

APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA NA ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DA LECITINA DE SOJA

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN THE ESTIMATION OF THE THERMAL EXPANSION COEFFICIENT OF SOYA LECITHIN

César Augusto Canciam

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Bloco H - sala H101, Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, CEP: 84017-220. E-mail: canciam@utfpr.edu.br

RESUMO

Os materiais reagem diferentemente a uma variação de temperatura. O coeficiente de expansão térmica é uma propriedade térmica do material que permite estudar o comportamento da dilatação, sendo possível avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico decorrentes da variação da temperatura. Para tanto, o objetivo deste trabalho foi apresentar a aplicação de uma modelagem matemática na estimativa do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja a partir da massa específica e da temperatura. Para fins de comparação, o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja foi estimado por outros modelos matemáticos conhecidos na literatura. Constatou-se a proximidade do valor encontrado pelo modelo desenvolvido neste trabalho com os valores obtidos pelos outros modelos matemáticos. Na literatura, não foram encontrados valores experimentais para o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja.

Palavras-chave: aplicação, modelagem, dilatação, estimativa, lecitina.

ABSTRACT

The materials react differently to a change in temperature. The thermal expansion coefficient is a thermal property of the material that allows to study the behavior of the dilatation, being possible to assessment the impacts on the volumetric measurement system resulting from the temperature variation. For that, the objective of this work was to present the application of a mathematical modeling in the estimation of the thermal expansion coefficient of soya lecithin from density and temperature. For comparison, the thermal expansion coefficient of soya lecithin was estimated by other mathematical models known in the literature. It was ascertained the proximity of the value found by the developed model in this work with the values obtained by the other mathematical models. In the literature, there are not experimental values for the thermal expansion coefficient of soya lecithin.

Keywords: application, modeling, dilatation, estimation, lecithin.

1. INTRODUÇÃO

Durante toda a história da Matemática, os modelos matemáticos têm sido usados. Entretanto, a partir das duas últimas décadas do século XIX, que sua utilização se difundiu na comunidade científica, dando origem a estudos e aplicações em diferentes áreas do conhecimento (Bassanezi, 2002).

Como método de pesquisa, Ferruzzi (2003) sugere que a modelagem matemática siga algumas etapas:

- a) Definição do problema: identificar o problema a ser estudado e obter dados necessários para sua solução;
- b) Simplificação e formulação de hipóteses: os dados são examinados e selecionados, de maneira que, preservem as características do problema;
- c) Dedução do modelo matemático: a linguagem em que se encontra o problema é substituída por uma linguagem matemática coerente;

- d) Resolução do problema matemático: procura-se uma solução para o problema matemático formulado, utilizando os recursos matemáticos;
- e) Validação: dados reais são comparados com os dados fornecidos pelo modelo desenvolvido. No caso em que o modelo não seja válido, retoma-se a etapa de formulação de hipóteses e simplificações, reiniciando o processo;
- f) Aplicação do modelo: se o modelo for considerado válido, o modelo passa a ser utilizado na compreensão, explicação, análise, previsão ou decisão sobre a realidade em estudo. Nessa fase, é possível a intervenção e o manejo de situações associadas ao problema.

A mesma autora considera que essa sequência de procedimentos é norteadora e não representa uma prescrição rigorosa.

1.1. Coeficiente de expansão térmica e modelos matemáticos encontrados na literatura

O coeficiente de expansão térmica, a capacidade calorífica e a condutividade térmica são consideradas propriedades térmicas dos materiais, pois estão relacionadas com a resposta dos materiais a variação da temperatura (Callister, 2008).

Em geral, quando um material é aquecido, as suas dimensões aumentam. Esse processo de dilatação ocorre em virtude do aumento do grau de agitação das espécies químicas que constituem o material. Ao aquecer o material, as espécies químicas mais agitadas tendem a se afastar, levando a um aumento na distância entre elas. Esse espaçamento maior se manifesta por meio do aumento das dimensões do material (Brown e Holme, 2014; Halliday *et al.*, 2016).

Assim, o coeficiente de expansão térmica (β) indica a variação do volume (V) provocada pela variação da temperatura (T), enquanto a pressão (P) permanece constante, sendo definido como (Borgnakke e Sonntag, 2018):

$$\beta = \left(\frac{1}{V} \right) \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (1)$$

A massa específica (ρ) reflete o grau de empacotamento de suas espécies químicas, que por sua vez, depende da intensidade das interações entre elas. Como o volume e a massa específica são grandezas inversamente proporcionais, o aumento de volume provocado pela dilatação térmica implica que a massa específica seja menor (Brown e Holme, 2014). Dessa forma, a Equação (1) pode ser reescrita como (Amorim, 2007):

$$\beta = \left(\frac{-1}{\rho} \right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2)$$

Na Equação (2), o sinal negativo vem para corrigir a expressão, pois a variação da massa específica em relação à variação de temperatura é negativa, ou seja, a massa específica final é menor que a massa específica inicial, depois do aquecimento (Amorim, 2007).

