



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES
TERMOFÍSICAS DE POLPAS DE FRUTAS TROPICAIS:
JACA (*Artocarpus Heterophilus Lamk.*) E UMBU (*Spondias*
***Tuberosa Arr. Cam.*)**

MICHELLE ANDRADE SOUZA

ITAPETINGA
2008

MICHELLE ANDRADE SOUZA

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE POLPAS DE FRUTAS TROPICAIS: JACA (*Artocarpus Heterophilus Lamk.*) E UMBU (*Spondias Tuberosa Arr. Cam.*)

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora:
Renata Cristina Ferreira Bonomo

Co-Orientador (a):
Jane Sélia dos Reis Coimbra

Co-orientador:
Luis Antonio Minim

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
2008

664.804 Souza, Michelle Andrade.

S716d Determinação das propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus Heterophilus Lamk*) e umbu (*Spondias Tuberosa Arr. Cam.*) / Michelle Andrade Souza. – Itapetinga, BA: UESB, 2008.
65p.

Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB - *Campus* de Itapetinga. Sob a orientação da Prof^a. DSc. Renata Cristina Ferreira Bonomo e co-orientação da Prof^a DSc. Jane Sélia dos Reis Coimbra e do co-orientador Prof. DSc. Luis Antonio Minim..

1. Jaca – Propriedades termofísicas. 2. Frutas tropicais – Processamento de sucos e polpas. 3. Umbu – Propriedades termofísicas I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, *Campus* de Itapetinga. II. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. III. Coimbra, Jane Sélia dos Reis. IV. Minim, Luisa Antonio. V. Título.

CDD(21): 664.804

Catálogo na Fonte:

Cláudia Aparecida de Souza – CRB 1014-5^a Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Jaca : Propriedades teermofísicas
2. Frutas tropicais : Processamento de sucos e polpas
3. Umbu : Propriedades termofísicas

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos

Campus Juvino Oliveira

TERMO DE APROVAÇÃO

Título: “DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE POLPAS DE FRUTAS TROPICAIS: JACA (*Artocarpus Heterophilus Lamk.*) E UMBU (*Spondias Tuberosa Arr. Cam.*)”.

Autor: MICHELLE ANDRADE SOUZA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, área de concentração em **Engenharia de Processos de Alimentos**, pela Banca Examinadora:

Prof. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo – UESB
Presidente

Prof. D.Sc. Joel Camilo Souza Carneiro – UESB

Prof. D.Sc. Milton Nobel Cano Chauca – UNIMONTES

Data da defesa: 09/05/2008

UESB – Campus Juvino Oliveira, Praça Primavera nº 40 – Telefone: (77) 3261-8629
Fax: (77) 3261-8701 – Itapetinga – BA – CEP: 45.700-000 – E-mail: ppgeal@uesb.br

Para meus pais, Odil e Alaíde,
Meu grande amor, Vinícius.
Pessoas que me apoiaram constantemente
e também para os colegas de trabalho no Laboratório.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por fazer as coisas certas e no momento certo de nossas vidas, proporcionando-nos conforto e perseverança na realização de nossos sonhos e objetivos;

À Prof^ª. DSc. Renata Cristina Ferreira Bonomo pela orientação, dedicação, incentivo, amizade, enfim, pelo exemplo profissional;

Ao Prof. Rafael Fontam, não só pelo empenho dispensado abrindo caminhos para realização do experimento como também pelo conhecimento transmitido nos momentos de dúvidas;

À Co-orientadora Prof^ª. DSc. Jane Sélia dos Reis Coimbra, pela atenção e disposição em colaborar com as correções que foram muito bem-vindas;

Aos meus pais por não medirem esforços para me apoiar;

Ao meu amor Vinícius pelo carinho, pela paciência, por estar presente em minha vida nos momentos de alegria e de incertezas dando-me forças para superar os desafios simplesmente por acreditar em mim;

À FAPESB pela bolsa concedida durante o curso de Mestrado e à UESB pelo Programa de Pós-Graduação que muito contribuiu para mais essa etapa da minha formação acadêmica;

À Angélica, Lizzy e Calila, pela importante ajuda na parte experimental e por momentos de estudos que muito contribuíram para minha formação e, acima de tudo, pela amizade;

À Tatiana, que me ajudou no momento de adaptação na cidade de Itapetinga, com uma convivência harmoniosa e divertida;

Aos colegas de Mestrado, em especial à Gabi, Lidiane, Hallana, Hellen, Normane e Elisa pela companhia e cumplicidade.

“Não estejais inquietos por coisa alguma, antes as vossas petições sejam em tudo conhecidas diante de Deus, pela oração e súplica e com ação de Graças. E a paz de Deus que excede todo entendimento guardará os vossos corações e os vossos sentimentos em Cristo Jesus.”

