



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA: ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS



ESTÁGIO SUPERVISIONADO

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE MANGA ESPADA

ALUNO: EDVALDO ELOY DANTAS JÚNIOR

MATRÍCULA: 20211134

ORIENTADOR: Prof. Dr. ALEXANDRE JOSÉ DE MELO QUEIROZ

Campina Grande - Paraíba

Maio – 2007



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO

EDVALDO ELOY DANTAS JÚNIOR

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE MANGA ESPADA

BANCA EXAMINADORA:

NOTA

Alexandre J M Queiroz

9,0

Alexandre José de Melo Queiroz – Orientador

Rossana M^a F. de Figueiredo

8,5

Rossana Maria Feitosa de Figueiredo - Examinadora

Josivanda P. Gomes

9,5

Josivanda Palmeira Gomes - Examinadora

MÉDIA FINAL = 9,0

Campina Grande - Paraíba

Mai - 2007

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE MANGA ESPADA

EDVALDO ELOY DANTAS JÚNIOR

Estágio supervisionado apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de graduando em Engenharia Agrícola.

ÁREA: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Campina Grande - Paraíba

Mai - 2007

DEDICATÓRIA

A minha mãe Lucia Verônica Castor Eloy Dantas, que foi uma verdadeira guerreira me conduzindo até aqui e me fazendo um homem honrado.

As minhas tias Maria Bernadete e Marilene que me ajudaram e ajudam a transpor todos os desafios.

Deus abençoe vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao senhor meu Deus, fonte de força e esperança ao longo de toda minha vida.

Aos meus avós, Aderbal Castor do Rego, Eraldo Moraes de Sousa Dantas, Inez de Araujo Castor (*in memoriam*) e Maria Cibele Eloy de Sousa Dantas, por terem me proporcionarem os meios para eu chegar até aqui.

Aos meus pais, e em especial a minha mãe por estar sempre ao meu lado conduzindo-me pelos melhores caminhos a serem trilhados.

A todos os meus tios, em particular a Marilene, Bernadete, Ione, Lourdes, Leverrier e ao meu tio José Erico e Rosangela. A minha irmã Virginia, a todos os meus primos, a minha namorada Núbia Pereira da Costa, por esta sempre me dando incentivo.

A todos os meus mestres, em particular a que me ensinou a ler e escrever “Ledinha” e aos meus atuais professores Alexandre, Rossana, Elita, Josivanda, José Dantas, que me ensinam as melhores lições da vida.

A todos os meus colegas de curso e amigos, principalmente aqueles que ajudaram diretamente no meu estágio supervisionado, sem eles não teria conseguido. Agradeço a todos vocês pela paciência e por terem sido verdadeiros irmãos nas horas de alegrias e desafios que passamos juntos.

*A todos agradeço do fundo do coração,
com vocês tudo foi mais fácil.*

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - A manga	3
2.2 - Propriedades termofísicas	4
2.2.1 - Massa específica	5
2.2.1.1 - Massa específica de sólidos	5
2.2.1.2 - Massa específica de líquidos	6
2.2.1.3 - Métodos de predição da massa específica	7
2.2.2. Difusividade térmica	10
2.2.2.1 - Método do cilindro infinito para determinação da difusividade térmica	10
2.2.2.2 - Equações de predição da difusividade térmica	12
2.2.3 - Calor específico	14
2.2.3.1 - Métodos de determinação do calor específico	15
2.2.3.2 - Equações de predição do calor específico	16
2.2.4 - Condutividade térmica	18
2.2.4.1 - Métodos de determinação	19
2.2.4.2 - Equações de predição da condutividade térmica	20
3 - MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 - Matéria prima	23
3.1.1 - Processamento da matéria-prima	23
3.1.1.1 - Seleção	23
3.1.1.2 - Lavagem	24
3.1.1.3 - Despolpamento	24
3.1.1.4 - Acondicionamento	24
3.1.1.5 - Congelamento	24
3.1.1.6 - Armazenamento	25
3.2 - Propriedades termofísicas	25
3.2.1 - Massa específica	25
3.2.2 - Difusividade térmica	26
3.2.3 - Calor específico	28

3.2.4 - Condutividade térmica	30
3.3 - Análise estatística	31
3.4 - Erros	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1- Caracterizações da polpa.....	32
4.1.1 Sólidos solúveis totais	32
4.1.2 - Teor de umidade	32
4.2 - Determinação das propriedades termofísicas	33
4.2.1 - Massa específica	33
4.2.2 - Difusividade Térmica	37
4.2.3 - Calor específico	38
4.2.4 - Condutividade térmica	40
5. CONCLUSÕES.....	43
6. SUGESTÕES.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Fluxograma do processamento da manga cv. espada e determinação das propriedades termofísicas	23
Figura 3.2 - Fruto de manga espada selecionado	24
Figura 3.3 - Aparelho utilizado para medir a difusividade térmica.....	26
Figura 3.4 - Desenho esquemático do calorímetro com o termopar conectado ao indicador de temperatura	28
Figura 4.1 - Comportamento da massa específica em função da temperatura para polpa de manga espada	34
Figura 4.2 - Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de manga integral.....	37
Figura 4.3 - Diagrama da temperatura versus tempo para determinação da difusividade térmica	38
Figura 4.4 - Dados experimentais de condutividade térmica em função da temperatura com ajustes lineares e quadráticos para polpa de manga espada.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Equações de predição da massa específica de alimentos	25
Tabela 3.2 - Modelos literários de Predição para difusividade térmica de alimentos ...	28
Tabela 3.3 - Equações para predição do calor específico de alimentos.....	30
Tabela 3.4 - Equações para predição da condutividade térmica de alimentos.....	30
Tabela 4.1 - Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de manga espada integral	32
Tabela 4.2 - Umidade (%) da polpa de manga integral	32
Tabela 4.3 -Valores médios da massa específica da polpa de manga espada nas temperaturas de 10 a 50 °C, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)	33
Tabela 4.4 – Equações de predição da massa específica da polpa de manga	34
Tabela 4.5 - Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de manga integral.....	35
Tabela 4.6 - Valores médios da massa específica, da polpa de manga nas diferentes temperaturas	35
Tabela 4.7 - Valores da massa específica (kg/m^3) da polpa de manga espada obtidos por modelos de predição e erros respectivos	36
Tabela 4.8 - Difusividade térmica da polpa de manga integral	38
Tabela 4.9 - Difusividade térmica da polpa de manga calculada por meio de equações de predição.....	39
Tabela 4.10 - Calor específico ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$) da polpa de manga integral	39
Tabela 4.11 - Valores do calor específico obtidos por meio de modelos	40
Tabela 4.12 - Valores experimentais de condutividade térmica de polpa de manga espada para temperaturas de 10 a 50° C.....	41
Tabela 4.13 - Condutividade térmica da polpa de manga espada calculada por meio de equações e os erros percentuais	41

1 - INTRODUÇÃO

A manga (*Mangífera indica* L.) destaca-se como uma fruta de alto valor comercial em muitas regiões do mundo, principalmente as tropicais. Universalmente considerada uma das mais delicadas frutas do mundo, além de reconhecido valor nutritivo a manga é, segundo a FAO (2004), a quarta fruta dos trópicos em importância no mercado internacional, depois da banana, do abacaxi e do abacate.

Nas últimas décadas, a produção mundial de manga e o comércio exterior apresentaram tendência de grande expansão. Todavia, a maior parte da produção mundial ainda é consumida nos próprios países produtores, com as exportações representando apenas uma parcela pequena da quantidade produzida. Os países em desenvolvimento são os grandes produtores e exportadores, enquanto os países desenvolvidos são os principais importadores.

A produção de frutas vem se apresentando como um dos setores que têm contribuído decisivamente para o desenvolvimento do Nordeste brasileiro. A incorporação de vastas áreas do semi-árido por meio de técnicas para a produção agrícola, especialmente na área de influência do rio São Francisco, permitiu a realização de grandes investimentos para a implantação de projetos agropecuários, entre os quais se destaca a produção de frutas.

Entre 1961 e 2001, a produção mundial de manga apresentou um elevado crescimento, com o Brasil acompanhando essa tendência de expansão e tornando-se grande produtor e exportador mundial. Em termos da produção por país, os maiores produtores mundiais de manga são Índia, China, México, Tailândia, Paquistão, Indonésia, Filipinas, Brasil, Nigéria e Egito, os quais, em conjunto, responderam por cerca de 87% da produção mundial no ano de 1999 (SIQUEIRA, 2003).

O consumo de manga por habitante no mundo ainda é muito baixo, tanto nos países produtores quanto nos grandes importadores. Os dados sobre o consumo de manga por habitante mostram que, embora tenha aumentado bastante nas últimas décadas, ainda existe um grande público consumidor a ser conquistado.

Polpa de frutas é um produto que atende as necessidades de vários segmentos da indústria de produtos alimentícios, tais como as indústrias de sucos naturais, sorvetes, laticínios, balas, doces, geléias, etc. No Brasil, a polpa industrializada destina-se principalmente à produção de sucos concentrados, destinados ao abastecimento interno e ao setor de exportação.

Com o aumento dos processos de industrialização dos produtos provenientes do campo, como é o caso das polpas, surgem as necessidades de se obter informações mais detalhadas a respeito das propriedades químicas e físicas inerentes a cada produto. Conhecendo-se as propriedades de um determinado produto, o processo de industrialização torna-se mais otimizado por se ter um melhor dimensionamento dos equipamentos utilizados.

Muitas etapas de industrialização envolvem processos de transferência de calor, tornando-se imprescindível o conhecimento das propriedades termofísicas do produto. Assim, é de grande interesse o conhecimento de propriedades como massa específica, condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica de polpa de frutas.

1.1 - Objetivos

Mediante a crescente industrialização de produtos provenientes da agricultura como a polpa de manga e em especial de manga cv. espada, e da carência de informações a respeito das propriedades termofísicas deste produto, o presente trabalho tem como objetivos:

Determinar as propriedades termofísicas massa específica, calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica da polpa de manga cv. espada;

Comparar os valores determinados experimentalmente com os valores obtidos pela aplicação de equações de predição propostas em literatura;

Propor equação de predição para o cálculo da massa específica e condutividade térmica determinadas experimentalmente.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - A manga

A mangueira, originária do sudeste da Ásia, é cultivada na Índia há mais de 4.000 anos, e do arquipélago Malaio, de onde se disseminou por outras partes do mundo, inclusive as Américas. É uma árvore tropical que pertence à mesma família do cajueiro. Foi introduzida no Brasil primeiramente na Bahia pelos portugueses no início da colonização, espalhando-se rapidamente por todo país (SIQUEIRA, 2003).

