

PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DO ÓLEO DE MILHO

PREDICTION OF THE THERMAL EXPANSION COEFFICIENT OF CORN OIL

César Augusto Canciam

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa
Av. Monteiro Lobato, km 4 – CEP: 84016-210 – Ponta Grossa – PR
E-mail:canciam@utfpr.edu.br

RESUMO

O conhecimento do coeficiente de expansão térmica é importante no estudo da dilatação térmica em líquidos e na transferência de calor em tubulações. O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de expansão térmica do óleo de milho (*Zea mays*) a partir de dados experimentais de densidade em função da temperatura. Para tanto, foram utilizados alguns fundamentos da termodinâmica. O valor obtido para o coeficiente de expansão térmica do óleo de milho foi de $7,4216 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9998. Embora não tenha sido encontrado um valor experimental, o valor obtido neste trabalho apresentou-se bem próximo ao de outros óleos vegetais.

Palavras-chave: Coeficiente de Expansão Térmica; Óleo de Milho.

ABSTRACT

The knowledge of the thermal expansion coefficient is important in the study of thermal expansion in liquids and heat transfer in pipes. The objective of this work was to determine the thermal expansion coefficient of corn oil (*Zea mays*) starting from experimental data of density in function of the temperature. For so much, it was used some foundations of the Thermodynamics. The value obtained for the thermal expansion coefficient of corn oil was $7.4216 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, with a correlation coefficient same to 0.9998. Although it was not found an experimental value, the value obtained in this work came very close to other vegetables oils.

Keywords: Thermal Expansion Coefficient; Corn Oil.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do coeficiente de expansão térmica permite estudar o comportamento da de dilatação térmica dos materiais, visto que cada material reage diferentemente a uma variação de temperatura. Alguns materiais apresentam grande variação nas suas dimensões com o aumento da temperatura, ao passo que outros praticamente não mudam suas dimensões (Cabral; Lago, 2002).

Essa diferença entre os valores do coeficiente de expansão térmica para os diversos materiais está relacionada com a energia de ligação química entre os átomos ou moléculas. Padilha (1997) comenta que materiais onde as ligações químicas são fortes apresentam o coeficiente de expansão térmica baixo, porque a dilatação térmica está associada à variação assimétrica da energia de ligação com a distância entre átomos ou moléculas. Durante o aquecimento, átomos ou moléculas do material aumentam a frequência e a amplitude de vibração e, como as forças de repulsão são sempre maiores que as forças de atração, a distância média entre eles também aumenta.

O coeficiente de expansão térmica, a capacidade calorífica e a condutividade térmica são consideradas propriedades térmicas dos materiais, pois estão relacionados com a resposta ou reação dos materiais em virtude da aplicação de calor (Callister, 2008).

O coeficiente de expansão térmica é uma propriedade termodinâmica que fornece uma medida da variação da densidade em resposta a uma mudança na temperatura, sob uma condição de pressão

constante, sendo utilizada quando se trata de convecção livre ou natural, que influencia, por exemplo, na transferência de calor em tubulações (Incropera; Dewitt, 2008).

O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de expansão térmica para o óleo de milho (*Zea mays*) a partir de dados experimentais da densidade em função da temperatura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O sistema termodinâmico mais simples consiste em uma massa constante de um fluido isotrópico, sem reações químicas e campos externos. Esse sistema pode ser descrito em termos de três coordenadas mensuráveis – pressão (P), volume (V) e temperatura (T) –, caracterizando-se como um sistema PVT. Entretanto, dados experimentais mostram que essas três coordenadas não são totalmente independentes, uma vez que, ao se fixar duas delas quaisquer, a terceira é determinada. Dessa maneira, deve existir uma equação de estado que relacione as três coordenadas para estados de equilíbrio. Essa equação pode ser expressa na forma funcional de (Smith; Van Ness, 1985):

$$f(P, V, T) = 0 \quad (1)$$

Uma equação de estado pode ser resolvida, explicitamente, com qualquer uma das três coordenadas em função das outras duas. Assim, escrevendo o volume em função da pressão e da temperatura e derivando essa expressão, obtém-se (Smith; Van Ness, 1985):

$$dV = \frac{\partial V}{\partial T} \cdot dT + \frac{\partial V}{\partial P} \cdot dP \quad (2)$$

As derivadas parciais indicadas na equação (2) têm significados físicos definidos.