Na literatura, são encontrados dois modelos matemáticos que associam o coeficiente de expansão térmica com a temperatura e a massa específica. Na Equação (3), tem-se o primeiro modelo (Modelo 1). Esse modelo matemático foi aplicado na estimativa dos coeficientes de expansão térmica dos óleos refinados de girassol, de milho, de amendoim, de soja e do azeite de oliva (Alvarado, 1995) e do óleo refinado de semente de uva (Canciam, 2014a). Também foi aplicado na estimativa dos coeficientes de expansão térmica do óleo bruto de castanha de caju (Canciam, 2013) e do sebo bovino derretido (Canciam, 2014b).

$$\left(\frac{1}{\rho}\right) = \left(\frac{1}{\rho^*}\right) + \left(\frac{\beta}{\rho^*}\right) \cdot T \quad (3)$$

Em que ρ^* corresponde a uma constante característica de cada material líquido analisado.

O segundo modelo (Modelo 2) é apresentado na Equação (4). Esse modelo matemático foi aplicado na estimativa dos coeficientes de expansão térmica dos óleos de algodão (Canciam, 2005), de soja (Canciam, 2008), de gergelim (Canciam, 2010a), de milho (Canciam, 2010b), de girassol (Canciam, 2012) e de babaçu (Barañano *et al.*, 2019). Também foi aplicado na estimativa dos coeficientes de expansão térmica de naftas (Jerônimo, 2012) e de frações de petróleo (Jerônimo *et al.*, 2012).

$$\ln\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (4)$$

Em que ρ_0 e ρ correspondem, respectivamente, à massa específica inicial e à massa específica final e, T_0 e T , à temperatura inicial e à temperatura final.

Os Modelos 1 e 2 consideram que o coeficiente de expansão térmica é constante, pois esse é pouco sensível à variação de temperatura (Smith *et al.*, 2019).

1.2. Desenvolvimento de um modelo matemático para o coeficiente de expansão térmica

A variação do volume (ΔV) decorrente do aumento de temperatura (ΔT) pode ser obtida pela Equação (5). Nesse modelo matemático, o coeficiente de expansão térmica também é considerado como constante, assim como nos Modelos 1 e 2 (Halliday *et al.*, 2016; Smith *et al.*, 2019).

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \quad (5)$$

Em que V_0 corresponde ao volume inicial.

Como a variação do volume equivale à diferença entre os volumes final e inicial, a Equação (5) pode ser reescrita como:

$$V - V_0 = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \quad (6)$$

A Equação (6) pode ser rearranjada, fornecendo a expressão:

$$\frac{V}{V_0} = (1 + \beta \cdot \Delta T) \quad (7)$$

Uma vez que volume e massa específica são grandezas inversamente proporcionais (Brown e Holme, 2014), o termo $\frac{V}{V_0}$ equivale a (Canciam, 2005):

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho} \quad (8)$$

Assim, a Equação (8) pode ser reescrita na forma de:

$$\frac{\rho_0}{\rho} = (1 + \beta \cdot \Delta T) \quad (9)$$

Rearranjando os termos da Equação (9), tem-se outro modelo matemático para o coeficiente de expansão térmica em função da temperatura e da massa específica:

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right) = \beta (T - T_0) \quad (10)$$

Tradicionalmente, uma função afim é apresentada na forma de (Lopes, 2004):

$$y = (a \cdot x) + b \quad (11)$$

Em que a e b correspondem, respectivamente, aos coeficientes angular e linear da reta obtida pelo gráfico de y em função de x .

Quando o termo b é igual a zero, a função afim torna-se em um caso particular de uma função linear (Lopes, 2004). Dessa forma, o gráfico de $\left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)$ em função de $(T - T_0)$ fornece uma reta, com coeficiente angular numericamente igual ao coeficiente de expansão térmica (β).