A manga é uma fruta que tem grande aceitação no mercado, além de ser rica em vitamina C, apresentando valores que variam de 66,5 mg por 100 g na fruta verde, a 43,0 mg por 100 g na fruta madura (FRANCO, 1997), mas podendo chegar a 110 mg por 100g, dependendo da variedade (BLEINROTH, 1976). Também é riquíssima em vitamina A, sobretudo quando madura, e contém quantidades razoáveis de vitaminas do complexo B, além de alguns sais minerais, principalmente ferro.

O fruto varia muito em tamanho e cor. As mangas menores são do tamanho de uma nêspera, enquanto as variedades maiores chegam a pesar até 2 kg. Também na forma, os diferentes tipos de manga variam muito. Há redondas, ovais, alongadas e finas, do formato de um coração e até mesmo de um rim. Em relação à cor, podem ter casca bem verde, amarela ou vermelha, segundo a variedade. A polpa da manga é succulenta, com sabor bem característico, algumas vezes fibrosa e de cor que varia do amarelo-claro ao alaranjado-escuro.

No Brasil, existem cerca de quinhentas variedades de manga, entre as quais as mais conhecidas são (SIQUEIRA, 2003):

- ✓ manga-coquinho - de cor verde-amarelada, pequena e arredondada, muito doce e quase sem fibras.
- ✓ manga Aden - grande, de cor vermelho-amarelada, em forma de coração, doce e sem fibras.
- ✓ manga-rosa - um pouco menor que a manga Aden, de cor amarelo-rosada e polpa fibrosa.

✓ manga-espada - a árvore é muito vigorosa, porte elevado e muito produtiva. O fruto é verde intenso ou amarelo esverdeado, de tamanho médio (em torno de 300 g), com casca lisa e espessa. A polpa tem muita fibra e coloração amarelada.

✓ manga-coração-de-boi - muito parecida com a manga Bourbon, tem forma de coração, grande, de cor amarelo-esverdeada e polpa sem fibra.

Segundo PELEGRINE (1999) a manga é um fruto de regiões tropicais e subtropicais de grande demanda em todo o mundo, tanto para o seu consumo *in natura* quanto industrializado na forma de sucos, néctares, sorvetes e sobremesas gelificadas.

A polpa integral é amplamente utilizada na fabricação de produtos derivados da manga, a qual é submetida a vários processos de industrialização. Para que o processo de industrialização seja economicamente viável, é fundamental o conhecimento das propriedades termofísicas da polpa.

2.2 - Propriedades termofísicas

A indústria de alimentos utiliza grande quantidade de produtos oriundos da agricultura e em particular as polpas de frutas. Nos diversos processos da industrialização são necessárias operações que envolvem transporte de calor e massa como aquecimento, congelamento, resfriamento, desidratação, evaporação, secagem, 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.

As propriedades termofísicas de alimentos podem ser determinadas experimentalmente ou através do uso de modelos matemáticos que expressam estas propriedades geralmente em função dos sólidos solúveis, sólidos totais e temperatura (PEREIRA, 2001).

2.2.1 - Massa específica

A massa específica (Eq. 2.1) é dada pela relação entre a massa do produto e o seu volume. Esse parâmetro expressa a quantidade de matéria por unidade de volume e serve de parâmetro na caracterização de um produto.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

em que:

ρ - massa específica (kg m⁻³)

m - massa (kg)

V - volume (m³)

Segundo MOHSENIN (1980) em cálculos de transferência de calor é comumente utilizado o conceito de massa específica. Existem três tipos de massa específica relacionada com materiais biológicos:

- Massa específica volumétrica – refere-se à massa de unidades individuais intactas do material, colocadas em um determinado volume por um método específico. Este tipo de massa específica inclui o espaço poroso da massa do material.
- Massa específica aparente – refere-se a massa de cada unidade intacta do material dividido pelo volume da unidade. Este tipo de determinação inclui o espaço poroso dentro de cada unidade do material.
- Massa específica real – é dada através da relação entre a massa e a unidade de volume dos sólidos dentro de cada unidade do material, com o espaço poroso do volume ocupado pela amostra determinado pelo método do picnômetro de comparação a ar e deduzido do volume total.

2.2.1.1 - Massa específica de sólidos

A massa específica de partículas sólidas de alimentos pode ser medida por métodos de deslocamentos de líquido ou ar (CHOI & OKOS, 1986).

O método do deslocamento de líquido é uma técnica simples usada com produtos grandes tais como frutas, vegetais e grãos. Primeiramente pesa-se a amostra ao ar, fixa-se a

amostra em um suporte e realiza-se a pesagem com a amostra submersa menos a massa do recipiente com água. A massa da água deslocada é usada na Equação 2.2 para cálculo do volume.

$$V = \frac{m_w}{\rho_w} \quad (2.2)$$

Onde:

V - volume do produto (m³)

m_w - massa de água deslocada (kg)

ρ_w - massa específica da água (kg/m³)

Conhecendo-se a massa da amostra ao ar e o volume do produto dado pela Equação 2.2, calcula-se a massa específica do produto pela Equação 2.1.

O método do picnômetro de comparação de ar consiste de duas câmaras com uma válvula conectando-as e um indicador diferencial de pressão. O volume real da amostra é calculado através da Equação 2.3, sendo em seguida calculada a massa específica pela Equação 2.1.

$$V = V_1 - V_2 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad (2.3)$$

em que:

V - volume real da amostra (m³)

V₁ e V₂ - volumes das câmaras 1 e 2 (m³)

P₁ - pressão na câmara 1 (kgf/m²)

P₂ - pressão final depois de aberta a válvula conectada entre as câmaras 1 e 2 (kgf/m²)

2.2.1.2 - Massa específica de líquidos

O método do picnômetro é o mais utilizado dentre os métodos para determinação da massa específica de alimentos líquidos. O princípio do método é que: conhecendo-se o volume do picnômetro, preenche-se o mesmo com a amostra e pesa-se o conjunto. Subtrai-se a massa do picnômetro tendo a massa do produto, utilizando-se a Equação 2.1 encontra-se a massa específica da amostra. Mas, esta técnica deve ser usada com cautela em temperaturas elevadas, pois pode resultar em erros devido a evaporação da amostra.

2.2.1.3 - Métodos de predição da massa específica

Na ausência de dados experimentais é de grande utilidade o uso de modelos de predição da massa específica de alimentos. Esses modelos são amplamente encontrados na literatura.

Segundo RAMOS & IBARZ (1998) dados de massa específica e sua variação com a concentração e a temperatura são muito importantes para a indústria de alimentos em geral, e em particular, para derivados de frutas, visto que são necessários para projetos e otimização de várias operações de processos (bombeamento, evaporação, transferência de calor, etc).

ALVARADO & ROMERO (1989) desenvolveram uma equação (Equação 2.4) para o cálculo da massa específica de sucos de frutas em geral, para temperaturas entre 0 e 80 °C e concentração de 5 a 30 °Brix.

$$\rho = 1002 + 4,61 B - 0,460 T + 7,001 \times 10^{-3} \cdot T^2 - 9,175 \times 10^{-5} T^3 \quad (2.4)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m³)

B - concentração (°Brix)

T - temperatura (°C)

CONSTENLA et al. (1989) analisando o efeito da concentração e temperatura na massa específica do suco clarificado de maçã propuseram a Equação 2.5 aplicável para o intervalo de temperatura de 20 a 80 °C e faixa de concentração de 12 a 68,5 °Brix, tendo obtido um coeficiente de determinação de 0,9978 e desvio padrão de 0,0040.

$$\rho = 0,82780 + 0,34708 \cdot \exp(0,01 B) - 5,479 \times 10^{-4} T \quad (2.5)$$

em que:

ρ - massa específica (g/cm³)

B - concentração (°Brix)

T - temperatura (K)

Ainda segundo CONSTENLA et al. (1989) a massa específica de uma amostra pode também ser expressa em função da massa específica da água de acordo com a Equação 2.6) tendo obtido um $R^2 = 0,9989$ e $s = 0,0021$.

$$\rho = \frac{\rho_w}{0,992417 - 3,7391 \times 10^{-3} B} \quad (2.6)$$

em que:

ρ - massa específica (g/cm^3)

ρ_w - massa específica da água (g/cm^3)

B - concentração ($^\circ\text{Brix}$)

IBARZ & MIGUELSANZ (1989) desenvolveram a Equação 2.7 para a massa específica de suco clarificado de pêra, para um intervalo de 5 a 70 $^\circ\text{C}$ e concentração entre 10 e 71 $^\circ\text{Brix}$, em que a massa específica varia linearmente com a temperatura e de forma polinomial com a concentração.

$$\rho = 1,0113 - 5,4764 \times 10^{-4} T + 5,1709 \times 10^{-3} B + 0,0308 \times 10^{-5} B^2 \quad (2.7)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m^3)

B - concentração ($^\circ\text{Brix}$)

T - temperatura ($^\circ\text{C}$)

RAMOS & IBARZ (1998) propuseram a Equação 2.8 para estimar a massa específica do suco de pêsego, despectinizado e clarificado, em função da temperatura e da concentração dos sólidos solúveis.

$$\rho = 1006,56 - 0,5155 T + 4,1951 B + 0,0135 B^2 \quad (2.8)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m^3)

B - concentração ($^\circ\text{Brix}$)

T - temperatura ($^\circ\text{C}$)

ZAINAL et al. (2000) investigaram o efeito da temperatura de pasteurização (65 a 85 °C) nas características físicas do suco de goiaba da variedade Beaumont B-30, propondo a Equação 2.9 para a determinação da massa específica com concentração de sólidos solúveis de 9°Brix e a Equação 2.10 para a concentração de sólidos solúveis de 11 °Brix, obtendo coeficientes de correlação de 0,8312 e 0,8979, respectivamente.

$$\rho = 1047 - 0,5293 T \quad (2.9)$$

$$\rho = 1047 - 0,45 T \quad (2.10)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m³)

T - temperatura (°C)