Filipenses, capítulo 4, versículos 6 e 7

RESUMO

SOUZA, M. A. **Propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus Heterophilus Lamk.*) e umbu (*Spondias Tuberosa Arr. Cam.*)** Itapetinga – BA: UESB, 2008. 65 p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos – Engenharia de Alimentos e Processo).*

Neste trabalho, objetivou-se determinar as propriedades termofísicas de duas frutas tropicais: Umbu e Jaca. Estas frutas foram escolhidas por apresentarem excelentes características alimentícias e grande potencial de comercialização com possibilidades de utilização de seus frutos no preparo de sucos, doces e sorvetes e, entretanto, são pouco exploradas em nosso país. O experimento foi realizado no Módulo de Laboratório da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Campus de Itapetinga, BA. A caracterização das polpas de frutas foi feita determinando-se o teor de sólidos solúveis, pH, acidez total, umidade, carboidratos, proteínas, lipídios totais, fibras e cinzas. Todas as análises realizadas seguiram as normas do Instituto ADOLFO LUTZ (1985), da AOAC (1996) ou segundo NIELSEN (1998). As propriedades termofísicas das polpas de jaca e umbu que foram determinadas são: o calor específico, pelo método de calorímetro de mistura; a massa específica, pelo método picnométrico; a difusividade térmica, por uma metodologia adaptada de Dickerson (1965); e a condutividade térmica, por dedução matemática. Para determinação destas propriedades foram utilizadas polpas com diferentes teores de umidade, numa faixa de 65% a 95%. A influência da temperatura nelas também foi avaliada, sendo a faixa de temperatura de 5 °C a 85 °C. Os valores obtidos com os dados experimentais para propriedades termofísicas foram comparados com valores calculados a partir de alguns modelos encontrados na literatura. O modelo quadrático, tanto para a temperatura como para o teor de umidade, se ajustou melhor aos dados experimentais de densidade de ambas as polpas. Enquanto que, para o calor específico, o modelo linear para o teor de umidade foi o mais indicado para as polpas de jaca e umbu. A difusividade térmica variou em relação à temperatura segundo o modelo quadrático e, em relação ao teor de umidade, o modelo foi linear, houve também o efeito de interação entre estas duas grandezas. A condutividade térmica aumentou com a elevação da temperatura e teor de umidade, seguindo um comportamento quadrático para a primeira variável e linear para a segunda. Os coeficiente de determinação dos modelos apresentados para descrever a influência da temperatura e teor de umidade nas propriedades termofísicas foram iguais ou superiores a 0,90.

Palavras-chave: Calor específico, massa específica, difusividade térmica, umbu e jaca.

*Orientadora: Renata Cristina Ferreira Bonomo, *D. Sc.*, UESB e Co-orientadores: Jane Sélia dos Reis Coimbra, *D. Sc.*, UFV; Luis Antonio Minim, *D. Sc.*, UFV.

ABSTRACT

SOUZA, M. A. **Determination the Thermophysical Properties of pulp of tropical fruit: jackfruit (*Artocarpus Heterophilus Lamk.*) and Umbu (*Spondias Tuberosa Arr. Cam.*)** Itapetinga – BA: UESB, 2008. 65 p. (Dissertation – Master Degree in Food Engineering – Food Process Engineering).*

In this paper, it was aimed to determine the thermophysical properties of two tropical fruits: Umbu and Jaca. These fruits were chosen because they have excellent features food and great potential for trade with possibilities for use of its fruits in the preparation of juices, desserts and ice cream, and in the however are little explored in our country. The experiment was conducted in the Laboratory Module of Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Campus of Itapetinga, BA. The characterization of pulp of fruit was done by providing the level of soluble solids, pH, total acidity, moisture, carbohydrates, proteins, total lipids, fibers and ash. All analyses followed the rules of the ADOLFO LUTZ (1985), AOAC (1996) or second Nielsen (1998). The thermophysical properties the pulp of jackfruit and umbu that were determined are the specific heat, the method of mixture calorimeter; the density, obtained using the pycnometric method; thermal diffusivity, a methodology adapted from Dickerson (1965) and thermal conductivity, by mathematical deduction. For determination of these properties were used pulp with different levels of moisture, a range from 65 % to 95 %. The influence of temperature on the same was also evaluated, and the range of temperature of 5 °C to 85 °C. The values obtained with the experimental data to thermophysical properties were compared with values from some models found in literature. The quadratic model, both the temperature and for the moisture content, better fit the experimental data density of both pulp. While, for the specific heat, the linear model for the moisture content was the most suitable for pulp of jackfruit and umbu. The thermal diffusivity varied in relation to temperature on the quadratic model, and in relation to moisture content, the model was linear, there was also the effect of interaction between these two variables. The thermal conductivity increased with the increase of temperature and moisture content, following a quadratic behavior for the first variable and linear for the second. The determination coefficient of models presented to describe the influence of temperature and moisture content in thermophysical properties were equal to or greater than 0.90.

