



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

### SELEÇÃO DE METODOLOGIA PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SUCOS E POLPAS DE PEQUENAS FRUTAS – AMORA, FRAMBOESA, MORANGO E MIRTILO

D. de Souza<sup>1</sup>, L.D.F. Marczak<sup>1</sup>, I. C. Tessaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fenômenos de Transporte Aplicado a Alimentos

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,

E-MAIL:  [{daianas, ligia, isabel}@enq.ufrgs.br](mailto:{daianas, ligia, isabel}@enq.ufrgs.br)

**Palavras Chaves:** propriedades termofísicas, sucos, pequenas frutas

**Resumo:** A produção de pequenas frutas (morango, amora, framboesa e mirtilo) no Brasil vem sendo desenvolvida nos últimos vinte anos, principalmente no sul do país, como uma alternativa promissora para atender um vasto mercado de exportação na entressafra dos principais países produtores (Estados Unidos e Canadá). O processamento industrial destes frutos, para a obtenção de sucos e polpas, é uma alternativa para minimizar as perdas decorrentes da alta perecibilidade intrínseca a este tipo de alimento. Para a obtenção de sucos e polpas de pequenas frutas com alta qualidade nutricional e sensorial, há a necessidade de se conhecer o comportamento das propriedades físicas destes produtos nas condições de processo, já que elas são de fundamental importância no projeto, otimização, simulação e automação das operações unitárias envolvidas no processamento industrial. A predição teórica destas propriedades não traz bons resultados, pois a estrutura física e composição química destes alimentos são bastante variáveis. Assim, a experimentação é a melhor alternativa para a obtenção de modelos semi-empíricos que denotem o comportamento das propriedades físicas com a variação da temperatura e da composição química dos produtos. Existem diversas técnicas disponíveis para a realização de tais experimentos e a seleção dos métodos indicados para cada tipo de alimento demanda um estudo detalhado. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar as principais técnicas desenvolvidas até o momento para a determinação das seguintes propriedades físicas de alimentos: massa específica, difusividade térmica, condutividade térmica, calor específico e condutividade elétrica. A partir deste estudo, foi possível selecionar os principais métodos aplicáveis a sucos e polpas de frutas, que serão utilizados, posteriormente, para a determinação destas propriedades em sucos e polpas de morango, amora, framboesa e mirtilo.

#### 1 Introdução

O cultivo de pequenas frutas no Brasil tem despertado a atenção de produtores, comerciantes e consumidores especialmente nos últimos anos. Isto se deve à difusão da informação sobre as

características e propriedades funcionais de espécies como a amora, framboesa, morango e mirtilo – as “pequenas frutas” (termo empregado para este grupo de espécies já consagradas em países tradicionais produtores) – e é consequência direta da globalização dos hábitos de consumo de alimentos. Em relação às propriedades funcionais



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

destas frutas ditas “nutracêuticas”, Salgado (2003) destaca as vermelho-escuras e roxas tais como a amora, framboesa, mirtilo e morango, que além de apresentarem um alto conteúdo de Vitamina C e betacaroteno, são ricas em compostos fenólicos, fitoquímicos com um potencial antioxidante muito maior que essas vitaminas. Dentre os compostos fenólicos mais importantes encontrados nessas frutas, os flavonóides são os que apresentam maior ação terapêutica. Ligadas a vários açúcares, em complexos chamados glicosídeos, essas substâncias são divididas em sub-grupos, entre eles os das antocianinas, flavanas, flavanonas, flavonas, flavonóis e isoflavonóides. Inúmeros estudos (MARTINEAU et al., 2006; LAU et al., 2005; WANG et al., 2005) que investigam esses componentes presentes nas frutas mencionadas, indicam que eles são capazes de exercer efeitos protetores para o cérebro, retardando o envelhecimento e doenças relacionadas, além de possuírem atividade antioxidante, anticancerígena e antiinflamatória.

Por apresentarem estrutura frágil e alta atividade respiratória, a conservação pós-colheita das pequenas frutas é relativamente curta. Segundo Kluge et al. (1995), frutos pequenos possuem a tendência de ter alta taxa de desidratação durante o armazenamento refrigerado por apresentarem grande área de exposição.

O processamento industrial de sucos concentrados e polpas de pequenas frutas é uma alternativa para utilização dos frutos não adequados para venda in natura (tamanho inferior, defeitos na casca, etc.) bem como para a limitação imposta pela curta vida de prateleira dos mesmos. Estes produtos, além de poderem ser vendidos diretamente ao consumidor, podem ser utilizados pela indústria de alimentos na elaboração de outros produtos de grande interesse, como sorvetes, sucos prontos para beber, iogurtes, confeitos, geléias, etc. Tal alternativa agrega valor aos produtos “com baixo valor comercial”, trazendo benefícios ao setor produtivo.

