

Determinação da difusividade térmica da polpa de manga

Márcia Regina Simões^{1*} e Fernanda Elizabeth Xidieh Murr²

¹Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua da Faculdade, 2550, Jardim La Salle, 85903-000, Toledo-Paraná, Brazil. ²Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-São Paulo, Brazil. *Author for correspondence.

RESUMO. Neste trabalho, a difusividade térmica foi determinada para quatro amostras diferentes de polpa de manga. Foi verificada a influência dos sólidos solúveis e insolúveis em amostras de polpa de manga através do método utilizado por Silva (1997). Não foi verificada nenhuma influência dos sólidos insolúveis na difusividade térmica da polpa de manga, e com o aumento da concentração de sólidos solúveis a difusividade térmica mostrou ser menor do que para a polpa integral.

Palavras-chave: polpa de manga, difusividade térmica, manga.

ABSTRACT. Thermal diffusivity of the mango pulp. Thermal diffusivity was of four samples of the mango pulp was determined by method suggested by Silva (1997). Different quantities of insoluble and soluble solid were taken into account for each sample. The authors didn't detect any influence of the insoluble solid in the thermal diffusivity of the mango pulp. The more the concentration of soluble solids in the pulp was increased, the less was the thermal diffusivity.

Key words: mango pulp, thermal diffusivity.

Propriedades como a condutividade térmica, calor específico e densidade têm uma importante função na análise de alimentos processados e no projeto de equipamentos. Em situações em que a transferência de calor ocorre em regime transiente a propriedade chamada difusividade térmica é a mais usada.

Muitos alimentos possuem características físicas que tornam a condução o modo primário de transferência de calor durante o processamento térmico. Estes alimentos são mais difíceis de aquecer, pois o corpo do alimento serve como isolante entre a fonte de calor e o centro do alimento. Para condições de transferência de calor por condução, as relações tempo/temperatura de um dado alimento podem ser calculadas se as condições de contorno de transferência de calor e a geometria do alimento forem matematicamente tratáveis e se a difusividade térmica do alimento for conhecida. O maior obstáculo para a aproximação matemática é a falta de dados das propriedades térmicas dos alimentos.

Na literatura existem poucos dados publicados de difusividade térmica de polpas e sucos de fruta. Entre os trabalhos publicados podemos citar Hayes, que trabalhou com polpa de mamão; Brownik e Hayakawa (1979), que trabalharam com polpas de tomate e maça; Silva (1997), que trabalhou com

polpa de abacaxi; e Riedel (1969), que trabalhou com polpas de morango e banana. A difusividade térmica oscila nestes trabalhos entre 1 e $2,10^{-7}$ m²/s.

Gaffney *et al.* (1980), trabalhando com frutas e vegetais, fizeram uma revisão dos métodos para determinar a difusividade térmica, com suas possíveis fontes de erro e condições assumidas em cada método e fizeram uma coletânea de dados de difusividade térmica existentes na literatura.

Quando o calor específico, a densidade e a condutividade térmica são conhecidos, a difusividade térmica pode ser calculada através da equação (1).

$$\alpha = \frac{K}{\rho \cdot Cp} \quad (1)$$

Esta aproximação requer tempo e instrumentação apropriada. Uma segunda aproximação seria conduzir um experimento que permita a medida direta desta propriedade. Entre os métodos utilizados podemos citar:

1. método da fonte linear de calor, que necessita de uma fonte de calor conhecida, onde o termopar é inserido na amostra ou através de

uma sonda, este método foi utilizado por Choi e Okos (1983), Rao *et al.* (1971), Murr (1992);

2. método transiente, que envolve a estimativa da difusividade térmica de dados de condução de calor, onde as curvas de condução de calor seguem um modelo regular, método utilizado por (Bhowmik e Hayakawa, 1979), Rizvi *et al.* (1980), Vieira (1996) e Silva (1997).

No método desenvolvido por Dicherson (1965), uma mudança constante na temperatura é aplicada em um cilindro infinito e a difusividade térmica é estimada através de uma solução da equação de condução de calor. Este método foi utilizado por RIZVI *et al.* (1980), Vieira (1996) e Silva (1997).