1.3. Lecitina de soja

A lecitina de soja é o principal subproduto da produção de óleo de soja refinado, obtido pelo processo de degomagem. Nessa etapa, são extraídas do óleo bruto de soja substâncias que possuem determinada polaridade, principalmente fosfolipídeos. Dentre os fosfolipídeos, a fosfatidilcolina constitui a maior proporção (de 29 a 46%), seguido da fosfatidiletanolamina (de 21 a 34%) e de fosfatidilinositol (de 13 a 21%). Como os fosfolipídeos possuem em sua estrutura uma porção hidrofílica (polar) e outra porção lipofílica (apolar), a lecitina de soja tem sido bastante utilizada como emulsificante em produtos alimentícios (Castejon, 2010; Zulian, 2016).

A lecitina de soja também é utilizada na fabricação de tintas, vernizes, na indústria farmacêutica, na indústria de suplementos alimentares para cães. É indicada nos tratamentos dos sintomas de menopausa e como adjuvante nos regimes de emagrecimento (Zulian, 2016).

Em uma pesquisa na literatura, não foi encontrado um valor para o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi apresentar a aplicação de uma modelagem matemática na estimativa do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja. Além da aplicação da modelagem, estimar esse mesmo coeficiente a partir dos modelos matemáticos disponíveis na literatura e realizar uma comparação dos valores encontrados para o coeficiente de expansão térmica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na obtenção da massa específica da lecitina de soja em função da temperatura utilizou-se a modelagem empírica proposta por Rosa (2012). A autora estudou o comportamento da massa específica da lecitina de soja entre 25 e 70 °C, propondo o modelo matemático indicado pela Equação (12).

$$\rho = (-0,0006 \cdot T) + 1,0568 \quad (12)$$

Na Equação (12), as unidades da temperatura e da massa específica foram, respectivamente, graus Celsius e kg L^{-1} . Na maior parte dos trabalhos envolvendo a estimativa do coeficiente de expansão térmica, a massa específica está expressa na unidade de kg m^{-3} . Assim, foi realizada a conversão de unidades da Equação (12), seguindo a metodologia proposta Índio do Brasil (2004). A Equação (13) expressa a massa específica na unidade de kg m^{-3} e a temperatura, em graus Celsius.

$$\rho = (-0,6 \cdot T) + 1056,5 \quad (13)$$

A partir da Equação (13), os valores da massa específica da lecitina de soja foram estimados nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 e 70 °C. Os valores estimados da massa específica da lecitina de soja em função da temperatura são relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores estimados da massa específica da lecitina de soja

Temperatura (°C)	Massa específica (kg m^{-3})
25	1041,5
30	1038,5
35	1035,5
40	1032,5
45	1029,5
50	1026,5
55	1023,5
60	1020,5
65	1017,5
70	1014,5

Com base nas Equações (2) e (13), foi encontrada uma expressão para o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja em função da a temperatura. Essa expressão está indicada na Equação (14).

$$\beta = \frac{0,6}{(-0,6 \cdot T) + 1056,5} \quad (14)$$

A partir da Equação (14), foi possível estimar o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 e 70 °C.

Considerando o Modelo 1 [Equação (3)], a determinação dos termos $\left(\frac{\beta}{\rho^*}\right)$ e $\left(\frac{1}{\rho^*}\right)$ e a determinação do coeficiente de determinação (R^2) para esse modelo foi realizada por meio da substituição dos valores indicados na Tabela 1 nas Equações (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24) e (25). Essas equações foram obtidas do trabalho de Canciam (2014a). Nas Equações de (15) a (25), o valor de n corresponde a dez, conforme a Tabela 1.

$$a_1 = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[T_i \cdot \left(\frac{1}{\rho} \right)_i \right] \right\} \quad (15)$$

$$b_1 = \left\{ \left(\sum_{i=1}^n T_i \right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\rho} \right)_i \right] \right\} \quad (16)$$

$$c_1 = \sum_{i=1}^n T_i^2 \quad (17)$$

$$d_1 = \left(\sum_{i=1}^n T_i \right)^2 \quad (18)$$

$$e_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\rho} \right)_i \quad (19)$$

$$f_1 = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\rho} \right)_i \right]^2 \quad (20)$$

$$g_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\rho} \right)_i^2 \quad (21)$$

$$h_1 = \sum_{i=1}^n T_i \quad (22)$$

$$\left(\frac{\beta}{\rho^*} \right) = \frac{(n \cdot a_1) - b_1}{(n \cdot c_1) - d_1} \quad (23)$$

$$\left(\frac{1}{\rho^*} \right) = \frac{\left\{ e_1 - \left[h_1 \cdot \left(\frac{\beta}{\rho^*} \right) \right] \right\}}{n} \quad (24)$$

$$R^2 = \frac{(n \cdot a_1) - b_1}{\left\{ [(n \cdot c_1) - d_1] \cdot [(n \cdot g_1) - f_1] \right\}^{1/2}} \quad (25)$$