O processamento destes produtos envolve operações de bombeamento, agitação, branqueamento, pasteurização, concentração e congelamento. O projeto, otimização, simulação e automação destas operações unitárias requerem o conhecimento das propriedades físicas destes alimentos. Dentre estas propriedades, têm-se as propriedades termofísicas, como a condutividade térmica ( $k$ ), a difusividade térmica ( $\alpha$ ) e o calor

específico ( $cp$ ); as propriedades de transporte, como a massa específica ( $\rho$ ); as propriedades elétricas, como a condutividade elétrica ( $k_e$ ); etc.

Segundo Resende e Silveira Jr. (2002), o conhecimento das propriedades físicas é essencial para a simulação da variação da temperatura no interior de alimentos durante as operações de processamento, além de ser importante para as estimativas dos tempos de processamento e da carga térmica dos produtos. Segundo Aguilar-Rosas et al. (2007), as propriedades elétricas são fundamentais para o projeto e simulação de outras técnicas de processamento térmico, tais como o aquecimento ôhmico e o tratamento elétrico via campo elétrico pulsado de alta voltagem.

Segundo Kostaropoulos e Saravacos (1996), devido à complexa estrutura física e variável composição química dos alimentos, a predição teórica de suas propriedades físicas não é possível, sendo então necessário que as mesmas sejam determinadas experimentalmente. Além disso, as propriedades físicas de sucos e polpas são afetadas por sua composição e pela temperatura. Por esta razão, é necessário o conhecimento dos seus valores como uma função da temperatura ( $^{\circ}C$ ) e da concentração de sólidos solúveis totais ( $^{\circ}Brix$ ), durante as operações de processamento (ZURITZ, et al., 2004; SARAVACOS e KOSTAROPOULOS, 1996). Assim, muitas destas, determinadas experimentalmente, são correlacionadas com modelos semi-empíricos e correlações. Segundo Telis-Romero et al. (1998), o uso, pelo meio industrial, destes modelos matemáticos são uma boa alternativa à experimentação e uma ferramenta muito importante na implementação de rotinas computadorizadas para a automação e o projeto de processos industriais.

Dados de propriedades físicas de sucos e polpas de pequenas frutas são escassos na literatura. Dickerson (1968), citado por Rahman (1995), determinou a massa específica de sucos de cereja, framboesa, morango e uva-do-monte (*bilberry*) em função do teor de sólidos solúveis. Zuritz et al. (2005) estudou a influência da temperatura (20 a  $80^{\circ}C$ ) e da concentração de sólidos solúveis (22,9 a  $70,6^{\circ}Brix$ ) na massa específica, no coeficiente de expansão térmica e na viscosidade de suco de uva clarificado.

Alvarado (1951), citado por Rahman (1995), determinou o calor específico de polpas de cereja, amora e morangos na faixa de temperaturas



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

de 20 a 40°C, em função do teor de água destes produtos.

Diniz et al. (2003) determinaram a condutividade elétrica de polpa de acerola, em concentrações que variaram de 8 a 22°Brix, na faixa de temperaturas de 25 a 60°C.

Um trabalho de predição de propriedades físicas, aplicada a sucos clarificados em função da concentração e da temperatura, pode ser encontrado em Peacock (1995), citado por Moura et al. (2003). O artigo apresenta modelos matemáticos de predição da elevação do ponto de ebulição, massa específica, entalpia, calor específico, solubilidade da sacarose, tensão superficial, condutividade térmica e viscosidade. O estudo mostra que existe alta correlação entre as propriedades físicas e a concentração e temperatura de produtos fluidos.

Face o exposto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar as principais técnicas utilizadas para a determinação das seguintes propriedades físicas de alimentos: massa específica, difusividade térmica, calor específico, condutividade térmica e condutividade elétrica; e servirá de base para a montagem de experimentos para a determinação de tais propriedades em sucos e polpas de pequenas frutas nas condições de processamento dos mesmos, com o intuito de ajustar modelos semi-empíricos que sirvam como informações de projeto de processos industriais.

A seguir, serão apresentadas as principais características dos métodos existentes para a determinação experimental destas propriedades em sucos e polpas e serão apontados mais detalhes sobre a importância destas propriedades para o meio industrial.

## 2. Técnicas de Determinação de Propriedades Físicas de Sucos e Polpas

### 2.1 Massa específica

A massa específica ( $\rho$ , com unidade no SI  $\text{kgm}^{-3}$ ) é uma das mais importantes propriedades de transporte; é amplamente usada em cálculos de processos e definida como a razão entre a massa do material [kg] e o seu volume [ $\text{m}^3$ ].

