

## EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE ETANOL NA DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DE MISTURAS ETANOL - ÁGUA

César Augusto Canciam - UTFPR – E-mail: [canciam@utfpr.edu.br](mailto:canciam@utfpr.edu.br)

**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 presente trabalho teve por objetivo verificar o efeito da concentração de etanol nos valores do coeficiente de expansão térmica de misturas etanol-água. Para tanto, através da análise de regressão linear da densidade de cada uma das misturas em função da temperatura, foi possível prever os valores para o coeficiente de expansão térmica. Estes dados experimentais foram obtidos de outro trabalho. Os valores encontrados para o coeficiente de expansão térmica variaram de  $2,6704 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (mistura com 5% em massa de etanol) a  $10,8690 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (mistura com 95% em massa de etanol). O intervalo de temperatura considerado foi de 10 a 40  $^\circ\text{C}$ . Constatou-se que na medida em que se aumentou a concentração de etanol na mistura, aumentou-se o valor do coeficiente de expansão térmica. Provavelmente, isto esteja associado ao tipo de ligação intermolecular formado nas misturas etanol-água. Na literatura não foram encontrados valores experimentais do coeficiente de expansão térmica para as misturas estudadas neste trabalho, o que dificultou a análise.

**Palavras-chave:** dilatação; concentração; etanol; efeito; predição.

## EFFECT OF CONCENTRATION OF ETHANOL ON VOLUMETRIC EXPANSION OF ETHANOL – WATER MIXTURES

**Abstract:** The study of the thermal dilatation in liquids is only made in relation to the volumetric dilatation, being important the knowledge of thermal expansion coefficient. The present work aimed to investigate the effect of ethanol concentration on the values of the thermal expansion coefficient of ethanol-water mixtures. Therefore, through the linear regression analysis of the density of each of mixtures as a function of temperature, it was possible to predict the values for the thermal expansion coefficient. These experimental data were obtained from another study. The values found for the thermal expansion coefficient ranged from  $2.6704 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (mixture of 5 wt% ethanol) to  $10.8690 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  (mixture of 95 wt% ethanol). The temperature range considered was 10 to 40 $^\circ\text{C}$ . It was found that the extent that increased ethanol concentration in the mixture, the values of the thermal expansion coefficient increased. Probably this is associated with intermolecular bonding type formed on ethanol-water mixtures. In the literature, it was not found experimental values of the thermal expansion coefficient for studied mixtures, difficulting the analysis.

**Keywords:** dilatation; concentration; ethanol; effect; prediction.

### 1. INTRODUÇÃO

O etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), também chamado de álcool etílico, é um dos álcoois mais comuns. É encontrado em bebidas alcoólicas, produtos de limpeza, perfumes, fitoterápicos e combustíveis. As misturas etanol-água mais conhecidas são: álcool anidro (teor alcoólico máximo de 99,3 °INPM) e álcool hidratado (teor alcoólico que varia de 92,6 a 93,8 °INPM). A unidade grau INPM é usada pelo Instituto Nacional de Pesos e Medidas para expressar a porcentagem (em massa) de álcool na mistura. Assim, para um álcool hidratado com 93 °INPM, 93% em massa é álcool etílico e 7% em massa corresponde à água.

A dilatação térmica, juntamente com a capacidade calorífica e a condutividade térmica, são propriedades associadas à resposta ou reação dos materiais devido à aplicação de calor. E por isso, são classificadas como propriedades térmicas da matéria. Segundo Jerônimo (2012), essas são propriedades que podem ser padronizadas e dimensionadas por cálculos de engenharia.

O estudo da dilatação térmica em líquidos e gases limita-se à dilatação volumétrica. Dessa forma, conhecer o coeficiente de expansão térmica permite (JERÔNIMO, 2012; CANCIAM, 2012; SANTOS; VIEIRA, 2010; YOUNG; FREEDMAN, 2008):

- Avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico decorrentes da variação da temperatura;
- Projetar equipamentos e acessórios considerando a dilatação provocada pelas grandes variações de temperatura;
- Auxiliar na estimativa de outras propriedades, dentre elas, a entalpia de vaporização e a tensão volumétrica;
- Estudar a convecção livre que influencia na transferência de calor em tubulações.

