

CORRELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA E O TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS PARA O SUCO DE ABACAXI (*ANANAS COMUSUS L. MERRIL*)

César Augusto Canciam¹

Resumo

O conhecimento do coeficiente de expansão térmica permite estudar o comportamento da dilatação térmica dos materiais, visto que cada material reage diferentemente a uma variação de temperatura. O coeficiente de expansão térmica é uma propriedade térmica do material que está relacionada com a variação da densidade em resposta a uma variação da temperatura, mantendo a pressão constante. Para produtos de frutas tropicais, como o suco de abacaxi (*Ananas comusus L. Merrill*), não existe referências na literatura sobre o coeficiente de expansão térmica. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo verificar se existe uma correlação linear entre o coeficiente de expansão térmica do suco de abacaxi e o teor de sólidos totais. Para tanto, o coeficiente de expansão térmica foi obtido a partir da modelagem matemática de dados da densidade do suco de abacaxi em função da temperatura e do teor de sólidos totais. O coeficiente de expansão térmica variou de $2,8536 \times 10^{-4}$ a $3,3930 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, em uma faixa de teor de sólidos totais de 11 a 52,4°Brix e entre 17,4 e 85,8°C. Nesta mesma faixa de teor de sólidos totais, obteve-se uma correlação linear entre o coeficiente de expansão térmica e o teor de sólidos totais, com um coeficiente de correlação superior a 0,99. O coeficiente de correlação mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados da variável dependente e da variável independente em uma amostra. Com este coeficiente de correlação, pode-se observar uma qualidade do ajuste dos dados do coeficiente de expansão térmica do suco de abacaxi em função do teor de sólidos totais, sendo a correlação linear classificada como muito forte.

Palavras-chave: Correlação, Dilatação, Concentração.

CORRELATION BETWEEN THE THERMAL EXPANSION COEFFICIENT AND TOTAL SOLIDS CONTENT FOR PINEAPPLE JUICE (*ANANAS COMUSUS L. MERRIL*)

Abstract

Knowledge of the thermal expansion coefficient allows the study of the behavior of the thermal expansion of materials, since each material reacts differently to changes in temperature. The thermal expansion coefficient is a thermal property of the material that is related to the density variation in response to a change in temperature, keeping the pressure constant. For products of tropical fruits, such as pineapple juice (*Ananas comusus L. Merrill*), there are not references in the literature on the thermal expansion coefficient. In this sense, this study aimed to determine whether exists a linear correlation between the thermal expansion coefficient of pineapple juice and the total solids content. Thus, the thermal expansion coefficient was obtained from the mathematical modeling of the data density of pineapple juice as a function of temperature and total solids content. The thermal expansion coefficient ranged from 2.8536×10^{-4} to $3.3930 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ in a range of total solids content from 11 to 52,4°Brix and a range of temperature from 17.4 to 85.8°C. In this same range of total

¹ Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, câmpus Ponta Grossa; e-mail: canciam@utfpr.edu.br.

solids content, the thermal expansion coefficient and total solids content correlate, with a correlation coefficient greater than 0.99. The correlation coefficient measures the degree of linear relationship between the paired value of the dependent variable and independent variable in a sample. With the correlation coefficient, one can observe a goodness of fit of the data of the thermal expansion coefficient of pineapple juice depending on the total solids content. The linear correlation was classified as very strong.

Key words: Correlation, Dilatation, Concentration.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos tem grande interesse pelas frutas tropicais, pois estas apresentam sabores e aromas característicos. Por estas características aliadas ao desenvolvimento tecnológico de conservação dos atributos sensoriais de seus produtos, o consumo de sucos de frutas tropicais vem aumentando significativamente em todo mundo (MARCELLINI; DELIZA; BOLINI, 2006).

Dentre as frutas tropicais, o abacaxi apresenta destaque, principalmente pela qualidade sensorial diferenciada e pelo potencial de exportação em expansão (MARCELLINI; DELIZA; BOLINI, 2006). De acordo com Marin e colaboradores (2008), com base nos dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em 2005, o Brasil é o maior produtor mundial de abacaxi. Filipinas, Tailândia, Índia e China ocupam, respectivamente, 2º, 3º, 4º e 5º lugares na produção mundial. Estes cinco países produtores respondem por mais de 53% da produção mundial desta fruta. Com exceção da Tailândia e Filipinas, as produções são destinadas basicamente ao mercado interno. O Brasil participa, timidamente, do comércio internacional de abacaxi.

