

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO NA DILATAÇÃO TÉRMICA DE XAROPES DESTINADOS À PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E BIOETANOL

RESUMO

César Augusto Canciam
ccanciam@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Nos líquidos, para se avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico decorrentes da variação da temperatura, é necessário fazer um estudo da dilatação térmica. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da concentração na dilatação térmica de xaropes produzidos na evaporação do caldo de cana clarificado. Para tanto, coeficientes de expansão térmica foram obtidos a partir da estimativa da massa específica em função da temperatura. Para temperaturas entre 20 e 80 °C e concentrações de 60, 65 e 70 °Brix, nas purezas de 80, 85 e 90%, os coeficientes de expansão térmica variaram de $4,5469 \times 10^{-4}$ (60 °Brix com 90% de pureza) a $4,4315 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (70 °Brix com 80% de pureza). Os resultados sugerem que à medida em que se aumenta a concentração, para uma mesma pureza, diminui o coeficiente de expansão térmica. Não foi encontrado na literatura, nenhum trabalho estudando o coeficiente de expansão térmica de xaropes obtidos da evaporação do caldo de cana clarificado.

PALAVRAS-CHAVE: Dilatação. Concentração. Xarope.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a indústria sucroalcooleira brasileira. A produção de açúcar e bioetanol envolve várias etapas, dentre elas, destaca-se a evaporação do caldo de cana clarificado (MEZARROBA et al.; 2015; JÚNIOR et al., 2013).

A evaporação do caldo clarificado é realizada para que a concentração do xarope fique entre 60 e 70 °Brix, sendo mais recomendado o valor de 65 °Brix. Nessa etapa, cerca de 80% em peso do caldo é removida na forma de água evaporada (MEZARROBA et al.; 2015).

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 das espécies químicas e, portanto, uma maior distância média entre essas espécies (FRARE, 2010).

O coeficiente de expansão térmica (β) é uma propriedade termodinâmica que está relacionada com a resposta dos materiais à aplicação de calor. E fornece uma medida da variação do volume (V) ou da massa específica (ρ) em resposta a uma mudança de temperatura (T), com a pressão (P) constante, conforme a equação (1) (ZURITZ et al., 2005; CALLISTER, 2008).

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

Definindo Y como sendo a razão adimensional da massa específica $\left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)$ e integrando a equação (1) em termos da massa específica, obtém-se a equação (2).

$$\ln Y = \ln \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) = \beta \cdot (T - T_0) = \beta \cdot (\Delta T) \quad (2)$$

Em que ρ_0 e ρ correspondem, respectivamente, à massa específica na temperatura inicial (T_0) e à massa específica na temperatura final (T).

A equação (2) corresponde a uma função afim. Dessa forma, o gráfico do logaritmo neperiano da razão adimensional da massa específica versus a variação da temperatura fornece uma reta, em que o coeficiente angular é numericamente igual ao coeficiente de expansão térmica (CANCIAM, 2010; SANTOS e VIEIRA, 2010).

Sobre o coeficiente de expansão térmica, Bejan (1996) relata sobre a influência dessa grandeza no estudo da convecção natural de um fluido em escoamento através do número de Rayleigh (Ra).

Young e Freedman (2008) comentam da utilização do coeficiente de expansão térmica no cálculo da tensão volumétrica provocada pelo aumento de temperatura.

Santos e Vieira (2010) argumentam que a partir do conhecimento do coeficiente de expansão térmica é possível estimar outras propriedades físico-químicas (entre elas, a entalpia de vaporização) e avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi verificar a influência da concentração na dilatação térmica de xaropes produzidos na etapa de evaporação do caldo de cana clarificado, destinados à produção de açúcar e bioetanol. A faixa de temperatura estudada foi de 20 a 80 °C, com as concentrações dos xaropes de 60, 65 e 70 °Brix, nas purezas de 80, 85 e 90%.

2 Material e Métodos

Para a determinação da massa específica dos xaropes utilizou-se o software de domínio público disponibilizado na página da internet da associação “The Sugar Engineers”. Esse software foi desenvolvido com base no trabalho de Bubnik *et al.* (1995) e teve como dados de entrada: temperatura, concentração e pureza.

A faixa de temperatura considerada foi de 20 a 80 °C, com uma variação de 5 °C entre uma temperatura e outra. Foram consideradas as concentrações de 60, 65 e 70 °Brix, nas purezas de 80, 85 e 90%.