O coeficiente de expansão térmica ( $\beta$ ) indica a variação do volume ( $V$ ) provocada pela variação da temperatura ( $T$ ), enquanto que a pressão ( $P$ ) permanece constante, sendo definido como (NETZ; ORTEGA, 2008):

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

Em termos da densidade, a Equação (1) pode ser reescrita na forma de (CANCIAM, 2012):

$$\ln \left( \frac{d_0}{d} \right) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (2)$$

Em que  $d_0$  e  $d$  correspondem, respectivamente, à densidade na temperatura inicial  $T_0$  e à densidade na temperatura  $T$ .

Segundo Canciam (2010), a Equação (2) corresponde a uma função afim, ou seja, o gráfico de  $\ln \left( \frac{d_0}{d} \right)$  versus  $(T - T_0)$  fornece uma reta, em que o coeficiente angular é numericamente igual ao coeficiente de expansão térmica ( $\beta$ ).

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da concentração de etanol na dilatação volumétrica de misturas etanol-água. Para tanto, foram obtidos valores para o coeficiente de expansão térmica das referidas misturas, através da análise de regressão de dados experimentais da densidade de cada mistura em função da temperatura.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a predição do coeficiente de expansão térmica foi desenvolvido um software seguindo a metodologia proposta por Canciam (2012). O software foi desenvolvido na linguagem C++ e realiza a análise de regressão linear de dados de  $\ln \left( \frac{d_0}{d} \right)$  em função de  $(T - T_0)$ .

A Figura 1 demonstra o algoritmo do software desenvolvido.

```

Algoritmo
declare o número de dados experimentais, N
leia N
  declare a primeira temperatura (temperatura de referência) T1
  leia T1
  declare a primeira densidade (densidade de referência) D1
  leia D1
  para (i=1 até N) faça
    declare a temperatura (i+1)
    leia T[i]
    declare a densidade (i+1)
    leia D[i]
  fim para.
  A ← {Σ [(T[i]-T1). ln(D1/D[i])]}
  B ← {[Σ(T[i]-T1)].[Σ ln(D1/D[i])]}
  C ← [Σ(T[i]-T1)2]
  H ← [Σ(T[i]-T1)2]
  E ← Σ[ln(D1/D[i])2]
  F ← [Σln(D1/D[i])2]
  β ← [(N.A-B)/(N.C-H)]
  R2 ← {[(N.A-B)]/[[N.C-H]1/2].[N.E-F]1/2]}
  imprima β
  imprima R2
  gera arquivo de texto com β e R2 salvos.
  fim algoritmo.

```

Figura 1 – Algoritmo na obtenção dos coeficientes de expansão térmica e de correlação.

Com base nos dados indicados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e o software desenvolvido, foram possíveis obter o coeficiente de expansão térmica ( $\beta$ ) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

Nos cálculos, a temperatura inicial ( $T_0$ ) corresponde a 10°C e a densidade inicial ( $d_0$ ), ao valor correspondente, de acordo com cada uma das tabelas apresentadas.

Os dados indicados em todas as tabelas são obtidos do trabalho de Índio do Brasil (2004).

A Tabela 1 indica os valores da densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol na mistura. Nesta tabela são consideradas as concentrações de 5, 10 e 15% (em massa) de etanol. A Tabela 2 indica os valores considerando as concentrações de 20, 25 e 30% (em massa) de etanol, enquanto que a Tabela 3, as concentrações de 35, 40 e 45% (em massa) de etanol.

Tabela 1 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (5, 10 e 15% em massa).

| Temperatura (°C) | 5% de etanol                    | 10% de etanol                   | 15% de etanol                   |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 990,98                          | 983,93                          | 978,00                          |
| 15               | 990,32                          | 983,04                          | 976,69                          |
| 20               | 989,38                          | 981,87                          | 975,14                          |
| 25               | 988,17                          | 980,43                          | 973,34                          |
| 30               | 986,70                          | 978,75                          | 971,33                          |
| 35               | 985,01                          | 976,85                          | 969,11                          |
| 40               | 983,11                          | 974,75                          | 965,70                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

Tabela 2 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (20, 25 e 30% em massa).

| Temperatura (°C) | 20% de etanol                   | 25% de etanol                   | 30% de etanol                   |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 972,52                          | 966,65                          | 959,77                          |
| 15               | 970,68                          | 964,24                          | 956,86                          |
| 20               | 968,64                          | 961,68                          | 953,82                          |
| 25               | 966,39                          | 958,95                          | 950,67                          |
| 30               | 963,95                          | 956,07                          | 947,41                          |
| 35               | 961,34                          | 953,06                          | 944,03                          |
| 40               | 958,56                          | 949,91                          | 940,55                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

A Tabela 4 indica os valores da densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol na mistura. Nesta tabela são consideradas as concentrações de 50, 55 e 60% (em massa) de etanol. A Tabela 5 indica os valores considerando as concentrações de 65, 70 e 75% (em massa) de etanol, enquanto que a Tabela 6, as concentrações de 80, 85 e 90% (em massa) de etanol.