CEPEDA & VILLARÁN (1999) determinaram a massa específica do suco de maçã silvestre turvo e despectinizado a 25 °C para concentrações variando de 18 a 70 °Brix propondo a Equação 2.11 para o cálculo desta propriedade.

$$\rho = 0,0054 B + 0,9671 \quad (2.11)$$

em que:

ρ - massa específica (g/cm³)

B - concentração (°Brix)

Obtendo-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9973 e desvio padrão de 0,0068 BAYINDIRLI (1993) propôs a Equação 2.12 para o cálculo da massa específica do suco de uva em função da concentração e temperatura.

$$\rho = 0,74 + 0,43 \exp(0,01 B) - 0,000555 T \quad (2.12)$$

em que:

ρ - massa específica (g/cm³)

B - concentração (°Brix)

T - temperatura (°C)

2.2.2. Difusividade térmica

A difusividade térmica (Equação 2.13) é uma propriedade de grande importância para processos de transferência de calor em estado não estacionário, pois estabelece a velocidade com que o calor se difunde no alimento e a relação entre o tempo e a temperatura (NEVES, 1991). Como é visto na Equação 2.13, o denominador indica a capacidade do produto de absorver calor ao passo que o numerador indica a capacidade do produto em transferir calor através dele.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (2.13)$$

em que:

α - difusividade térmica (m²/s)

K - condutividade térmica (W/m°C)

C_p - calor específico (kJ/Kg °C)

ρ - massa específica (kg/m³)

Segundo MOHSENIN (1980) os métodos para determinação da difusividade térmica na literatura em sua maioria são indiretos, onde se faz necessário o conhecimento da massa específica, da condutividade térmica e do calor específico (Equação 2.13).

2.2.2.1 - Método do cilindro infinito para determinação da difusividade térmica

Dickerson (1965) citado por PEREIRA (2001) construiu um aparelho para determinação da difusividade térmica que utiliza condições de transferência de calor em regime transiente, requerendo apenas dados de temperatura da amostra que aumentam linearmente com o tempo. Coincidentemente, a diferença de temperatura que indica a difusividade térmica é invariável com o respectivo tempo, facilitando a análise e interpretação dos resultados. O método produz dados aplicáveis sobre um intervalo de tempo através do qual a amostra é aquecida permitindo o cálculo da difusividade térmica através de um único experimento. As condições necessárias são satisfeitas quando o termo $\partial t / \partial x$, na equação de transferência de calor é constante. A equação de transferência de

energia térmica, considerando que não se tem transporte convectivo e dissipação viscosa, resulta em:

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = k \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.14)$$

De acordo com a Equação 2.13 temos:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.15)$$

Para coordenadas cilíndricas, a Equação 2.15 resulta em:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.16)$$

A derivada parcial $\partial^2 T / \partial z^2$ torna-se zero quando ignora-se os gradientes de temperatura paralelos ao eixo do cilindro. Da mesma forma, observa-se que na ausência de uma diferença de temperatura ao redor da circunferência, $\partial^2 T / \partial \theta^2$ também é zero, conduzindo a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.17)$$

Tomando $\partial T / \partial t$ constante e igualando a A, tem-se:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.18)$$

$$\Rightarrow \frac{A}{\alpha} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2.19)$$

Como $\partial T / \partial t$ não é mais dependente do tempo, a solução da Equação 2.19 é dada por:

$$\frac{A}{\alpha} = \frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} \quad (2.20)$$

$$\Rightarrow T = \frac{Ar^2}{4\alpha} + C_1 \cdot \ln(r) + C_2 \quad (2.21)$$

Tomando como condições de limites:

$$T = A \text{ t} = T_R \quad (t > 0, r = R) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (t > 0, r = R) \quad (2.23)$$

Tem-se, portanto:

$$(T_R - T_0) = \frac{A}{4\alpha} \cdot (R^2 - r^2) \quad (2.24)$$

Como no centro do cilindro $r = 0$, temos:

$$\alpha = \frac{A \cdot R^2}{4 \cdot (T_R - T_0)} \quad (2.25)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s)

A - taxa constante de aquecimento em todos os pontos do cilindro ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)

R - raio do cilindro (m)

T_R - temperatura na superfície do cilindro no raio R ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 - temperatura no centro do cilindro ($^{\circ}\text{C}$)

2.2.2.2 - Equações de predição da difusividade térmica

Segundo JARAMILLO-FLORES & HERNANDEZ-SANCHEZ (2000) a difusividade térmica de alimentos depende da sua composição (incluindo o teor de umidade), estrutura e temperatura. Em processos de pasteurização ou esterilização, bem como em processos de congelamento uma mudança na composição global não é esperada,

mas uma mudança na temperatura e, às vezes, na estrutura, com certeza acontecerá, afetando o valor da difusividade térmica.

TELIS-ROMERO et al. (1998) determinaram a difusividade térmica do suco de laranja com teores de umidade variando entre 34 e 73% e temperaturas de 0,5 a 62 °C, utilizando a técnica desenvolvida por DICKERSON (1965), a qual é estimada através da determinação experimental da condutividade térmica, calor específico e massa específica. Estes pesquisadores propuseram uma equação para estimar a difusividade térmica (Equações 2.26) em função da temperatura e da umidade, apresentando $R^2 > 0,97$.

$$\alpha = 7,9683 \times 10^{-8} + 5,9839 \times 10^{-8} X_w + 0,02510 \times 10^{-8} T \quad (2.26)$$

em que:

X_w - fração mássica da água (adimensional)

α - difusividade térmica experimental (m^2/s)

VIEIRA (1996) trabalhando com suco de laranja no intervalo de concentração de 11 a 65 °Brix observou que a difusividade térmica diminui com o aumento da concentração, propondo a Equação 2.27 com coeficiente de determinação de 0,9731 e desvio padrão de 0,0047.

$$\alpha = (1,4199 - 1,2637 \times 10^{-3} B + 5,2620 \times 10^{-5} B^2 - 1,4864 \times 10^{-6} B^3) \times 10^{-7} \quad (2.27)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s)

B - concentração (°Brix)

Relacionando a difusividade térmica com a umidade a Equação 2.28 foi desenvolvida por RIEDEL (1969) para produtos alimentícios.

$$\alpha = 0,088 \times 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) X_w \quad (2.28)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s)

α_w - difusividade térmica da água (m^2/s)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

Martens citado por CHOI & OKOS (1986) verificou que a água e a temperatura são os fatores que mais influenciam a difusividade térmica de alimentos. Foi proposto por esse pesquisador a Equação 2.29 baseada nas duas variáveis citadas após realizar múltiplas análises de regressão com 246 valores de difusividade térmica publicados para alimentos em geral.

$$\alpha = (0,057363 X_w + 0,000288 T) \times 10^{-6} \quad (2.29)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

T - temperatura (K)

2.2.3 - Calor específico

O calor específico (C_p) é a energia em KJ (Q) que a massa de um quilograma de um produto precisa receber para elevar sua temperatura em 1 °C (ΔT), ou seja:

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2.30)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

Q - quantidade de calor (kJ)

m - massa (kg)

ΔT - variação da temperatura (°C)

A variação da pressão em problemas de transferência de calor de materiais biológicos é muito pequena, portanto, normalmente é usado o conceito de calor específico à pressão constante (MOHSENIN, 1980).

2.2.3.1 - Métodos de determinação do calor específico

Existem vários métodos de determinação do calor específico de produtos agrícolas, como são descritos a seguir:

Método das misturas - primeiramente afere-se a massa e a temperatura da amostra e em seguida coloca-se a amostra dentro de um calorímetro, o qual tem a capacidade calorífica previamente determinada. Dentro do calorímetro deve-se conter água com temperatura e massa também conhecidas. O calor específico da amostra é determinado por meio da equação de balanço de calor (Equação 2.31) entre o calor ganho ou perdido pelo calorímetro e aquele absorvido ou perdido pela amostra.

$$Cp_a \cdot M_a \cdot (T_i - T_e) = [Cp_w \cdot M_w \cdot (T_e - T_w) - Cp_c \cdot M_c \cdot (T_i - T_e)] \quad (2.31)$$

$$Cp_a = \frac{Cp_w \cdot M_w \cdot (T_e - T_w) - Cp_c \cdot M_c \cdot (T_i - T_e)}{M_a \cdot (T_i - T_e)} \quad (2.32)$$

em que:

Cp_a - calor específico da amostra (KJ/Kg °C)

Cp_w - calor específico da água (KJ/Kg °C)

Cp_c - calor específico do calorímetro (KJ/Kg °C)

M_w - massa de água adicionada (Kg)

M_c - massa do calorímetro (Kg)

M_a - massa da amostra (Kg)

T_e - temperatura de equilíbrio (°C)

T_w - temperatura inicial da água (°C)

T_i - temperatura inicial da amostra e do calorímetro (°C)

Método das placas – placas térmicas aquecidas eletricamente envolvem a amostra, sendo mantida a mesma temperatura da amostra, que também é aquecida eletricamente. Teoricamente não existem perdas de calor e, portanto o calor cedido pelo produto em um dado tempo é igual ao calor ganho pelo mesmo (PEREIRA, 2001)

Método do calorímetro diferencial de varredura (DSC) – Baseia-se na proporcionalidade entre o fluxo de calor da amostra e o calor específico instantâneo, quando submetido a um programa linear com o aumento da temperatura. Tendo o registro do fluxo de calor em função da temperatura e comparando-se com o fluxo de calor de referência submetido às mesmas condições, em função da temperatura, pode-se obter o calor específico. Segundo O'NEILL (1966) a quantidade de energia necessária para mudar a temperatura da amostra é comparada com a energia necessária para mudança da temperatura de um material de referência, a mesma taxa de aquecimento.

2.2.3.2 - Equações de predição do calor específico

Siebel citado por MOHSENIN (1980) propôs que o calor específico de produtos alimentícios tais como ovos, carnes, frutas e vegetais pode ser tomado como a soma do calor específico da água e dos sólidos em combinação com a água. Este método demonstra uma razoável estimativa do calor específico para materiais com alto conteúdo de umidade, porém alguns pesquisadores acham que não são suficientemente precisos para materiais de baixa umidade.