Segundo Rahman (1995), a transferência de calor e massa durante o processamento de alimentos altera sua massa específica. Em muitos cálculos de processos, a massa específica é

considerada constante, o que torna os procedimentos de cálculos mais simplificados. Porém, essa suposição não é válida para todos os casos. Altas temperaturas desnaturam alguns componentes dos alimentos e baixas temperaturas fazem a água mudar de fase, de forma que a massa específica é alterada. Recentemente, devido às aplicações computacionais de simulação de processos, surgiu a necessidade de quantificar o comportamento da massa específica dos alimentos nas condições de processamento. A massa específica é necessária para a predição dos tempos de congelamento e descongelamento de alimentos. E esta propriedade é uma das mais afetadas pelo congelamento, já que a mudança de fase da água contida no alimento altera grandemente o seu volume.

O método mais comum de determinação da massa específica de sucos e polpas é o picnométrico. Este é o método indicado pela AOAC (1990) para bebidas e concentrados (AOAC 950.28). Segundo Cecchi (2003), este método consiste na medida da massa de um volume conhecido do líquido em um picnômetro construído de vidro resistente com baixo coeficiente de expansão térmica. Ele é apresentado geralmente em 25 ou 50mL de volume e tem precisão até a quarta casa decimal.

Diversos pesquisadores utilizaram o método picnométrico para o estudo da influência da temperatura e do conteúdo de sólidos solúveis na massa específica de sucos e polpas de várias frutas; dentre eles Manohar et al. (1991), para suco de tamarindo; Bayindirli (1993), para suco de uva; Ramos e Ibarz, (1997) para sucos clarificados de pêra e laranja e polpas de maçã e marmelo; Telis-Romero, et al. (1998), para suco de laranja; Cepeda e Villarán, (1999) para suco de maçã; Zuritz et al. (2005) para suco de uva; Azoubel et al. (2005) para suco de caju. Constenla et al. (1989) compararam os métodos picnométrico e hidrostático para a determinação do comportamento da massa específica de suco de maçã clarificado com a variação da temperatura e do conteúdo de sólidos solúveis, não encontrando diferenças significativas entre os resultados obtidos pelos dois métodos.

Dados de massa específica de sucos congelados são escassos na literatura. Keppler e Boose (1970) citados por Rahman (1995), usaram cilindros metálicos espessos para a medição da massa específica de soluções de sacarose congeladas. A determinação da massa específica



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

por este método consiste em preencher os cilindros metálicos (de volume conhecido) com a amostra, submetê-la ao congelamento e pesar o sistema constituído pelo cilindro mais a amostra ainda congelado.

### 2.2 Difusividade térmica

A difusividade térmica ( $\alpha$ , com unidade no SI  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) é a relação entre a capacidade do material em transportar calor e sua capacidade de armazená-lo, sendo definida como a razão entre a condutividade térmica do material ( $k$  [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]) e a sua capacidade calorífica volumétrica ( $\rho \cdot c_p$  [ $\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ ]).

Segundo Rahman (1995), a principal aplicação da difusividade térmica é na estimativa dos tempos de processamento na apertização, aquecimento, resfriamento, congelamento, cozimento ou fritura dos alimentos.

A difusividade térmica pode ser determinada através de medições diretas, ou utilizando a sua definição, com a determinação prévia dos valores de condutividade térmica, calor específico e massa específica dos alimentos. Segundo Rahman (1995), as medições diretas podem ser classificadas em: métodos baseados na solução analítica da equação de condução de calor em regime transiente [métodos de Dickerson (1965), de Hayakawa (1973), de Nordon e Bainbridge (1979), de Olivares, Guzman e Solar (1986), de Moore e Bilanski (1992)] e métodos baseados na solução analítica, fatores  $j$  e  $f$  [métodos de Bhowmik e Hayakawa (1979), de Uno e Hayakawa (1980), de Singh (1982), de Poulsen, (1982), de Nesvadba (1982), dentre outros].

Nunes et al. (2002) afirmam que os métodos em regime transiente são muito utilizados na determinação da difusividade e condutividade térmicas, devido às vantagens de rapidez na obtenção dos resultados e das condições de testes se aproximarem com as de processamento.

O método de Dickerson (1965) é o mais utilizado na determinação direta da difusividade térmica de alimentos. Ele se aplica para o estudo desta propriedade em alimentos sólidos, granulares e na forma de pós (KOSTAROPOULOS E SARAVACOS, 1996; MAGEE E BRANSBURG, 1995), bem como para líquidos e géis (SAKIYAMA ET AL., 1999; BELIBAGLI ET AL. 2003; MOURA ET AL., 2003) Segundo Dickerson

(1965), a precisão do equipamento é da ordem de 5% e os dados são obtidos com até duas horas de experimento sem a necessidade de período de equilíbrio nem de medida de fluxo de calor. Quando as propriedades térmicas são usadas para prever a transferência de calor transiente, possíveis variações das mesmas com a temperatura não podem ser ignoradas. Devido a isto, neste modo de operação que submete a amostra a uma condição de contínuo aumento de temperatura, são obtidos dados aplicáveis na faixa de temperatura na qual o teste é conduzido. O aparelho também detecta pontos de descontinuidade, tais como mudanças de estado.