Tabela 3 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (35, 40 e 45% em massa).

| Temperatura (°C) | 35% de etanol                   | 40% de etanol                   | 45% de etanol                   |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 951,62                          | 942,38                          | 932,26                          |
| 15               | 948,32                          | 938,82                          | 928,52                          |
| 20               | 944,94                          | 935,18                          | 924,72                          |
| 25               | 941,46                          | 931,48                          | 920,85                          |
| 30               | 937,90                          | 927,70                          | 916,92                          |
| 35               | 934,25                          | 923,85                          | 912,91                          |
| 40               | 930,51                          | 919,92                          | 908,84                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

Tabela 4 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (50, 55 e 60% em massa).

| Temperatura (°C) | 50% de etanol                   | 55% de etanol                   | 60% de etanol                   |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 921,26                          | 910,55                          | 899,27                          |
| 15               | 917,76                          | 906,59                          | 895,23                          |
| 20               | 913,84                          | 902,58                          | 891,13                          |
| 25               | 909,85                          | 898,50                          | 886,99                          |
| 30               | 905,80                          | 894,37                          | 882,78                          |
| 35               | 901,68                          | 890,16                          | 878,51                          |
| 40               | 897,50                          | 885,89                          | 874,17                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

Tabela 5 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (65, 70 e 75% em massa).

| Temperatura (°C) | 65% de etanol                   | 70% de etanol                   | 75% de etanol                   |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 887,74                          | 876,02                          | 864,08                          |
| 15               | 883,64                          | 871,87                          | 859,88                          |
| 20               | 879,48                          | 867,66                          | 855,64                          |
| 25               | 875,27                          | 863,40                          | 851,34                          |
| 30               | 871,00                          | 859,08                          | 846,98                          |
| 35               | 866,67                          | 854,70                          | 842,57                          |
| 40               | 862,27                          | 850,25                          | 838,09                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

Tabela 6 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (80, 85 e 90% em massa).

| Temperatura (°C) | 80% de etanol                   | 85% de etanol                   | 90% de etanol                   |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 851,97                          | 839,51                          | 826,54                          |
| 15               | 847,72                          | 835,25                          | 822,27                          |
| 20               | 843,44                          | 830,95                          | 817,97                          |
| 25               | 839,11                          | 826,60                          | 813,62                          |
| 30               | 834,73                          | 822,20                          | 809,22                          |
| 35               | 830,29                          | 817,74                          | 804,78                          |
| 40               | 825,78                          | 813,22                          | 800,28                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

A Tabela 7 indica os valores da densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol na mistura. Nesta tabela são consideradas as concentrações de 95%, 0 e 100% (em massa) de etanol.

Tabela 7 – Densidade da mistura etanol-água em função da temperatura e da concentração de etanol (95%, 0 e 100% em massa).

| Temperatura (°C) | 95% de etanol                   | 0% de etanol                    | 100% de etanol                  |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                  | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) | Densidade (kg.m <sup>-3</sup> ) |
| 10               | 812,78                          | 999,70                          | 797,84                          |
| 15               | 808,52                          | 999,10                          | 793,60                          |
| 20               | 804,24                          | 998,20                          | 789,34                          |
| 25               | 799,91                          | 997,05                          | 785,06                          |
| 30               | 795,55                          | 995,65                          | 780,75                          |
| 35               | 791,14                          | 994,03                          | 776,41                          |
| 40               | 786,70                          | 992,22                          | 772,03                          |

Fonte – Índio do Brasil (2004).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 8 indica os valores obtidos do coeficiente de expansão térmica de cada uma das misturas etanol-água estudadas, bem como o coeficiente de correlação. Ambos os resultados foram obtidos através da utilização do software desenvolvido.

Com relação ao coeficiente de correlação, Pinheiros e coautores (2009) comentam que este parâmetro mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo o coeficiente de correlação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos pontos da dispersão.

Lira (2004) fornece uma classificação para as correlações lineares. A autora comenta que a correlação linear é classificada como muito forte quando os valores do coeficiente de correlação são maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0.

Dessa forma, observa-se na Tabela 8, que para todas as misturas etanol-água estudadas, a correlação linear é classificada como muito forte.