Keywords: specific heat, density, thermal diffusivity, umbu and jackfruit

*Advisor: Renata Cristina Ferreira Bonomo, *D. Sc.*, UESB e Co-Advisor: Jane Sélia dos Reis Coimbra, *D. Sc.*, UFV; Luis Antonio Minim, *D. Sc.*, UFV.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Jaca vista em corte transversal e Frutículos de jaca..... | 17 |
| Figura 2 – Umbuzeiro e Raiz do umbuzeiro..... | 18 |
| Figura 3 – Umbu visto em corte transversal..... | 19 |
| Figura 4 – Energia disponível nos nutrientes após processos fisiológicos..... | 21 |
| Figura 5 – Fluxograma de obtenção das popas de jaca e umbu..... | 29 |
| Figura 6 – Peso do picnômetro com amostra..... | 32 |
| Figura 7 – Desenho esquemático do calorímetro de mistura utilizado para medição do calor específico..... | 33 |
| Figura 8 – Esquema do aparato para medição de difusividade térmica..... | 34 |
| Figura 9 – Variação da densidade com a temperatura para cada teor de umidade da polpa de jaca..... | 41 |
| Figura 10 – Variação da densidade com a temperatura para cada teor de umidade da polpa de umbu..... | 41 |
| Figura 11 – Variação da densidade com o teor de umidade para cada temperatura da polpa de jaca..... | 42 |
| Figura 12 – Variação da densidade com o teor de umidade para cada temperatura da polpa de umbu..... | 43 |
| Figura 13 – Picnômetro com polpa de jaca a 85 °C e Picnômetro com polpa de jaca após a pesagem, na determinação da densidade a 85 °C..... | 43 |
| Figura 14 - Comparação do calor específico entre as popas de umbu e de jaca..... | 48 |
| Figura 15 - Comparação dos dados experimentais de calor específico e modelos da literatura, para a polpa de jaca em função do teor de umidade..... | 49 |
| Figura 16 - Comparação dos dados experimentais de calor específico e modelos da literatura, para a polpa de umbu em função do teor de umidade..... | 49 |
| Figura 17 - Variação da difusividade térmica com a temperatura para cada teor de umidade da polpa de jaca..... | 51 |
| Figura 18 - Variação da difusividade térmica com a temperatura para cada teor de umidade da polpa de umbu..... | 52 |
| Figura 19 - Variação da condutividade térmica com a temperatura para cada teor de umidade da polpa de jaca..... | 55 |

Figura 20 - Variação da condutividade térmica com a temperatura para cada teor de umidade da polpa de umbu..... 56

LISTA DE TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Modelos da literatura utilizados para o cálculo da densidade das polpas de jaca e umbu..... | 34 |
| Tabela 2 – Modelos da literatura utilizados para o cálculo do calor específico das polpas de jaca e umbu..... | 35 |
| Tabela 3 – Modelos da literatura utilizados para o cálculo da difusividade térmica das polpas de jaca e umbu..... | 35 |
| Tabela 4 - Modelos da literatura utilizados para o cálculo da condutividade térmica das polpas de jaca e umbu..... | 35 |
| Tabela 5 - Caracterização físico-química da polpa de jaca..... | 36 |
| Tabela 6 - Caracterização físico-química da polpa de umbu, de acordo com alguns autores..... | 38 |
| Tabela 7 – Valores experimentais das densidades de polpa de jaca a diferentes temperaturas e teores de umidade..... | 39 |
| Tabela 8 - Valores experimentais das densidades de polpa de umbu a diferentes temperaturas e teores de umidade..... | 39 |
| Tabela 9 – Parâmetros encontrados para polinômio de 1°C e 2°C para prever a variação da densidade da polpa de jaca em função da temperatura e teor de umidade..... | 40 |
| Tabela 10 - Parâmetros encontrados para polinômio de 1°C e 2°C para prever a variação da densidade da polpa de umbu em função da temperatura e teor de umidade.... | 40 |
| Tabela 11 - Coeficiente de expansão térmica da polpa de jaca..... | 44 |
| Tabela 12 - Coeficiente de expansão térmica da polpa de umbu..... | 44 |
| Tabela 13 - Erro percentual para densidade da polpa de jaca, segundo modelos propostos em literatura..... | 45 |
| Tabela 14 - Erro percentual para densidade da polpa de umbu, segundo modelos propostos em literatura..... | 46 |
| Tabela 15 - Valores médios, calculados em quintuplicata, do calor específico das polpas de jaca e umbu em função do teor de umidade..... | 47 |
| Tabela 16 - Erro percentual para calor específico das polpas de jaca e umbu, segundo modelos propostos em literatura..... | 50 |
| Tabela 17 - Erro percentual para difusividade térmica da polpa de jaca, segundo modelos propostos em literatura..... | 53 |
| Tabela 18 - Erro percentual para difusividade térmica da polpa de umbu, segundo modelos propostos em literatura..... | 54 |
| Tabela 19 -. Erro percentual para condutividade térmica da polpa de jaca, segundo modelos propostos em literatura..... | 57 |

Tabela 20 - Erro percentual para condutividade térmica da polpa de umbu, segundo modelos propostos em literatura.....

