

DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DO BIODIESEL E SEUS IMPACTOS NO SISTEMA DE MEDIÇÃO VOLUMÉTRICO

Douglas Queiroz Santos, Daniela Franco Vieira

Universidade Federal de Uberlândia – Avenida Engenheiro Diniz, 1178 – Caixa Postal: 593 –

CEP 38.400-902 – Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

e-mail: douglasqueiroz@petrobras.com.br;danielafranco.tecline@petrobras.com.br

Resumo: O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de expansão térmica do biodiesel 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 após regressão linear para o biodiesel foi de $8,49 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9978.

Palavras-chaves: Coeficiente de expansão térmica, dilatação térmica, biodiesel

Introdução

O aumento da demanda mundial por combustíveis líquidos, aquecimento global, segurança energética, vontade política por desenvolvimento nos campos agrícola, social e também energético são pontos que abrem novas áreas de interesse e oportunidades para pesquisas e desenvolvimento na Academia e na indústria, pois são as forças motoras responsáveis pelo renovado interesse na produção de biocombustíveis [1,2].

Com a inclusão do biodiesel na matriz energética do Brasil se faz necessário conhecer a magnitude do coeficiente de expansão, já que este é de extrema importância no cálculo do faturamento do biodiesel nas indústrias e/ou bases de carregamento.

Cada material reage diferentemente a uma variação de temperatura [3]. Alguns materiais apresentam uma grande variação nas suas dimensões com o aumento da temperatura, enquanto outros praticamente não mudam suas dimensões [4], tal fato é explicado pelo coeficiente de expansão volumétrica [5].

Uma área promissora de estudos para caracterizar este bio-material é a medida das suas

propriedades térmicas. Estas propriedades revelam informações importantes sobre o comportamento físico-químico no material e certamente pode ser um caminho adicional nas metodologias de caracterização de biodiesel [6].

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 [4,7]:

$$\beta = \frac{1}{V} \times \frac{\partial V}{\partial T} \quad (i)$$

O coeficiente de expansão térmica (β) também chamado de compressibilidade isobárica [8,9], 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 [7].

Material e Métodos

Durante os meses de abril, maio, junho e julho do ano de 2009 coletaram-se amostras de biodiesel das seguintes Empresas Agrosoja, Fiagril, CaiBIense, Bracol, Binatural, Caramuru, Granol, Biopar e Fertibom. Com essas empresas de acordo com a ANP, temos biodiesel de rota etílica e metílica com origem

vegetal e animal, ou seja, temos uma grande variabilidade nas origens.

A tabela 1 indica os dados experimentais de densidade do biodiesel em função da temperatura, nestes dados foi aplicado os testes de Chauvenet, Dixon e Grubbs para verificação de outliers. Após este procedimento, os dados foram aplicados à equação (viii) onde foi possível determinar o coeficiente de expansão térmica a partir da análise de regressão linear, sendo 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 biodiesel. Nos cálculos, consideraram-se como T_0 as temperaturas de 10,0°C e d_0 , as densidades dos biodiesel nesta temperatura.

Tabela 1. Efeito da temperatura sobre a densidade do biodiesel.