Com relação ao coeficiente de expansão térmica, pode-se observar na Tabela 8, que na medida em que se aumenta a concentração de etanol na mistura, aumenta-se o coeficiente de expansão térmica. Tal comportamento é observado através da Figura 2, que apresenta a dispersão dos dados do coeficiente de expansão térmica em relação à concentração de etanol na mistura.

Segundo Jerônimo, Balbino e Fernandes (2012), o coeficiente de expansão térmica está associado à energia de ligação química entre as espécies (átomos ou moléculas). 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. Durante o aquecimento, as espécies aumentam a frequência e a amplitude de vibração. Como as forças de repulsão são sempre maiores que as forças de atração, a distância média entre as espécies também aumenta.

Tabela 8 – Coeficientes de expansão térmica e de correlação das misturas etanol-água estudadas.

| Concentração de etanol (% em massa) | Coeficiente de expansão térmica ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) | Coeficiente de correlação |
|-------------------------------------|---|---------------------------|
| 0                                   | $2,5189 \times 10^{-4}$                                     | 0,9862                    |
| 5                                   | $2,6704 \times 10^{-4}$                                     | 0,9867                    |
| 10                                  | $3,1384 \times 10^{-4}$                                     | 0,9906                    |
| 15                                  | $4,1047 \times 10^{-4}$                                     | 0,9881                    |
| 20                                  | $4,8262 \times 10^{-4}$                                     | 0,9974                    |
| 25                                  | $5,8274 \times 10^{-4}$                                     | 0,9988                    |
| 30                                  | $6,7449 \times 10^{-4}$                                     | 0,9994                    |
| 35                                  | $7,4766 \times 10^{-4}$                                     | 0,9997                    |
| 40                                  | $8,0389 \times 10^{-4}$                                     | 0,9998                    |
| 45                                  | $8,4791 \times 10^{-4}$                                     | 0,9998                    |
| 50                                  | $8,7555 \times 10^{-4}$                                     | 0,9996                    |
| 55                                  | $9,1489 \times 10^{-4}$                                     | 0,9999                    |
| 60                                  | $9,4319 \times 10^{-4}$                                     | 0,9999                    |
| 65                                  | $9,7002 \times 10^{-4}$                                     | 0,9999                    |
| 70                                  | $9,9495 \times 10^{-4}$                                     | 0,9999                    |
| 75                                  | $10,1760 \times 10^{-4}$                                    | 0,9999                    |
| 80                                  | $10,4000 \times 10^{-4}$                                    | 0,9999                    |
| 85                                  | $10,6007 \times 10^{-4}$                                    | 0,9999                    |
| 90                                  | $10,7582 \times 10^{-4}$                                    | 0,9999                    |
| 95                                  | $10,8690 \times 10^{-4}$                                    | 0,9999                    |
| 100                                 | $10,9567 \times 10^{-4}$                                    | 0,9999                    |

O coeficiente de expansão térmica da água equivale a  $2,07 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Na água ocorrem ligações intermoleculares do tipo ligações de hidrogênio. As ligações de hidrogênio são

consideradas interações intermoleculares fortes, quando comparadas com outras interações (interações de Keelson, Debye e London) (NETZ; ORTEGA, 2008).

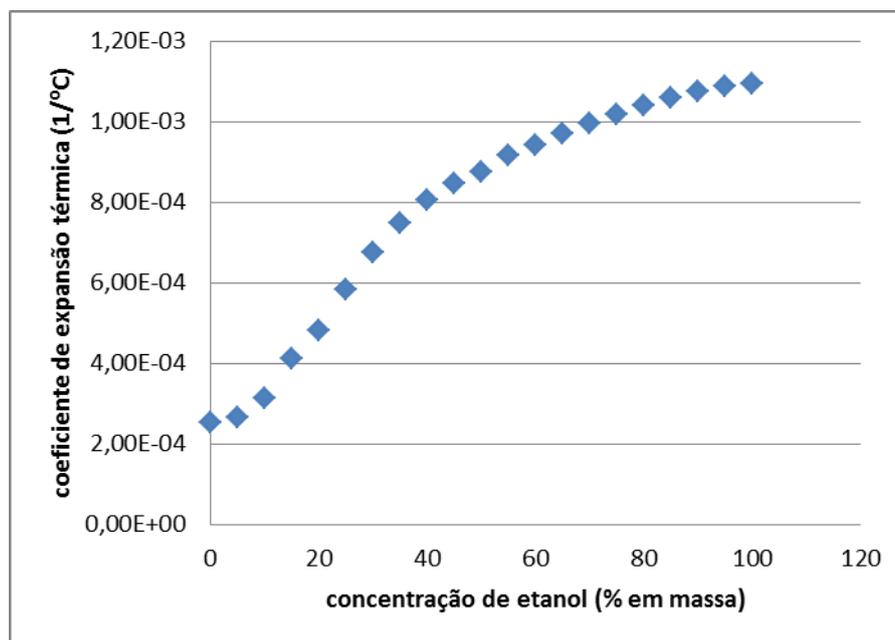


Figura 2 – Dispersão de dados do coeficiente de expansão térmica em relação à concentração de etanol na mistura.