NOMECLATURA

| | |
|-----------------------------|--|
| ρ | Densidade ou Massa específica (Kg/m^3) |
| ρ_A | Densidade da amostra (g/cm^3) |
| $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ | Densidade da água (g/cm^3) |
| m_A | Massa da amostra (g) |
| $m_{\text{H}_2\text{O}}$ | Massa de água (g) |
| m_V | Massa do picnômetro vazio (g) |
| C_p | Calor específico ($\text{kJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) |
| C_{pA} | Calor específico da amostra ($\text{kJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) |
| $C_{p\text{H}_2\text{O}}$ | Calor específico da água ($\text{kJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) |
| C_{cal} | Capacidade calorífica do calorímetro ($\text{kJ} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) |
| T | Temperatura ($^\circ\text{C}$) |
| T_e | Temperatura de Equilíbrio ($^\circ\text{C}$) |
| T_i | Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$) |
| T_w | Temperatura inicial da água ($^\circ\text{C}$) |
| α | Difusividade (m^2/s) |
| α_A | Difusividade da amostra (m^2/s) |
| A | Taxa de subida de temperatura do banho ($^\circ\text{C}/\text{s}$) |
| T_{ext} | Temperatura externa da célula ($^\circ\text{C}$) |
| T_{int} | Temperatura interna da célula ($^\circ\text{C}$) |
| CHO | Carboidratos (g) |
| Prot. | Proteínas (g) |
| Lip. | Lipídios (g) |
| X_w | Fração mássica de água (adimensional) |
| UMID | Umidade (%), em base úmida |
| K | Condutividade Térmica ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) |
| K_w | Condutividade térmica da água ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1- Introdução..... | 13 |
| 2 – Revisão de Literatura..... | 15 |
| 2.1 – Importância da Fruticultura..... | 15 |
| 2.2 – Jaca..... | 16 |
| 2.3 – Umbu..... | 18 |
| 2.4 – Composição Centesimal..... | 20 |
| 2.5 – Propriedades Termofísicas..... | 24 |
| 2.5.1 – <i>Densidade ou Massa Específica</i> | 25 |
| 2.5.2 - <i>Calor Específico</i> | 26 |
| 2.5.3 – <i>Difusividade Térmica</i> | 27 |
| 2.5.4 – <i>Condutividade Térmica</i> | 28 |
| 3 – Material e Métodos..... | 28 |
| 3.1 – Materiais..... | 28 |
| 3.2 – Planejamento experimental..... | 29 |
| 3.3 – Composição Centesimal e Análises Físico-Químicas..... | 30 |
| 3.3.1 – <i>pH</i> | 30 |
| 3.3.2 – <i>Brix</i> | 30 |
| 3.3.3 – <i>Acidez Total</i> | 30 |
| 3.3.4 – <i>Carboidratos</i> | 30 |
| 3.3.5 – <i>Proteínas</i> | 30 |
| 3.3.6 – <i>Gordura Total (Extrato Etéreo e/ou Lipídios)</i> | 31 |
| 3.3.7 – <i>Fibras</i> | 31 |
| 3.3.8 – <i>Umidade</i> | 31 |
| 3.3.9 – <i>Resíduo Mineral Fixo</i> | 31 |
| 3.4 – Determinação das Propriedades Termofísicas..... | 31 |
| 3.4.1 – <i>Determinação da Densidade</i> | 31 |
| 3.4.2 – <i>Determinação do Calor Específico</i> | 32 |
| 3.4.3 – <i>Determinação da Difusividade Térmica</i> | 33 |
| 3.4.4 – <i>Determinação da Condutividade Térmica</i> | 34 |
| 3.4.5 – <i>Comparação dos Dados Experimentais com Modelos Preditos em</i> | 34 |
| <i>Literatura</i> | |
| 4 – Resultados e Discussão..... | 36 |
| 4.1 – Caracterização Físico-Química..... | 36 |
| 4.2 – Propriedades Termofísicas..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1 – Densidade..... | 38 |
| 4.2.2 - Calor Específico..... | 46 |
| 4.2.3 – Difusividade Térmica..... | 50 |
| 4.2.5 – Condutividade Térmica..... | 55 |
| 5 – Conclusão..... | 59 |
| 6 – Referência Bibliográfica..... | 60 |

1. INTRODUÇÃO

O umbu e a jaca são frutas tropicais que apresentam uma produção expressiva na região nordeste, ainda que de maneira extrativista. Têm grande potencial de comercialização e, no entanto, são pouco exploradas em nosso país. Todavia, o interesse econômico por essas frutas vem sendo despertado, em virtude das possibilidades de utilização dos frutos no preparo de sucos, doces e sorvetes (ARAÚJO *et al.*, 2001). Além disso, dentre as alternativas de agronegócios criadas a partir do umbu, a produção de pickles da túbera da planta, pode ser uma alternativa promissora (MELO *et al.*, 2005).

Os frutos tropicais referenciados apresentam apelo “exótico” para mercados de outras Regiões do Brasil, como Sudeste e Sul, e para o mercado externo, o que vem estimulando o aumento da produção. Ainda não devidamente caracterizadas em especial no que se refere ao seu potencial para industrialização, estas frutas demandam pesquisas. Entre estas, ressaltam-se a adequação de tecnologias convencionais e o desenvolvimento de novas tecnologias para o desenvolvimento de produtos dessas frutas, de forma a promover um aproveitamento mais rentável, mediante a agregação de valor ao produto (FOLEGATTI, 2003).

Em alguns países de clima tropical e subtropical, as perdas com frutas podem chegar a aproximadamente 50% da produção devido à inadequada refrigeração e armazenamento. O principal objetivo do processamento de alimentos é convertê-los em produtos mais estáveis que possam ser estocados por longos períodos, tendo como técnicas mais importantes o enlatamento, o congelamento e a desidratação (SOUZA, 2007).