Para o Modelo 2 [Equação (4)], a determinação do coeficiente de expansão térmica e do coeficiente de determinação (R^2) para esse modelo foi realizada por meio da substituição dos valores indicados na Tabela 1 nas Equações (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32) e (33). Essas equações foram obtidas do trabalho de Cancian (2014a). Na Tabela 1, a temperatura inicial (T_0) equivale a 25 °C e a massa específica inicial (ρ_0) corresponde ao valor de 1041,5 kg m⁻³.

$$a_2 = \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i \cdot \ln \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)_i \right] \quad (26)$$

$$b_2 = \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)_i \right] \quad (27)$$

$$c_2 = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i^2 \right] \right\} \quad (28)$$

$$e_2 = \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i \right]^2 \quad (29)$$

$$f_2 = \left[\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)_i \right]^2 \quad (30)$$

$$g_2 = \sum_{i=1}^n \left[\ln \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)_i \right]^2 \quad (31)$$

$$\beta = \frac{(n \cdot a_2) - b_2}{(n \cdot c_2) - e_2} \quad (32)$$

$$R^2 = \frac{(n \cdot a_2) - b_2}{\{[(n \cdot c_2) - e_2] \cdot [(n \cdot g_2) - f_2]\}^{1/2}} \quad (33)$$

Para o modelo desenvolvido neste trabalho [Equação (10)], a determinação do coeficiente de expansão térmica e do coeficiente de determinação (R^2) para esse modelo foi realizada por meio da substituição dos valores indicados na Tabela 1 nas Equações (34), (35), (36), (37), (38), (39), (40) e (41). Essas equações foram adaptadas do trabalho de Triola (2005). A temperatura inicial (T_0) e a massa específica (ρ_0) correspondem, respectivamente, a 25 °C e a 1041,5 kg m⁻³, conforme a Tabela 1.

$$a_3 = \sum_{i=1}^n \left[(T - T_0)_i \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)_i \right] \quad (34)$$

$$b_3 = \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)_i \right] \quad (35)$$

$$c_3 = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i^2 \right] \right\} \quad (36)$$

$$e_3 = \left[\sum_{i=1}^n (T - T_0)_i \right]^2 \quad (37)$$

$$f_3 = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right) \right]^2 \quad (38)$$

$$g_3 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)_i^2 \quad (39)$$

$$\beta = \frac{(n \cdot a_3) - b_3}{(n \cdot c_3) - e_3} \quad (40)$$

$$R^2 = \frac{(n \cdot a_3) - b_3}{\left\{ [(n \cdot c_3) - e_3] \cdot [(n \cdot g_3) - f_3] \right\}^{1/2}} \quad (41)$$

Os valores do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja determinados pelos Modelos 1 e 2 e pelo modelo desenvolvido neste trabalho e a média aritmética dos valores obtidos por meio da Equação (14) foram comparados, considerando a variação percentual (vp), conforme a Equação (42) (Triola, 2005).

$$vp = \left(\frac{v_2 - v_1}{v_1} \right) \cdot 100 \quad (42)$$

Em que v_1 e v_2 correspondem aos valores do coeficiente de expansão térmica de acordo com os modelos considerados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja encontrados foram relacionados na Tabela 2, bem como os valores do coeficiente de determinação (R^2). Pode-se observar nessa tabela, que o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja encontra-se próximo a $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e que o coeficiente de determinação foi próximo a 1,0 para todos os modelos.

Tabela 2 – Valores do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja de acordo com cada modelo.

	Coeficiente de expansão térmica ($^\circ\text{C}^{-1}$) ($\cdot 10^{-4}$)	Coeficiente de determinação
Modelo 1	6,0034	0,9999
Modelo 2	5,8368	0,9999
Modelo desenvolvido	5,9139	0,9999

Com relação ao coeficiente de determinação, Pinheiro e colaboradores (2015) comentam que esse parâmetro mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo o coeficiente de determinação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos pontos da dispersão.

Lira (2004) argumenta que a correlação linear é classificada como muito forte quando os valores do módulo do coeficiente de determinação são maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0.

Dessa forma, para todos os modelos estudados, a correlação linear foi classificada como muito forte. Os valores do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja determinados por meio da Equação (14) estão relacionados na Tabela 3, juntamente com a média aritmética desses valores e o desvio-padrão correspondente.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja em função da temperatura.