O aparato de medição proposto por Dickerson (1965) consistia em uma célula cilíndrica de latão cromado com duas tampas de teflon, como mostrado esquematicamente na Figura 1. Um termopar soldado na superfície externa da célula monitorava a temperatura da amostra no raio R (raio externo) enquanto que outro termopar indicava a temperatura no centro da amostra. O diâmetro interno do tubo era 54mm e seu comprimento 229mm. Depois de a amostra ter sido acomodada no interior do cilindro, o mesmo era colocado em um banho de água com uma boa agitação.

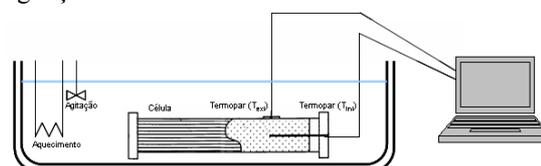


Figura 1 – Esquema do aparato de Dickerson

Como Moura et al. (2003) complementam, após o equilíbrio térmico entre a célula e o banho, inicia-se o aquecimento da água no banho a uma taxa de elevação da temperatura constante, sendo as temperaturas monitoradas ao longo de todo o processo. Os dados obtidos servem de base para o tratamento gráfico dos perfis de evolução das temperaturas externa (no raio R) e interna (no centro da amostra) (Figura 2).

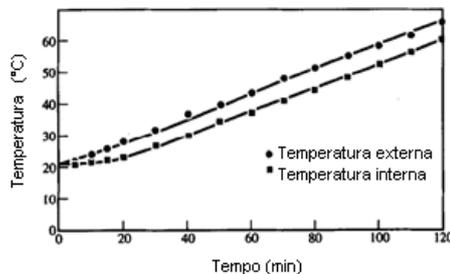


Figura 2 – Evolução das temperaturas com o tempo

Assim, a difusividade térmica pode ser calculada a partir da solução analítica da equação de condução de calor em regime transiente para um cilindro infinito, dada por:

$$\alpha = \frac{A.R^2}{4(T_{ext} - T_{int})} \quad (1)$$

onde A é a taxa de elevação constante da temperatura da água no banho [ $^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$ ], R é o raio da célula [m] e  $(T_{ext} - T_{int})$  é a diferença entre a temperatura na superfície e a temperatura no centro da célula [ $^{\circ}\text{C}$ ].

O valor de A, assumido para o cálculo, é o obtido a partir da fase constante de subida da temperatura do banho.

### 2.3 Calor específico

O calor específico (C, com unidades no SI  $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) é definido como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma unidade de massa do material em um  $^{\circ}\text{C}$ . O calor específico depende da natureza do processo de adição de calor, ou seja, se ele ocorre à pressão constante ou a volume constante. Segundo Mohesenin (1980), citado por Rahman (1995), como a maior parte das operações de processamento dos alimentos ocorrem à pressão atmosférica, o calor específico para alimentos é usualmente apresentado à pressão constante ( $c_p$ ).

Segundo Rahman (1995) o conhecimento do calor específico é necessário para o cálculo do calor transferido em uma operação de processamento. Além disso, o estado da água nos alimentos pode ser identificado pela medida desta propriedade.

O mesmo autor afirma que as técnicas de medição do calor específico podem ser agrupadas

em: método de mistura, método adiabático e calorimetria diferencial de varredura (DSC – *Differential scanning calorimeter*).

O método adiabático, proposto por Moline et al. (1961) é indicado para a medição do calor específico de produtos no estado congelado.

Segundo Telis-Romero (1998), o método mais indicado atualmente para a medição desta propriedade em alimentos é através da utilização do calorímetro diferencial de varredura, como AbuDagga et al. (1997) utilizaram-no para a determinação do cp de pasta de surimi na temperatura de cozimento e Shamsudin et al. (2005), na determinação das propriedades termofísicas de suco de goiaba. Porém, Sweet (1995) citado por Shamsudin et al. (2005) e por Telis-Romero et al. (1998), afirma que ele apresenta as desvantagens de ser um método extremamente caro e de difícil condução.

Segundo Mohsenin (1980), citado por Rahman (1995), o método de mistura também é amplamente utilizado para a medição do calor específico. Neste, uma amostra de massa e temperatura conhecidas é colocada no interior de um calorímetro de calor específico conhecido contendo água ou outro líquido de massa e temperatura conhecidas. O calor específico da amostra é determinado a partir de um balanço de energia que mensura o calor trocado entre a água e a amostra.