As principais variedades de abacaxi com importância comercial são *Smooth Cayenne*, *Singapore Spanish*, *Red Spanish* e *Selangor Green* (MARCELLINI; DELIZA; BOLINI, 2006). No Brasil, destaca-se a variedade Pérola (com cerca de 80% da área total cultivada de abacaxi) e *Smooth Cayenne* (com cerca de 20% da área total cultivada). A variedade *Smooth Cayenne*, apesar de apresentar a menor área cultivada no país, é a variedade preferida por europeus e americanos (MARIN *et al.*; 2008). No Brasil, são também cultivadas as variedades Boituva, Primavera, Perolera e cultivar IAC Gomo-de-mel (GRANADA; ZAMBIAZI; MENDONÇA, 2003).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), desde 2002, regulamenta a comercialização de frutos de abacaxi para todo o território nacional. Esta legislação determina que o teor mínimo de sólidos totais seja de 12ºBrix, além de critérios de tamanhos e graus de maturação aparente dos frutos (REINHARDT *et al.*, 2004).

A composição química do abacaxi depende do estágio de maturação e de fatores agronômicos e ambientais. De um modo geral, a produção de abacaxi no Brasil ocorre no período do verão, o que acarreta em frutas com maior teor de açúcares e menor acidez (COUTO, 2008).

O MAPA define o suco de abacaxi como uma bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível do abacaxi. No suco de abacaxi, a legislação determina que o teor mínimo de sólidos totais seja de 11°Brix (a 20°C) (PINHEIRO *et al.*, 2006).

Na Europa, os sucos de abacaxi comercializados devem conter no mínimo 40% de polpa de abacaxi (COUTO, 2008). Nos países europeus, o suco de abacaxi é normalmente preparado pela diluição do suco concentrado de abacaxi, importado de regiões tropicais e subtropicais (MARCELLINI; DELIZA; BOLINI, 2006).

O teor de sólidos totais (medidos em °Brix) indica a quantidade de substâncias que se encontra dissolvida no suco, sendo constituída, em sua maioria, por açúcares (glicose, frutose e sacarose) (CHAVES *et al.*, 2004).

Com relação a outros compostos dissolvidos, Couto (2008) comenta que o suco de abacaxi fresco é caracterizado por conter alto teor de polpa, ácidos orgânicos (em sua maioria, ácido cítrico e ácido málico), potássio, magnésio, cálcio, vitamina C e compostos voláteis responsáveis pelo aroma característico. No caso do abacaxi, a relação entre as concentrações de ácido cítrico e ácido málico é igual a 2 e a relação frutose/glicose igual a 1, ou seja, a quantidade de frutose somada com a de glicose dividida pela concentração de sacarose deve ser igual a 1. Estes parâmetros são aceitos somente para o suco de abacaxi.

Segundo Callister (2008), o coeficiente de expansão térmica (β), a capacidade calorífica e a condutividade térmica são consideradas as propriedades térmicas dos materiais, pois estão relacionadas com a reação dos materiais devido à aplicação de calor.

O coeficiente de expansão fornece uma medida da variação da densidade em resposta a uma mudança na temperatura, sob condição de pressão constante (INCROPERA; DEWITT, 2008).

A Equação (1) expressa o coeficiente de expansão térmica em função da variação da densidade (ρ) e da variação da temperatura (T), mantendo a pressão (P) constante (ZURITZ *et al.*, 2005).

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

Integrando a Equação (1), a Equação (2) relaciona $\ln(\rho_0/\rho)$ com o coeficiente de expansão térmica e a diferença entre as temperaturas final e inicial (CANCIAM, 2005):

$$\ln(\rho_0/\rho) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (2)$$

Na Equação (2), ρ_0 e ρ correspondem, respectivamente, à densidade na temperatura inicial e à densidade na temperatura final.

Assim, com base nos dados da densidade em função da temperatura, consegue-se determinar o coeficiente de expansão térmica (SANTOS; VIEIRA, 2010).

Segundo Canciam (2010), a Equação (2) corresponde a uma função afim. Dessa forma, o gráfico de $\ln(\rho_0/\rho)$ versus $(T - T_0)$ fornece uma reta, em que o coeficiente angular é numericamente igual ao coeficiente de expansão térmica (β).