Polpas de frutas, na forma de matéria-prima destinada à industrialização, estão, como outros produtos alimentícios, sujeitas a processos de aquecimento e resfriamento. Os tratamentos térmicos são necessários para eliminar microorganismos contaminantes, inativar enzimas e retardar processos metabólicos e microbiológicos em condições de estocagem. Quando o alimento não é consumido imediatamente, existe a necessidade de ser processado, resfriado ou congelado para conservar suas características (ARAÚJO, QUEIROZ e FIGUEIREDO, 2004).

O conhecimento das propriedades termofísicas é essencial para o projeto eficiente e econômico de operações de processamento de alimentos envolvendo transferência de calor. Assim, é necessária tanto a obtenção de dados precisos de propriedades como condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico, quanto a predição do comportamento dessas propriedades durante o processo em função da temperatura. Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta dessas informações quando da seleção de valores de propriedades termofísicas usadas na análise inicial dos sistemas em estudo (MOURA *et al.*, 2003 e INCROPERA e DEWITT 2003).

Assim sendo, teve-se como finalidade neste trabalho realizar uma caracterização físico-química das polpas integrais de umbu e de jaca, realizando as análises de pH, acidez titulável, sólidos solúveis, composição centesimal e determinar as principais propriedades termofísicas envolvidas no processamento térmico: calor específico, massa específica, condutividade térmica e difusividade térmica em função da temperatura e do teor de umidade. Os resultados destas propriedades foram comparados também, com os modelos de predição encontrados na literatura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da Fruticultura

De modo geral é possível afirmar que a composição dos alimentos é muito variável e complexa, dependendo da origem de cada alimento (SILVA, 2002). Os vegetais são alimentos importantes e altamente benéficos para manutenção da saúde e prevenção de doenças, por apresentarem em sua composição nutrientes construtores e reparadores do organismo. São ricos em vitaminas, minerais e fibras, além do mais são pobres em gorduras, o que justifica a indicação em uma dieta saudável (HANIF *et al.*, 2006).

O crescimento do segmento de sucos reflete a mudança de hábitos do consumidor, que se preocupa com a saúde e qualidade do alimento ingerido. Essa tendência é mundial e, no Brasil, o consumo de sucos prontos para beber cresce a cada ano. Em 2003, foram 296 milhões de litros; em 2004, 332 milhões e a expectativa da indústria é fechar 2005 em 391 milhões de litros (MATTIETTO, 2005).

A venda de frutas processadas vem aumentando no mercado brasileiro em virtude da melhoria da qualidade dos produtos ofertados, do maior número de mulheres trabalhando fora de casa, do maior número de pessoas morando sozinhas, do aumento da renda e da maior facilidade de adquirir produtos já prontos para o consumo. Desta forma, sucos prontos para beber, frutas minimamente processadas, já lavadas, descascadas e fatiadas e outros alimentos industrializados têm recebido a preferência do consumidor (SEBRAE, 2004).

Quando se analisam os 35,3 milhões de toneladas da Produção Nacional de Frutas que constam das estatísticas, percebe-se que 53 % são de laranjas e 18 % de banana. São, portanto, 71% para as duas frutas, e, no caso da laranja, cerca de 70 % da produção nacional destina-se ao processamento industrial, onde o Brasil é o principal exportador de suco concentrado (SEBRAE, 2004).

Existe uma diversidade de frutas tropicais, que se destacam por serem amplamente cultivadas em diversos países, exportadas e consumidas ao redor do mundo, dentre estas estão a banana, a goiaba, a manga e o mamão. Mas algumas variedades de frutas tropicais de caráter regional do estado da Bahia ainda não foram adequadamente exploradas, a despeito de seu grande potencial como a Jaca (*Artocarpus heterophyllus Lamk*) e o Umbu (*Spondias tuberosa Arr. Cam.*) (KANZAKI *et al.*, 1997).

O Nordeste brasileiro destaca-se no cenário nacional, principalmente quanto à produção de suco concentrado, que é geralmente exportado ou vendido para as indústrias de sorvetes e de sucos. Além disso, dentre as alternativas de agronegócios criadas a partir do umbu, a produção de pickles da túbera da planta pode ser uma alternativa promissora (MELO *et al.*, 2005).

Gôndolas de supermercados e lojas de conveniência apresentam ao consumidor dezenas de marcas e sabores de sucos, dos mais tradicionais aos mais exóticos. Assim, a fruticultura é vista com seriedade de business: atividade rentável, saudável, geradora de divisas e empregos. Nas universidades e laboratórios dos próprios produtores de sucos, diversos estudos são feitos no sentido de aproveitar a flora frutífera brasileira, a mais rica e exótica do mundo (LABRUNA, 2001).

