

DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE ACEROLA: APLICAÇÃO DO MÉTODO FLASH

Mirtes Aparecida da Conceição Silva¹, mirtesacs@yahoo.com.br

Zaqueu Ernesto da Silva¹, zaqueu@ufpb.les.br

Edilma Pereira Oliveira¹, edilma_eng@yahoo.com.br

Andréa Samara Santos Oliveira², andsamara@hotmail.com

Cristiane Kelly Ferreira da Silva¹, criskfsilva@yahoo.com.br

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Laboratório de energia Solar, Campus I, Cidade Universitária – Castelo Branco, Cep: 58051-970, João Pessoa, PB – Brasil – Caixa postal: 5115

²Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Plácido Aderaldo Castelo, 1646, Planalto, Cep: 63040-000, Brasil

Resumo: O desenvolvimento e utilização de técnicas experimentais para a determinação de propriedades termofísicas, tem interessado a muitos pesquisadores devido a sua larga aplicação em problemas de engenharia. O objetivo deste trabalho é apresentar o uso do método FLASH na determinação da difusividade térmica e no cálculo da condutividade térmica em polpas de acerola. O procedimento experimental foi realizado em um aparelho micro-flash, modelo LFA 457 da Netzch e a modelagem matemática foi desenvolvida para líquidos entre placas metálicas. Uma amostra líquida foi submetida ao procedimento e mediu-se a evolução da temperatura sobre a face frontal, a fim de se obter o valor da difusividade térmica da mesma.

Palavras-chave: difusividade térmica, condutividade térmica, método Flash, polpa de acerola

1. INTRODUÇÃO

A caracterização térmica de materiais corresponde à identificação das propriedades de transporte de calor. As propriedades que despertam maior interesse entre os pesquisadores são: calor específico, condutividade e difusividade térmicas. Essas propriedades são dependentes da composição química do alimento e das condições de processamento, principalmente umidade e temperatura (Oliveira et al., 2001).

Na indústria de alimentos, o conhecimento das propriedades térmicas se faz necessário para o projeto e desenvolvimento de cálculos, de equipamentos e processos que envolvam transferência de calor, podendo-se citar o exemplo de projetos para equipamentos voltados à refrigeração, tratamento térmico e armazenamento de alimentos (Brock et al., 2008).

Polpa de frutas é um produto que atende às necessidades de vários segmentos da indústria de produtos alimentícios, tais como as indústrias de sucos naturais, sorvetes, laticínios, balas, doces, geléias, etc. Para que cada etapa do processo de industrialização seja economicamente viável, é de fundamental importância o conhecimento das propriedades termofísicas e do comportamento das matérias-primas envolvidas (Júnior et al., 2007).

A difusividade térmica é importante na determinação da evolução de sistemas que sofrem processos de aquecimento ou de resfriamento. Essa propriedade permite prever a velocidade de penetração de calor no interior do alimento, sendo assim de fundamental importância para o projeto de equipamentos e para o cálculo do processamento térmico (Carbonera et al., 2003).

A difusividade térmica (α) está relacionada com a condutividade térmica (K), com o calor específico (C_p) e com a massa específica (ρ) pela Equação 1:

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

Onde: α é dado em m^2s^{-1} , k em $Wm^{-1}C^{-1}$, ρ em kgm^{-3} e C_p em $kJkg^{-1}C^{-1}$

A difusividade térmica pode ser descrita ainda como a razão entre a habilidade em transferir calor e a capacidade de armazená-lo em situações em que a transferência de calor ocorre em regime transiente (Araújo et al., 2004).

A condutividade térmica é a medida da capacidade para conduzir calor e depende principalmente da composição do produto, incluindo a presença de espaços vazios e do grau de homogeneidade estrutural (Araújo et al., 2004).

A massa específica, expressa a quantidade de matéria por unidade de volume e serve de parâmetro na caracterização de um produto.

O calor específico é entendido como a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de uma unidade de massa, sendo, portanto fundamental para se determinar a quantidade de energia a ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento (Araújo, et al., 2004), o valor dessa propriedade é significativamente afetado pela quantidade de água presente no material e pelo estado físico desta água (Lewis, 1993).

Na literatura encontramos alguma equações teóricas para estimar o calor específico de produtos alimentícios, dentre elas podemos citar o modelo utilizado por Manohar et al., (1991) para suco de tamarindo.