Hwang e Hayakawa (1979) citados por Rahman (1995), desenvolveram um calorímetro baseado neste método, com o qual obtiveram erros menores que 2%. Moura et al. (2003), em um estudo das propriedades termofísicas de soluções modelo similares a sucos, realizaram uma adaptação do calorímetro de Hwang e Hayakawa (1979), aplicável a sucos. No seu experimento, Moura et al. (2003) utilizaram um calorímetro composto de uma garrafa térmica de capacidade volumétrica de 1L com uma tampa plástica por onde passava um termopar utilizado para o monitoramento da temperatura no interior do dispositivo. As amostras da solução modelo, com massas variando entre 50 e 100g, foram acondicionadas em embalagens de polietileno, seladas previamente e armazenadas a  $5^{\circ}\text{C}$ . Após a introdução de uma massa de água conhecida no calorímetro (com temperatura igualmente conhecida), foi introduzida a amostra e monitorada a temperatura no interior do calorímetro até o equilíbrio térmico, com o sistema sendo agitado



continuamente em um “shaker”. Utilizando os dados obtidos, foi construído um gráfico da temperatura x tempo, que pode ser observado a seguir:

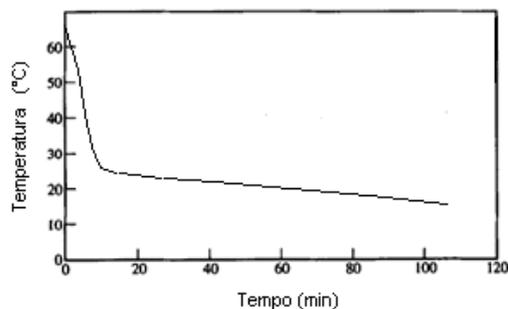


Figura 3 – Evolução da temperatura no interior do calorímetro

A regressão linear foi determinada pela etapa linear da curva e, para o cálculo do calor específico, utilizou-se a equação derivada do balanço de energia para o sistema, dada por:

$$c_p = \frac{(H_k + c_{pw} \cdot w_w) [T_{fw} - T_{ow} - (dT/dt)t_e] + C_{ps} \cdot w_s [T_{fw} - T_{oc} - (dT/dt)t_e]}{w_c [(T_{oc} - T_{fw}) + (dT/dt)t_e]} \quad (2)$$

onde:

$c_p$  – calor específico da amostra [cal/g°C]

$H_k$  – capacidade térmica do calorímetro [cal/°C]

$c_{pw}$  – calor específico da água destilada [cal/g°C]

$w_w$  – massa de água destilada [g]

$T_{fw}$  – temperatura correspondente ao início da parte reta da curva tempo x temperatura da água destilada [°C]

$T_{ow}$  – temperatura inicial da água destilada [°C]

$dT/dt$  – inclinação da curva tempo x temperatura da água destilada [°C/min]

$t_e$  – tempo correspondente a  $T_{fw}$  da curva tempo x temperatura da água destilada [min]

$c_{ps}$  – calor específico da embalagem de polietileno [cal/g°C]

$w_s$  – massa da embalagem de polietileno [g]

$w_c$  – massa da amostra [g]

$T_{oc}$  – temperatura inicial da amostra [°C]

## 2.4 Condutividade térmica

A taxa na qual o calor flui por condução através de um material pode ser predita pela Lei de Fourier:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

(3)

onde  $Q$  é a taxa de calor ( $\text{Js}^{-1}$ ),  $A$  é a área de transferência de calor normal ao fluxo ( $\text{m}^2$ ),  $(\partial T/\partial x)$  é o gradiente de temperatura na direção  $x$  e a constante de proporcionalidade é a condutividade térmica  $k$  ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ).

Murakami e Okos (1989), citados por Rahman (1995), dividem as técnicas de determinação experimental da condutividade térmica em três grupos principais, ambos baseados na solução da equação para condução de calor: técnicas em estado estacionário, técnicas em estado pseudo-estacionário e técnicas em regime transiente. Dentre as técnicas estado estacionário, pode-se citar o método das placas planas aquecidas, o método dos cilindros concêntricos, de Bellet et al. (1975) e o método do fluxo de calor de Haas e Felsenstein (1978). Dentre as técnicas em estado pseudo-estacionário, tem-se o método de Fitch, o método de Cenco-Fitch, o método de Zuritz et al., o método de Rahman-Fitch e o método do perfil de temperaturas em uma placa aquecida. As técnicas transientes compreendem o método da fonte linear de aquecimento, o método do comparador térmico, de Powel (1957) e o método do histórico de temperaturas, de Keepler e Boose (1970).

O método da fonte linear de aquecimento, desenvolvido por Van der Held e Van Drunen em 1949, é o mais usado para alimentos particulados, grãos, pós, líquidos e frutas inteiras; e se baseia na solução da equação do Fourier de condução de calor para uma fonte linear de calor semi-infinita, homogênea e isotrópica. Na aplicação prática, um fluxo de calor constante é aplicado em uma célula cilíndrica produzindo um aumento da temperatura na mesma. A condutividade térmica é determinada em função do tempo de resposta da mudança de temperatura da amostra contida na célula.

Shamsudin et al. (2005) utilizaram esta técnica para a determinação da condutividade térmica em suco de goiaba e Azoubel et al. (2005), para suco de caju. Telis-Romero et al. (1998), utilizaram a técnica proposta por Bellet et al. (1975)



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

na determinação das propriedades termofísicas e suco de laranja.