2.2. Jaca

A jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.) pertence à família *Moraceae* e encontra-se largamente distribuída em países como a Tailândia, Indonésia, Índia, Filipinas e Malásia. Durante a safra, esta fruta representa uma opção de alimento saudável para compor a dieta de pessoas em Bangladesh. Apresenta características de sazonalidade bem específica marcada pela concentração da oferta no período de dezembro/abril e de escassez entre maio/novembro. Além do mais é conhecida como alimento barato no sudeste da Ásia (CHOWDHURY *et al.*, 1997). Também é muito consumida nas regiões tropicais do Brasil, chegando a algumas regiões, como no Recôncavo Baiano, a constituir-se em alimento básico para comunidades rurais. Geralmente é utilizada no estado in natura, contudo são frequentemente transformados em doces e geléias caseiras. Outra forma de consumo é utilizá-la cozida como se fosse um vegetal (SOUZA, 2007).

Os colonizadores portugueses foram os quem trouxeram a jaca para o Brasil, onde se adaptou muito bem, sendo encontrada em uma extensa área desde a região Sudeste até a região Norte do país, especialmente em regiões úmidas de florestas tropicais (SEAGRI, 2006).

A jaqueira produz frutos de pesos bastante variados, existem autores na literatura que relatam o peso da fruta individual variando de 2,10 a 20 Kg (JAGADEESH *et al.*, 2007). A jaca é formada por vários gomos de coloração amarelo-pérola, que contém um grande caroço recoberto por uma polpa cremosa e viscosa, a parte comestível da jaca (Figura 1).

Uma única árvore pode produzir mais de cem frutos, que alcançam a maturação entre 180 e 200 dias. As variedades mais comuns de jaca são a dura (de frutos maiores com os gomos mais consistentes), a mole (de frutos menores, gomos mais macios e doces) e a jaca-manteiga (de consistência intermediária, muito comum no Rio de Janeiro) (SEAGRI, 2006).



(A)



(B)

Figura 1: Jaca vista em corte transversal (A); Frutículos de jaca (B).

É considerada uma fruta energética por ser rica em carboidratos e também apresenta um alto teor de fibras que são importantes para o funcionamento intestinal. Na composição, mostra-se rica também em cálcio, fósforo, ferro e vitaminas do complexo B principalmente a vitamina B2 (Riboflavina) e vitamina B5 (Niacina) (SOUZA, 2007). O conteúdo de vitaminas e alguns compostos voláteis contribuem para o flavour característico da fruta (RAHMAN *et al.*, 1998).

De acordo com SCHOTTLER e HAMATSCHEK (1994), há uma maior atração por frutas com aparência e o sabor exótico, por parte dos produtores, como no caso da jaca. Em virtude desse grande potencial de comercialização e nutricional, muitos estudos vêm sendo realizados com a jaca.

RAHMAN *et. al.* (1999) estudaram a composição centesimal e a variedade de carboidratos nas jacas mole e dura, de acordo com o grau de maturação e condições climáticas. Estes autores reportaram que o conteúdo de açúcares livres e amido aumentaram com a maturação em ambas as frutas, e que os açúcares que variaram em maiores proporções foram glicose, frutose e sacarose. Fizeram ainda uma examinação microscópica da polpa da jaca e descobriram que os grânulos de amido encontram-se empacotados em estruturas delgadas dentro das células do tecido vegetal.

A distribuição de açúcares livres e ácidos graxos nas diferentes partes da jaca (parte comestível, parte não comestível internamente, caroço e casca externa) foi estudada por CHOWDHURRY, *et al.*, (1997), Frutose, glicose e sacarose foram os açúcares mais encontrados em todas as frações, exceto na casca. Os ácidos graxos cáprico (6,2mg/100g), mirístico (0,3 - 6,7mg/100g), oléico (2,2 - 48,6 mg/100g), esteárico (2,0 - 43,2 mg/100g), linoléico (1,6 - 35,7 mg/100g), e aracdônico (4,3 - 63,4mg/100g), foram os mais encontrados variando em proporções nas diferentes partes da jaca.

Um novo produto de jaca seca foi elaborado por PUA *e.t. al.* (2007), acrescentando-se concentrações diferentes de goma arábica e lecitina de soja. Eles encontraram que a formulação do purê de jaca de melhor qualidade pode ser obtida acrescentando 2,65% de lecitina de soja e 10,28% de goma arábica no purê de jaca com 40% v/p de água.

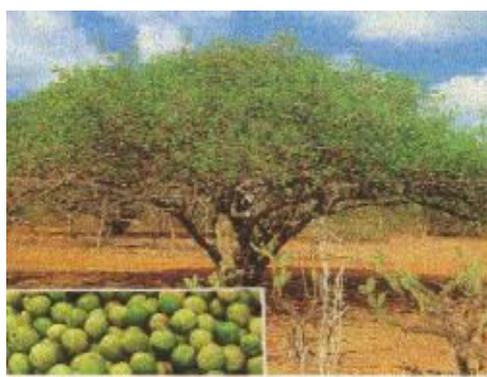
2.3. Umbu

O umbuzeiro é uma fruteira do gênero *Spondias*, nativa de regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro. É uma planta xerófila, caducifólia, adaptada ao calor, aos solos pobres e à falta de água. É uma árvore de pequeno porte, copa em forma de guarda-chuva, esparramada, tronco curto, galhos retorcidos e muito ramificados (Figura 2) (MENDES, 1990).