Geralmente, nas determinações experimentais das propriedades térmicas de alimentos, a maior dificuldade é atribuída à grande dependência destas em relação à temperatura e composição. Ainda, a maioria dos estudos relacionados ao desenvolvimento de modelos matemáticos e medidas experimentais de propriedades térmicas de alimentos é realizada utilizando sistemas modelo, e os resultados são aplicados para alimentos de composição similar (Resende e Silveira, 2002).

Existem vários métodos para a medição de propriedades termofísicas os quais podem ser divididos em duas classes: os métodos que utilizam o fluxo de calor em regime permanente e os métodos que utilizam o fluxo de calor em regime transiente (Grossi et al., 2007).

No método Flash de Laser, um flash de energia radiante, intenso e curto, é aplicado uniformemente sobre a face de uma pequena amostra. O pulso de energia difunde unidirecionalmente para a face oposta, obtendo-se um registro transiente de elevação de temperatura nesta face.

Durante o processamento de polpa de frutas, frequentemente utilizam-se tratamentos térmicos e/ou resfriamento, o que faz com que a determinação das propriedades térmicas destes produtos seja de grande importância. Os objetivos desse trabalho foram: determinar a massa específica através do método picnométrico, calcular teoricamente o calor específico da polpa de acerola, determinar a difusividade térmica através de um aparelho micro-flash modelo LFA 457 da Netzch e, partindo dessas propriedades calcular o valor da condutividade térmica da polpa de acerola.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A polpa de acerola utilizada no experimento foi extraída no Laboratório de Tecnologia de Alimentos LTA da Universidade Federal da Paraíba, e caracterizada físico-quimicamente nos laboratórios de Análises de Alimentos e de Bioquímica de Alimentos da mesma Instituição.

Inicialmente, a limpeza dos frutos foi feita em água potável, seguida de desinfecção por imersão em solução de hipoclorito de sódio, com concentração de 40 ppm por 10 minutos, enxaguando-se em seguida com água potável e escorrendo-se o excesso de água antes do processamento. A extração da polpa foi obtida através do extrator tipo escova, com diâmetro da malha de 0,5mm.

A caracterização termofísica foi realizada da seguinte maneira: a massa específica foi determinada pelo método picnométrico à 25°C, o calor específico foi calculado através do modelo teórico de Manohar et al., (1991), nas temperaturas de 25,30,40,50 e 60°C, a difusividade térmica foi determinada em um aparelho micro-flash, modelo LFA 457 da Netzch e a condutividade térmica foi calculada no próprio equipamento Flash a partir do conhecimento das outras propriedades termofísicas.

O MicroFlash LFA 457 da NETSCH é um instrumento utilizado para medir difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica de metais, grafite, revestimentos, compósitos, cerâmicas, polímeros, líquidos e outros materiais, numa faixa de temperatura de 20 a 1100°C, baseado no método Flash. A fonte de energia para gerar o aumento de temperatura na amostra é um laser de alta potência. O MicroFlash LFA 457 usa um detector de InSb-IR na faixa de comprimento de onda de 2000 a 5500 nm, resfriado por nitrogênio líquido, que permite uma leitura de temperatura rápida e sem contato direto com a amostra. Um forno integrado (aquecedor) mantém a temperatura da amostra estável durante a medida. O aquecedor é integrado ao suporte da amostra, que tem uma massa térmica baixa, permitindo altas taxas de aquecimento/resfriamento. As medidas de temperatura da amostra são feitas no suporte pelo detector InSb-IR. Um Chiller Julabo é usado para auxiliar o controle de temperatura do forno (Oliveira, 2009).

A Figura (1) mostra um esquema do equipamento. A Figura (2) mostra o equipamento operando no LAMET (Laboratório de Metrologia Térmica do LES).

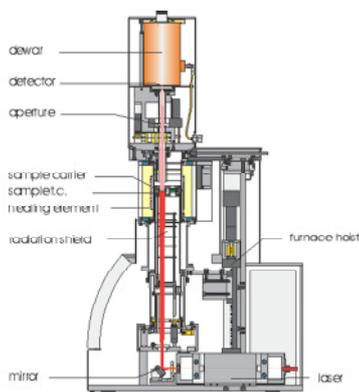


Figura 1 - Netzsch MicroFlash LFA 457



Figura 2 - Netzsch MicroFlash LFA 457 operando no LAMET

O suporte da amostra permite testes em até 3 amostras diferentes, conforme mostrado na Fig. (3).