O método de Keepler e Boose (1970), citado por Rahman (1995) é aplicado para a determinação das propriedades termofísicas (condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico) em produtos congelados. Esta técnica é baseada no histórico de temperaturas no centro e na parede de uma célula cilíndrica de alumínio contendo a amostra, durante o seu descongelamento.

### 2.5 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica específica ( $k_e$ , com unidade  $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  ou  $\text{Scm}^{-1}$ ) é o inverso da resistividade de um material, sendo definida como segue:

$$k_e = \frac{1}{\rho} = \frac{I}{U} \cdot \frac{L}{A} = \frac{1}{R} \cdot \frac{L}{A} \quad (4)$$

onde, U é a força eletromotriz (V), I é a corrente elétrica (A), R é a resistência à passagem de corrente elétrica do material ( $\Omega$ ), L é a distância entre os eletrodos (cm), A é a seção reta dos eletrodos ( $\text{cm}^2$ ) e  $\rho$  é a resistividade do material ( $\Omega\cdot\text{cm}$ ).

Watson et al. (1979) citados por Moura (1998) utilizaram a condutividade elétrica como parâmetro de correlação na determinação rápida do conteúdo de umidade em milho estocado. Salé (1974), citado por Moura (1998), utilizou esta propriedade na diferenciação entre carne fresca e descongelada.

Segundo de Alwis e Fryer (1992), citados por Castro et al. (2004), ultimamente, esta propriedade tem sido mais amplamente estudada devido à sua importância no aquecimento ôhmico, um processo onde a corrente elétrica passa através dos alimentos com o objetivo de aquecê-los, sendo o calor gerado devido à resistência elétrica dos mesmos. A maior vantagem deste processo é proporcionar um aquecimento rápido e uniforme dos materiais. Além disso, no caso de alimentos de elevada viscosidade ou alimentos contendo partículas sólidas, esta tecnologia de aquecimento é particularmente interessante uma vez que é possível que a fase líquida e sólida tenham a mesma taxa de aquecimento, evitando, assim, o sobreaquecimento das partículas/zonas mais externas. As potenciais

aplicações industriais deste processo são muito vastas e incluem o descongelamento, o branqueamento, a evaporação, a desidratação, a fermentação, a pasteurização, etc.

Dentro do aquecimento ôhmico, um estudo das alterações na condutividade elétrica durante o processo foi desenvolvido por Halden et al. (1990), citados por Moura (1998). O estudo mostra que a condutividade elétrica é função da temperatura e que irá refletir diretamente na taxa de aquecimento. A destruição do arranjo celular assim como a destruição da pectina em frutos podem aumentar a condutividade elétrica pelo aumento da mobilidade dos íons.

Além deste, vários trabalhos têm mostrado as vantagens e desvantagens do aquecimento ôhmico, frente ao tratamento térmico convencional. Dentre eles está o de Pain et al. (1995) citados por Moura (1998), onde é ressaltada a importância do conhecimento das características elétricas, reológicas, microbiológicas, organolépticas e nutricionais dos produtos a serem tratados.

O método mais comum e amplamente utilizado na determinação da condutividade elétrica de soluções é através do uso do condutivímetro digital, como Moura (1998) utilizou para sucos de tangerina, abacaxi e limão; Sobolik, et al. (2002), para soluções de café solúvel; Diniz et al (2003), para polpa de acerola e Legrand et al. (2007), para feijão cozido.

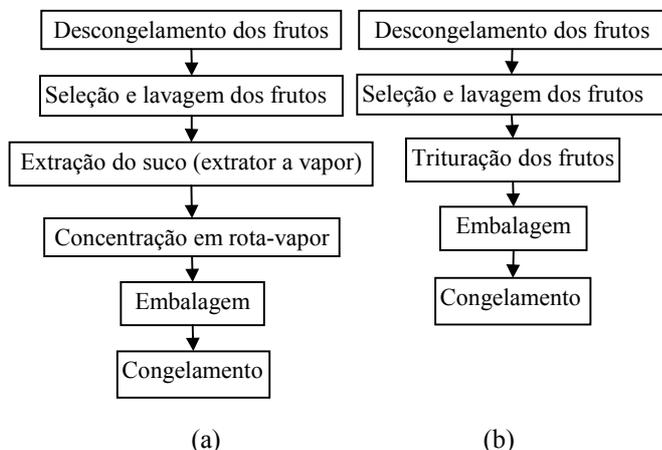
### 3. Metodologia proposta

A partir do estudo realizado, propõe-se a seguinte metodologia para a determinação das propriedades físicas em sucos e polpas de pequenas frutas.

#### 3.1 Preparação e caracterização das amostras

As amostras (sucos clarificados e polpas integrais) serão processadas a nível laboratorial, a partir de frutas congeladas adquiridas no comércio local.

