

PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DO ÓLEO DE ALGODÃO

PREDICTION OF THE THERMAL EXPANSION COEFFICIENT OF COTTON OIL

César Augusto Canciam¹

¹ Autor para contato: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR),
Coordenação de Alimentos, Ponta Grossa, PR, Brasil; (42) 3220-4823;
e-mail: canciam@pg.cefetpr.br

Recebido para publicação em 04/03/2005

Aceito para publicação em 03/08/2005

RESUMO

O estudo da dilatação térmica em líquidos é feito somente em relação à dilatação volumétrica, sendo importante o conhecimento do coeficiente de expansão térmica. O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão 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 algodão foi de $7,4355 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9999. Embora não tivesse sido encontrado na literatura um valor experimental, o valor obtido neste trabalho apresentou-se bem próximo ao de outro óleo vegetal.

Palavras-chave: coeficiente de expansão térmica, dilatação térmica, óleo de algodão

ABSTRACT

The study of the thermal dilation in liquids is only made in relation to the volumetric dilation, but it is also important to know the thermal expansion coefficient. The objective of this work was to determine the thermal expansion coefficient of cotton oil by means of experimental data on density in relation to temperature and thermodynamics. The value obtained for the thermal expansion coefficient of cotton oil was of $7,4355 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, with a correlation coefficient equal to 0,9999. The thermal expansion coefficient for cotton oil was not found in the literature, but the value obtained in the present study is very close to the thermal expansion coefficient encountered for another vegetable oil.

Key words: thermal expansion coefficient, thermal dilation, cotton oil

1. Introdução

Entende-se por propriedades térmicas, aquelas relacionadas com a resposta ou reação dos materiais à aplicação de calor. Dentro da Ciência e Engenharia de Materiais, são consideradas como propriedades térmicas: a capacidade calorífica, a expansão térmica e a condutividade térmica (Callister, 2002).

Cada material reage diferentemente a uma variação de temperatura. Alguns materiais apresentam uma grande variação nas suas dimensões com o aumento da temperatura, enquanto outros praticamente não mudam suas dimensões (Cabral; Lago, 2002).

Os líquidos, ao contrário dos sólidos, apresentam somente volume definido; enquanto que os sólidos, forma própria e volume definido. Dessa forma, o estudo da dilatação térmica em líquidos é feito somente em relação à dilatação volumétrica, sendo por isso, importante o conhecimento do coeficiente de expansão térmica (Carron; Guimarães, 1997).

O coeficiente de expansão térmica (β) também chamado de coeficiente de expansão volumétrica ou expansividade volumétrica, indica a variação de volume (V) provocada pela variação da temperatura (T) enquanto a pressão (P) permanece constante, sendo definido como (Sonntag; Borgnakke; Van Wylen, 1998):

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

Schmidt; Herderson; Wolgemuth (2001) chamam o coeficiente de expansão térmica (β) de compressibilidade isobárica, uma vez que a pressão é constante.

Entre o coeficiente de expansão térmica e a energia de ligação química entre os átomos existe uma boa correlação, onde materiais em que as ligações químicas são fortes apresentam o coeficiente de expansão térmica baixo. Isto porque a dilatação térmica está associada à variação assimétrica da energia (ou força) de ligação com a distância entre os átomos. Ou seja, durante o aquecimento os átomos do material aumentam a frequência e a amplitude de vibração e como as forças de repulsão são sempre maiores que as de atração, a distância média entre os átomos também aumenta (Padilha, 1997).

O conhecimento do coeficiente de expansão tér-

mica de um fluido permite, entre outros, o cálculo do número de Grashof (indica a razão entre a força de empuxo e a força viscosa que atuam no fluido), que desempenha papel importante quando se trata de convecção natural (Incropera; Dewitt, 1998).

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

$$f(P,V,T) = 0 \quad (2)$$

Uma Equação de Estado pode ser resolvida, explicitamente, com qualquer uma das três coordenadas expressa em função das outras duas. Assim, escrevendo o volume em função da pressão e da temperatura e derivando esta expressão, temos:

$$dV = \frac{\partial V}{\partial T} dT + \frac{\partial V}{\partial P} dP \quad (3)$$

As derivadas parciais indicadas pela equação (3) têm significados físicos definidos. Considerando a definição do coeficiente de expansão térmica (β), representada pela equação (1) e a definição de compressibilidade isotérmica (k), indicada por:

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

A combinação das equações (1), (3) e (4) leva à relação (Smith; Van Ness, 1985):

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

Nos casos de líquidos reais, o coeficiente de ex-

pansão térmica e a compressibilidade isotérmica são funções pouco sensíveis da temperatura e da pressão. Dessa forma, sendo pequenas as variações de temperatura e pressão, introduz-se pequeno erro se forem tomados como constante. Assim, a equação (5) pode ser integrada, resultando em:

$$\ln(V/V_0) = \beta \cdot (T - T_0) - \kappa \cdot (P - P_0) \quad (6)$$

onde V, T e P são, respectivamente, volume, temperatura e pressão finais e V_0 , T_0 e P_0 são, respectivamente, volume, temperatura e pressão iniciais.