Segundo PEREIRA et al. (2001) a Equação 2.33 aplica-se a produtos alimentícios de alta umidade.

$$C_p = 0,837 + 3,349 X_w \quad (2.33)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

DICKERSON (1968) desenvolveu a Equação 2.34 para a determinação do calor específico de sucos de frutas com teor de umidade superior a 50%.

$$C_p = 1,675 + 2,512 X_w \quad (2.34)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

Os calores específicos do suco de tamarindo e de soluções de sacarose foram estudados por Manohar et al. (1991) citado por PEREIRA (2001) nas concentrações de 7 a 62 °Brix e nas temperaturas entre 25 e 70 °C, utilizando o calorímetro diferencial de varredura, tendo sido verificado que o calor específico do suco é menor do que a da solução de sacarose em todas as concentrações. A Equação 2.35 proposta por estes pesquisadores para suco de tamarindo, nestas condições, apresentou um coeficiente de correlação de 0,993 e um nível de significância de $P < 0,01$.

$$C_p = 4,18 + (6,839 \times 10^{-5} T - 0,0503) S \quad (2.35)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

T - temperatura (K)

S - sólidos totais (%)

Lambi citado por SIMÕES (1997), desenvolveu uma equação para a estimativa do calor específico baseada apenas no teor de umidade (Equação 2.36).

$$C_p = 1,465 + 2,721 X_w \quad (2.36)$$

em que:

C_p - calor específico (KJ/Kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

VIEIRA (1996) utilizando o método das misturas proposto por HWANG & HAYAKAWA (1979), onde não há contato direto da amostra com o líquido de calor específico conhecido, verificou que o calor específico varia linearmente com a concentração do suco de laranja, de acordo com a Equação 2.37, obtendo um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9937 e o desvio padrão de 0,03878.

$$C_p = 4,1713 - 0,02779 B \quad (2.37)$$

em que:

Cp - calor específico (KJ/Kg °C)

B - concentração (°Brix)

T - temperatura (°C)

Através do calorímetro diferencial de varredura CONSTENLA et al. (1989) determinaram o calor específico do suco de maçã, o que resultou em uma função linear (Eq. 2.38) para valores de sólidos solúveis entre 6 e 75 °Brix e temperaturas entre 30 e 90 °C ($R^2 = 0,9900$ e $s = 0,0098$).

$$Cp = 0,80839 - 4341 \times 10^{-3} B + 5,6063 \times 10^{-4} T \quad (2.38)$$

em que:

Cp - calor específico (kJ/kg °C)

B - concentração (°Brix)

T - temperatura (°C)

ZAINAL et al. (2000) determinaram o calor específico do suco de goiaba utilizando o DSC obtendo coeficientes de determinação acima de 0,95 expressa pelas Equações 2.40 e 2.41 para as concentrações de 9 e 11 °Brix, respectivamente.

$$Cp = 3366,1 + 2,5536 T \quad (2.39)$$

$$Cp = 3473,2 + 0,807 T \quad (2.40)$$

em que:

Cp - calor específico (KJ/Kg °C)

T - temperatura (°C)

2.2.4 - Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma constante física para qualquer elemento e é definida como a quantidade de calor transferida por unidade de área perpendicular ao fluxo de calor, necessárias para cada grau de diferenças de temperatura entre as faces

deste produto e inversamente para cada unidade de comprimento na espessura da amostra na direção do fluxo de calor. Ou ainda é a constante de proporcionalidade entre o fluxo do calor (q) e o gradiente de temperatura (NEVES, 1991).

Para o caso da condução unidimensional de calor através de um sistema, tem-se a equação fundamental da Transferência de calor, ou lei de Fourier (Eq. 2.41).

$$q = -k \cdot \frac{dT}{dX} \quad (2.41)$$

em que:

q - densidade de fluxo de calor (kJ/s)

k - condutividade térmica (W/m °C)

dT/dX - gradiente de temperatura (°C/m)

O sinal negativo indica que o fluxo está escoando na direção da diminuição do gradiente de temperatura.

Como foi visto anteriormente com a Equação 2.13 pode-se calcular a condutividade térmica através do conhecimento da difusividade térmica, calor específico e massa específica do material.

2.2.4.1 - Métodos de determinação

Usam-se dois métodos para a determinação experimental da condutividade térmica e são classificados em:

Método estacionário – consiste em resolver a equação de calor para o regime estacionário (método da placa plana, cilindro concêntrico e esferas concêntricas). Segundo Fortes & Okos e Reidy & Rippen citados por VIEIRA (1996) as placas, em diferentes temperaturas, ficam sob um gradiente de temperatura que é função apenas da espessura da amostra. O uso deste método é limitado pelo longo tempo que demanda as diferentes formas geométricas da amostra, podendo causar a perda de umidade da amostra e migração da mesma em seu interior.

Método transiente - é baseado na solução da equação geral de condução de calor (método da fonte linear, método da sonda e liofilização). SWEAT (1973) afirmou que o método transiente apresenta vantagens para a determinação da condutividade térmica dos materiais biológicos em particular os que possuem altas concentrações de umidade.

1.2.4.2 - Equações de predição da condutividade térmica

Kolarov & Gromov citados por SWEAT (1994), apresentaram a Equação 2.42 para estimar a condutividade térmica de sucos de frutas com teores de umidade superiores a 60%.

$$K = 0,140 + 0,42 X_w \quad (2.42)$$

em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

CONSTENLA et al. (1989) propuseram uma equação linear (Eq. 2.43) para estimar a condutividade térmica do suco de maçã dependente da concentração e da temperatura ($R^2 = 0,9988$ e $s = 0,0077$).

$$K = 0,27918 - 3,5722 \times 10^{-3} B + 1,1357 \times 10^{-3} T \quad (2.43)$$

em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

T - temperatura (°C)

B - concentração (°Brix)

Ziegler et al. citados por SIMÕES (1986), apresentaram a Equação 2.44 para o cálculo da condutividade térmica do suco de maçã baseado no teor de sólidos totais do produto.

$$K = (60,97 - 0,1542 X_s + 0,0028 X_s^2) \times 10^{-2} \quad (2.44)$$

em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

X_s - fração mássica dos sólidos totais (adimensional)

NJIE et al. (1998) utilizando o método da sonda de fonte de calor para determinar a condutividade térmica da banana encontrando valores variando entre 0,13 e 0,45 W/m °C para valores de umidade entre 14 e 57%, sugerindo a Eq. 2.45:

$$K = 0,901 - 0,967 \exp(-0,014 M) \quad (2.45)$$

Em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

M - umidade em base úmida (%)

A condutividade térmica em várias temperaturas e umidades foi medida por TELIS-ROMERO et al. (1998), usando o método descrito por Bellet et al. obtendo a Eq. 2.46:

$$K = 0,0797 + 0,5238 X_w + 0,000580 T \quad (2.46)$$

Em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

T - temperatura (°C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

DONSI et al. (1996) mediram a condutividade térmica da batata e da maçã por meio de um aparato baseado no método de Fick, em vários conteúdos de umidade na temperatura de 30 °C, propondo as Equações 2.47 e 2.48, respectivamente. A condutividade térmica dos produtos frescos foi de 0,52 W/m °C ($R^2 = 0,970$) e 0,43 W/m °C ($R^2 = 0,971$) para batata e maçã, respectivamente.

$$K = 0,389 X_w + 0,1445 \quad (2.47)$$

$$K = 0,322 X_w + 0,1205 \quad (2.48)$$

Em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

A condutividade térmica de várias frutas e vegetais foi estudada por SWEAT (1974) que verificou a existência de uma forte correlação entre a condutividade térmica e o teor de umidade, exceto para aqueles consideravelmente menos densos que a água. Apresentando uma equação linear (Eq. 2.49) para frutas e vegetais com conteúdos de umidade superiores a 60%.

$$K = 0,148 + (0,00493 X_w) \quad (2.49)$$

em que:

k - condutividade térmica (W/m °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB, durante o período de dezembro de 2006 a maio de 2007.

3.1 - Matéria prima

Os frutos de manga cv. Espada foram adquiridos mediante a compra em feira livre no município de Campina Grande-PB, oriundos de municípios circunvizinhos.

3.1.1 - Processamento da matéria-prima

O fluxograma da Figura 3.1 apresenta o processo de obtenção da polpa de manga para realização do experimento.

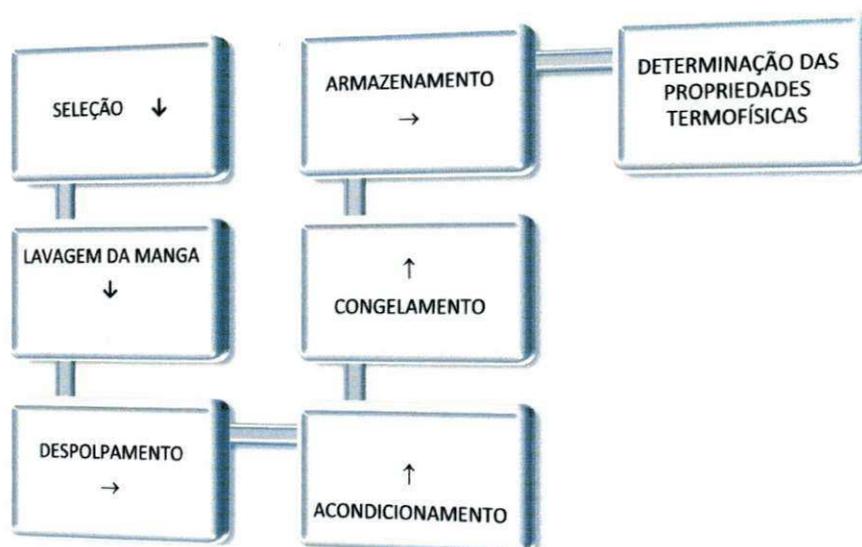


Figura 3.1 - Fluxograma do processamento da manga cv. espada e determinação das propriedades termofísicas

3.1.1.1 - Seleção

Chegando no laboratório, os frutos passaram por uma seleção afim de se descartar os frutos imaturos, danificados e apodrecidos. Mantendo-se os frutos saudáveis que

apresentavam polpa firme e eram isentos de manchas escuras nas cascas, como é visto na Figura 3.2.