O coeficiente de expansão térmica do etanol equivale a  $11,20 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Assim como na água, o etanol apresenta ligações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio. Entretanto a terminação  $\text{CH}_3$  em uma das extremidades da molécula de etanol diminui a ligação de hidrogênio. É por esse motivo que o etanol consegue-se dissolver tanto na água (composto polar) como na gasolina (composto apolar) (NETZ; ORTEGA, 2008).

Assim, na medida em que se aumenta a concentração de etanol na mistura etanol-água, diminui-se a interação intermolecular entre a água e o etanol (ligações de hidrogênio) em virtude da terminação  $\text{CH}_3$  em uma das extremidades da molécula de etanol. Como consequência da diminuição dessa interação, sugere-se um aumento nos valores do coeficiente de expansão térmica na medida em que se aumenta a concentração de etanol na mistura etanol-água. Essa suposição foi comprovada com a Figura 2.

Com relação aos valores experimentais do coeficiente de expansão térmica para misturas etanol-água, na literatura não foram encontrados nenhum valor. Apenas foram encontrados os valores para os componentes puros, ou seja, para a água ( $2,07 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e para o etanol ( $11,20 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ). Esses valores foram encontrados no trabalho de Netz e Ortega (2008).

Em relação à água pura, comparando o valor encontrado neste trabalho ( $2,5189 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) com o valor encontrado no trabalho de Netz e Ortega (2008) ( $2,07 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), o desvio relativo é de 21,69%.

Em relação ao etanol puro, comparando o valor encontrado neste trabalho ( $10,9567 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) com o valor encontrado no trabalho de Netz e Ortega (2008) ( $11,20 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), o desvio relativo é de 2,17%.

A Figura 3 ilustra o gráfico do coeficiente de expansão térmica versus concentração de etanol na mistura etanol-água.

Com base na análise de variância, a um nível de significância de 5%, o modelo de regressão polinomial que melhor se ajusta foi o de grau 4.

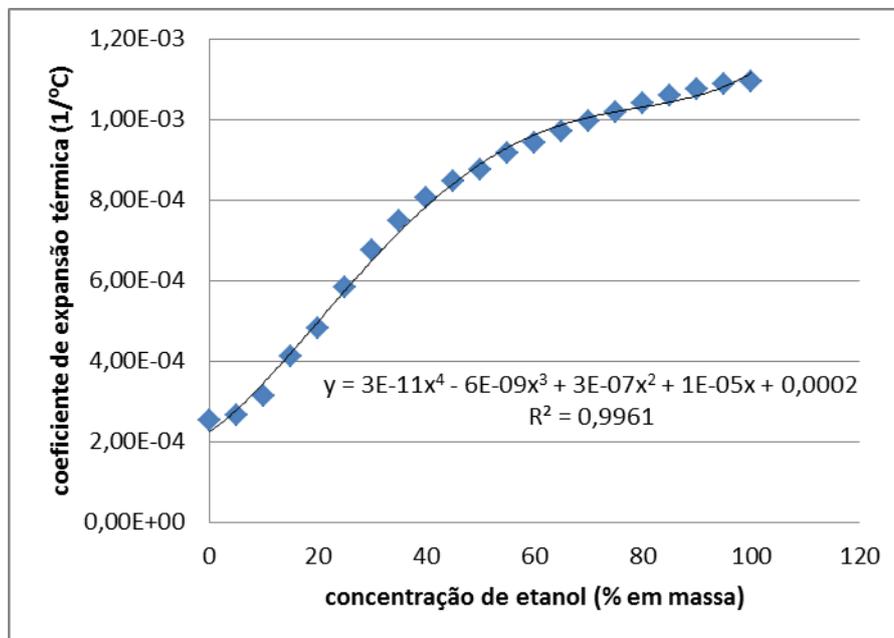


Figura 3 – Gráfico do coeficiente de expansão térmica versus concentração de etanol na mistura.