O processamento dos produtos será realizado conforme apresentado nos fluxogramas da Figura 4.



**Figura 4** – (a) Fluxograma de obtenção do sucos concentrados e congelados, (b) Fluxograma de obtenção da polpas integrais e congeladas

A extração dos sucos será realizada a quente, com um extrator a vapor, uma vez que tal procedimento proporciona uma maior rendimento na extração dos compostos fenólicos (antocianinas) dos frutos e agiliza a tarefa de separação do conteúdo mucilaginoso (polpa e casca) do suco. O produto obtido desta extração é um suco clarificado, que pode ser conduzido diretamente para a etapa de concentração, a ser realizada em rota-vapor laboratorial até que o produto atinja 60°Brix. Após a concentração, os produtos serão embalados e armazenados sob congelamento (-18°C) para a posterior realização das análises.

A elaboração das polpas integrais será realizada com a utilização de um extrator que tritura as frutas integralmente. As polpas serão embaladas e armazenadas sob congelamento (-18°C), para a posterior realização das análises.

Será realizada a caracterização físico-química dos produtos, determinando-se o pH, a acidez total e o teor de sólidos solúveis, pelos respectivos métodos oficiais AOAC (1990).

### 3.2 Determinação das Propriedades Físicas dos Sucos e Polpas

As propriedades físicas dos sucos serão determinadas nas concentrações de 10 a 60°Brix (o suco concentrado será diluído com água destilada para preparação das amostras). As propriedades

físicas das polpas serão determinadas para os produtos nas suas concentrações naturais obtidas na extração. Todas as amostras serão ensaiadas nas temperaturas de 30 a 70°C.

A massa específica dos sucos e das polpas será determinada conforme o método picnométrico.

A difusividade térmica será determinada segundo o método de Dickerson (1965).

O calor específico será determinado conforme método de Moura et al (2003).

A condutividade térmica será determinada através da definição da difusividade térmica, com o conhecimento das demais propriedades dos produtos.

A condutividade elétrica será determinada com auxílio do condutivímetro digital Digimed DM-31.

As análises estatísticas e ajustes de modelos semi-empíricos serão realizados com auxílio do software Statistica.

## 4. Conclusão

O conhecimento do comportamento das propriedades físicas de quaisquer alimentos são fundamentais para o dimensionamento adequado das operações de processamento, com vistas à obtenção de processos que apresentem um consumo racional de energia e que gerem produtos com qualidades sensorial e nutricional superiores, devido à minimização de sobreprocessamentos. A predição teórica das propriedades físicas dos alimentos não apresenta resultados satisfatórios, devido à complexa estrutura física e variável composição química dos mesmos. Assim, a melhor alternativa é a experimentação e o ajuste de modelos semi-empíricos que denotem o comportamento das propriedades como uma função das condições de processamento industrial.

A partir do estudo teórico realizado foi possível selecionar uma metodologia simples e de baixo custo para a obtenção experimental das propriedades físicas de sucos e polpas de pequenas frutas.

## 5. Bibliografia



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

- ABUDAGGA, Y.; KOLBE, E. (1997) Thermophysical Properties of Surimi Paste at Cooking Temperature. *Journal of Food Engineering*, 32, 315-337.
- AGUILAR-ROSAS, S.F.; BALLINAS-CASARRUBIAS, M.L.; NEVA, G.V. (2007) Thermal and pulsed electric fields pasteurization of Apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. *Journal of Food Engineering*, doi:10.1016/j.foodeng.2006.12.011
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990) *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*, Washington: AOAC, 1018p.
- AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL-AOUAR, A. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. (2005) Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. *Journal of Food Engineering*, 66, 413-417.
- BAYINDIRLI, L. (1993) Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperature. *Journal of Food Processing & Preservation*, 17, 147-151.
- CASTRO, I.; REIS, N.; TEIXEIRA, J. A.; VICENTE, A. A. (2004) Simulações numéricas do processamento asséptico de polpa de morango num aquecedor ôhmico contínuo. *Métodos computacionais em engenharia*. s/n, 1-12.
- CECCHI, H. M. (2003) *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. Campinas: Editora da UNICAMP. 207p.
- CEPEDA, E.; VILLARÁN, M. C. (1999) Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 41, 103-107.
- 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*, 54, 663-668.
- DICKERSON, R.W. (1965) An apparatus for measurements of Thermal Diffusivity of Foods, *Food Technology*, v. 19, n. 5, 198-204.
- DINIZ, E.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. (2003) Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, n.1, 9-17.
- GINER, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. (1996) Rheology of Clarified Cherry Juices. *Journal of Food Engineering*, 30, 147-154.
- IBARZ, A.; MIGUELSANZ, R. (1989) Variation with temperature and soluble solids concentration of the density of a depectinised and clarified pear juice. *Journal of Food Engineering*, 10, 319-323.
- KLUGE, R.; HOFFMAN, A.; NACHTIGAL, J. C.; BILHALVA, A. B.; SANTOS, A. M. (1995) Frigoconservação de frutos de mirtilo (*Vaccinium ashei Reade*) cv. Clímax. *Rev. Bras. de Agrociência*, v.1, nº 3, 185-188.
- LAU, F. C.; SHUKITT-HALE, B.; JOSEPH, J. A. (2005). The beneficial effects of fruit polyphenols on brain aging. *Neurobiology of Aging*, 26, 128-132.
- LEGRAND, A.; LEUTIET, J. -C.; DUQUESNE, S.; KESTELOOT, R.; WINTERTON, P.; FILLAUDEAU, L. (2007) Physical, mechanical, thermal and electrical properties of cooked red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for continuous ohmic heating process. *Journal of Food Engineering*, 81, 447-458.
- MAGEE, T. R. A.; BRANSBURG, T. (1995) Measurement of thermal diffusivity of potato, malt bread and wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 25, 223-232.
- MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYSANKAR, K. (1991) Some physical properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *Journal of Food Engineering*, 13, 241-258.
- MARTINEAU, L. C.; COUTURE, A.; SPOOR, D.; BENHADDOU-ANDALOUSSI, A.; HARRIS, C.; MEDDAH, B.; LEDUC, C.; BURT, A.; VUONG, T.; LE, P. M.; PRENTKI, M.; BENNETT, S. A.; ARNASON, J. T.; HADDAD, P. S. (2006) Anti-diabetic properties of the Canadian lowbush blueberry *Vaccinium angustifolium* Ait. *Phytomedicine*, 13, 612-623.
- MOLINE, S. W.; SAWDYE, J. A.; SHORT, A. J.; RINFRET, A. P. (1961) Thermal properties of foods at low temperatures. I. Specific Heat. *Food Technology*, s/n, 228-231.