Tabela 1 – Valores da massa específica (em kg.m⁻³) em função da temperatura, da concentração e da pureza

Valores da massa específica (em kg.m ⁻³) em função da temperatura, da concentração e da pureza						
Concentração T (°C)	60 °Brix Pureza 80%	65 °Brix Pureza 80%	70 °Brix Pureza 80%	60 °Brix Pureza 85%	65 °Brix Pureza 85%	70 °Brix Pureza 85%
20	1287,5	1287,2	1287,0	1317,6	1317,3	1317,0
25	1285,0	1284,7	1284,5	1315,1	1314,7	1314,4
30	1282,5	1282,2	1282,0	1312,5	1312,1	1311,8
35	1279,8	1279,6	1279,3	1309,8	1309,4	1309,1
40	1277,1	1276,9	1276,6	1307,0	1306,7	1306,4
45	1274,4	1274,1	1273,8	1304,2	1303,8	1303,5
50	1271,5	1271,2	1271,0	1301,3	1300,9	1300,7
55	1268,6	1268,3	1268,1	1298,3	1298,0	1297,7
60	1265,6	1265,3	1265,1	1295,3	1295,0	1294,7
65	1262,5	1262,2	1262,0	1292,2	1291,9	1291,6
70	1259,4	1259,1	1258,8	1289,1	1288,7	1288,4
75	1256,1	1255,9	1255,6	1285,9	1285,5	1285,2
80	1252,9	1252,6	1252,4	1282,6	1282,2	1282,0

Fonte: O Autor (2015)

A Tabela 2 indica os valores estimados da massa específica (em kg m⁻³), de acordo com a temperatura, na pureza de 90.

Com base nos valores da massa específica e da temperatura indicados nas Tabelas 1 e 2, foi possível realizar uma análise de regressão para o cálculo do coeficiente de expansão térmica.

Nessa análise foram utilizadas as equações de (3) a (10) que determinam o coeficiente de expansão térmica (β) e o coeficiente de determinação (r^2) para os dados emparelhados de $\ln Y$ e ΔT .

Tabela 2 – Valores da massa específica (em kg m^{-3}) em função da temperatura e da concentração, na pureza 90%

Valores da massa específica (em kg m^{-3}) em função da temperatura e da concentração, na pureza 90%			
Concentração	60 °Brix	65 °Brix	70 °Brix
T (°C)	Pureza 90%	Pureza 90%	Pureza 90%
20	1348,8	1348,4	1348,0
25	1346,2	1345,7	1345,4
30	1343,5	1343,0	1342,7
35	1340,7	1340,3	1339,9
40	1337,9	1337,5	1337,1
45	1335,1	1334,6	1334,3
50	1332,2	1331,7	1331,4
55	1329,2	1328,7	1328,4
60	1326,1	1325,7	1325,3
65	1323,0	1322,6	1322,2
70	1319,9	1319,4	1319,1
75	1316,7	1316,2	1315,9
80	1313,4	1313,0	1312,6

Fonte: O Autor (2015)

$$\beta = \left\{ \frac{n \cdot a - b}{n \cdot c - d} \right\} \quad (3)$$

Em que:

$$a = \left\{ \sum_{i=1}^n [(\Delta T) \cdot \ln Y] \right\} \quad (4)$$

$$b = \left[\sum_{i=1}^n (\Delta T) \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \ln Y \right] \quad (5)$$

$$c = \left[\sum_{i=1}^n (\Delta T)^2 \right] \quad (6)$$

$$d = \left[\sum_{i=1}^n (\Delta T) \right]^2 \quad (7)$$

Sendo correspondente ao número de dados amostrais emparelhados de $\ln Y$ e ΔT . Nas Tabelas 1 e 2, n equivale a 13.

$$r^2 = \frac{(n \cdot a - b)}{\left\{ \sqrt{(n \cdot c - d)} \right\} \cdot \left\{ \sqrt{(n \cdot e - f)} \right\}} \quad (8)$$

Em que:

$$e = \sum_{i=1}^n [\ln Y]^2 \quad (9)$$

$$f = \left[\sum_{i=1}^n \ln Y \right]^2 \quad (10)$$

Nos cálculos, o valor considerado para T_0 correspondeu a 20°C e a massa específica inicial (ρ_0), ao valor da massa específica nessa temperatura. As equações de (3) a (10) foram adaptadas de Triola (2008).

3 Resultados e Discussão

A Tabela 3 relaciona os valores do coeficiente de expansão térmica e os coeficientes de determinação obtidos através da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln Y$ e ΔT .

Tabela 3 – Resultados da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln Y$ e ΔT

Resultados da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln Y$ e ΔT		
Concentração (Pureza)	B (°C ⁻¹) x 10 ⁻⁴	r ²
60 °Brix (80%)	4,5425	0,9979
65 °Brix (80%)	4,4930	0,9983
70 °Brix (80%)	4,4315	0,9987
60 °Brix (85%)	4,5435	0,9979
65 °Brix (85%)	4,4960	0,9983
70 °Brix (85%)	4,4330	0,9987
60 °Brix (90%)	4,5469	0,9979
65 °Brix (90%)	4,4919	0,9983
70 °Brix (90%)	4,4342	0,9968

Fonte: O Autor (2015)

Pode-se observar na Tabela 3 que à medida em que se aumenta a concentração do xarope, para a mesma pureza, diminui o coeficiente de expansão térmica.