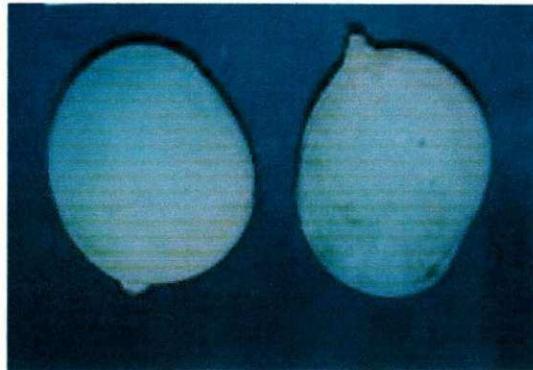


Figura 3.2 - Fruto de manga espada selecionado

3.1.1.2 - Lavagem

Os frutos selecionados foram pré-lavados em água corrente e colocados em solução de hipoclorito de sódio a uma concentração de 20 ppm, por uma hora, com posterior lavagem em água corrente.

3.1.1.3 - Despoldamento

Depois da assepsia as mangas foram descascadas manualmente e processados para a obtenção de sua polpa, utilizando-se de uma despoldadeira mecânica da marca Laboremus.

3.1.1.4 - Acondicionamento

A polpa de manga foi acondicionada em embalagens de polietileno de alta densidade com capacidade para 500 g.

3.1.1.5 - Congelamento

Devidamente acondicionadas as polpas de manga foram congeladas em nitrogênio líquido, onde, após ensacadas foram mergulhadas em recipiente contendo o nitrogênio.

3.1.1.6 - Armazenamento

Após o congelamento em nitrogênio líquido, as polpas foram armazenadas em freezer horizontal a -20 °C até a realização das análises.

3.2 - Propriedades termofísicas

3.2.1 - Massa específica

A massa específica da polpa de manga nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C, foi determinada, em sextuplicata, utilizando-se picnômetros com as pesagens feitas em balança analítica com precisão de 0,0001 g. As temperaturas das amostras foram equilibradas em banho termostático e os picnômetros (25 mL) foram previamente calibrados com água destilada nas temperaturas supracitadas. Para eliminação das bolhas de ar presentes nas amostras foi utilizado um banho ultrasônico modelo T – 5 da marca AROTEC.

Para determinação da massa específica teórica da polpa de manga foram utilizados equações da literatura apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Equações de predição da massa específica de alimentos.

Produto	Equação	Fonte
Polpas e sucos de frutas (geral)	$\rho = 1002 + 4,61 B - 0,460 T + 7,001 \times 10^{-3} T^2 - 9,175 \times 10^{-5} T^3$	ALVARADO & ROMERO (1989)
Suco clarificado de maçã	$\rho = \frac{\rho_w}{0,992417 - 3,7391 \times 10^{-3} B}$	CONSTENLA et al. (1989)
Suco de pêssego	$\rho = 1006,56 - 0,5155 T + 4,1951 B + 0,0135 B^2$	RAMOS & IBARZ (1989)
Suco clarificado de pêra	$\rho = 1,0113 - 5,4764 \times 10^{-4} T + 5,1709 \times 10^{-3} B + 0,0308 \times 10^{-5} B^2$	MIGUELSANZ (1989)

Em que: ρ - massa específica (kg/m³); B - concentração (°Brix); T - temperatura (°C)

3.2.2 - Difusividade térmica

A difusividade térmica foi determinada utilizando-se a metodologia desenvolvida por DICKERSON (1965).

O aparato experimental para medir a difusividade térmica (Figura 3.3) era composto por: um cilindro metálico (2,45 cm de raio interno e 23,0 cm de comprimento interno útil), com rolhas de “nylon” para vedar as extremidades, as quais possuem uma difusividade térmica de $1,09 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, e dois termopares um colocado na parte externa do cilindro e o outro no centro da parte interna.

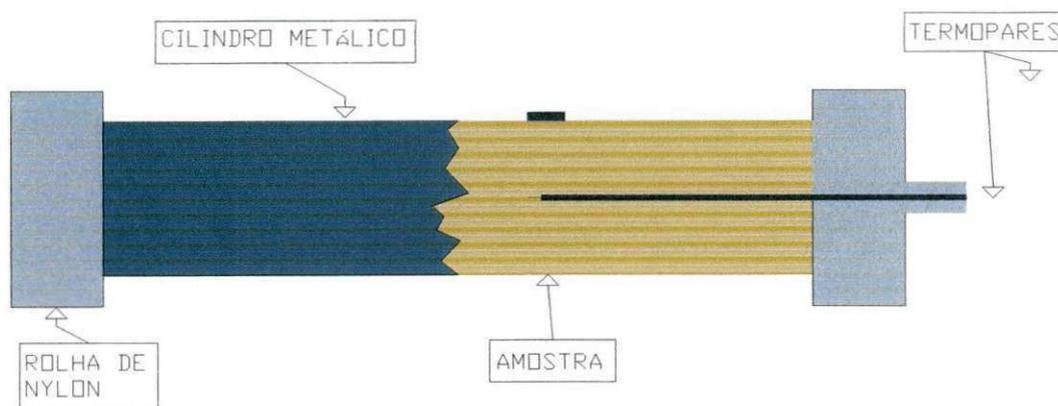


Figura 3.3 - Aparelho utilizado para medir a difusividade térmica

Para o acompanhamento da temperatura durante o experimento, no centro da amostra bem como na superfície da amostra, foram fixados termopares. O termopar na superfície externa do cilindro fornecia a temperatura da amostra na posição de raio máximo ($r = R$) e o outro termopar fixado em uma haste delgada posicionado no interior do cilindro, fornecia dados para o acompanhamento da temperatura no centro da amostra ($r = 0$).

Para a determinação da difusividade térmica da polpa de manga cv. Espada, inicialmente adicionava-se cerca de 1% de ágar à polpa de manga, a fim de evitar a convecção natural da amostra dentro do aparelho de medição da difusividade. A mistura de ágar e polpa eram homogeneizadas até adquirir maior consistência. Posteriormente colocava-se a amostra no cilindro até preenchê-lo por completo. Daí, colocava-se o aparelho de medição da difusividade com amostra, dentro de um banho termostático com

agitação mecânica com uma taxa de aquecimento constante de $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, o que satisfaz ao requisito de $\frac{\partial T}{\partial t}$ constante.

Aferiam-se as temperaturas na superfície (T_R) e no centro do cilindro (T_0) e liga-se simultaneamente o banho termostático e um cronômetro. Tomavam-se as leituras, em intervalo de 2 minutos, das temperaturas T_R e T_0 , até aproximadamente 70 minutos. As temperaturas da amostra e do banho no início do experimento eram de aproximadamente $27 \text{ } ^\circ\text{C}$ sendo aquecido até $65 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Obtiveram-se os valores da taxa de aquecimento do banho (A) por meio da inclinação da reta do gráfico da temperatura externa (T_R) versus o tempo. Após a curva do aquecimento interno atingir inclinação constante, observado quando as curvas tornavam-se paralelas, obteve-se a taxa de aquecimento da temperatura interna (T_0) versus tempo. As curvas tornam-se paralelas quando a condição seguinte era atingida:

$$[(T_R - T_0)_i - (T_R - T_0)_{i+1}] \leq 0,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.1)$$

Os cálculos da difusividade térmica foram baseados na solução da Equação 2.25 proposta por DICKERSON (1965).

A determinação da difusividade térmica teórica foi calculada utilizando-se as equações de ajuste da Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Modelos literários de Predição para difusividade térmica de alimentos

Produto	Equação	Fonte
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6})X_w$	RIEDEL (1969)
Alimentos em geral	$\alpha = (0,057363 X_w + 0,000288 T) \cdot 10^{-6}$	MARTENS (1980)
Suco de laranja	$\alpha = 7,9683 \cdot 10^{-8} + 5,9839 \cdot 10^{-8} X_w + 0,02510 \cdot 10^{-8} T$	TELIS-ROMERO et al. (1998)

Em que: X_w - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura (K); α_w - difusividade térmica da água (m^2/s).

3.2.3 - Calor específico

Utilizando o método calorimétrico das misturas determinou-se o calor específico da polpa de manga.

Foi utilizado um calorímetro (Figura 3.5) composto por uma garrafa térmica (frasco Dewar) com capacidade para 1.000 mL, envolvida por uma camada isolante de lã de vidro com 5 cm de espessura e um cilindro de PVC envolvendo todo o conjunto. Inseriu-se um termopar através de um orifício na região central de uma rolha de borracha (vedação do calorímetro), conectado a um indicador de temperatura da marca BRASTERMO.

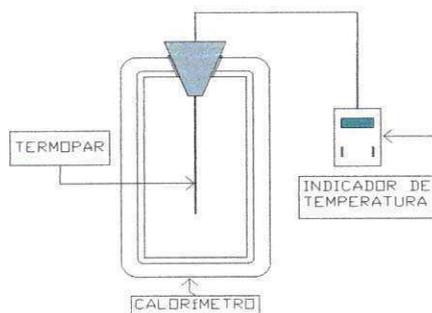


Figura 3.4 - Desenho esquemático do calorímetro com o termopar conectado ao indicador de temperatura

Para a determinação do calor específico da polpa de manga cv. Espada inicialmente as amostras eram colocadas dentro de sacos de polietileno de baixa densidade com 20 cm de comprimento e 7 cm de largura e termoseladas. A seguir os sacos contendo as amostras eram imersos em um banho termostático a uma temperatura de 26 °C (T_4) durante 1 hora, tempo suficiente para atingir a temperatura de equilíbrio no centro da amostra.

Para a determinação da capacidade calorífica do calorímetro, procedeu-se da seguinte maneira:

- Pesou-se o calorímetro vazio e adicionou-se 100 g de água destilada;
- Fechou-se o aparelho e aferiu-se a temperatura inicial da água (T_1);
- Posteriormente acrescentou-se mais 100 g de água destilada a uma temperatura em torno de 2 °C (T_2);
- Agitou-se o calorímetro até que a temperatura atingisse o equilíbrio (T_3);
- Utilizou-se o balanço de calor descrito na Equação 3.2.

$$C_1 m_1(T_1-T_3)+C_{\text{cal.}}(T_1-T_3)=C_2 m_2 (T_3-T_2) \quad (3.2)$$

em que:

C_1 e C_2 - calor específico da água (cal/g °C);

m_1 - massa da água a temperatura ambiente (g);

m_2 - massa da água gelada (g); e

$C_{\text{cal.}}$ - capacidade calorífica do calorímetro (cal/°C).