No caso onde a pressão é constante, ou seja, a pressão final igual à pressão inicial, a equação (6) fica reduzida a (Smith; Van Ness, 1985):

$$\ln(V/V_0) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (7)$$

Como a densidade de um material corresponde à razão da massa pelo volume em que ocupa (Lewis, 1993) e considerando que a massa permanece constante com a variação de temperatura, a equação (7) pode ser escrita na forma de:

$$\ln(d_0/d) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (8)$$

onde d_0 e d representam, respectivamente, a densidade na temperatura T_0 e a densidade na temperatura T .

A equação (8) relaciona a densidade de um fluido com a variação de temperatura e o coeficiente de expansão térmica.

Utilizando a equação (8), foi possível prever (objetivo deste trabalho), a partir de dados experimentais de densidade em função da temperatura, o coeficiente de expansão térmica para o óleo de algodão.

2. Material e método

A Tabela 1 indica os dados experimentais de densidade do óleo de algodão em função da temperatura. Estes dados foram obtidos por Tschubik e Maslow (1973), citado por Lewis (1993).

Aplicando os dados da Tabela 1 na equação (8), foi possível determinar o coeficiente de expansão tér-

mica a partir da Análise de Regressão Linear, onde o coeficiente angular da reta obtida pelo gráfico de $\ln(d_0/d)$ versus $(T - T_0)$ corresponde numericamente ao valor do coeficiente de expansão térmica para o óleo de algodão.

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

Nos cálculos, considerou-se como T_0 a temperatura de -20°C e d_0 , a densidade do óleo de algodão nesta temperatura.

Tabela 1 - Efeito da temperatura sobre a densidade do óleo de algodão

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Densidade (kg/m^3)
-20	949
-10	942
0	935
10	928
20	921
40	908
60	894
80	881

Fonte: Lewis (1993).

3. Resultados

A Análise de Regressão Linear forneceu como resultado para o coeficiente de expansão térmica (β) do óleo de algodão o valor de $7,4355 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9999.

O coeficiente de correlação tem por objetivo avaliar a “qualidade” do ajuste. Assim para um coeficiente de correlação mais próximo a 1, melhor a “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão (Toledo; Ovalle, 1995).

A Figura 1 indica o gráfico de $\ln(d_0/d)$ versus $(T - T_0)$, utilizado para a Análise de Regressão Linear.

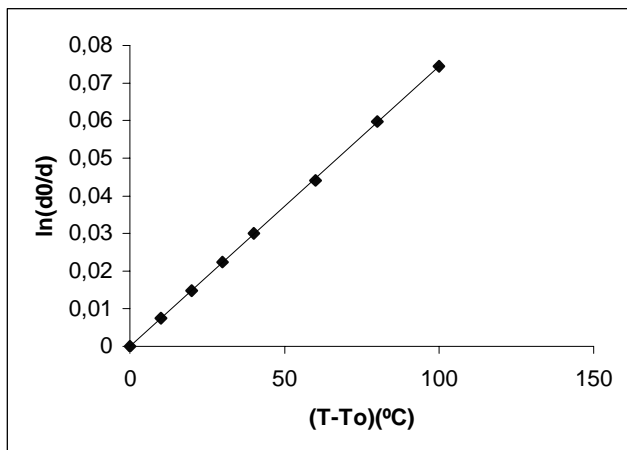


Figura 1 - Gráfico de $\ln(d_0/d)$ versus $(T-T_0)$ para o óleo de algodão

4. Discussão

O coeficiente de expansão volumétrica de um material indica a variação de volume provocada pela variação da temperatura, enquanto a pressão permanece constante. Assim, o conhecimento deste permite calcular o volume do material a cada temperatura e dessa forma, acompanhar o processo produtivo e servir como dado no projeto de instalações e equipamentos.

O óleo de algodão pode ser usado na produção de gorduras vegetais hidrogenadas, margarinas e ainda como óleo para saladas ou de cozinha (para fritura) (Shreve; Brink Jr., 1977). No processo de fritura, os óleos vegetais atingem de 170 a 200°C (Moretto; Fett, 1998). E no caso da hidrogenação de óleos vegetais, as temperaturas utilizadas podem chegar a 240°C (Shreve; Brink Jr., 1977). O conhecimento do coeficiente de expansão térmica permite obter o volume nessas temperaturas.

O coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão foi pesquisado na literatura disponível para comparação com o calculado. O único valor de coeficiente de expansão térmica encontrado na literatura para óleos vegetais foi o do azeite de oliva. Segundo Cabral; Lago (2002), o azeite de oliva apresenta um valor de coeficiente de expansão térmica igual a $7,20 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ a 20°C.

Com isso, pode-se observar que os coeficientes de expansão térmica do óleo de algodão e do azeite de oliva são próximos e estão na ordem de $7,0 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

O estudo da dilatação térmica permite determinar a variação do volume com a temperatura. Considerando, por exemplo, o coeficiente de expansão térmica da água igual a $2,07 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ a 20°C, para um aumento de temperatura de 10°C, o aumento no volume da água é da ordem de 2 litros para cada mil litros de água (Cabral; Lago, 2002). Da mesma forma, com o mesmo aumento de temperatura (10°C), considerando o coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão predito, o aumento no volume de óleo de algodão é da ordem de 7,4 litros para cada mil litros de óleo de algodão. Ou seja, comparando a água com o óleo de algodão, este apresenta uma maior dilatação volumétrica. A água apresenta menor dilatação volumétrica, pois apresenta como ligações intermoleculares pontes de hidrogênio, enquanto o óleo de algodão, forças de Van der Waals (Usberco; Salvador, 1999).

As forças de Van der Waals são estabelecidas quando duas moléculas apolares se aproximam e ocorre uma repulsão entre suas nuvens eletrônicas. Essa repulsão provoca um movimento dos elétrons, que vão se acumular numa região da molécula, deixando a região oposta com deficiência de carga negativa, criando-se assim um dipolo induzido. Já as pontes de hidrogênio são forças de atração de natureza elétrica e são formadas pela atração entre o hidrogênio de uma molécula e o átomo mais eletronegativo (no caso da água, o oxigênio) da outra molécula. Entre as forças de Van der Waal e as pontes de hidrogênio, estas são mais fortes que aquelas (Fonseca, 1992). Como o coeficiente de expansão térmica é mais baixo para materiais em que as ligações químicas são fortes (Padilha, 1997), a água apresenta menor coeficiente de dilatação volumétrica em relação ao óleo de algodão.

Em relação ao azeite de oliva, para um aumento de temperatura de 10°C, o aumento no volume de azeite de oliva é da ordem de 7,2 litros para cada mil litros de azeite de oliva. Ou seja, a diferença deste em relação ao óleo de algodão é na ordem de 0,4 litros para cada mil litros de óleo de algodão.

5. Conclusões

A utilização de dados experimentais de densidade em função da temperatura associada a alguns conceitos da termodinâmica permitiu prever o coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão.

Embora não tenha sido encontrado na literatura disponível um valor experimental para este, com o objetivo de compará-lo com o predito; o valor obtido neste trabalho apresentou-se bem próximo ao azeite de oliva.

A Análise de Regressão Linear forneceu, como resultado para o coeficiente de expansão térmica (β), um coeficiente de correlação bem próximo a 1, indicando uma melhor “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão.

REFERÊNCIAS

1. CABRAL, F.; LAGO, A. **Física 2**. São Paulo: Editora Harbra, 2002. p. 17-21.
2. CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2002. p. 450.
3. CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As Faces da Física**. São Paulo: Editora Moderna, 1997. p. 277.
4. FONSECA, M.R.M. **Química Geral**. São Paulo: Editora FDT, 1992. p. 137-138.
5. INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1998. p. 262-266.
6. LEWIS, M.J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1993. p. 39-41.
7. MORETTO, E; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na Indústria de Alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1998. p. 103.
8. PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Editora Hemus, 1997. p. 289-301.
9. SCHMIDT, F.W.; HENDERSON, R.E.; WOLGEMUTH, C.H. **Introdução às Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001. p. 50-51.
10. SHREVE, R.N.; BRINK JR.; J.A. **Indústrias de Processos Químicos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1977. p.414-426.
11. SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1985. p. 53-57.
12. SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G.J. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998. p. 57.
13. TOLEDO, G.L.; OVALLE, I.I. **Estatística Básica**. São Paulo: Editora Atlas, 1995. p.430-431.
14. USBERCO, J.; SALVADOR, E. **Química**. São Paulo: Editora Saraiva, 1999. p. 114-117.