Temperatura (°C)	Coeficiente de expansão térmica (°C ⁻¹) (.10 ⁻⁴)
25	5,7609
30	5,7776
35	5,7943
40	5,8111
45	5,8281
50	5,8451
55	5,8622
60	5,8795
65	5,8968
70	5,9142
Média aritmética	5,8370.10 ⁻⁴ °C ⁻¹
Desvio-padrão	5,1571.10 ⁻⁶ °C ⁻¹

A variação percentual entre os valores determinados para o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja foi listada na Tabela 4. Valores negativos da variação percentual representam uma diminuição percentual, enquanto que valores positivos representam um aumento percentual (Triola, 2005).

Tabela 4 – Valores da variação percentual.

	Variação percentual (%)
Modelo desenvolvido em relação ao Modelo 1	-1,49
Modelo desenvolvido em relação ao Modelo 2	1,32
Modelo desenvolvido em relação à média aritmética (Tabela 3)	1,32
Modelo 1 em relação ao Modelo 2	2,85
Modelo 1 em relação à média aritmética (Tabela 3)	2,85
Modelo 2 em relação à média aritmética (Tabela 3)	-0,003

Pode-se observar na Tabela 4, que o modelo desenvolvido em relação aos Modelos 1 e 2 e à média aritmética (Tabela 3) apresentou uma variação percentual menor que 2% (em módulo); valor este considerado pequeno.

Santos e Vieira (2010) comentam que a partir do conhecimento do coeficiente de expansão térmica é possível avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico. Dessa forma, considerando um volume de 1000 litros de lecitina de soja com uma variação de temperatura de 10 °C, o volume de lecitina de soja aumenta em torno de 6,0 litros.

Comparando com o óleo de soja (coeficiente de expansão térmica equivalente a 7,4676.10⁻⁴ °C⁻¹) (Cancian, 2008), nas mesmas condições (volume de 1000 litros com uma variação de temperatura de 10 °C), o volume de óleo de soja aumenta em torno de 7,5 litros. Ou seja, o aumento do volume do óleo de soja equivale a 1,25 vezes mais que o aumento do volume da lecitina de soja. Este comportamento é variável e tende a manter uma relação direta com a composição química dos diferentes materiais líquidos (Jerônimo *et al.*, 2012).

O coeficiente de expansão térmica está relacionado com a energia de ligação química entre as espécies químicas. De maneira que, materiais em que as ligações químicas são fortes apresentam baixos coeficientes de expansão térmica. Isto porque, a dilatação térmica está associada à variação assimétrica da energia de ligação com a distância entre as espécies químicas. Durante o aquecimento, as espécies químicas do material aumentam a frequência e a amplitude de vibração (estado excitado) e como as

forças de repulsão são sempre maiores que as forças de atração, a distância entre as espécies químicas também aumenta (Santos e Vieira, 2010).

Nos óleos vegetais, é comum interações do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido, que são classificadas como interações fracas (Brown e Holme, 2014). As interações intermoleculares do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido são originadas a partir da rápida flutuação da densidade eletrônica de cada espécie química, que induz a formação de um momento elétrico entre as espécies químicas vizinhas, fazendo com que estas se atraiam (Teixeira *et al.*, 2001).

A lecitina é composta basicamente por fosfolípidos, que apresentam certa polaridade (Zulian, 2016). Nas espécies químicas polares, são características as interações do tipo dipolo-dipolo. As interações do tipo dipolo-dipolo são interações entre espécies químicas que apresentam um dipolo permanente, ou seja, aquelas que apresentam uma distribuição não uniforme da carga elétrica. Por apresentarem uma extremidade mais eletropositiva e outra mais eletronegativa, mantêm-se interagidas uma espécie química com a outra (Brown e Holme, 2014).

As interações do tipo dipolo-dipolo, quando comparadas com as interações do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido, são mais fortes (Brown e Holme, 2014). Talvez por esse motivo, o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja foi menor em relação ao coeficiente de expansão térmica do óleo de soja.

Buscando na literatura trabalhos associados ao coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja, constatou-se a ausência desse estudo, o que dificultou a análise dos resultados obtidos.