Santos e Vieira (2010) comentam 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.

Bejan (1996), comenta da influência do coeficiente de expansão térmica no estudo da convecção natural de um fluido em escoamento através do grupo adimensional de Rayleigh (Ra), conforme indicado na Equação (3).

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_w - T_\infty) \cdot y}{\alpha \cdot \eta} \quad (3)$$

Em que g corresponde à aceleração da gravidade; T_w e T_∞ correspondem, respectivamente, às temperaturas da superfície e do fluido distante da superfície; y , a altura; e, α e η correspondem, respectivamente, à difusividade térmica e à viscosidade cinemática.

Young e Freedman (2008) comentam da utilização do coeficiente de expansão térmica no cálculo da tensão volumétrica provocada por um aumento de temperatura (Δp). Considere que a temperatura de um material sob pressão aumente, entretanto se este material for impedido de se dilatar, irá existir um aumento de pressão. Este aumento de pressão é chamado de tensão volumétrica provocada por um aumento de temperatura. A Equação (4) indica o cálculo dessa grandeza.

$$\Delta p = B \cdot \beta \cdot \Delta T \quad (4)$$

Em que B e ΔT correspondem, respectivamente, ao módulo de compressão e à variação de temperatura.

O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de correlação linear entre o coeficiente de expansão térmica do suco de abacaxi e o teor de sólidos totais (X_s). Para tanto, o coeficiente de expansão térmica foi obtido a partir da modelagem matemática de dados da densidade do suco de abacaxi em função da temperatura e do teor de sólidos totais. A modelagem matemática foi desenvolvida por Cabral e colaboradores (2010) utilizando suco de abacaxi produzido a partir de amostras da variedade *Smooth Cayenne*, comercializadas no município de São José do Rio Preto (SP).

2 DESENVOLVIMENTO

Cabral e colaboradores (2010) realizaram uma modelagem matemática de dados experimentais da densidade (ρ) do suco de abacaxi em função da temperatura (T) e do teor de sólidos totais (X_s). A equação encontrada corresponde à Equação (5).

$$\rho = 998 - 0,35 \cdot T + 4,71 \cdot X_s \quad (5)$$

A Equação (5) considerou o teor de sólidos totais variando de 11 a 52,4° Brix e temperaturas nas faixas de 17,4 e 85,8°C.

Nesta equação, as unidades da densidade, da temperatura e do teor de sólidos totais são, respectivamente, kg.m⁻³, °C e °Brix.

A Figura 1 ilustra o algoritmo para o cálculo da densidade do suco de abacaxi (ρ).

- *ALGORITMO PARA O CÁLCULO DA DENSIDADE DO SUCO DE ABACAXI*
 1. *OBTER VALOR DE X_s .*
 2. *SUBSTITUIR X_s NA EQUAÇÃO (5).*
 3. *OBTER EXPRESSÃO DE ρ EM FUNÇÃO DE T .*
 4. *OBTER VALOR DE T .*
 5. *SUBSTITUIR T NA EXPRESSÃO DE ρ .*
 6. *CALCULAR ρ .*
 7. *FORNECER COMO RESULTADO X_s , T E ρ .*
 8. *TERMINAR O ALGORITMO.*
- *FIM DO ALGORITMO PARA O CÁLCULO DA DENSIDADE DO SUCO DE ABACAXI*

Figura 1. Rotina de cálculo da densidade do suco de abacaxi

Os valores do teor de sólidos totais (X_s) foram 11; 17,7; 23,5; 33,2; 37,9; 43,2 e 52,4°Brix, enquanto que da temperatura (T) foram 17,4; 36,7; 54,8; 76,2 e 85,8°C. Todos estes valores estão indicados no trabalho de Cabral e colaboradores (2010).

De posse dos dados da densidade (ρ) do suco de abacaxi e da temperatura (T), foi possível realizar uma análise de regressão para o cálculo do coeficiente de expansão térmica (β).

Nesta análise foram utilizadas as Equações de (6) a (13) que determinam o coeficiente de expansão térmica (β) e o coeficiente de correlação (r^2) para os dados emparelhados de $\ln(\rho_0/\rho)$ e $(T - T_0)$.