O umbuzeiro caracteriza-se pela alta resistência à seca, devido, principalmente, ao sistema radicular. As condições climáticas ideais giram em torno dos 400 a 800 mm anuais de precipitação pluviométrica e temperatura entre 12 a 38°C (SILVA *et. al.*, 1987).

O sistema radicular compõe-se de raízes longas, mais ou menos superficiais, contudo muito desenvolvidas (Figura 2). Inúmeras raízes concentram-se nos primeiros 100 cm de solo e são denominadas xilopódios ou túberas, as quais normalmente medem 20 cm de diâmetro e pesam 4 kg. Suculentas, de sabor doce e agradável, as raízes são ricas em reservas nutritivas e aproveitadas na alimentação pelos sertanejos. São conhecidas vulgarmente como *cafofas*, *cuncas* ou *batatas de umbu* (LIMA *et al.*, 2000).

O umbuzeiro apresenta-se como uma árvore que propícia excelente proteção para o solo, visto possuir uma copa que pode atingir até 15 metros de diâmetro (CORRÊA, 1978). Essa característica torna-o uma opção de escolha para emprego como cobertura vegetal de áreas desmatadas e uma alternativa no combate ao processo de desertificação já instalado em extensas áreas da região (IBAMA, 1992).



(A)



(B)

Figura 2: Umbuzeiro; Raiz do Umbuzeiro.

Existem ainda na literatura trabalhos que reportam a composição físico-química dos xilopólipos ou túberas em umbuzeiro, em virtude de constituir-se numa reserva nutritiva para a planta. Os xilopódios são utilizados por pequenos agricultores para alimentação dos animais na seca e para produção de doce caseiro, principalmente no Estado de Pernambuco e sertões da

Bahia, onde vem se atribuindo a extinção dessa espécie à retirada dos xilopódios pelos agricultores – (GOMES, 1989; MATTOS, 1990; ESPTEIN, 1998), citados por (CAVALCANTE e RESENDE, 2006).

Estudos de pesquisadores da Embrapa do Semi-Árido (2005) mostram que atividade extrativista desenvolvida pelos pequenos agricultores da região do Semi-Árido do Nordeste é de grande importância para a absorção de mão-de-obra e geração de renda, como também na fixação do homem ao campo, visto que os agricultores que colhem o umbu normalmente permanecem em suas comunidades a espera da próxima safra do umbuzeiro. No que se refere à renda dos pequenos agricultores, pode-se dizer que os recursos provenientes da venda do fruto do umbuzeiro, em alguns casos, são a principal fonte de renda para a maioria das famílias rurais da região.

Os frutos são drupas com 2 a 4 cm de diâmetro, de 10 a 20 g de massa, arredondadas de superfície lisa ou com 4 a 5 pequenas protuberâncias na porção distal, glabras ou levemente pilosas. A casca é de cor amarelo-esverdeada e polpa branco-esverdeada, mole, succulenta e de sabor agridoce agradável (Figura 3) (LIMA *et al.*, 2000).

SOUZA e CATÃO (1970) encontraram 87,8% de umidade, 8,34% de açúcares totais, 1,57% de acidez (em ácido tartárico) e 31,2 mg de vitamina C em 100 g de frutos de umbu recém-colhidos. Bispo (1989) analisou também, na polpa de umbu, o teor de proteínas, lipídeos, fibras, cinzas, pectina e taninos encontrando os seguintes valores, respectivamente, 0,52%, 0,35%, 0,37%, 0,35%, 0,82%, 126,27 mg em 100 g.



Figura 3: Umbu visto em corte transversal.

ALBUQUERQUE e ANDRADE (2002), citado por MATTIETTO (2005), realizaram uma pesquisa de campo sobre o uso de recursos vegetais da caatinga, especialmente do agreste de Pernambuco. Foram descritas e comentadas 75 espécies para diversas finalidades, especialmente medicinais e comestíveis. Para revelar as espécies mais importantes, foi realizada uma análise quantitativa levando em consideração: (i) nível de fidedignidade; (ii) o grau de consenso entre as respostas; (iii) a popularidade relativa e (iv) a importância relativa da planta. O umbu foi a espécie que apresentou melhores resultados, sendo citada por 100% dos entrevistados e indicando uma importância na região também de 100%.

FOLEGATTI *et al.* (2003) fizeram um estudo de adequação da tecnologia convencional de processamento de geléias e compotas para produção destes produtos a partir do umbu, avaliando a aceitação sensorial e as características físico-químicas desses produtos. A geléia de umbu mais aceita foi a produzida com proporção polpa:açúcar de 50:50, ao passo que para a compota houve uma relação direta entre a aceitação sensorial e o teor final de sólidos solúveis totais, sendo o produtos finais com 30°Brix e 35°Brix os mais bem aceitos sensorialmente.

BORGES *et al.* (2007) analisaram a composição química de sementes de umbu e concluíram que uma quantidade significativa de lipídeos foi encontrada na semente de umbu, e um alto conteúdo de mineral, sugerindo sua utilização como óleo comestível, caso não seja comprovada nenhuma toxicidade e fatores alergênicos.