## VI-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

23, 24 E 25 DE OUTUBRO DE 2007

- MOURA, S. C. S. R. (1998) Estudo da atividade de água e da condutividade elétrica em sucos concentrados de frutas tropicais. *Dissertação de mestrado*. Campinas: UNICAMP, 106p.
- MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. (2003) Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a sucos – parte I. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23(1), 62-68.
- NUNES, A. S.; PARK, K. J.; FABBRO, I. M. (2002) Métodos de determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de materiais biológicos – Revisão. *Bol. SBCTA*, 36, 55-68.
- RAHMAN, S. (1995) *Food properties Handbook*. CRC Press: USA, 500p.
- RAMOS, A. M.; IBARZ, A. (1998) Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. *Journal of Food Engineering*, 35, 57-63.
- RESENDE, J. V.; SILVEIRA JR., V. (2002) Medidas da condutividade térmica efetiva de modelos de polpas de frutas em estado congelado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 22(2), 177-183.
- SAKIYAMA, T., AKUTSU, M.; MIYAWAKI, O.; YANO, T. (1999) Effective thermal diffusivity of food gels impregnated with air bubbles. *Journal of Food Engineering*, 39, 323 – 328.
- SALGADO, J. M. (2003) O emprego da amora, framboesa, mirtilo e morango na redução do risco de doenças. In: *1º Seminário Brasileiro Sobre Pequenas Frutas*. Anais... Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 33-36.
- SARAVACOS, G.D.; KOSTAROPOULOS, A.E. (1996). Engineering properties in food processing simulation. *Computers chem. Engng*, 20, 461-466.
- SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I. O.; YAMAN, N. K. M. (2005) Thermophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. *Journal of Food Engineering*, 66, 395-399.
- SOBOLÍK, V.; ZITNÝ, R.; TOUCIGRECKO, V.; DELGADO, M.; ALLAF, K. (2002) Viscosity and electrical conductivity of concentrated solutions of soluble coffee. *Journal of Food Engineering*, 51, 93-98.
- TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L. & YAMASHITAH F. (1998). Thermophysical Properties of Brazilian Orange Juice as Affected by Temperature and Water Content. *Journal of Food Engineering*, 38, 27-40.
- WANG, Y.; CHANG, C.; CHOU, J.; CHEN, H.; DENG, X.; HARVEY, B. K.; CADET, J. L.; BICKFORD, P. C. (2005) Dietary supplementation with blueberries, spinach, or spirulina reduces ischemic brain damage. *Experimental Neurology*, 193, 75- 84.
- ZAINAL, B. S.; RAHMAN, R. A.; ARI, A. B.; SAARI, B.N.; ASBI, B.A. (2000) Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. *Journal of Food Engineering*, 43, 55-59
- ZURITZ, C.A.; MUNÔZ PUNTES, E.; MATHEY, H. H.; PÉREZ, E. H.; GASCÓN, A.; RUBIO, L. A.; CARULLO, C. A.; CHERNIKOFF, R. E.; CABEZA, M. S. (2005) Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. *Journal of Food Engineering*, 71, 143-149.