Nas Equações de (6) a (13), T_0 equivale a 17,4°C e ρ_0 , à densidade do suco de abacaxi nesta temperatura.

$$\beta = \left\{ \frac{n \cdot a - b}{n \cdot c - d} \right\} \quad (6)$$

Em que:

$$a = \left\{ \sum [(T - T_0) \cdot \ln(\rho_0/\rho)] \right\} \quad (7)$$

$$b = \left\{ \sum (T - T_0) \right\} \cdot \left\{ \sum \ln(\rho_0/\rho) \right\} \quad (8)$$

$$c = \left\{ \sum (T - T_0)^2 \right\} \quad (9)$$

$$d = \left\{ \sum (T - T_0) \right\}^2 \quad (10)$$

Sendo n correspondente ao número de dados amostrais emparelhados de $\ln(\rho_0/\rho)$ e $(T - T_0)$.

$$r^2 = \frac{(n \cdot a - b)}{\left\{ \sqrt{(n \cdot c - d)} \right\} \cdot \left\{ \sqrt{(n \cdot e - f)} \right\}} \quad (11)$$

Em que:

$$e = \sum \left\{ \ln(\rho_0/\rho) \right\}^2 \quad (12)$$

$$f = \left\{ \sum \ln(\rho_0/\rho) \right\}^2 \quad (13)$$

Para verificar se existe uma correlação linear entre os coeficientes de expansão térmica (β) e o teor de sólidos totais (X_s) foi realizada uma análise de regressão linear dos dados emparelhados de β e X_s .

A equação de correlação linear entre os coeficientes de expansão térmica e o teor de sólidos totais é dada pela Equação (14), em que a_0 corresponde ao coeficiente angular da

reta, enquanto que b_0 corresponde ao coeficiente linear da reta obtida pelo gráfico de β versus X_s .

$$\beta = a_0 \cdot X_s + b_0 \quad (14)$$

Em que:

$$a_0 = \left\{ \frac{n_0 \cdot h - i}{n_0 \cdot j - k} \right\} \quad (15)$$

$$b_0 = \left\{ \frac{p - q}{n_0 \cdot j - k} \right\} \quad (16)$$

$$h = \sum (X_s \cdot \beta) \quad (17)$$

$$i = (\sum X_s) \cdot (\sum \beta) \quad (18)$$

$$j = \sum X_s^2 \quad (19)$$

$$k = (\sum X_s)^2 \quad (20)$$

$$p = (\sum \beta) \cdot \sum X_s^2 \quad (21)$$

$$q = \left\{ \sum (X_s \cdot \beta) \right\} \cdot \sum X_s \quad (22)$$

Sendo n_0 correspondente ao número de dados amostrais emparelhados de β e X_s .

O coeficiente de correlação (R^2) para os dados emparelhados de β e X_s é dado pelas Equações (23), (24) e (25).

As Equações de (6) a (25) foram adaptadas do trabalho de Triola (1999).

$$R^2 = \frac{n_0 \cdot h - i}{\left\{ \sqrt{(n_0 \cdot j - k)} \right\} \cdot \left\{ \sqrt{(n_0 \cdot l - m)} \right\}} \quad (23)$$

Em que:

$$l = \sum \beta^2 \quad (24)$$

$$m = (\sum \beta)^2 \quad (25)$$

A Tabela 1 relaciona a densidade do suco de abacaxi em função da temperatura. Essa tabela é resultado da aplicação do algoritmo ilustrado na Figura 1.

Pode-se observar nesta tabela, que para um mesmo teor de sólidos totais, à medida que a temperatura aumenta, a densidade do suco de abacaxi diminui. Ao passo que, na mesma temperatura, à medida que o teor de sólidos totais aumenta, a densidade do suco de abacaxi também aumenta.

Tabela 1 - Densidade do suco de abacaxi em função da temperatura e do teor de sólidos totais