O coeficiente de expansão térmica (β) indica a variação de volume provocada pela variação da temperatura, onde a pressão permanece constante. Dessa forma, é definido como (Sonntag; Borgnakke; Van Wylen, 1998):

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial T} \quad (3)$$

A compressibilidade isotérmica (κ) indica a variação do volume provocada pela variação da pressão, quando a temperatura permanece constante, sendo definida como (Smith; Van Ness, 1985):

$$\kappa = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial P} \quad (4)$$

A combinação das equações (2), (3) e (4) leva à equação (Smith; Van Ness, 1985):

$$\frac{dV}{V} = \beta \cdot dT - \kappa \cdot dP \quad (5)$$

Nos líquidos reais, o coeficiente de expansão térmica e a compressibilidade isotérmica são funções pouco sensíveis à temperatura e à pressão. Dessa forma, sendo pequenas as variações da temperatura e da pressão, se forem tomadas como constantes, um pequeno erro é introduzido. Assim, a equação (5) pode ser integrada, resultando em (Smith; Van Ness, 1985):

$$\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \beta \cdot (T - T_0) - \kappa \cdot (P - P_0) \quad (6)$$

onde V, T e P correspondem, respectivamente, a volume, temperatura e pressão no estado final e V_0 , T_0 e P_0 correspondem, respectivamente, a volume, temperatura e pressão no estado inicial.

Considerando a pressão constante, a equação (6) fica reduzida a:

$$\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (7)$$

A densidade de um material é definida como sendo a razão da massa desse material pelo volume que ocupa (Lewis, 1993). Considerando que a massa permanece constante entre os estados inicial e final, a razão $\left(\frac{V}{V_0}\right)$ equivale a:

$$\left(\frac{V}{V_0}\right) = \left(\frac{d_0}{d}\right) \quad (8)$$

onde d_0 e d , correspondem, respectivamente, à densidade no estado inicial e à densidade no estado final.

Dessa forma, a equação (7) pode ser reescrita na forma de:

$$\ln\left(\frac{d_0}{d}\right) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (9)$$

Cancian (2005) comenta que o gráfico de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ fornece uma reta, onde o coeficiente angular corresponde numericamente ao valor do coeficiente de expansão térmica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A Tabela 1 indica dados experimentais da densidade do óleo de milho em função da temperatura. A pressão é constante e igual a 1 atm. Esses dados foram obtidos por Tschubik e Maslow (1973) e citados por Lewis (1993).

Tabela 1 – Densidade do óleo de milho em função da temperatura

Temperatura (°C)	Densidade (kg.m ⁻³)
-20	947
-10	940
0	933
10	927
20	920
40	906
60	893
80	879

Fonte: Lewis, 1993.

Aplicando os dados da Tabela 1 na equação (9), foi possível determinar o coeficiente de expansão térmica (β) do óleo de milho a partir da Análise de Regressão Linear, onde o coeficiente angular da reta obtida do gráfico de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ corresponde numericamente ao valor do coeficiente de expansão térmica (β) do óleo de milho.

A Análise de Regressão Linear foi realizada utilizando um *software* específico disponível na calculadora CASIO FX-850P Scientific Library 116.

Nos cálculos, a temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi considerada como a temperatura no estado inicial (T_0), e a densidade de 947 kg.m^{-3} , como a densidade do óleo de milho no estado inicial (d_0).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Análise de Regressão Linear dos dados de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ para o óleo de milho forneceu como resultado para o coeficiente de expansão térmica (β) o valor de $7,4216 \times 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9998.