4. CONCLUSÃO

Com base em alguns conceitos da Termologia, foi possível desenvolver e aplicar um modelo matemático na estimativa do coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja, a partir da massa específica em função da temperatura. Considerando os modelos estudados, o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja foi próximo a $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Para todos os modelos, o coeficiente de determinação foi próximo da unidade, sendo a correlação linear classificada como muito forte. A variação percentual entre os valores determinados para o coeficiente de expansão térmica da lecitina de soja foi menor que 2% (em módulo), sendo considerado este valor pequeno. Na literatura, verificou-se a ausência de valores do coeficiente de expansão térmica para a lecitina de soja.

5. REFERÊNCIAS

ALVARADO, J. D. Propiedades mecánicas de aceites y grasas vegetales. Grasas y Aceites, Sevilla, v. 46, n.4-5, p. 264-269, 1995.

AMORIM, J. A. Obtenção de propriedades físico-químicas de misturas de hidrocarbonetos em baixa e alta pressão visando a caracterização e a modelagem. 2007. 165f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BARAÑANO, A. G.; TEBAS, S. O. G.; PINHEIRO, P. F. Coeficiente de expansão térmica do óleo de babaçu, biodiesel de babaçu e energia de ativação de escoamento do óleo de babaçu. Engevista, Niterói, v. 21, n. 2, p. 341-348, mai. 2019.

BASSANEZI, R.C. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002. 389p.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R.E. Fundamentos da Termodinâmica. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2018. 730p.

BROWN, L.S.; HOLME, T.A. Química geral aplicada à Engenharia. 3.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014, 664p.

CALLISTER, W. D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 589p.

CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão. Publicatio UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, Ponta Grossa, v. 11, n. 2, p. 27-31, dez. 2005.

CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de soja (*Glicine max*). Revista Tecnológica, Maringá, v. 17, n. 1, p. 13-18, 2008.

CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de gergelim (*Sesamum indicum* L.) através da aplicação de regressão linear. Revista E-xacta, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 20-28, 2010a.

CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de milho. Revista CIATEC-UPF, Passo Fundo, v. 2, n. 2, p. 15-21, 2010.

CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol através da aplicação da análise de regressão linear. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Ponta Grossa, v. 6, n. 2, p. 852-863, 2012.

CANCIAM, C.A. Estudo da dilatação volumétrica do óleo bruto de castanha de caju: predição do coeficiente de expansão térmica. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 10, n. 1, p. 630-638, jan.-jul. 2013

CANCIAM, C.A. Estudo da dilatação volumétrica do óleo refinado de semente de uva. Vetor, Rio Grande, v. 24, n. 1, p. 124-137, 2014a.

CANCIAM, C. A. Estimativa do coeficiente de dilatação volumétrica do sebo bovino derretido a partir da aplicação da análise de regressão linear. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 12, n. 2, p. 725-733, ago.-dez. 2014b.

CASTEJON, L. V. Estudo da clarificação da lecitina de soja. 2010. 140f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FERRUZZI, E. C. A Modelagem Matemática como estratégia de ensino e aprendizagem do Cálculo Diferencial e Integral nos Cursos Superiores de Tecnologia. 2003. 161f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RENICK, R. Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 324p.

ÍNDIO DO BRASIL, N. Introdução à Engenharia Química. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 369p.

JERÔNIMO, C.E.M. Predição do coeficiente de dilatação térmica de naftas pela curva de destilação ASTM. Revista Virtual de Química, Niterói, v. 4, n. 4, p. 405-412, jul.-ago. 2012.

JERÔNIMO, C. E. M.; BALBINO, C. P.; FERNANDES, H. G. Coeficiente de dilatação volumétrica determinados pela curva ASTM em frações de petróleo. Scientia Plena, Aracaju, v.8, n. 9, p. 1-8, 2012.

LIRA, S. A. Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação. 2004. 209f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LOPES, J.P. Fragmentações e aproximações entre matemática e física no contexto escolar: problematizando o conceito de função afim. 2004. 205f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PINHEIRO, J.I.D.; CUNHA, S.B.; CARVAJAL, S.R.; GOMES, G.C. Estatística básica: a arte de trabalhar com dados. 2. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2015. 360p.

ROSA, G. O. Modelagem e análise do processo de degomagem no refino de óleo de soja. 2012. 105f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

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

SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C.; ABBOTT, M. M.; SWIHART, M. T. Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 584p.

TEIXEIRA, V.G.; COUTINHO, F.M.B.; GOMES, A.S. Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno. Química Nova, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 808-818, 2001.

TRIOLA, M.F. Introdução à Estatística. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005, 682p.

ZULIAN, S. L. Adição de ácido graxo de soja como agente estabilizante da viscosidade de lecitina de soja. 2016. 98f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.