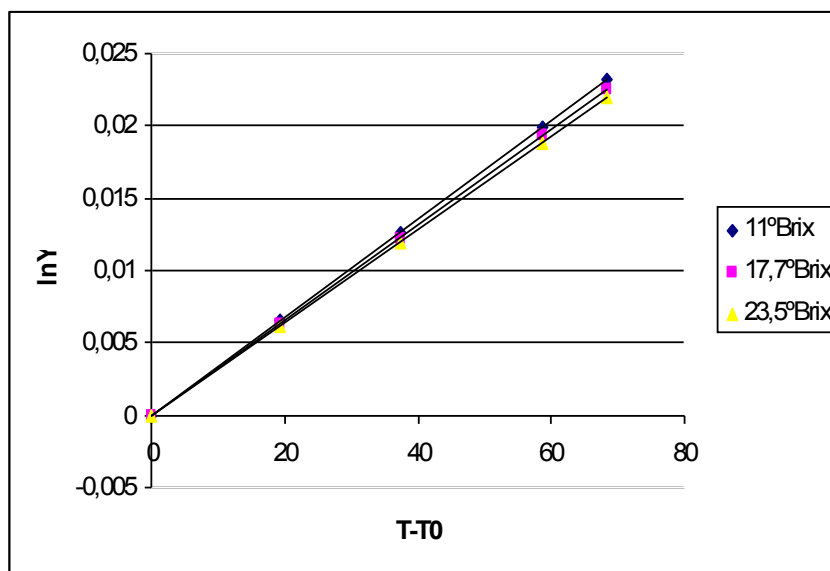
X_s	11°Brix	17,7°Brix	23,5°Brix	33,2°Brix	37,9°Brix	43,2°Brix	52,4°Brix
T (°C)	ρ (kg.m ⁻³)	ρ (kg.m ⁻³)	ρ (kg.m ⁻³)	ρ (kg.m ⁻³)	ρ (kg.m ⁻³)	ρ (kg.m ⁻³)	ρ (kg.m ⁻³)
17,4	1043,720	1075,277	1102,595	1148,282	1170,419	1195,382	1238,714
36,7	1036,965	1068,522	1095,840	1141,527	1163,664	1188,627	1231,959
54,8	1030,630	1062,187	1089,505	1135,192	1157,329	1182,292	1225,624
76,2	1023,140	1054,697	1082,015	1127,702	1149,839	1174,802	1218,134
85,8	1019,780	1051,337	1078,655	1124,342	1146,479	1171,442	1214,774

Fonte: Elaborado pelo autor.

Zuritz e colaboradores (2005), considerando o suco clarificado de uva, comentam que um aumento na quantidade de açúcares dissolvidos no suco afeta diretamente a densidade. Isto também foi comprovado através da Tabela 1.

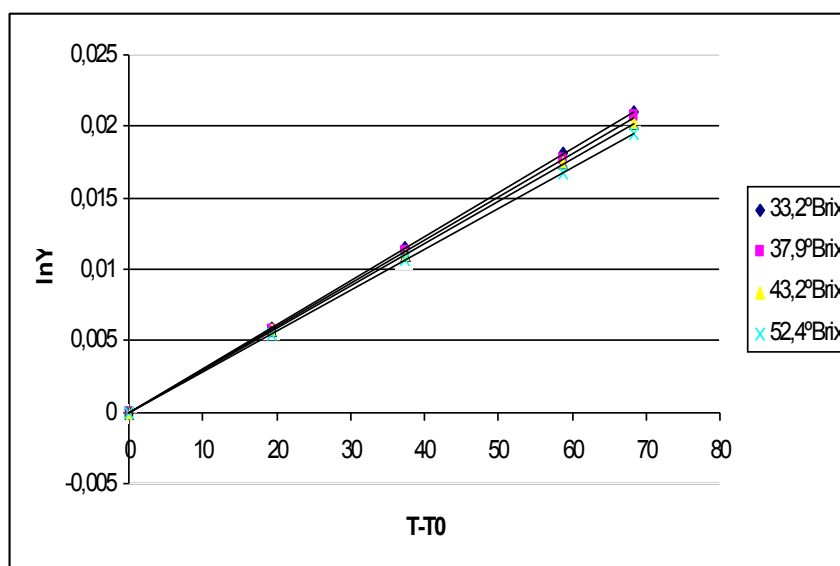
A Figura 2 ilustra o gráfico de $\ln(\rho_o/\rho)$ versus $(T - T_0)$ para os teores de sólidos totais iguais a 11; 17,7 e 23,5°Brix. Enquanto que a Figura 3 ilustra o gráfico de $\ln(\rho_o/\rho)$ versus $(T - T_0)$ para os teores de sólidos totais iguais a 33,3; 37,9; 43,2 e 52,4°Brix.

Figura 2 - $\ln(\rho_o/\rho)$ versus $(T - T_0)$ para 11; 17,7 e 23,5°Brix



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Gráfico de $\ln(\rho_o/\rho)$ versus $(T - T_0)$ para 33,2; 37,9; 43,2 e 52,4°Brix



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 2 relaciona os valores do coeficiente de expansão térmica (β) para o suco de abacaxi e os coeficientes de correlação (r^2) obtidos através da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln(\rho_o/\rho)$ e $(T - T_0)$.