Continuou-se o experimento, determinando-se o calor específico da polpa de manga, acrescentando-se 100 g de polpa embalada à temperatura de 26 °C (T_4). Agitou-se a mistura e mediu-se a temperatura (T_5) após atingir o equilíbrio.

Para o cálculo do calor específico da polpa utilizou-se a Equação 3.3:

$$m_p C_p (T_4-T_5) = C_1 m_3 (T_5-T_3) + C_{\text{cal.}} (T_5-T_3) \quad (3.3)$$

em que:

m_3 - m_1+m_2 (g);

m_p - massa do produto (g);

C_p - calor específico do produto (cal/ g °C).

Foram utilizadas equações de ajuste da Tabela 3.3 para o cálculo do calor específico teórico.

Tabela 3.3 - Equações para predição do calor específico de alimentos

Produto	Equação	Fonte
Suco de frutas	$C_p = 1,675 + 2,512 X_w$	DICKERSON (1968)
Geral	$C_p = 0,837 + 3,349 X_w$	SIEBEL (1982)
Suco de tamarindo	$C_p = 4,18 + (6,839 \times 10^{-5} T - 0,0503) \cdot S$	MANOHAR et al. (1991)
Suco de laranja	$C_p = 4,1713 - 0,02779 B$	VIEIRA (1996)

Em que: X_w - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura (K); S - sólidos totais (%)

3.2.4 - Condutividade térmica

A condutividade térmica foi calculada através da Equação 2.13, a partir dos dados experimentais da difusividade térmica, calor específico e massa específica.

Também foram utilizadas equações teóricas para estimar a condutividade térmica (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Equações para predição da condutividade térmica de alimentos

Produto	Equação	Fonte
Suco de frutas	$k = 0,140 + 0,42 X_w$	KOLAROV & GROMOV (1974)
Suco de maçã	$K = 0,27928 - 3,5722 \times 10^{-3} B + 1,1357 \times 10^{-3} \cdot T$	CONSTENLA et al.(1989)
Banana	$K = 0,901 - 0,967 \exp(-0,014 M)$	NJIE et al. (1998)
Suco de laranja	$K = 0,0797 + 0,5238 X_w + 0,000580 T$	TELIS-ROMERO (1998)

Em que: X_w - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura (°C); M - umidade em base úmida (%)

3.3 - Análise estatística

Foi utilizado o programa ASSISTAT versão 7.4 beta (SILVA & AZEVEDO, 2002) para o tratamento dos dados. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado para os dados de difusividade térmica, calor específico, condutividade térmica e massa específica.

A comparação entre as médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, quando o teste F da análise de variância foi significativo.

Também foram feitas regressões lineares dos dados da massa específica e da condutividade térmica para obtenção das equações que representam essas grandezas, utilizando o programa STATISTICA.

3.4 - Erros

Para a avaliação do ajuste das equações de predição, encontradas na literatura, foi determinado o erro percentual para as propriedades termofísicas da polpa de manga, de acordo com a equação 3.4.

$$Erro(\%) = \left| \frac{V_{cal} - V_{exp}}{V_{exp}} \right| \cdot 100 \quad (3.4)$$

em que:

V_{exp} - valor experimental

V_{cal} - valor calculado

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Caracterização da polpa manga

4.1.1- Sólidos solúveis totais

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores de cada repetição, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de manga espada integral. O valor médio experimental obtido (13,62 °Brix) é inferior ao encontrado por VIDAL.(2006) para a manga cv. Keitt, que reportou um teor de sólidos solúveis de 16,05 °Brix. BRUNINI et al. (2002) encontraram valores variando de 9,48 a 12,53 °Brix ao estudarem o comportamento de polpa de manga congelada da variedade Tommy-Atkins.

Tabela 4.1 - Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de manga espada integral

Repetições			Média	Desvio padrão	C.V (%)
R ₁	R ₂	R ₃			
13,75	13,5	13,6	13,62	0,13	0,95

4.1.2 - Umidade

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores experimentais da determinação da umidade da polpa de manga espada. O valor obtido do coeficiente de variação de 0,144% pode ser considerado como indicador de uma boa precisão experimental, refletindo homogeneidade entre os ensaios.

Tabela 4.2 - Umidade (%) da polpa de manga integral

Repetições			Média	Desvio padrão	C.V (%)
R ₁	R ₂	R ₃			
86,8	87,04	86,99	86,94	0,125	0,144

4.2 - Determinação das Propriedades Termofísicas

4.2.1 - Massa específica

Na Tabela 4.3 estão os resultados experimentais obtidos para a média de seis repetições na determinação de massa específica da polpa de manga espada, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C. Estes valores são inferiores aos valores obtidos por LIMA et al. (2003) para a polpa de umbu na concentração de 10 °Brix nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C que encontraram valores de 1063,39, 1057,14 e 1052,61 kg/m³ respectivamente. Contudo, os valores obtidos são superiores aos encontrados por ARAÚJO et al. (2002), que trabalharam com polpa de cupuaçu nas mesmas temperaturas e reportaram resultados de 1034,3 kg/m³ a 10°C até 1015,3 kg/m³ para 50°C.

Observa-se que a massa específica da polpa de manga espada diminuiu em 0,71% com o aumento de 10°C para 20°C; 1,72% com o aumento de 20°C para 30°C; 0,69% com o aumento de 30°C para 40°C e 1,40% com o aumento de 40°C para 50°C.

Tabela 4.3 - Valores médios da massa específica da polpa de manga espada nas temperaturas de 10 a 50 °C, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Temperaturas (°C)	Massa específica	Desvio Padrão	C.V
	(kg/m ³)		%
10	1055,73	0,750	0,07
20	1048,32	1,268	0,12
30	1030,56	2,001	0,19
40	1023,52	1,176	0,11
50	1009,38	1,183	0,12

Na Tabela 4.4 encontram-se as equações de predição, com os respectivos coeficientes de determinação, para estimativa da massa específica da polpa de manga, obtidas por meio de análise de regressão.

Tabela 4.4 – Equações de predição da massa específica da polpa de manga

Equações			R ²
$\rho = a + b T$			
a	b	c	
1068,75	1,175	-	0,9834
$\rho = a + b T - c T^2$			
a	b	c	
1067,393	1,05864	$1,939 \times 10^{-3}$	0,9838

Em que: ρ - massa específica (Kg . m⁻³); T - temperatura (°C)

Na Figura 4.1 tem-se a representação gráfica dos dados experimentais da massa específica da polpa de manga espada em função da temperatura com ajuste por equação linear, onde se observa o decréscimo da massa específica com o aumento da temperatura. O mesmo comportamento foi observado por CONSTENLA et al. (1989) para suco de maçã clarificado, TELIS & ROMERO et al. (1998) para suco de laranja e por BAYINDIRLI (1993) para suco de uva, em que observaram a diminuição linear, da massa específica com o aumento da temperatura.

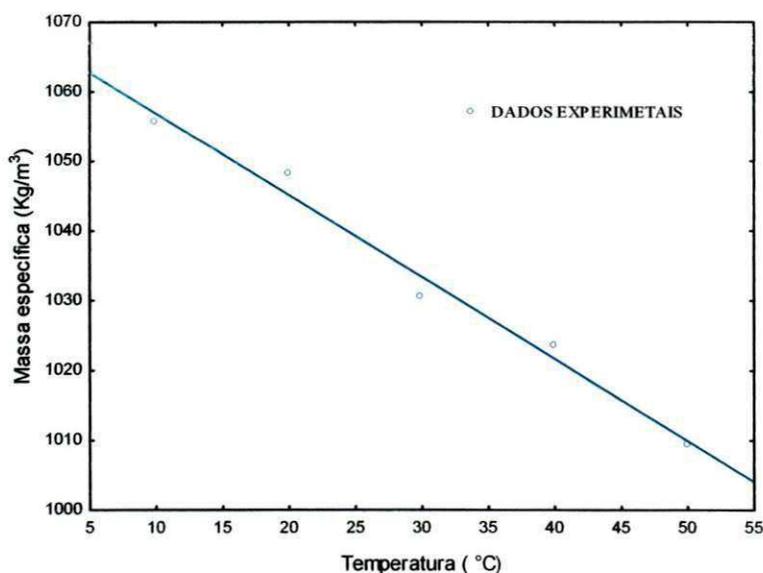


Figura 4.1- Comportamento da massa específica em função da temperatura para polpa de manga espada

Na Tabela 4.5 tem-se a análise de variância dos valores da massa específica para as temperaturas. Observa-se diferença significativa a 1% de probabilidade de acordo com o teste F, ou seja, existe mais de 99% de probabilidade de existir pelo menos um contraste entre as médias do tratamento que diferem de zero.

Tabela 4.5 - Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de manga integral

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura	4,00	8421,73	2105,43	1176,74**
Resíduo	25,00	44,73	1,79	
Total	29,00	8466,46		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.-Soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado Médio; F-Variável do teste F

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$);

Analisando-se os valores médios da massa específica nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C, comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, apresentadas na Tabela 4.6, verifica-se que existe diferença significativa entre todos os valores de massa específica determinados entre 10 e 50 °C.

Tabela 4.6 - Valores médios da massa específica, da polpa de manga nas diferentes temperaturas

Temperaturas (°C)	Massa específica (Kg/m ³)
10	1055,73 a
20	1048,32 b
30	1030,56 c
40	1023,52 d
50	1009,38 e
DMS	2,27
MG	1033,50
CV %	0,1294

DMS- Desvio Mínimo Significativo; MG – Média Geral; CV – Coeficiente de Variação

Obs: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.7, encontram-se os valores de massa específica nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, calculados a partir de equações de predição propostas em literatura, assim como os erros percentuais dos valores calculados em relação aos valores obtidos experimentalmente.

Verifica-se que a equação de predição proposta por RAMOS & IBARZ (1989) ajusta-se melhor aos dados experimentais, apresentando os menores erros percentuais exceto na temperatura de 10°C, podendo ser utilizado na predição de valores de massa específica de polpa de manga espada. Os modelos de CONSTENLA et al. (1989) e ALVARADO & ROMERO (1989) também apresentaram bons resultados, com erros percentuais baixos menores que 10 %. A equação que apresentou maiores diferenças em relação aos resultados experimentais foi a proposta por MIGUELSANZ (1989), contudo, ainda assim com valores aceitáveis uma vez que o maior erro não atingiu 5%. Observa-se em todas as equações utilizados uma tendência de aumento do erro percentual com o aumento da temperatura.