Triolla (1999) comenta que o coeficiente de correlação mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados das variáveis dependente e independente em uma amostra.

O coeficiente de correlação avalia a “qualidade” do ajuste, ou seja, quanto mais próximo for da unidade, melhor é a “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão (Toledo e Ovalle, 1995).

Callegari-Jaques (2003), citado por Lira (2004), expressa que para valores do coeficiente de correlação maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0 a correlação linear é classificada como muito forte.

Como se pode observar, o valor encontrado para o coeficiente de correlação está bem próximo da unidade, sugerindo que existe “qualidade” do ajuste e se encontra no intervalo indicado por Callegari-Jaques (2003).

A Figura 1 ilustra o gráfico de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ referente ao óleo de milho.

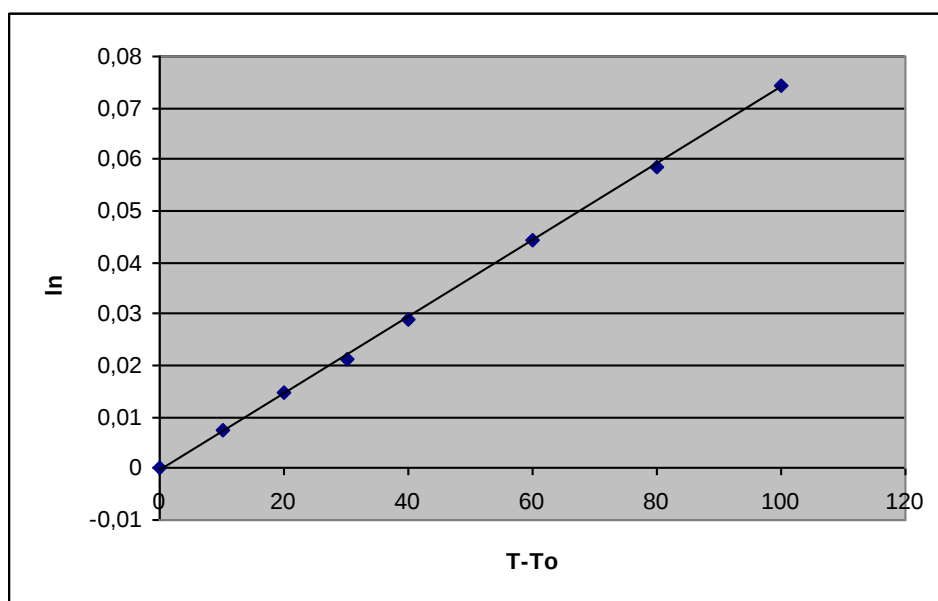


Figura 1 – Gráfico de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ para o óleo de milho

Com relação ao coeficiente de expansão térmica do óleo de milho, foi realizada uma pesquisa na literatura e constatou-se a inexistência de valor experimental para esse óleo. Os valores encontrados para o coeficiente de expansão térmica foram: $7,20 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$ para o azeite de oliva (Cabral; Lago, 2002), $7,4355 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$ para o óleo de algodão (Canciam, 2005), $7,4676 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$ para o óleo de soja (Canciam, 2008) e $7,46 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$ para o óleo de gergelim (Canciam, 2010).

Com isso, pode-se observar que o coeficiente de expansão térmica do óleo de milho está próximo ao de outros óleos vegetais, na ordem de $7,4 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$.

O estudo da dilatação térmica permite determinar a variação do volume com a variação da temperatura. Assim, por exemplo, considerando a água (coeficiente de expansão térmica = $2,07 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$) (Cabral; Lago, 2002), para um aumento de temperatura de 10°C , o aumento no volume de água é da ordem de 2,1 litros para cada 1000 litros de água.

No caso do óleo de milho (coeficiente de expansão térmica = $7,4216 \times 10^{-4} \text{C}^{-1}$), para um aumento de temperatura de 10°C , o aumento no volume desse óleo é da ordem de 7,4 litros para cada 1000 litros de óleo de milho.