Alguns modelos podem ser encontrados na literatura para a difusividade térmica de alimentos. Alguns modelos gerais foram propostos: Riedel (1969) propôs um modelo baseado somente no teor de umidade da amostra (X_w) e Martens (1980) propôs dois modelos: um que é função do teor de gordura (X_f), de carboidratos (X_c), de proteínas (X_p), e da umidade (X_w), encontrando uma pequena influência do teor de proteína, gordura e carboidratos, e outro que é baseado na temperatura e no teor de umidade (X_w) através de uma regressão multilinear com 246 valores publicados de difusividade térmica de uma variedade de alimentos. CHOI e OKOS (1983) propuseram um modelo mais específico e complexo, que é função também da temperatura e do teor de sólidos do suco de tomate.

O objetivo deste trabalho é verificar a influência dos sólidos solúveis e dos sólidos insolúveis na difusividade térmica da polpa de manga utilizando-se 4 amostras - polpa centrifugada, polpa concentrada, polpa peneirada e polpa integral - e empregando-se o método proposto por Silva (1997).

Material e métodos

Preparação das amostras. A manga de variedade Tommy Atkins foi obtida de Petrolina - PE no Vale do Paraíba. Para obtermos a polpa integral a manga foi lavada e descascada, passou por um despulpador de malha igual a 1,8 mm, sofreu um congelamento rápido em um congelador de placas ($t = 4$ horas, $T = -40^\circ\text{C}$) e foi armazenada.

A polpa peneirada foi obtida colocando-se cerca de 200g de amostra em uma peneira (malha = 0,149mm), e peneirando-se o material em um nível de agitação 10 (agitação máxima) no agitador de peneiras (*Produtex*) por 1 hora. A polpa centrifugada foi obtida colocando-se as amostras em tubos de ensaio e centrifugando-se estas em uma centrífuga (*Sorval* modelo RC5C) por 30 min a uma rotação de 10000 rpm. Para se obter a polpa concentrada em

um rotavapor, cerca de 300g de amostra eram colocados em um balão conectado a um tubo rotativo, por onde, através de uma bomba de vácuo (*Tecnal* modelo TE-058), provocava-se um vácuo de 740 mmHg. O balão com a amostra estava em contato com um banho a 50°C . As amostras ficaram cerca de uma hora no rotavapor até atingir a concentração desejada de 30° Brix.

Difusividade térmica. Com o auxílio de um aparato semelhante ao utilizado por Silva (1997), a difusividade das amostras de polpa de manga foi determinada. O esquema do aparato experimental é mostrado na Figura 1. Este aparato consiste de uma cápsula metálica cilíndrica com termopares, um indicador de temperatura, um agitador mecânico e um banho termostático.

A cápsula cilíndrica foi construída basicamente de um material de alta condutividade térmica (metal cromado) e isolada termicamente nas extremidades com rolhas de náilon esmerilhadas. Dois termopares de cobre-constantan foram colocados, um na superfície externa e outro no centro da cápsula cilíndrica e acoplados a um medidor de temperatura. As dimensões do cilindro eram: 0,049 m de diâmetro interno, 0,301 m de comprimento total e 0,229 m de comprimento útil, preenchido pela amostra.

Em cada experimento a cápsula cilíndrica era recheada com as amostras de polpa de manga e mergulhada no banho termostático. A agitação mecânica era ligada juntamente com o banho termostático, que aquecia a uma taxa constante de aproximadamente $0,4^\circ\text{C}/\text{min}$. No momento em que o aquecimento do banho era ligado era também acionado um cronômetro, e as temperaturas do centro (T_c) e da superfície do cilindro (T_s) eram acompanhadas em intervalos de 2 min até aproximadamente 65 min. Para evitar a convecção natural foi utilizado 0,4 % de uma solução de agar-agar nas amostras centrifugada e peneirada.

Tendo-se em vista as condições em que foi conduzido o experimento, a difusividade térmica pôde ser determinada utilizando-se a equação (2) proposta por Silva (1997)

$$T_s - T_c = \frac{A R^2}{4 \alpha} \quad (2)$$

Para se obterem os valores de (A) e ($T_s - T_c$) utilizou-se o gráfico *temperatura versus tempo*, construído com os dados do experimento. A taxa de aquecimento do banho (A) foi obtida através da inclinação da reta (T_s) *versus* tempo e a diferença ($T_s - T_c$) é obtido quando as duas curvas (T_s) e (T_c) se tornam paralelas entre si, o que acontece quando:

$$|(T_c - T_s)_i - (T_c - T_s)_{i+1}| \leq 0,1^\circ\text{C} \quad (3)$$

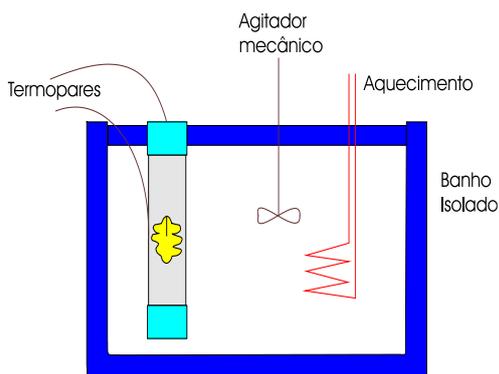


Figura 1. Aparato utilizado para a determinação da difusividade térmica

Resultados

As Figuras 2 a 5 mostram os ensaios realizados para a determinação da difusividade térmica das amostras de polpa de manga utilizando o método de Silva (1997), e os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Difusividade térmica das amostras de polpa de manga

Amostra de polpa de manga	Difusividade Térmica ($10^7 m^2/s$)
Polpa integral	$1,41 \pm 0,05$
Polpa centrifugada	$1,39 \pm 0,08$
Polpa peneirada	$1,38 \pm 0,03$
Polpa concentrada	$1,28 \pm 0,03$

A Tabela 2 mostra os desvios médios relativos da difusividade térmica das amostras de polpa de manga em relação aos modelos de Riedel (1969) e Martens (1980).

Tabela 2. Desvio médio relativo das amostras de polpa de manga

Amostra de polpa de manga	Desvio médio relativo (%)	
	Riedel (1969)	Martens (1980)
Integral	3,77	3,25
Peneirada	3,17	2,65
Centrifugada	6,02	5,44
Concentrada	2,49	2,21

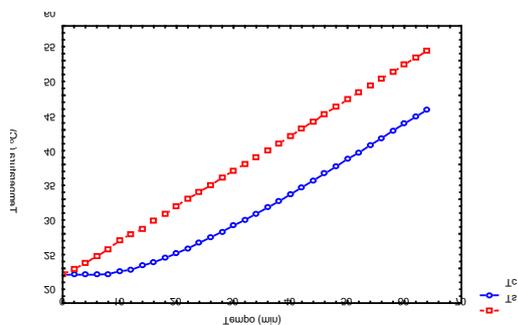


Figura 2. Diagrama médio de tempo-temperatura da amostra de polpa integral (12,7° Brix, malha=1,8 mm)

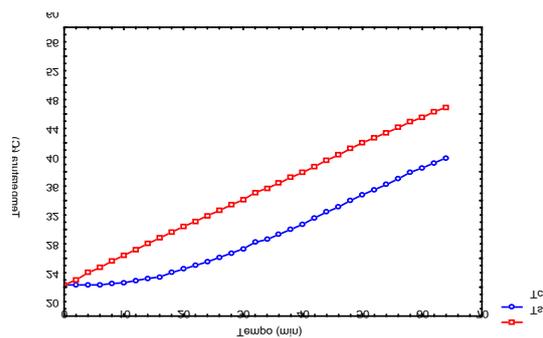


Figura 3. Diagrama médio de tempo-temperatura da amostra de polpa peneirada (12,7° Brix, malha=0,149 mm)

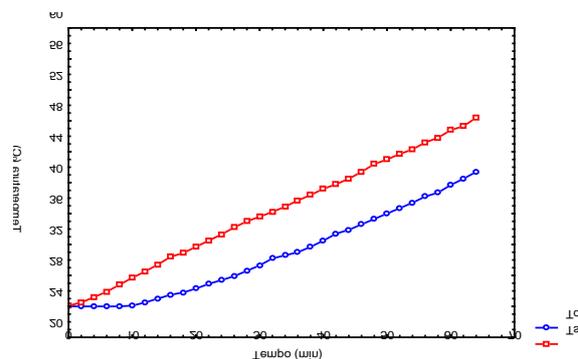


Figura 4. Diagrama médio de tempo-temperatura da amostra de polpa centrifugada (12,7° Brix)

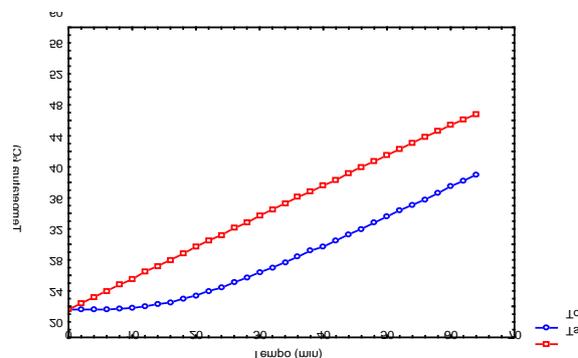


Figura 5. Diagrama médio de tempo-temperatura da amostra de polpa concentrada (30° Brix)