Tabela 2 - Resultados da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln(\rho_o/\rho)$ e $(T - T_0)$.

X_s	β ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) x 10^{-4}	r^2
11	3,3930	0,9999
17,7	3,2923	0,9999
23,5	3,2098	0,9999
33,2	3,0808	0,9999
37,9	3,0219	0,9999
43,2	2,9581	0,9999
52,4	2,8536	0,9999

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Cabral e Lago (2002), o coeficiente de expansão térmica da água equivale a $2,07 \times 10^{-4} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Os valores do coeficiente de expansão térmica do suco de abacaxi, quando comparados com o coeficiente de expansão térmica da água, são maiores.

Santos e Vieira (2010) comentam que os valores do coeficiente de expansão estão relacionados com a energia de ligação química entre as partículas, de maneira que materiais em que as ligações químicas são fortes apresentam baixos coeficientes de expansão térmica.

A dilatação térmica está associada à variação assimétrica da energia de ligação com a distância entre as partículas (átomos ou moléculas). Ou seja, durante o aquecimento estas partículas 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 elas também aumenta (PADILHA, 1997).

As forças intermoleculares são aquelas que ocorrem entre uma molécula e outra molécula. São de origem eletrônica, ou seja, surgem de uma atração eletrostática entre nuvens de elétrons e núcleos atômicos. Quando comparadas às ligações iônicas e às ligações covalentes, são consideradas fracas (PERUZZO; CANTO, 2010).

A molécula de água é uma molécula polar, onde a interação entre suas moléculas é do tipo ligação de hidrogênio (ou, numa denominação mais antiga, ponte de hidrogênio). A ligação de hidrogênio ocorre quando um átomo de hidrogênio liga-se por covalência a um átomo mais eletronegativo e mantém uma afinidade residual por outro átomo eletronegativo, apresentando uma tendência à carga positiva (BROWN; HOLME, 2009).

Moléculas de glicose, frutose e sacarose apresentam em sua estrutura grupamentos hidroxila (-OH). Tais grupamentos são polares, pois o oxigênio é mais eletronegativo do que o hidrogênio. 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 (polares) das moléculas de sacarose e as moléculas de água (também polares), o que garante a dissolução destes açúcares na água. Entretanto, também se formam forças intermoleculares do tipo dipolo-dipolo entre as moléculas destes açúcares e da água (PERUZZO; CANTO, 2010).

As forças intermoleculares do tipo dipolo-dipolo ou dipolo permanente-dipolo permanente são características de moléculas polares. As moléculas, embora eletricamente neutras, podem possuir um dipolo elétrico permanente. Devido a alguma distorção na distribuição da carga elétrica, um lado da molécula é ligeiramente mais “positivo” e outro ligeiramente mais “negativo”. A tendência destas moléculas é de se alinharem e interagirem umas com as outras por atração eletrostática entre os dipolos opostos (BROWN; HOLME, 2009).

As ligações de hidrogênio, quando comparadas com as forças intermoleculares do tipo dipolo-dipolo, são mais fortes (BROWN; HOLME, 2009). Talvez por este motivo, o coeficiente de expansão térmica da água seja menor que, por exemplo, o coeficiente de expansão térmica do suco de abacaxi com 11°Brix.

Na água ocorrem mais ligações de hidrogênio, quando comparadas com o suco de abacaxi com 11°Brix. No suco de abacaxi, os compostos dissolvidos interagem com as moléculas de água por ligações de hidrogênio e forças intermoleculares do tipo dipolo-dipolo.

Questionando o fato de que à medida que se aumenta o teor de sólidos totais, o coeficiente de expansão térmica diminui, talvez isto esteja associado à interação que ocorre entre os compostos dissolvidos no suco de abacaxi.

Como a maioria do teor de sólidos totais no suco de abacaxi é açúcares (glicose, frutose e sacarose), à medida que o teor de sólidos totais aumenta, mais a solução fica concentrada e mais moléculas de açúcares interagem entre si. Assim, em sucos com maior teor de sólidos totais, ocorrem com maior frequência ligações de hidrogênio entre as moléculas de açúcares. A formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de açúcares (interações mais fortes) faz com que o coeficiente de expansão térmica diminua.