Temperatura (°C)	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	Amostra
Densidade (Kg × m ³)	890,0	886,1	882,1	878,5	875,1	871,4	867,9	864,2	860,7	1
	889,9	886,2	882,1	878,2	874,9	871,3	867,7	864,1	860,4	2
	890,0	886,4	882,2	878,7	875,0	871,5	867,9	864,2	860,6	3
	890,3	886,5	882,7	878,9	875,3	871,7	868,1	864,5	860,9	4
	890,5	886,6	882,1	878,8	875,2	871,6	868,0	864,4	860,7	5
	890,5	886,3	882,6	878,9	875,3	871,5	868,0	864,4	860,7	6
	890,1	886,4	882,7	879,2	874,8	871,2	867,6	863,9	860,3	7
	889,2	885,3	881,7	878,7	874,3	870,6	867,0	863,4	859,7	8
	890,6	886,6	882,6	878,9	875,4	871,7	868,1	864,4	860,8	9
	890,7	887,0	882,7	879,1	875,3	871,7	868,1	864,5	860,9	10
	890,3	886,3	882,4	879,5	875,3	871,5	867,9	865,5	860,7	11
	889,1	885,4	881,7	878,3	874,4	870,8	867,2	863,6	860,0	12
	890,0	886,3	882,4	878,7	875,1	871,5	867,8	864,2	860,6	13
	889,8	886,1	882,3	878,7	875,0	871,4	867,3	864,2	860,6	14
	889,8	885,9	882,1	878,5	874,9	871,2	867,6	864,0	860,4	15
	890,1	885,8	882,0	878,4	874,8	871,2	867,5	863,9	860,3	16
	889,5	885,5	881,8	878,1	874,5	870,9	867,3	863,7	860,0	17
	889,5	885,4	881,4	877,8	874,2	870,5	867,0	863,3	859,7	18
	889,3	885,3	881,7	878,6	874,3	870,7	867,0	863,4	859,8	19
	889,1	885,4	881,7	878,0	874,5	870,8	867,2	863,6	860,3	20
	889,4	885,6	881,6	878,0	874,4	870,7	867,1	863,4	859,8	21
	889,2	885,1	881,5	877,8	874,2	870,5	866,9	863,2	859,6	22
	889,8	886,2	881,8	878,1	874,4	871,1	867,2	863,5	860,0	23
	889,7	886,2	881,8	878,1	874,5	870,8	867,3	863,6	860,0	24
	889,7	886,0	881,7	878,0	874,4	870,7	867,1	863,5	859,9	25
	889,7	886,0	881,6	878,0	874,4	870,7	867,1	863,5	859,9	26
	889,6	885,8	881,6	878,0	874,4	870,7	867,1	864,2	859,8	27
	889,5	885,6	881,5	877,8	874,2	870,6	867,0	863,3	859,7	28
	889,8	885,8	881,7	878,1	874,5	870,8	867,2	863,6	860,0	29
	889,6	886,0	881,7	878,0	874,4	870,8	867,2	863,5	859,9	30
	889,7	885,9	881,7	878,1	874,5	870,8	867,3	863,5	860,6	31

continuação da Tabela 1. Efeito da temperatura sobre a densidade do biodiesel.

