assim, os óleos de soja, babaçu e girassol, não possuem ligações de hidrogênio, apenas ligações de Van der Waals, enquanto o óleo de mamona possui ambas as ligações, o que faz com que a força de atração entre as moléculas seja muito maior e o fator de compressibilidade térmica seja menor do que dos demais óleos vegetais.

A figura 4 ilustra o comportamento do  $\ln(\eta)$  versus  $(1/T)$  para o óleo de babaçu, que representa a energia de ativação, obtida a partir dos dados da tabela 2.



**Figura 4:** Gráfico  $\ln(\eta)$  versus  $(1/T)$  para óleo de babaçu.

A equação obtida pela regressão linear do gráfico da figura 3 está disposta a seguir.

$$\ln(\eta) = -17,4507 + 4214,3394 \left(\frac{1}{T}\right) \quad (7)$$

O parâmetro de ajuste  $\eta_0$ , obtido pela equação 1, corresponde ao valor de  $2,6379 \cdot 10^{-8} Pa.s$ , e considerando a constante universal dos gases ideais (R) o valor de  $8,314 \times 10^{-3} kJ/mol.K$  obtido por meio da equação (3) o valor de energia de ativação do escoamento do óleo de babaçu, sendo esse valor de  $35,0380 kJ/mol.K$ , o  $R^2$  obtido foi de 0,9986, e a correlação entre as duas variáveis foi de 0,9993, realizado pelo teste r de Pearson, o que indica uma alta correlação entre as duas variáveis, isto é, a correlação é significativa.

O valor de energia de ativação de escoamento do óleo de babaçu foi menor do que o obtido por Canciam (2011) para o óleo de mamona, isso se deve ao fato da energia de ativação de escoamento estar diretamente relacionada à viscosidade pela equação de Arrhenius, logo como a viscosidade do óleo de mamona é superior a do óleo de babaçu a sua energia de ativação tende a ser maior, necessitando de mais energia para seu escoamento, o que implica em meio industrial em maior dificuldade para o transporte desse fluido em tubulações, necessitando de maior energia do que para o transporte do óleo de babaçu.

#### 4. Conclusão

O coeficiente de expansão do óleo de babaçu é o maior entre os encontrados na literatura, já para o biodiesel o maior valor foi o do biodiesel de óleo de soja. Essa diferença ocorre pela

fonte de álcool utilizada na transesterificação, uma vez que o óleo de soja foi transesterificado com metanol e o óleo de babaçu com álcool isoamílico, que tem uma cadeia molecular muito maior, o que aumenta as interações entre as moléculas, reduzindo o valor do coeficiente de expansão térmica. Este valor do coeficiente de expansão térmica deve ser levado em consideração em locais de grande armazenamento de óleo, uma vez que em um dia com temperatura maior o óleo de babaçu tende a se expandir mais do que os demais óleos, causando possíveis danos a estrutura de armazenamento.

A energia de ativação do óleo de babaçu foi menor do que a da literatura para o óleo de mamona, devido à diferença de viscosidade entre os óleos, o que interfere diretamente no escoamento dessas substâncias em escala industrial.

## 5. Referências

AUED-PIMENTEL, S.; KUMAGAI, E.E.; KUS, M. M. M.; CARUSO, M. S. F.; TAVARES, M.; ZENEBON, O. 2009. Ácidos graxos trans em óleos vegetais refinados poli-insaturados comercializados no estado de São Paulo, Brasil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, SP, v. 29, n.3, p.646-651.

CABRAL, F.; LAGO, A. 2002. *Física 2*. 2º Ed., São Paulo: Harbra.

CALLISTER, W. D. 2002. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*. 5º Ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora.

CANCIAM, C.A. 2008. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de soja (Glicine max). *Revista Tecnológica*, v. 17, p. 13-18.

CANCIAM, C.A. 2011. Predição do coeficiente de expansão térmica e da energia de ativação do óleo de mamona através da aplicação da análise de regressão linear. *Revista exacta*, Belo Horizonte, MG, v. 04, n. 3.

CANCIAM, C.A. 2012. Predição dos coeficientes de expansão térmica de biodieséis de diversas origens através da aplicação da regressão linear. *Revista exacta*, Belo Horizonte, MG, v.5, n.1.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L.; CRUZ, R. S. 2009. Biodiesel: Parâmetros de Qualidade. *Química Nova*, São Paulo, SP, v.32, n.6, p.1596-1608.

MACHADO, G. C.; PAES, J. B.; ANTONIASSI, R. 2006. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. *Ceres*, Viçosa, MG, v. 53, n.308, p.463-470.

NARDELLI, A. M. B.; GRIFFITH, J. J. 2003. Modelo teórico para compreensão do ambientalismo empresarial do setor florestal brasileiro. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v.27, n. 6, p. 855-869.

NETO, P.R.C; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F.; RAMOS, L.P. 2000. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras. *Química Nova*, São Paulo, SP, v. 23, n.4.

PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F. 2003. Comportamento reológico de mel da abelha urçu (*Melípona scutellaris*, L.). *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Guarapuava, PR, v. 5, n. 2, p.179-186.

SANTOS, D. Q.; VIEIRA, D. F. 2010. Determinação de coeficiente de expansão térmica do biodiesel e seus impactos no sistema de medição volumétrico. *Eclética Química*, Presidente Prudente, SP, v. 35, n. 4, p. 107-112.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. 2007. *Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química*. 7ª Ed., Rio de Janeiro: LTC.

STEFFE, J.F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*. Michigan: Freeman Press.

SCHNEIDER, R.C.S. 2002. *Extração, caracterização e transformação do óleo de rícino*. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.