

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DOS COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES CICLOS OTTO E DIESEL

Micael Justino da Silva Júnior¹; Monique Carla Souza de Lima²; Rodrigo Henrique da Silva Gabriel³; Luiz Antonio Pimentel Cavalcanti⁴

¹ Universidade de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Engenharia de Civil – micael_jr21@hotmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Engenharia de Química – monique.souza.eng@gmail.com

³ Universidade Federal de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Engenharia de Química – rodrigohenrique015@gmail.com

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Unidade Acadêmica de Biocombustíveis – luiz.cavalcanti@ifba.edu.br

RESUMO

Os combustíveis derivados do petróleo tem papel de destaque no setor de transporte a nível mundial, por serem considerados como recursos finitos de energia e contribuírem negativamente para o aumento dos níveis de poluição atmosférica têm sido gradativamente substituídos pelos biocombustíveis. O alto consumo do diesel e da gasolina e seus respectivos biocombustíveis (biodiesel e etanol) trazem a necessidade conhecer a magnitude do coeficiente de expansão térmica, já que este é de relevante importância no cálculo do faturamento dos combustíveis nas indústrias e/ou bases de carregamento. Este trabalho visa determinar o coeficiente de expansão térmica dos diesel, biodiesel de soja (B100-S), etanol e gasolina a partir de dados experimentais de massa específica em função da temperatura. Nessa perspectiva, foram utilizados alguns princípios da termodinâmica. A técnica de regressão linear foi utilizada com o auxílio do software Origin 6.0. Os valores obtidos para o coeficiente de expansão térmica dos biodiesel de soja, algodão e sebo bovino após a regressão linear foram de $8,452 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $8,320 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $1,290 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e $1,090 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, respectivamente, com coeficiente de correlação igual a 0,9999 em todos os casos avaliados.

Palavras-chave: Coeficiente de expansão térmica; Combustíveis; Massa específica.

1. INTRODUÇÃO

No cenário mundial atual há uma grande demanda por combustíveis fósseis no setor de transportes e grande parte se deve ao consumo em motores diesel, bem como em motores ciclo Otto. Contudo a expectativa de escassez associada à questões ambientais tem contribuído para o avanço no uso dos biocombustíveis. O bioetanol e biodiesel são

combustíveis renováveis e de gases de emissões substancialmente menos agressivos ao meio ambiente, devido a estes aspectos, tais biocombustíveis vem ganhando espaço no cenário mundial [DAMME et al., 2014].

Os combustíveis derivados do petróleo são produzidos a partir do refino em destilação fracionada do óleo bruto onde são separadas as misturas de diversas correntes como o querosene, gasóleos, nafta pesada, diesel leve, diesel pesado, gasolina etc. O óleo

diesel, bem como a gasolina são constituídos basicamente por hidrocarbonetos sendo o primeiro apresentando de 9 a 28 átomos de carbono e o último de 5 a 12 átomos de carbono em sua cadeia [SANTOS et al., 2013].

A qualidade do combustível varia de acordo com a sua função orgânica e com sua estrutura molecular, são dependentes dos constituintes ou contaminantes da matéria-prima, do processo de produção e do sistema de armazenamento. De um modo geral à medida que a massa molecular aumenta, a polaridade vai diminuindo e como consequência verifica-se a ocorrência de interações intermoleculares do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido ou também chamadas de forças de Van der Waals [CANCIAM, 2014].

Os materiais quando submetidos a um gradiente de temperatura podem apresentar respostas distintas, tais respostas estão diretamente relacionadas a composição molecular do referido material, podendo este, dilatar-se significativamente ou dilatar-se de modo imperceptível a olho nu. O fenômeno pode ser explicado pelo coeficiente de expansão volumétrica. A dilatação de um material em decorrência da elevação da temperatura é uma consequência do aumento da sua energia interna, que determina uma maior amplitude das vibrações moleculares e,

portanto, uma maior distância média entre os constituintes moleculares [SANTOS et al., 2013].

O coeficiente de expansão térmica (β), também conhecido como coeficiente de expansão volumétrico ou expansividade volumétrica indica a variação de volume (V) frente a um gradiente de temperatura (T), sob condições isobáricas [SMITH, 2007]. A Equação 1 mostra o coeficiente de expansão térmica.