Temperatura (°C)	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	Amostra
	889,6	885,9	881,9	878,1	874,5	870,8	867,2	863,5	859,9	32
	889,1	885,4	881,7	878,1	874,5	870,8	867,3	863,6	860,0	33
	889,8	885,9	881,7	877,9	874,3	870,7	867,1	863,5	859,9	34
	889,8	885,9	881,7	878,1	874,5	870,8	867,2	863,6	860,0	35
	889,5	885,6	881,4	877,7	874,0	870,4	866,8	863,1	859,6	36
	889,1	885,3	881,6	878,0	874,3	870,7	867,1	863,4	859,8	37
	889,0	885,3	881,6	878,7	874,4	870,8	867,1	863,5	859,9	38
	889,2	885,3	881,6	878,7	874,4	870,8	867,1	863,5	859,9	39
	889,0	885,1	881,2	877,5	873,9	870,2	866,6	863,0	859,3	40
	888,7	884,7	880,8	877,1	873,5	869,9	866,3	862,7	859,0	41
	889,2	885,5	881,8	878,1	874,5	870,8	867,3	863,7	860,0	42
	889,1	885,4	881,5	877,8	874,2	870,5	867,0	863,4	859,7	43
	888,2	884,6	880,9	877,3	873,6	870,0	866,4	862,8	859,2	44
	888,6	885,3	881,3	877,7	874,1	870,4	866,8	863,2	859,6	45
	888,9	885,5	881,6	878,0	874,3	870,7	867,1	863,5	859,8	46
	889,1	885,5	881,7	878,1	874,4	870,8	867,2	863,6	860,0	47
	889,0	885,5	881,7	878,1	874,4	870,8	867,3	863,6	860,0	48
	889,1	885,3	881,8	878,1	874,5	870,9	867,3	863,7	860,1	49
	888,9	885,3	881,7	878,0	874,4	870,8	867,2	863,5	860,0	50
	889,1	885,5	881,8	877,9	874,5	870,9	867,3	863,6	860,0	51
	889,0	885,4	881,7	878,0	874,3	870,7	867,1	863,5	859,8	52
	888,5	884,8	881,2	877,4	873,8	870,1	866,6	862,9	859,3	53
	889,2	885,8	881,7	878,1	874,5	870,8	867,2	863,6	860,0	54
	888,7	885,2	881,4	877,8	874,1	870,5	866,9	863,2	859,7	55
	888,9	885,3	881,6	877,8	874,4	870,7	867,1	863,5	859,9	56
	888,6	884,9	881,3	877,7	874,1	870,5	866,8	863,2	859,6	57
	888,9	885,2	881,7	878,1	874,4	870,8	867,1	863,5	859,9	58
	889,0	885,4	881,8	878,1	874,5	870,8	867,2	863,6	860,0	59
	889,1	885,4	881,7	878,0	874,4	870,7	867,1	863,5	859,9	60
	889,1	885,6	881,8	878,1	874,5	870,8	867,3	863,6	860,0	61
	888,1	884,5	880,9	877,1	873,5	869,9	866,3	862,6	859,0	62
	889,0	885,4	881,7	878,1	874,0	870,8	867,2	863,6	860,0	63
	889,3	885,3	881,7	878,1	874,5	870,8	867,2	863,6	860,0	64
	888,9	885,7	881,6	878,0	874,3	870,7	867,0	863,5	859,9	65
	889,1	885,5	881,8	878,1	874,5	870,9	867,3	863,7	860,1	66
	883,7	879,7	875,9	873,2	868,8	865,1	861,5	857,8	854,2	67
	889,3	885,5	881,3	877,7	874,0	870,4	866,8	863,2	859,6	68
	889,2	885,3	881,3	877,6	874,0	870,4	866,7	863,1	859,5	69
	888,6	884,7	880,6	877,0	873,3	869,7	866,1	862,4	858,9	70
	890,0	886,0	881,9	878,3	874,6	871,0	867,4	863,8	860,1	71
	883,5	879,3	875,6	871,9	868,3	864,7	861,0	857,4	853,8	72
	884,4	879,6	876,1	872,4	868,9	865,2	861,7	858,0	854,3	73
	883,7	879,1	875,4	871,7	868,1	864,4	860,9	857,2	853,5	74
	884,5	879,8	876,2	872,5	868,9	865,3	861,7	858,1	854,4	75
	888,1	884,6	880,9	877,3	873,7	870,0	866,4	862,8	859,1	76
	888,1	884,5	880,7	877,0	873,5	869,8	866,3	862,5	859,0	77
	888,2	884,7	880,9	877,3	873,7	870,1	866,5	862,7	859,2	78
	888,5	884,6	880,9	877,2	873,6	870,1	866,4	862,7	859,2	79
	887,8	885,0	880,6	876,9	873,3	869,6	866,0	862,4	858,8	80

Resultados e Discussão

Conforme figura 1 a análise de regressão linear forneceu como resultado para o coeficiente de expansão térmica (β) do biodiesel o valor de $8,49 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9978.

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.

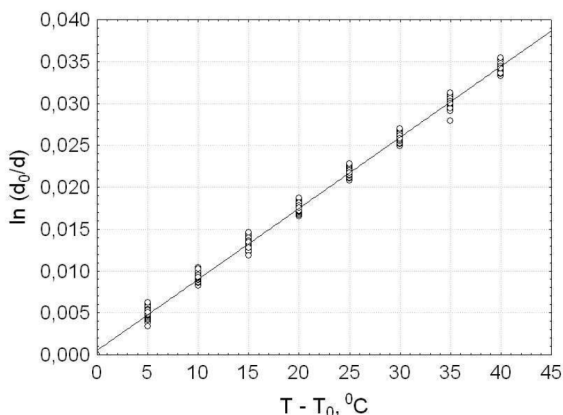


Figura 1. Gráfico de $\ln(d_v/d)$ versus $(T-T_0)$ para biodiesel.

Observa-se na figura 2 que não existe padrão de comportamento, podendo-se concluir que a variância dos erros é constante.