A diminuição do coeficiente de expansão térmica devido ao aumento da concentração também foi observada nos sucos de abacaxi (CANCIAM, 2013), amora-preta (CANCIAM, 2014A) e graviola (CANCIAM, 2014B).

Santos e Vieira (2010) relatam que o valor do coeficiente de expansão está relacionado com a energia de ligação química entre as espécies químicas, de maneira que, materiais em que as ligações químicas são fortes apresentam baixos coeficientes de expansão térmica.

A concentração (medida em °Brix) indica a quantidade de compostos dissolvidos nos sucos de frutas. Em sua maioria, os compostos encontrados são açúcares (sacarose, frutose e glicose) (CHAVES et al., 2004).

Glicose, frutose e sacarose apresentam em sua estrutura química grupamentos hidroxila. No estado sólido, as moléculas desses açúcares encontram-se ligadas umas às outras através das ligações de hidrogênio. Quando ocorre a dissolução desses açúcares na água, são estabelecidas novas ligações de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila dos açúcares e as moléculas de água, o que garante a dissolução desses açúcares na água (PERUZZO e CANTO, 2010).

As ligações de hidrogênio, quando comparadas com outras forças intermoleculares, são consideradas fortes (BROWN e HOLME, 2009).

Em sucos de frutas concentrados podem ocorrer, com maior frequência, ligações de hidrogênio entre as moléculas de açúcares. A formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de açúcares pode contribuir para a diminuição do coeficiente de expansão térmica (CANCIAM, 2014A).

Fazendo uma analogia com sucos de frutas concentrados, no caso dos xaropes produzidos na evaporação do caldo de cana clarificado, pode-se considerar que o coeficiente de expansão térmica diminui, em virtude da formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de açúcares.

Todas estas considerações necessitam ser mais estudadas e discutidas.

O coeficiente de determinação mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo esse coeficiente for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos pontos da dispersão (PINHEIROS et al., 2009).

Lira (2004) comenta que a correlação linear é classificada como muito forte quando os valores do coeficiente de determinação são maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0.

Dessa forma, pode-se observar na Tabela 3 que os coeficientes de determinação estão próximos da unidade e que a correlação linear para cada concentração e pureza estudada pode ser classificada como muito forte.

Segundo Santos e Vieira (2010), a partir do conhecimento do coeficiente de expansão térmica é possível avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico.

Dessa forma, supondo um volume de 1000 litros de xarope com 60 °Brix e pureza de 80%. Com uma variação de temperatura de 10 °C, o volume desse xarope aumenta em torno de 4,54 litros.

Com esse mesmo raciocínio, a Tabela 4 relaciona a ordem de aumento de volume para uma variação de temperatura de 10 °C, considerando um volume de 1000 litros para cada concentração e pureza estudadas.

Tabela 4 – Ordem de aumento de volume em função da concentração e da pureza

Ordem de aumento de volume em função da concentração e da pureza	
Concentração (Pureza)	Ordem de aumento (L)
60 °Brix (80%)	4,54
65 °Brix (80%)	4,49
70 °Brix (80%)	4,43
60 °Brix (85%)	4,54
65 °Brix (85%)	4,50
60 °Brix (90%)	4,43
65 °Brix (90%)	4,55
70 °Brix (90%)	4,49

Fonte: O Autor (2015)

Não foi encontrado na literatura, nenhum trabalho estudando o coeficiente de expansão térmica de xaropes obtidos na evaporação do caldo de cana clarificado.

Canciam (2015) estudou a dilatação térmica do caldo de cana com 18 °Brix, sem considerar a pureza, e obteve como coeficiente de expansão térmica o valor de $3,4414 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, entre 25 e 65 °C.

CONCLUSÃO

Os resultados sugerem que à medida em que se aumenta a concentração do xarope, para a mesma pureza, diminui o coeficiente de expansão térmica.

A diminuição do coeficiente de expansão térmica devido ao aumento da concentração também foi observada nos sucos de algumas frutas (abacaxi, amora-preta e graviola).

Fazendo uma analogia com sucos de frutas concentrados, no caso dos xaropes produzidos na evaporação do caldo de cana clarificado, pode-se considerar que o coeficiente de expansão térmica diminui, em virtude da formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de açúcares.

Considerando um volume de 1000 litros de cada xarope estudado, com uma variação de temperatura de 10°C, a ordem de aumento de volume variou de 4,43 a 4,54 litros.

Não foi encontrado na literatura, nenhum trabalho estudando o coeficiente de expansão térmica de xaropes obtidos na evaporação do caldo de cana clarificado.