Todas estas considerações necessitam ser mais estudadas e discutidas.

De acordo com 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, considerando um volume de 1000 litros de água com uma variação de temperatura de 10°C, o volume de água aumenta em torno de 2,1 litros. Com este mesmo raciocínio, o volume de 1000 litros de suco de abacaxi com 11°Brix, com uma variação de temperatura de 10°C, o volume desse suco aumenta em torno de 3,4 litros.

A Tabela 3 relaciona a ordem de aumento de volume para uma variação de temperatura de 10°C, considerando um volume de 1000 litros para cada um dos sucos de abacaxi estudados.

Não foi encontrado na literatura, nenhum trabalho estudando o coeficiente de expansão térmica de sucos tropicais.

Zuritz e colaboradores (2005) estudaram o coeficiente de expansão térmica de sucos clarificados de uva (fruta considerada de clima temperado) e determinaram uma expressão do coeficiente de expansão térmica em função do teor de sólidos totais e da temperatura. Esta expressão é uma expressão polinomial de grau 2, tanto para a temperatura como para o teor de sólidos totais.

Tabela 3 - Ordem de aumento de volume em função do teor de sólidos totais

X_s	Ordem de aumento (L)
11	3,4
17,7	3,3
23,5	3,2
33,2	3,1
37,9	3,0
43,2	3,0
52,4	2,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das Equações (15) a (25), foi possível verificar a existência de uma correlação linear entre o coeficiente de expansão térmica (β) e o teor de sólidos totais (X_s).

Os valores encontrados para a_0 e b_0 correspondem, respectivamente, a $3,5237 \times 10^{-4}$ e $-1,3048 \times 10^{-6}$. O coeficiente de correlação (R^2) equivale a - 0,9987.

Assim, a Equação (14) fica reescrita na forma de:

$$\beta = 3,5237 \times 10^{-4} - 1,3048 \times 10^{-6} \cdot X_s \quad (26)$$

A Equação (26) é válida para temperaturas que vão de 17,4 a 85,8°C, em que o teor de sólidos totais (X_s) varia de 11 a 52,4°Brix.

Triola (1999) associa que correlações lineares negativas, o valor do coeficiente de correlação também é negativo, e vice-versa.

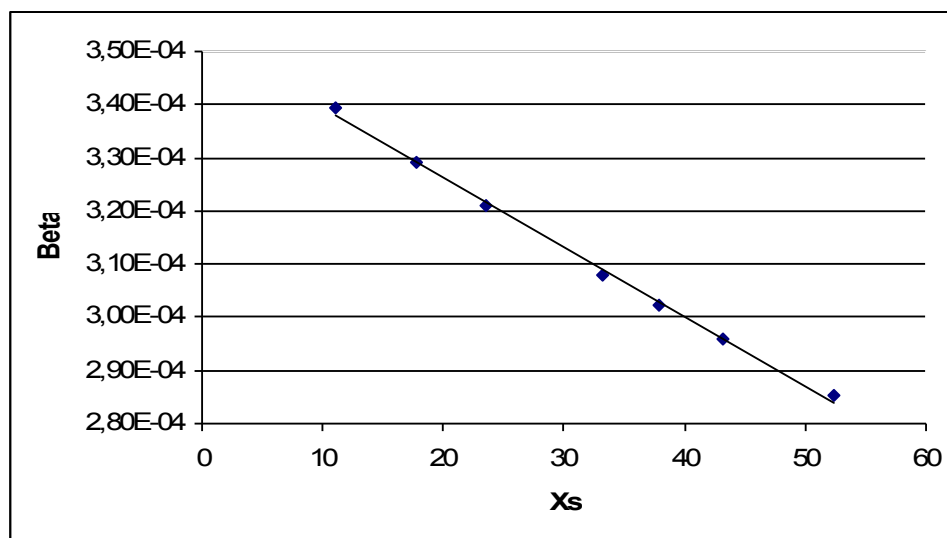
O gráfico de β versus X_s , ilustrado na Figura 4, demonstra bem a situação de correlação linear negativa.

Toledo e Ovalle (1985) comentam que o módulo do coeficiente de correlação mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados das variáveis dependente e independente em uma amostra, avaliando assim, a “qualidade” do ajuste. Ou seja, quanto mais próximo for da unidade, melhor é a “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão.