Figura 3 - Suporte das amostras

Cada amostra é movida automaticamente para a posição de medida. O posicionamento é controlado pelo software de controle. O suporte da amostra usa peças intercambiáveis para amostras cilíndricas com diâmetro de 12.7 mm que foi utilizada para desenvolvimento do trabalho e 25.4 mm. Para esse estudo, foi necessário utilizar uma cápsula de líquido. Ela consiste em um recipiente para alojar o líquido, de forma que a análise das propriedades termofísicas seja considerada como a de um material de três camadas, ou seja, a primeira camada é o copo da cápsula constituído de alumínio, a camada intermediária é a polpa de acerola e a terceira camada é a tampa da cápsula constituída de alumínio. Segundo Oliveira, (2009), as propriedades termofísicas de pelo menos duas camadas devem ser conhecidas, assim como o calor específico da camada cuja difusividade térmica se deseja determinar.

O equipamento é controlado pelo software Micro Flash. A partir desse software, todos os parâmetros do teste são selecionados. Primeiro, define-se qual tipo de material está localizado em cada posição do suporte de amostra, entrando com o valor da espessura, do diâmetro, da massa específica, calor específico, coeficiente de expansão térmica e da espessura da amostra e o modelo matemático para o cálculo da difusividade (Oliveira, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação na composição físico-química de frutas, polpas e sucos de frutas é decorrente de muitos fatores, tais como variedade, grau de maturação, local de plantio, época de plantio e colheita, entre outros. A Tabela 1 apresenta os dados da caracterização da polpa de acerola utilizada neste trabalho.

Tabela 1. Caracterização Físico-química da polpa de acerola.

Determinação	Valor Médio obtido
Umidade base úmida (%)	94,76
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	6,7
Atividade de água	0,988
Ph	3,9
Teor de ácido ascórbico (mg/100ml)	1185,60
Acidez titulável (% ácido cítrico)	0,167
Massa específica (g.cm ⁻³)	1,02845

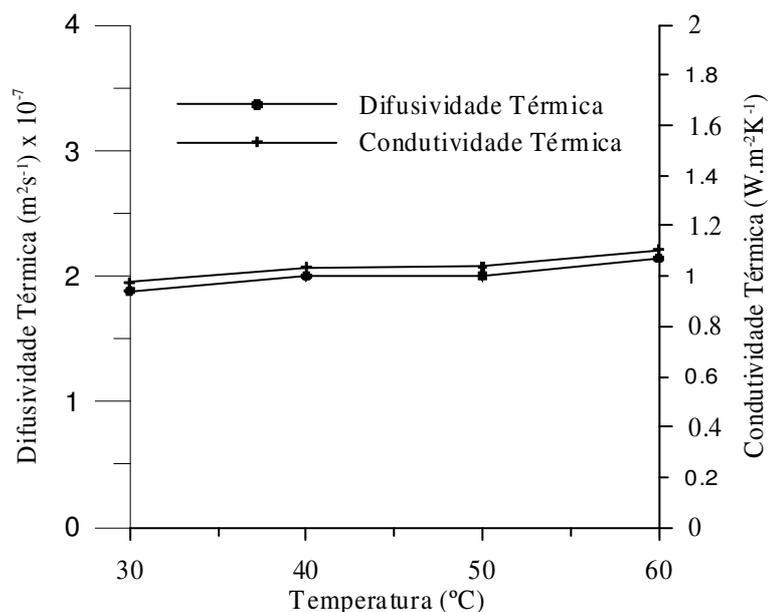
De acordo com a Tab.(1), pode-se verificar que o valor da umidade obtido para a polpa de acerola foi maior que os encontrados por Cerezal-Mezquita e Garcia-Vigoa, (2000) e por Soares et al., (2001), que foram 90,3% e 89,82%, respectivamente. O teor de ácido ascórbico obtido pelo presente trabalho, foi inferior aos encontrados por estes pesquisadores que foi 1790 e 1620 mg de ácido ascórbico/100g de polpa, respectivamente. O valor de pH foi maior do que o encontrado por Lopes (2005), que foi de 3,56 e o teor de sólidos solúveis foi ligeiramente inferior ao desse mesmo trabalho que foi de 7,2°Brix.