Essa diferença em termos do coeficiente de expansão térmica está relacionada com a energia de ligação química entre as moléculas.

A água é uma molécula polar, que apresenta ligações intermoleculares do tipo pontes de hidrogênio (Usberco; Salvador, 1999).

O óleo de milho, assim como todos os óleos vegetais, é predominantemente composto por triglicerídeos. Encontram-se, em menores quantidades, fosfolipídeos, cerídeos, constituintes insaponificáveis e produtos de alteração (Ferrari, 2001).

Os triglicerídeos são moléculas apolares, pois as regiões polares de seus precursores desapareceram na formação das ligações éster (Marzzoco; Torres, 1990). Os triglicerídeos são formados a partir da esterificação de uma molécula de glicerol com ácidos graxos (Silva; Borges; Ferreira, 1999).

A atração que ocorre entre moléculas apolares é chamada de força de dispersão de London ou força de Van der Waals do tipo Dipolo induzido – Dipolo induzido (Usberco; Salvador, 1999).

As forças de dispersão de London são originadas a partir da rápida flutuação da densidade eletrônica de cada átomo, que induz a formação de um momento elétrico entre os átomos vizinhos, fazendo com que estes se atraiam (Teixeira; Coutinho; Gomes, 2001).

Nas moléculas apolares, as forças de dispersão de London ocorrem quando as moléculas se aproximam umas das outras, causando uma repulsão entre suas nuvens eletrônicas. Essas nuvens eletrônicas se deformam e induzem à formação de dipolos. Por isso o nome Dipolo induzido-Dipolo induzido (Usberco e Salvador, 1999).

As pontes de hidrogênio são ligações intermoleculares mais fortes que as forças de dispersão de London (Usberco e Salvador, 1999), motivo pelo qual o coeficiente de expansão térmica da água é menor em relação ao coeficiente de expansão térmica do óleo de milho.

5. CONCLUSÃO

A predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de milho utilizou dados experimentais da densidade em função da temperatura associada a alguns conceitos da termodinâmica.

Embora não tenha sido encontrado na literatura um valor experimental para o coeficiente de expansão térmica do óleo de milho, o valor obtido neste trabalho apresentou-se próximo ao de outros óleos vegetais.

A Análise de Regressão Linear forneceu um coeficiente de correlação bem próximo da unidade, indicando “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão e uma correlação linear classificada como muito forte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, F.; LAGO, A. *Física 2*. São Paulo: Harbra, 2002. 516p.

CALLISTER, W.D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 590p.

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. 3, p. 27-31, dez. 2005.

CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de soja (*Glicine max*). *Tecnológica*, Maringá, v. 17, 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. *E-xacta*, Belo Horizonte, n. 1, p. 20-28, 2010.

FERRARI, R.A. Componentes minoritários de óleos vegetais. *Óleos & Grãos*, São Paulo, n. 58, p. 20-28, jan./ fev., 2001.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 644p.

LEWIS, M.J. *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1993. 494p.

LIRA, S.A. *Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação*. 2004. 196f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/dissertacao_sachiko.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2010.

MARZZOCO, A.; TORRES, B.B. *Bioquímica básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990. 232p.

PADILHA, A.F. *Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades*. São Paulo: Hemus, 1997. 349p.

SILVA, F.A.M.; BORGES, M.F.M.; FERREIRA, M.A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. *Química Nova*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C. *Introdução à termodinâmica da engenharia química*. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985. 593p.

SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G.J. *Fundamentos da termodinâmica*. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 537p.

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.

TOLEDO, G.L.; OVALLE, I.I. *Estatística básica*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1995. 459p.

TRIOLA, M.F. *Introdução à estatística*. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 410p.

USBERCO, J.; SALVADOR, E. *Química*. São Paulo: Saraiva, 1999. 607p.