Foi encontrado um trabalho estudando caldo de cana com 18 °Brix, sem considerar a pureza.

Influence of concentration on the thermal expansion of syrups for the production of sugar and bioethanol

ABSTRACT

In liquids, to assess the impacts on volumetric measurement system resulting from temperature variation, it is necessary to make a study of thermal expansion. The objective of this study was to verify the influence of concentration on the thermal expansion of syrups produced in the evaporation of clarified sugarcane juice. Therefore, thermal expansion coefficients were obtained from the estimated specific weight in function of temperature. For temperatures between 20 and 80 °C and concentrations of 60, 65 and 70 °Brix, the purities of 80, 85 and 90%, the thermal expansion coefficients ranged from $4,5469 \times 10^{-4}$ (60 °Brix with 90% purity) to $4,4315 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (70 °Brix with 80% purity). The results suggest that with increasing concentration, for the same purity, the thermal expansion coefficient decreases. It has been found in the literature, no work studying the thermal expansion coefficient of syrups obtained by evaporation of clarified cane juice.

KEYWORDS: Dilatation. Concentration. Correlation. Syrup.

REFERÊNCIAS

- BEJAN, A. **Transferência de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.
- BROWN, L. S.; HOLME, T. A. **Química geral aplicada à Engenharia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC Ltda., 2008.
- CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de gergelim (*Sesamum indicum* L.) através da aplicação de regressão linear. **Revista e-xacta**, v. 3, n 1, 2010.
- CANCIAM, C. A. Correlação entre o coeficiente de expansão térmica e o teor de sólidos totais para o suco de abacaxi. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 7, n. 2, p. 1128-1139, 2013. <https://doi.org/10.3895/S1981-36862013000200012>
- CANCIAM, C. A. Efeito da concentração na dilatação volumétrica do suco de amora-preta. **Revista CIATEC-UPF**, v. 6, n. 1, p. 26-36, 2014A. <https://doi.org/10.5335/ciatec.v6i1.3133>
- CANCIAM, C. A. Influência do teor de sólidos totais na estimativa do coeficiente de dilatação volumétrica do suco de graviola. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 12, n. 2, p. 37-45, 2014B. <https://doi.org/10.5892/ruvrd.v12i2.1265>
- CANCIAM, C. A. Estudo da dilatação volumétrica do caldo de cana-de-açúcar. **Revista Petra**, v. 1, n. 1, p. 101-110, 2015. <https://doi.org/10.15601/2359-5302/ptr.v1n1p101-110>
- CHAVES, M. C. V.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; LEITE, J. C. A.; SILVA, F. L. H. Características físico-químicas do suco de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 2004.
- FRADE, J. M. C. B. C. **Conformação automática de formas complexas em vidro de mesa**. Aveiro, 2010. 310f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais), Universidade de Aveiro.

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação.** Curitiba, 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Universidade Federal do Paraná.

MEZARоба, S.; MENEGUETTI, C. G.; GROFF, A. M. **Processos de produção de açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema,** disponível em:

<http://www.fecilcam.br/anais_iveepa/arquivos/9/9-04.pdf> . Acesso em 10 ago 2015.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. **Química na abordagem do cotidiano – volume 1:** Química Geral e Inorgânica. São Paulo: Moderna, 2010.

PINHEIROS, J. I. D.; CUNHA, S. B.; CARVAJAL, S. R.; GORMES, G. C. **Estatística básica: a arte de trabalhar com dados.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTOS, Edilson Jesus; ANTÔNIO, Ferreira Júnior Carlos Gomes; RAMOS, Victor Hugo Santos. Otimização da produção caldo clarificado em uma usina de produção de etanol. **Scientia Plena**, v. 9, n. 3, 2013.

SANTOS, D. Q.; VIEIRA, D. F. Determinação de coeficiente de expansão térmica do biodiesel e seus impactos no sistema de medição volumétrico. **Eclética Química**, v. 35, n 04, p. 107-112, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400014>

THE SUGAR ENGINEERS. **Density of Sugar factory products,** disponível em: <<http://sugartech.co.za/density/index.php>> . Acesso em 10 ago 2015.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda., 2008.

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

ZURITZ, C. A. et al. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 2, p. 143-149, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.026>

Recebido: 11 fev. 2015.

Aprovado: 09 dez. 2016.

Publicado: 27 dez 2016.

DOI:10.3895/rbta.v10n2.3153

Como citar:

CANCIAM, C. A. Influência da concentração na dilatação térmica de xaropes destinados à produção de açúcar e bioetanol. **R. bras. Technol. Agroindustr.**, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, p. 2126-2136, jul./dez. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

César Augusto Canciam

Avenida Monteiro Lobato, s/n, km 04, Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