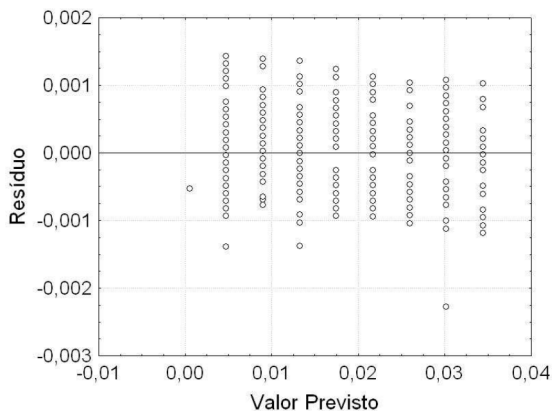


Figura 2. Resíduo versus valor previsto para os dados da tabela 1.

Pela figura 3 podemos observar que os erros de ajustamento estão independentes e normalmente distribuídos em torno da reta. Quanto mais próximos os pontos experimentais estiverem da linha contínua, mais válida a suposição de normalidade dos resíduos.

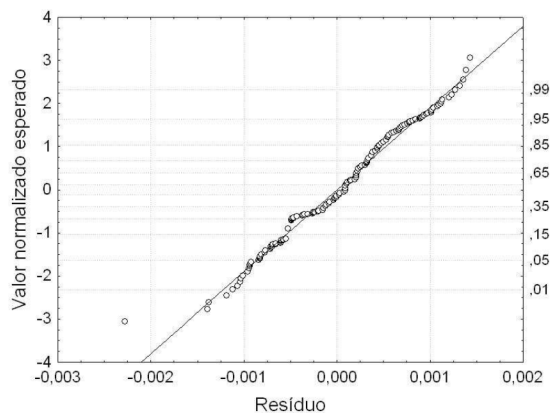


Figura 3. Distribuição dos resíduos em torno da reta que indica normalidade.

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 biodiesel, parâmetro este de extrema importância para estimar outras propriedades físico-químicas entre elas a entalpia de vaporização [5,10]. Considerando que o coeficiente de expansão térmica do biodiesel é $8,49 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, para um aumento de temperatura de $10,0^\circ\text{C}$, o aumento no volume do biodiesel é da ordem de 8,5 litros para cada mil litros.

Sendo assim o volume ocupado pelo biodiesel no interior de tanques sofre forte influência da temperatura e para viabilizar o comércio destes produtos e valorizar todas as operações comerciais e estabelecer os preços com os volumes referidos à temperatura de $20,0^\circ\text{C}$, temperatura de referência no Brasil, se faz necessário corrigir o volume à temperatura ambiente para a temperatura de referência, sendo necessário para isso o coeficiente de expansão térmica neste trabalho.

Douglas Queiroz Santos, Daniela Franco Vieira. Determination of coefficient of thermal expansion of biodiesel and their impacts on system volumetric measurement.

Abstract: The purpose of this study was to determine the coefficient of thermal expansion of the biodiesel from the experimental data of density as a function of temperature. For this, we used some fundamentals of thermodynamics. The value obtained for the coefficient of thermal expansion after the linear regression for biodiesel was $8.49 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, with a correlation coefficient equal to 0.9978.

Keywords: Coefficient of thermal expansion, thermal expansion, biodiesel.

Referências

- [1] I. P. Lôbo, S. L. C. Ferreira, R. S. Cruz, *Química Nova* 32(6) (2009) 1596-1608.
- [2] M. J. Dabdoub, J. L. Bronzel, M. A. Rampin, *Química Nova* 32(3) (2009) 776-792.
- [3] F. Cabral, A. Lago, *Física 2*. Harbra, São Paulo, 2002, p.17-21.
- [4] W. D. Callister, *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2002, p.450.
- [5] E. C. Elizondo, G. Lutz, J. F. M. Segreda, *Jornal of Physical Organic Chemistry* 19(1) (2006) 744-747.
- [6] L. M. R. Antón, C. Aparicio, B. Guignon, P. D. Sanz, *ScienceDirect* 87(1) (2008) 1934-1940.
- [7] A. F. Padilha, *Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades*, Hemus, São Paulo, 1997, p. 289-301.
- [8] F. W. Schmidt, R. E. Henderson, C. H. Wolgemuth, *Introdução às Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor*, Edgard Blücher, São Paulo, 2001, p. 50-51.
- [9] J. M. Smith, H. C. V. Ness, *Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química*, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1985, p. 53-57.
- [10] R. E. Sonntag, C. Borgnakke, G. J. V. Wylen, *Fundamentos da Termodinâmica*, Edgard Blücher, São Paulo, 1998, p.57.