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad [1]$$

O presente trabalho teve por objetivo determinar o coeficiente de expansão térmica dos biodiesel de soja (B100-S), diesel do petróleo, gasolina e etanol hidratado a partir de dados experimentais de massa específica dos respectivos combustíveis em função da temperatura. Além de comparar a dilatação volumétrica dos combustíveis derivados de petróleo e seus biocombustíveis sob o aspecto de abastecimento e tancagem.

2. METODOLOGIA

O óleo de soja refinado foi adquirido em supermercados, o etanol e a gasolina foram adquiridos em postos de combustíveis da Região Metropolitana do Recife. O diesel puro isento de aditivos e corantes foi fornecido pela TRANSPETRO (Ipojuca, Pernambuco). Os demais compostos químicos

usados, tais como, metanol, hidróxido de sódio, ácido sulfúrico, foram de Marca Vetec, com 99% de pureza.

2.1 Produção do biodiesel

O biodiesel metílico (B100-S) foi produzido através da reação de transesterificação alcalina em presença de KOH, com razão molar óleo:metanol de 1:6. O processamento foi desenvolvido em reator de vidro (*Marconi*, modelo: MA502/5/C, volume útil: 1 L) com controle de temperatura e agitação mecânica (impelidor do tipo pás), nas condições operacionais: 50 °C, 1 atm, 300 rpm e tempo reacional de 1 h. Em seguida, procedeu-se a separação da glicerina da mistura reacional via decantação. A fase mais leve da mistura contendo o B100, o catalisador e o excesso de metanol, passou pela etapa de purificação que constou de evaporação do metanol com auxílio de um evaporador rotativo (IKA, modelo RV10) com condensador vertical, seguida de uma lavagem ácida com solução de ácido clorídrico 0,5 M. Lavagens posteriores foram realizadas com água destilada. A secagem do biodiesel foi realizada em evaporador rotativo.

2.2 Massa específica

As massas específicas dos combustíveis foram obtidas utilizando densímetro digital,

marca *Anton Paar*, modelo DMA 5000, nas faixas de temperatura de 10 a 50°C foram divididos em intervalos de 10 em 10°C. A massa específica do etanol foi avaliada utilizando a NBR 15639 [ABNT, 2008], para gasolina ASTM D 4052 [ASTM, 2009].

2.3 Determinação do coeficiente de expansão térmica (β)

Para determinação do coeficiente de expansão térmica (β) foi utilizada a metodologia proposta por JERÔNIMO [2012] que sugere a obtenção do parâmetro a partir da regressão linear dos dados em um gráfico $\ln(d_0/d)$ versus $(T-T_0)$. A Equação 2 relaciona a modelagem matemática proposta por este autor.

$$\ln \frac{d_0}{d} = \beta(T - T_0) \quad [2]$$

Onde d_0 é a massa específica do combustível na temperatura inicial T_0 e d é a massa específica na temperatura final T .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da temperatura sobre a massa específica dos diesel, B100-S, gasolina e etanol na faixa de temperatura 10 a 50°C, pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa Específica dos Diesel, B100-S, Gasolina e Etanol



Temperatura (°C)	Diesel ρ (kg/m ³)	B100 ρ (kg/m ³)	Gasolina ρ (kg/m ³)	Etanol ρ (kg/m ³)
10	843,66	890,35	755,10	820,02
20	836,65	883,04	745,17	811,50
30	829,65	875,76	736,10	802,82
40	822,64	868,48	726,88	793,94
50	815,63	861,22	717,17	784,71

Fonte: Elaborada pelo autor

A massa específica dos combustíveis em questão decresce linearmente com o aumento da temperatura como previsto na literatura para líquidos simples e misturas de líquidos [DAMME et al., 2014]. Verifica-se ainda na Tabela 1 que tal propriedade fluidodinâmica além de variar com a temperatura, também é função da composição e função orgânica de cada combustível. A Figura 1 mostra a massa específica versus temperatura para os diesel, biodiesel de soja, gasolina e etanol.