Assim, a Equação (3) relaciona o coeficiente de expansão térmica ( $\beta$ ) em função da concentração de etanol na mistura ( $c$ ).

$$\beta = 3 \cdot 10^{-11} \cdot c^4 - 6 \cdot 10^{-9} \cdot c^3 + 3 \cdot 10^{-7} \cdot c^2 + 1 \cdot 10^{-5} \cdot c + 0,0002 \quad (3)$$

A partir da Equação (3) pode-se obter o coeficiente de expansão térmica para os álcoois hidratado e anidro.

Considerando que o álcool hidratado apresenta um teor alcoólico que varia de 92,6 a 93,8 °INPM, assim, o coeficiente de expansão térmica para este álcool irá variar de  $11,4009 \times 10^{-4}$  a  $11,4815 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , de acordo com a Equação (3).

Já para o álcool anidro (teor alcoólico máximo de 99,3 °INPM), o coeficiente de expansão térmica será de no máximo  $11,9315 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , de acordo com a Equação (3).

A literatura não dispõe de dados experimentais da dilatação volumétrica de álcoois anidro e hidratado. Entretanto é de se esperar que exista um desvio relativo.

O coeficiente de expansão térmica mede a variação relativa do volume devido à alteração da temperatura, mantendo-se a pressão constante. Por exemplo, se o coeficiente de expansão térmica de um material é igual a  $1,0 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  significa que o acréscimo de 1 grau tem como resultado o aumento do volume em 1% (NETZ; ORTEGA, 2008).

Dessa forma, seguindo a mesma linha de raciocínio, para cada 1 grau de acréscimo de temperatura, o aumento do volume da mistura etanol-água com 5% (em massa) de etanol é de 0,027%. Para a mistura etanol-água com 95% (em massa) de etanol, o aumento de volume é de 0,11%. Estes valores podem parecer pequenos, mas se comparados com a água (0,021%),

o aumento do volume das misturas etanol-água equivale a 1,29 vezes mais (no caso da mistura com 5% em massa de etanol) e 5,24 vezes mais (no caso da mistura com 95% em massa de etanol) que o aumento do volume da água.

No caso do álcool anidro, para cada 1 grau de acréscimo de temperatura, o aumento do volume é de no máximo 0,119%. Para o álcool hidratado, este valor encontra-se entre 0,114 e 0,115%.

#### 4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da concentração de etanol na dilatação volumétrica de misturas etanol-água.

Buscando na literatura trabalhos associados com a dilatação volumétrica de misturas etanol-água, constatou-se a ausência desse estudo; o que dificultou as análises dos resultados obtidos neste trabalho.

O coeficiente de expansão térmica para as misturas etanol-água estudadas variou de  $2,6704 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (mistura com 5% em massa de etanol) a  $10,8690 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (mistura com 95% em massa de etanol), em um intervalo de temperatura que vai de 10 a 40 °C.

Os resultados sugerem que o coeficiente de expansão térmica aumenta com o aumento da concentração de etanol na mistura. A justificativa para tal comportamento está associada com a diminuição das interações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio, existentes entre as moléculas de água e etanol.

O modelo polinomial que mais ajustou os dados do coeficiente de expansão térmica em função da concentração de etanol é de grau 4.

Para todas as misturas etanol-água estudadas, a correlação linear é classificada como muito forte.

#### REFERÊNCIAS

**CANCIAM, C.A.** *Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de gergelim (Sesamum indicum L.) através da aplicação da análise de regressão linear. Revista E-xacta, v.3, n.1, p.21-28, 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, v.6, n.2, p.852-863, 2012.*

**ÍNDIO DO BRASIL, N.** *Introdução à Engenharia Química.* Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 2004, 369p.

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

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

**LIRA, S.A.** *Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação.* Curitiba: UFPR, 2004. 196p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – UFPR, 2004.

**NETZ, P.A.; ORTEGA, G.G.** *Fundamentos de físico-química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas.* Ed. Artmed, Porto Alegre. 2008, 299p.

**PINHEIRO, J.I.D.; CUNHA, S.B.; CARVAJAL, S.R.; GOMES, G.C.** *Estatística básica: a arte de trabalhar com dados.* Ed. Elsevier, Rio de Janeiro. 2009, 295p.

**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*, v.35, n.4, p.107-112, 2010.

**YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.** *Física III – Termodinâmica e Ondas.* Ed. Addison Wesley, São Paulo. 2008, 318p.