Tabela 4.7- Valores da massa específica (kg/m^3) da polpa de manga espada obtidos por modelos de predição e erros respectivos

Modelos	Temperaturas (°C)				
	10	20	30	40	50
ALVARADO & ROMERO (1989)	1060,82	1057,68	1054,83	1051,74	1047,85
Erro (%)	0,48	0,89	2,36	2,76	3,81
CONSTENLA et al. (1989)	1060,26	1057,55	1053,90	1049,46	1044,32
Erro (%)	0,43	0,88	2,27	2,53	3,46
RAMOS & IBARZ (1989)	1061,07	1055,91	1050,76	1045,60	1040,45
Erro (%)	0,51	0,72	1,96	2,16	3,08
MIGUELSANZ (1989)	1076,33	1070,86	1065,38	1059,91	1054,43
Erro (%)	1,95	2,15	3,38	3,55	4,46

Na Figura 4.2 estão as representações gráficas dos valores da massa específica obtidas por meio das equações de predição e os resultados experimentais. Verifica-se que todas equações de predição utilizadas superestimam a massa específica da polpa de

manga espada integral. Resultado semelhante foi observado por PEREIRA (2001) ao estudar as propriedades termofísicas da polpa de açaí.

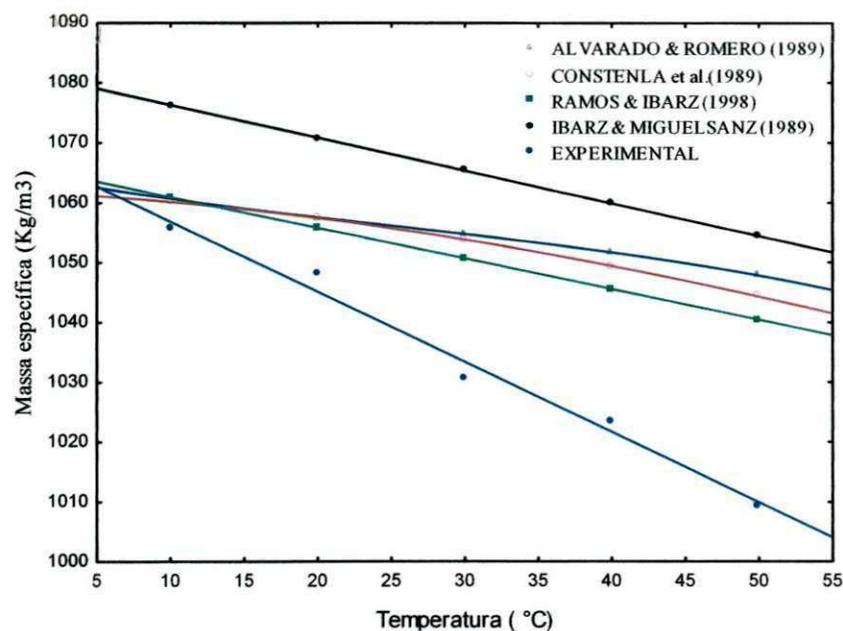


Figura 4.2 - Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de manga integral

4.2.2 - Difusividade térmica

Na Tabela 4.8 são apresentados os valores experimentais obtidos de três repetições para a difusividade térmica da polpa de manga espada, determinados no intervalo de temperatura entre 25 e 65 °C, e o coeficiente de variação (CV).

Os valores da difusividade térmica da manga espada encontram-se na faixa intermediária aos valores encontrados por ALVARADO (1994) que trabalhou com polpa de mamão e BHOWMIK & HAYAKAMA (1979) com polpa de tomate cereja e maçã, os quais obtiveram resultados de difusividade térmica variando de $1,00 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ a $2,00 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. SIMÕES (1997) trabalhando com polpa de manga cv Keitt a 12,7 °Brix encontrou uma difusividade térmica de $1,41 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; VIEIRA (1996) encontrou um valor de $1,401 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ trabalhando com suco de laranja.

Tabela 4.8 - Difusividade térmica da polpa de manga integral

Repetição	A (°C/min.)	T _R -T ₀ (°C)	R _C (cm)	Difusividade térmica (m ² /s)
R1	0,37	6,4	2,45	1,446 x 10 ⁻⁷
R2	0,4	6,8	2,45	1,471 x 10 ⁻⁷
R3	0,39	6,6	2,45	1,478 x 10 ⁻⁷
Média	0,4	6,6	-	1,465 x 10 ⁻⁷
DP	0,015	0,2	-	1,682 x 10 ⁻⁹
CV	3,95	3,03	-	1,148

Na Figura 4.3 estão representadas as curvas da taxa de aquecimento e da temperatura no centro do cilindro em função do tempo.

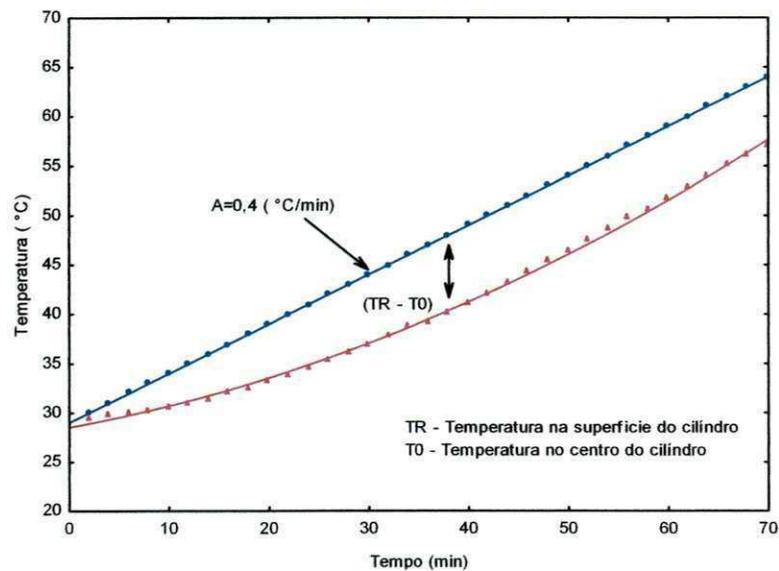


Figura 4.3 - Diagrama da temperatura versus tempo para determinação da difusividade térmica

Na Tabela 4.9 estão os valores da difusividade térmica da polpa de manga espada obtidos por meio de equações de predição propostas em literatura. A equação que melhor se ajustou aos dados experimentais foi a proposta por TELIS-ROMERO et al. (1998), seguido pelo modelo de MARTENS (1980), e por último a equação de RIEDEL (1969), que resultou em erro inferior a 5%.

Tabela 4.9 - Difusividade térmica da polpa de manga calculada por meio de equações de predição

Modelos	Equações	Difusividade e térmica (m ² /s)	Erro (%)
RIEDEL (1969)	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6})X_w$	$1,39 \times 10^{-7}$	4,26
MARTENS (1980)	$\alpha = (0,057363 X_w + 0,000288 T) \cdot 10^{-6}$	$1,42 \times 10^{-7}$	2,41
TELIS-ROMERO et al. (1998)	$\alpha = 7,9683 \cdot 10^{-8} + 5,9839 \times 10^{-8} X_w + 0,02510 \times 10^{-8} T$	$1,43 \times 10^{-7}$	1,72

4.2.3 - Calor específico

Na Tabela 4.9 encontram-se os valores do calor específico da polpa de manga espada para as 3 repetições, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Os dados obtidos experimentalmente estão dentro da faixa dos valores apresentados por outros autores para derivados de frutas, como ALVARADO (1994), que ao estudar o calor específico de polpas de trinta frutas diferentes obteve valores situando-se entre 2,9962 e 3,925 kJ/kg K; CHOI & OKOS (1986) para sucos de frutas apresentam valores entre 3,185 e 4,079 kJ/kg K; PEREIRA (2001) para polpa de açaí encontrou valores entre 3,563 e 3,804 kJ/kg °C. TURRELL & PERRY (1957), utilizando o método das misturas, verificaram que não existem diferenças significativas entre os valores do calor específico das frutas cítricas (toranja, limão e duas variedades de laranjas), obtendo valores entre 0,840 e 0,892 cal/g °C (3,516 e 3,733KJ/Kg °C).

Tabela 4.10 - Calor específico (kJ/kg °C) da polpa de manga integral

Repetições			Média	Desvio Padrão	C.V (%)
R ₁	R ₂	R ₃			
3,778	3,589	3,589	3,631	0,132	3,63

Na Tabela 4.11 encontram-se os valores do calor específico determinados por meio de equações teóricas de predição. Observa-se que a equação de SIEBEL (1980) foi a que melhor se ajustou aos valores encontrados experimentalmente, com erro de 3,24%. Em seguida vem a equação proposto por VIEIRA (1996), que também apresentou um erro inferior a 5%. As equações de DICKERSON (1968) e SIMÕES (1997) apresentaram erros maiores que 5%, quase o dobro, portanto, do erro resultante da aplicação da equação de SIEBEL.

PEREIRA (2001), estudando o calor específico de polpas de açaí com três diferentes teores de sólidos solúveis (15,2%, 12,5% e 9,7%), propôs equações de predição de calor específico em função do teor de umidade e da concentração, obtendo coeficientes de correlação de 0,999.

Tabela 4.11 - Valores do calor específico obtidos por meio de modelos

Equações	Calor específico (KJ/Kg °C)	Erro (%)
DICKERSON (1968)	3,859	6,28
SIEBEL (1980)	3,749	3,24
VIEIRA (1996)	3,793	4,46
SIMÕES (1997)	3,831	5,50

4.2.4 Condutividade térmica

Na Tabela 4.12 tem-se os valores de condutividade térmica da polpa de manga calculados pela relação entre condutividade térmica, difusividade térmica, calor específico e massa específica. O valor da condutividade térmica da polpa de manga se aproxima dos obtidos por MUNIZ et al. (2006) trabalhando com polpa de bacuri, que se mantiveram entre 0,50 a 0,64 W/m°C e por ARAÚJO (2002) para a polpa de cupuaçu concentrada (9 °Brix) que relatou um valor da condutividade de 0,50 W/m°C.