A Figura 2 mostra o gráfico $\ln(d_0/d)$ versus $(T-T_0)$ para os diesel, biodiesel de soja, gasolina e etanol.

O coeficiente angular da reta obtidos a partir da regressão linear dos dados experimentais de massa específica do diesel, B100-S, gasolina e etanol é equivalente ao coeficiente de expansão térmica dos combustíveis avaliados.

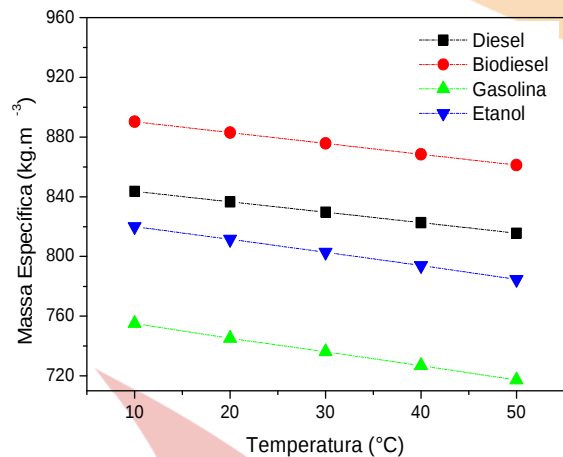


Figura 1 – Massa específica em função da temperatura para o diesel, B100-S, gasolina e etanol.

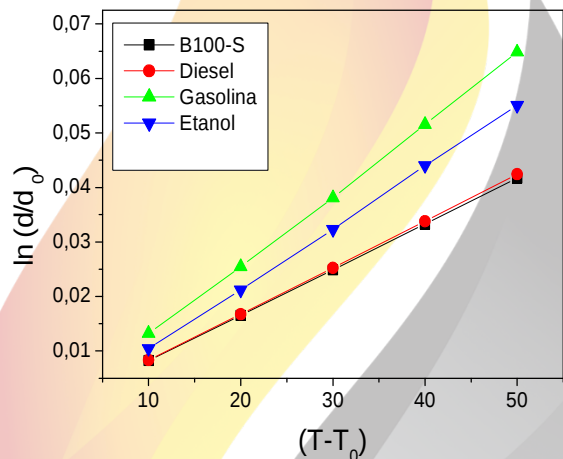


Figura 2 - Gráfico $\ln(d_0/d)$ versus $(T-T_0)$ dos B100-S, B100-A e B100-Sb

A Tabela 2 relaciona os resultados obtidos da análise de regressão linear a partir dos dados de $\ln(d_0/d)$ versus $(T-T_0)$, de acordo com a metodologia proposta por JERÔNIMO [2012].

Tabela 2 - Coeficientes de expansão térmica e de correlação dos diesel, B100-S, gasolina e etanol

Combustíveis	Coeficiente de Expansão Térmica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	R^2
Diesel	$8,452 \times 10^{-4}$	0,99998
B100-S	$8,320 \times 10^{-4}$	0,99999
Gasolina	$1,290 \times 10^{-3}$	0,99998
Etanol	$1,090 \times 10^{-3}$	0,99991

Fonte: Elaborada pelo autor

Segundo Santos e Vieira [2010] há uma relação entre a energia de ligação química entre as partículas e os valores do coeficiente de expansão térmica, de modo geral quanto mais fortes são as ligações químicas menores são os coeficientes de expansão térmica dos materiais avaliados. Como consequência, pode-se afirmar que a dilatação térmica está associada à variação assimétrica da energia de ligação com a distância entre as partículas, que durante o aquecimento as partículas do material aumentam a frequência e amplitude, aumentando assim seu volume final.