Discussão

Como demonstrado na Tabela 1, os valores da difusividade térmica das polpas integral, centrifugada e peneirada variaram de $1,38 \cdot 10^{-7}$ a $1,41 \cdot 10^{-7} m^2/s$, constatando-se que os sólidos insolúveis não mostraram grande influência no cálculo da difusividade térmica, visto que não houve diferença significativa entre os valores encontrados. Pode-se observar também na Tabela 1 que quando se

aumenta a concentração de sólidos solúveis verifica-se uma pequena diminuição da difusividade térmica. Isto pode ser verificado comparando o valor da difusividade térmica da polpa integral ($1,41 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) e da polpa concentrada ($1,28 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$).

Como demonstrado na Tabela 2, o modelo de Martens (1980) apresentou um desvio menor do que o proposto por Riedel (1969) para todas as amostras apresentadas. Os modelos propostos apresentaram um desvio menor para a polpa concentrada em comparação com as outras amostras, que foi da ordem de 2,49% para Riedel (1969), e 2,22% para o Martens (1980); mas ambos predisseram bem o comportamento da polpa de manga, mostrando também que o método utilizado por Silva (1997) é eficaz na determinação da difusividade térmica de polpas de fruta

As equações de predição utilizadas mostraram que podem prever bem o comportamento da polpa de manga, mas para se propor um modelo mais completo para a difusividade térmica, seria interessante que pudesse também ser estudada a influência da temperatura, além da concentração de sólidos solúveis e insolúveis mostrada neste trabalho.

Nomenclatura

A	Taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$).
R	Raio do cilindro (m).
T_c	Temperatura do centro do cilindro ($^{\circ}\text{C}$).
T_s	Temperatura da superfície do cilindro ($^{\circ}\text{C}$).
α	Difusividade térmica (m^2/s).
K	Condutividade térmica ($\text{w}/\text{m}^{\circ}\text{C}$).
ρ	Densidade (kg/m^3).
C_p	Calor específico ($\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$).
X_w	Umidade da amostra.
X_f	Teor de gordura.
X_c	Teor de carboidratos.
X_p	Teor de proteínas.

Referências bibliográficas

- Browmik, S.R., Hayakawa, K. A new method for determining the apparent thermal diffusivity of thermally conductive food. *Food Technol.*, 44(2):469-474, 1979.
- Choi, Y.; Okos, M.R. The thermal properties of tomato juice concentrates. *Transactions of the ASAE*, 26(1):305-311, 1983.
- Dicherson, R.W. Na Apparatus for the measurement of Thermal Diffusivity of Foods. *Food Technol.*, 19(5):198-204, 1965.
- Gaffney, J.J.; Baird, C.D.; Eshleman, W.D. review and analysis of transient method for determining thermal diffusivity of fruits and vegetables. *Am. Soc. Heat., Refriger. Condit. Engin. INC-Transactions*, 86:261-280, 1980.
- Hayes, C. Thermal diffusivity of papaya fruit. *J. Food Sci.*, 49(4):1219-1221, 1984.
- Martens, T. *Mathematical Model of Heat processing in Flat Containers*. Leunen, 1980. (Doctoral Thesis) - Katholieke University.
- Murr, F.E.X. *Estudo dos fenômenos de secagem da batata (solanum tuberosum, L. cultivar Bintje)*. Campinas, 1992. (Doctoral Thesis in Food Engineering) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- Rao, M.A.; Rippen, A.L. Thermal Conductivity and thermal diffusivity of process variety squash and white potatoes. *Transact. ASAE*, 14(2):248-254, 1971.
- Riedel, L. Measurements of Thermal Diffusivity of Foodstuffs in Water. *Kaltetechnik-Klimatisierung*, 21(11):315, 1969.
- Rizvi, S.S.H.; Blaisdell.; Harper, W.J. Thermal diffusivity of model meat analog systems. *J. Food Sci.*, 45(6):1727, 1731, 1980.
- Silva, S.B. *Propriedades termofísicas da polpa de abacaxi*. Campinas, 1997. (Master's Thesis in Food Engineering) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- Vieira, S.B. *Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja em tubos*. Campinas, 1996. (Doctoral Thesis in Food Engineering) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

Received on October 11, 2000.

Accepted on November 21, 2000.