Tabela 4.12 - Valores experimentais de condutividade térmica de polpa de manga espada para temperaturas de 10 a 50° C

Temperaturas (°C)	Condutividade Térmica (W/m°C)
10	0,558
20	0,554
30	0,544
40	0,541
50	0,533

Na Tabela 4.13 estão representados os valores da condutividade térmica da polpa de manga espada calculados a partir das equações de predição e o erro percentual entre o valor obtido por meio das equações e o valor obtido pela relação entre os dados experimentais. A equação de TELIS-ROMERO et al. (1998) apresentou erro menor que 5%, seguido da equação de Kolarov & Gromov citado por SWEAT (1994) e CONSTENLA (1989), apresentando erros menores que 10 %. A equação proposto por NJIE et al. (1998) resultou em erro mais expressivo, acima de 10%, devendo-se evitar o seu uso na estimativa da condutividade térmica da polpa de manga.

Tabela 4.13 - Condutividade térmica da polpa de manga espada calculada por meio de equações e os erros percentuais

Equações	Condutividade térmica	
	(W/m °C)	Erro (%)
Kolarov & Gromov (1994)	0,51	6,4
CONSTENLA (1989)	0,59	8,5
NJIE et al. (1998)	0,61	13,8
TELIS-ROMERO et al. (1998)	0,56	3,4

Na Figuras 4.4 tem-se o comportamento da condutividade térmica com o aumento da temperatura (T). As curvas de ajuste aos pontos experimentais foram obtidas utilizando-se equações de primeiro e segundo grau ($k=0,5649-0,00063.T$, e $k=0,5644-0,00059.T-0,000000071T^2$). A equação de primeiro grau resultou em um coeficiente de determinação de 0,976, e a equação de segundo grau resultou em um coeficiente de determinação de 0,996, podendo ambas ser utilizadas para interpretar o comportamento da condutividade térmica como função da temperatura.

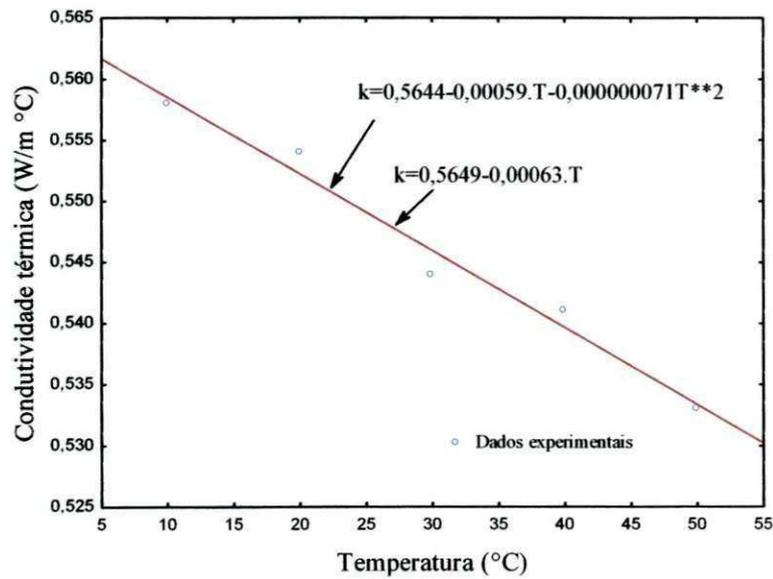


Figura 4.4 - Dados experimentais de condutividade térmica em função da temperatura com ajustes lineares e quadráticos para polpa de manga espada

5. CONCLUSÕES

A polpa de manga espada apresentou um teor médio de sólidos solúveis de 13,62 °Brix e umidade de 86,94 %. A massa específica variou entre 1055,73 e 1009,38 Kg/m³ para temperaturas entre 10 e 50°C, em que média foi de 1033,5 Kg/m³. Os valores médios para difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica foram, respectivamente, de $1,465 \times 10^{-7}$ m²/s, 3,631 kJ/kg °C e 0,544 W/m°C.

As equações para o cálculo teórico de massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica, propostas em literatura, predisseram satisfatoriamente as propriedades termofísicas da polpa de manga espada.

As equações linear e quadrática, podem ser usadas para estimar a massa específica da polpa de manga espada em função da temperatura.

6. SUGESTÕES

Fazer a determinação das propriedades termofísicas de polpas de manga espada em outras concentrações de sólidos solúveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J.D.; ROMERO, C.H. Physical properties of fruits: density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. **Latin American Applied Research**, v.19, n.15, p.15-21, 1989.

ALVARADO, J. DE D. Propriedades físicas de frutas: IV. difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas. **Latin American Applied Research**, v.24, p.41-47, 1994.

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Massa específica de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.2, p.127-134, 2002.

BAYINDIRLI, L. Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Processing & Preservation**, v.17, n.2, p.147-151, 1993.

BHOWMIK, S.R.; HAYAKAWA, K. A new method for determining the apparent thermal diffusivity of thermally conductive food. **Journal of Food Science**, v.44, n.2, p.469-474, 1979.

BLEINROTH, E.W. **Caracterização de variedades de manga para industrialização**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1976. 78p. (Instruções Técnicas, n. 13).

BRUNINI, M. A.; DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. Avaliação das alterações em polpa de manga “Tommy Atkins” congeladas. **Rev. Bras. Frutic.**, v.24, n.3, p.147-151 2002.

CEPEDA, E.; VILLARÁN, M.C. Density and viscosity of *Malus Floribunda* juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, v.41, n.2, p.103-107, 1999.-

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LEMAUGUER, M.; JELEN, M. **Food Engineering and Process Applications: transport phenomena**. London: Elsevier Applied Science Publishers, v.1, p.93-101, 1986.

CONSTENLA, D.T.; LOZANO, J.E.; CRAPISTE, G.H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**, v.54, n.3, p.663-668, 1989.

DICKERSON, R. W. An apparatus for measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, v.19, n.5, p.198-204, 1965.

DICKERSON, R. W. **Thermal properties of foods In: freezing preservation of foods**. 4 ed. Westpoint, Connecticut. The A VI Publishing Company, v.2, 1968.

DONSI, G.; FERRARI, G.; NIGRO, R. Experimental determination of thermal conductivity of apple and potato at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**, v.30, p. 263-268, 1996.

FAO. **Production Yearbook**. Roma, 2004.

FRANCO, B.D.G.M. **Tabela de composição química de alimentos**. 9 ed. São Paulo: Atheneu, 1997. 307 p.

HWANG, M.P.; HAYAKAWA, K. A specific heat calorimeter for foods, **Journal of Food Science**, v. 44, n. 2, p. 435-448, 1979.

IBARZ, A.; MIGUELSANZ, R. Variation with temperature and soluble solids concentration of the density of a depectinated and clarified pear juice. **Journal of Food Engineering**, v.10, p. 309-323, 1989.

JARAMILLO-FLORES, M. E.; HERNANDEZ-SANCHEZ, H. Thermal diffusivity of soursop (*Annona muricata* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v.46, p.139-143, 2000.

LIMA, Í. J. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Especial, n.1, p.31-42, 2003.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, v.13, p.241-258, 1991.

MARTENS, T. Mathematical model of heat processing in flat containers. Ph. D. thesis. Katholieke University, Leuven, Belgium, 1980. Apud: SINGH, R.P. Thermal Diffusivity in Food Processing, **Food Technology**, v. 36, n. 2, p. 87-91, 1982.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultura materials**. New York: Gordon and Breache Science Publishers, Inc., 1980. 407 p.

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DUARTE, M. E. M. Caracterização termofísica de polpas de bacuri. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.2, p.360-368, 2006.

NEVES, L. C. F. **Resfriamento congelamento e estocagem de alimentos**. Instituto Brasileiro do Frio, 1991. 175 p.

NJIE, D. N.; RUNSEY, T.R; SINGH, R. P. Thermal properties of cassava, yam and plantain. **Journal of Food Engineering**, v.37, p.63-76, 1998.

O'NEILL, M.J. Measurement of specific heat functions by differential scanning calorimetry, **Analitycal Chemistry**, v.38, n.10, 1966.

PELEGRINE, D. H. **Comportamento reológico das polpasde manga e abacaxi**. 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, 1999.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.526-530, 2002.

- PEREIRA, E. A. **Propriedades termofísicas da polpa de açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.)**, 2001,84p.: il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Paraíba, 2001.
- RAMOS, A.M.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, v.35, n.1, p.57-63, 1998.
- RIEDEL, L. Measurement of thermal diffusivity on foodstuffs rich in water. **Kältetechnik-klimatisierung**, v.21, n.11, p.315-316, 1969.
- SIEBEL, J.E. Specific heat of various products. **Ice and Refrigeration**, v.2, p.256-267, 1982.
- SILVA, F. DE A. S. E. & AZEVEDO, C. A. V. DE. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4,n.1, p71-78, 2002.
- SIMÕES, R. M. **Propriedades termofísicas da polpa de manga**. 1997. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SIQUEIRA, T. V. A cultura da manga: desempenho no período de 1961/2001. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.17, p.3-68, 2003.
- SWEAT, V.E. Experimental measurement of thermal conductivity of yellow cake. **Int. Conf. Thermal conductivity**. University Missouri-Rolla, p. 195-198, 1973.
- SWEAT, V.E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetable. **Journal of Food Science**, v.39, n.6, p.1080-1083, 1974.
- SWEAT, V.E. Thermal properties of food In: RAO, M.A.; RIZVI. S.S.H. **Engineering properties of food**, New York, Marcel Dekker, 2º ed. 1994, cap. 3, p.99-138.
- TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N.; GABAS, A.L.; YAMASHITA, F. Thermophysical properties of Brazilian orange juice as affected by temperature and water content. **Journal of Food Engineering**, New York, v.38, n.1, p.27-40, 1998.

TURRELL, F.M.; PERRY, R.L. Specific heat and heat conductivity of citrus fruit Proc. Of Amer. Soc. for Hort. Science, p.261-265, 1957.

VIDAL, J.R.M.B.; SIERAKOWSKI, M.R.; HAMINIUK, C.W.I.; MASSON, M.L. Propriedades reológicas da polpa de manga (Mangifera indica L. Cv. Keitt) centrifugada. **Ciênc. Agrotec.**, v.30, n.5, p.955-960, 2006.

VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja em tubos** 1996. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ZAINAL, B.S.; ABDUL RAHMAN, R.; ARIFF, A.B.; SAARI, B.N.; ASBI, B.A. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. **Journal of Food Engineering**, v.43, n.1, p.55-59, 2000.