Lira (2004) expressa que para valores do módulo do coeficiente de correlação maiores ou iguais a 0,99 e menores que 1,0, a correlação linear é classificada como muito forte.

Dessa forma, a correlação linear entre o coeficiente de expansão térmica e o teor de sólidos totais é classificado como muito forte.

Figura 4 - Gráfico de β versus X_s , para o suco de abacaxi



Fonte: Elaborado pelo autor.

3 CONCLUSÃO

Constatou-se que os valores do coeficiente de expansão térmica do suco de abacaxi são maiores que o coeficiente de expansão térmica da água e que à medida que se aumenta o teor de sólidos totais, o coeficiente de expansão térmica diminui.

A análise de regressão linear entre dados do coeficiente de expansão térmica e o teor de sólidos forneceu um coeficiente de correlação bem próximo a unidade, indicando “qualidade” no ajuste da função aos pontos de dispersão e uma correlação linear negativa classificada como muito forte.

4 REFERÊNCIAS

BEJAN, A. **Transferência de calor**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1996. 540p.

BROWN, L.S.; HOLME, T.A. **Química Geral Aplicada à Engenharia**. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2009. 653p.

CABRAL, R.A.F.; GUT, J.A.W.; TELIS, V.R.N.; TELIS-ROMERO, J. Non-newtonian flow and pressure drop of pineapple juice in a plate heat exchanger. **Revista Brazilian Journal of Chemical Engineering**. São Paulo, v.27, n.4, 2010, p.563-571.

CABRAL, F.; LAGO, A. **Física 2**. São Paulo: Editora Harbra, 2002. 516p.

CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008. 590p.

CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão. *Revista Publicatio – Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*. Ponta Grossa, v.11, n.3, 2005, p.27-31.

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*. Belo Horizonte, 2010. p.20-28.

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*. Campina Grande, v.4, n.2, 2004.

COUTO, D.S. **Avaliação da qualidade de suco de abacaxi (*Ananas comosus* L. merr cv. Smooth Cayenne) concentrado por osmose inversa**. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), UFRRJ, Seropédica, 2008.

GRANADA, G.G.; ZAMBIAZI, R.C.; MENDONÇA, C.R.B. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. *Revista Boletim do CEPPA*. Curitiba, v.22, n.2, 2003, p.405-422.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008. 494p.

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

MARCELLINI, P.S.; DELIZA, R.; BOLINI, H.M.A. Caracterização sensorial de suco de abacaxi concentrado, reconstituído e adoçado com diferentes edulcorantes e sacarose. *Revista Alimentos e Nutrição*. Araraquara, v.17, n.2, 2006, p.143-150

MARIN, J.O.B.; CARVALHO, S.P.; PRADO, L.A.; PEREIRA, J.M. Panorama geral da produção de abacaxi e comportamento sazonal de preços do abacaxi “Pérola” comercializados em Goiás. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 66°**, Rio Branco. Anais. SOBER, 2008.

PADILHA, A.F. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Editora Hemus, 1997. 349p.

PERUZZO, F.M.; CANTO, E.L. **Química na abordagem do cotidiano – volume 1: Química Geral e Inorgânica**. São Paulo: Editora Moderna, 2010. 408p.

PINHEIRO, A.M.; FERNANDES, A.G.; FAI, A.E.C.; PRADO, G.M.; SOUSA, P.H.M.; MAIA, G.A. Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: abacaxi, caju e maracujá. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v.26, n.1, 2006, p.98-103.

REINHARDT, D.H.; MEDINA, V.M.; CALDAS, R.C.; CUNHA, G.A.P.; ESTEVAM, R.F.H. Gradientes de qualidade em abacaxi “Pérola” em função do tamanho e do estágio de maturação do fruto. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal, v.26, n.3, 2004, p.544-546.

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

TOLEDO, G.L.; OVALLE, I.I. **Estatística Básica**. São Paulo: Editora Atlas, 1985. 459p.

TRIOLA, M.F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora; 1999. 410 p.

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

ZURITZ, C.A.; PUNTES, E.M.; MATHEY, H.H.; PÉREZ, E.H.; GASCÓN, A.; RUBIO, L.A.; CARULLO, C.A.; CHERNIKOFF, R.E.; CABEZA, M.S. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. **Revista Journal of Food Engineering**. New York, v.71, 2005, p.143-149.