O valor do calor específico para as temperaturas de 25,30,40,50 e 60°C, calculados através da equação preditiva utilizado por Manohar et al., (1991), é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados Teóricos para o calor específico.

Equação	Calor específico (kJ/kg°C)				
	25°C	30°C	40°C	50°C	60°C
$C_p = 4,18 + (6,839 \cdot 10^{-5} \cdot T - 0,0503)S$	4,023	4,025	4,029	4,032	4,036

Observa-se um pequeno acréscimo nos valores do calor específico com o aumento da temperatura. Na Fig.(4), abaixo, apresenta-se o gráfico com os valores médios da difusividade e da condutividade térmica da polpa de acerola, obtidos através do Flash com o uso do modelo de três camadas com correção de pulso, os valores correspondem a média de cinco pulsos para cada temperatura.

**Figura 4. Curva da difusividade e da condutividade térmica da polpa de acerola em função da temperatura.**

Observa-se que os valores da difusividade térmica determinados através do método FLASH variaram de 1,88 à 2,14 $\times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, esses valores encontram-se próximos dos valores encontrados na literatura para diversas polpas de frutas que estão na faixa de 1 e 2 $\times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Verifica-se também que a difusividade aumentou com a temperatura, o que está de acordo com Souza, (2008) que determinou a difusividade das polpas de pequenos frutos (framboesa, amora, mirtilo e morango) e observou a influência da temperatura nos valores de difusividade térmica de tais polpas.

Tabela 3. Valores experimentais da difusividade e da condutividade térmica.

Propriedades	Temperaturas			
	30°C	40°C	50°C	60°C
Difusividade térmica ($\text{m}^2\text{s}^{-1} \times 10^{-7}$)	1,88	2,00	2,00	2,14
Desvio Padrão	$3,07 \times 10^{-3}$	$2,504 \times 10^{-3}$	$2,269 \times 10^{-3}$	$2,042 \times 10^{-3}$
Condutividade Térmica ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)	0,974	1,033	1,038	1,105

Observa-se através da Tab.(3), que os valores do desvio padrão são menores do que a propriedade estimada na ordem de 10^{-3} , o que indica a eficiência do método utilizado. Verifica-se que os valores encontrados para a condutividade térmica, apresentam comportamento semelhante aos valores da difusividade térmica, ou seja, há um aumento da condutividade térmica com a elevação da temperatura, este fato foi constatado por Azoubel et al., (2005), Constenla et al. (1989), Souza (2008) e Telis-Romero et al.,(1998), trabalhando com suco de cajú, suco de maçã clarificado, polpa de morango e suco de laranja. Os valores da condutividade térmica encontrados por este trabalho variaram de 0,974 a 1,105 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, esses resultados foram superior aos disponíveis na literatura para polpas de frutas.

4. CONCLUSÃO

As propriedades térmicas: difusividade e condutividade, geralmente são determinadas na literatura pelo método da sonda linear, e são dependentes do calor específico e da massa específica. Nesse trabalho a difusividade térmica foi estimada pelo método FLASH, e os valores encontrados foram usados para calcular a condutividade térmica, utilizando os valores do calor específico e da massa específica.