Os resultados obtidos na Tabela 2 para o coeficiente de expansão térmica (β) para os diesel, B100-S, gasolina e etanol foram de $8,452 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $8,320 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $1,290 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $1,090 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, respectivamente, com coeficiente de correlação igual a 0,9999 em todos os casos avaliados. Verifica-se que o diesel e biodiesel de soja apresentam coeficiente de expansão térmica com mesma ordem de grandeza, com o primeiro apresentado maior valor absoluto devido sua

estrutura principal ser composta basicamente por hidrocarbonetos com ligações saturadas em cadeia linear. Mesma comparação pode ser observada entre a gasolina comum e o etanol, sendo o primeiro tendo predominância de hidrocarbonetos saturados com sete átomos de carbono em uma cadeia linear. Pode-se afirmar que o coeficiente de expansão térmica está diretamente relacionada a composição e ao grau de saturação das ligações na estrutura do combustível avaliado.

Calculando a variação de volume para 1000 L de biodiesel com um gradiente de temperatura de 10°C , encontra-se para diesel, biodiesel de soja, etanol e gasolina os valores 8,49, 8,36, 10,96 e 12,98 litros, respectivamente. Os valores calculados para a variação de volume do diesel e do biodiesel apresentaram valores muito próximos, já quando comparamos o etanol e a gasolina a diferença entre eles é superior a 2 litros para um mesmo gradiente de temperatura.

4. CONCLUSÕES

A metodologia para predição dos valores do coeficiente de expansão térmica dos diesel, biodiesel de soja, etanol e gasolina partindo dos dados experimentais de massa específica em função da temperatura se mostrou adequada e conseguiu prever os

valores de tal parâmetro com coeficiente de correlação próximo a unidade.

Podemos concluir que o volume ocupado pelos diesel, biodiesel de soja, etanol e gasolina avaliados quando armazenados no interior de tanques sofrem significativa influência do gradiente de temperatura e para viabilizar as operações comerciais destes biocombustíveis com os volumes referidos à temperatura de 20,0°C, temperatura de referência no Brasil, há a necessidade de se corrigir o volume à temperatura ambiente utilizando o coeficiente de expansão térmica calculado no presente trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Combustíveis da UFPE (LAC – UFPE) pelas análises de massa específica dos combustíveis utilizado no presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15639**: Álcool etílico e suas misturas com água - Determinação da massa específica e do teor alcoólico - Método da densimetria eletrônica, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4052**,

“Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter”, ASTM International, 2009.

BHALE, P. V., DESHPANDE, N. V., THOMBRE, S. B. **Improving the low temperature properties of biodiesel fuel.** Renewable Energy. 2008 jul; 34: 794-800.

CANCIAM, C. A. **Estimativa do coeficiente de expansão térmica dos acetatos de etila, butila, isoamila, hexila, cis-3-hexenila e trans-2-hexenila.** Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações. 2014 ago; 12 (2): 15-21.

CASAS, A., RUIZ, J. R., RAMOS, M. J., PEREZ, A.. **Effects of Triacetin on Biodiesel Quality.** Energy Fuels 2010 Jul; 24: 4481–4489.

DAMME, S. V., BRAM, S., CONTINO, F. **Comparison of biodiesel production scenarios with coproduction of triacetin according to energy and GHG emissions.** Energy Procedia. 2014; 61: 1852 1859.

JERÔNIMO, C. E. M. **Predição do coeficiente de dilatação térmica de naftas pela curva de destilação ASTM.** Revista

Virtual de Química. 2012 ago; 4 (4): 405–412.

KNOTHE, G., GERPEN, J. V., KRANI, J. , RAMOS, L. P. **Manual do Biodiesel**. São Paulo: Editora Edgard Blücher; 2006. 340 p.

REID, R.C., PRAUSNITZ, J.M., POLING, B.E.; **The Properties of Gases and Liquids**. New York: McGraw-Hill, 1987. 735 p.

SANTOS, D. Q., LIMA, A. L., LIMA. A. P., BORGES NETO, W., FABRIS, J. D. **Thermal expansion coefficient and algebraic models to correct values of specific mass as a function of temperature for corn biodiesel**. Fuel. 2013 apr;106: 646–650.

SANTOS, D. Q.; VIEIRA, D. F. **Determinação de coeficiente de expansão térmica do biodiesel e seus impactos no sistema de medição volumétrico**. Eclética Química. 2010 mês; 35 (4): 107-112.

SMITH, J. M., NESS, H. C. V., ABBOTT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. Rio de Janeiro: LTC; 2007. 697 p.