O modelo utilizado para a estimação foi o modelo de difusão de calor em 3 camadas, disponível no programa de análise de dados do equipamento FLASH, esse modelo considera as perdas de calor por convecção e a correção do pulso, os resultados obtidos permitem-nos afirmar que o modelo utilizado pelo equipamento FLASH é adequado para se estimar a difusividade térmica da polpa de acerola.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ (processo nº 141522/2007-0), pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo, J.L.; Queiroz, A.J.M. e Figueiredo, R.M.F., 2004, "Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos", *Ciência Agrotecnológica*, Vol.28, No. 1, pp.126-134.
- Azoubel, P.M.; Cipriani, D.C.; El-Aquar, A.A.; Antonio, G.C.; Murr, F.E.X., 2005, "Effect of concentration on the physical properties of cashew juice". *Journal of Food Engineering*, V.66, pp.413-417.
- Brock, J.; Nogueira, M.R.; Zakrzewski, C.; Corazza, F.C.; Corazza, M.L. e Oliveira, J.V., 2008, "Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 28, No. 3, pp. 1-7.
- Carbonera, L.; Carciofi, B.M; Huber, E. e Laurindo, J.B., 2003, "Determinação experimental da difusividade térmica de uma massa de tomate comercial", *Brazilian Journal of Food Technology*, Vol. 6, No. 2, pp. 285-290.
- Cerezal-Mezquita, P.; García-Vigoa, Y., 2000, "La acerola – fruta marginada de America com alto contenido de ácido ascórbico". *Alimentaria*, Vol.37, n.2, pp.113-125.
- Constenla, D.T; Lozano, J.E.; Crapiste, G.H., 1989, "Thermophysical properties of clarified Apple juice as a function of concentration and temperature". *Journal of Food Science*, V.54, pp.663-668.
- Grossi, P.A.; Camarano, D.M.; Ferreira, R.A.N.; Andrade, R.M., 2007, "Metodologia para a estimativa da incerteza de medição da difusividade térmica pelo método do Flash Laser". *Anais do 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica*, Cusco.
- Júnior, E.E.D.; Queiroz, A.J.M. e Figueiredo, R.M.F., 2007, "Determinação da difusividade térmica da polpa de manga espada", *Revista Educação Agrícola Superior*, Vol. 22, No. 1, pp. 43-46.
- Lewis, M.J., 1993, "Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado", Zaragoza: Acribia, 494p.

- Lopes, A.S., 2005, "Pitanga e acerola: Estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto". Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, SP.
- Manohar, B.; Ramakrishna, P.; Udayasankar, K., 1991, "Some physical properties of tamarind (tamarinds indica L.) juice concentrates". *Journal of Food Engineering*, Vol.13, No.4, pp.241-258.
- Oliveira, E.P., 2009, "Estimativa da Difusividade Térmica de Iogurtes Comerciais: Aplicação do Método Flash", **Dissertação** de M.Sc. apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa PB, Brasil.
- Oliveira, S.D., Camargo, D., Machado, P.P. e Borges, S.V., 2001, "Condutividade térmica do suco de laranja", *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Vol. 3, No. 1, pp. 101-104.
- Resende, J.V.; Silveira Jr., V., 2002, "Medidas da condutividade térmica de modelos de polpas de frutas no estado congelado". *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol.22, No.2, pp.177-183.
- Soares, E.C.; Oliveira, G.S.F. de; Maia, G.A.; Monteiro, J.C.S.; Silva Jr., A.; Filho, M. de S., 2001, "Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo "foam-mat"", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 21, n.2, p.164-170.
- Souza, D., 2008, "Estudo das propriedades físicas de polpas e néctares de pequenos frutos". Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Telis-Romero, J.; Telis, V.R.N.; Gabas, A.L.; Yamashita, H.F., 1998, "Thermophysical properties of Brazilian Orange juice as affected by temperature and water content". *Journal of Food Engineering*, V.38, pp.27-40.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

WEST INDIAN CHERRY PULP THERMOPHYSICAL PROPERTIES DETERMINATION: A FLASH METHOD APPLICATION

Mirtes Aparecida da Conceição Silva¹, mirtesacs@yahoo.com.br

Zaqueu Ernesto da Silva¹, zaqueu@ufpb.les.br

Edilma Pereira Oliveira¹, edilma_eng@yahoo.com.br

Andréa Samara Santos Oliveira², andsamara@hotmail.com

Cristiane Kelly Ferreira da Silva¹, criskfsilva@yahoo.com.br

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Laboratório de energia Solar, Campus I, Cidade Universitária – Castelo Branco, Cep: 58051-970, João Pessoa, PB – Brasil – Caixa postal: 5115

²Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Plácido Aderaldo Castelo, 1646, Planalto, Cep: 63040-000, Brasil

Abstract. *The development and utilization of experimental techniques for the thermophysical properties determination has interested many researchers because of its wide application in engineering problems. The aim of this paper is to present the use of the flash method for determining the thermal diffusivity and West Indian cherry pulps thermal conductivity calculation. The experimental procedure was performed in a micro-flash apparatus, model LFA 457 of Netzsch and the mathematical model was developed for liquid between metal plates. A liquid sample was subjected to the procedure and measured the evolution of temperature on the front side in order to obtain the value of its thermal diffusivity.*

Keywords: *thermal diffusivity, thermal conductivity, FLASH method, West Indian cherry*