2.4. Composição Centesimal:

O organismo consome energia continuamente por meio do metabolismo energético, que compreende todas as vias bioquímicas utilizadas para obter e usar a energia oriunda do rompimento das ligações químicas presentes nos nutrientes que compõem os alimentos. Desta forma, os processos fisiológicos (tais como a manutenção de gradientes químicos e eletroquímicos das membranas celulares, contração muscular, biossíntese de macromoléculas como o glicogênio, as proteínas e os triacilgliceróis) são garantidos (CUPPARI, 2002).

Os alimentos são constituídos de vários grupos de nutrientes, entre os quais aqueles que, sob sua forma monomérica, são passíveis de reações catabólicas com posterior geração de energia sob a forma de ATP (adenosina Trifosfato), sendo chamados de nutrientes energéticos. São eles: os carboidratos sob a forma de glicose; os triacilgliceróis, sob a forma de ácido graxo e glicerol; as proteínas, sob a forma de aminoácidos.

Para mensurar a quantidade de energia de um alimento utiliza-se uma bomba calorimétrica, ou calorímetro, e a unidade de energia utilizada com mais frequência é a caloria (cal) e/ou quilocaloria (Kcal). Dessa forma, a quantidade de calor produzida por um grama de amostra purificada de carboidrato, de lipídeo, e de proteína queimados nesse aparelho proporciona respectivamente 4,10, 9,45 e 5,65 kcal. Entretanto, deve-se levar em consideração que existem perdas no processo de digestão, cerca de 98% de carboidrato, 95% de gordura e 92% de proteínas são absorvidos, além disso, no caso das proteínas, o grupamento amino de seus aminoácidos é excretado na urina principalmente na forma de uréia. Assim, aceitam-se os valores de 4 Kcal/g de carboidrato e de proteína, 9 Kcal de lipídio, como ilustrado na Figura 4 (CUPPARI, 2002).

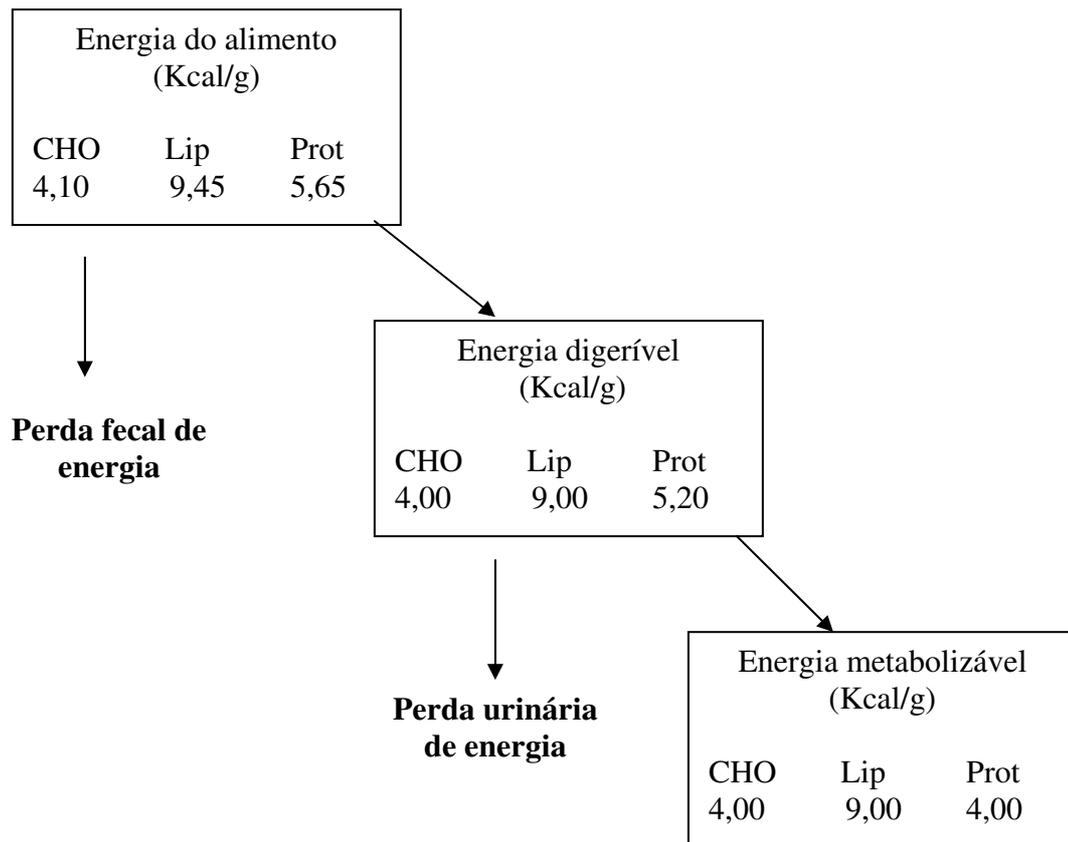


Figura 4: Energia disponível nos nutrientes após processos fisiológicos (adaptado de Cuppari, 2002).

A necessidade nutricional pode ser definida como as quantidades de nutrientes e de energia disponíveis nos alimentos que os indivíduos sadios devem ingerir para satisfazer as necessidades fisiológicas normais e prevenir sintomas de deficiência. Para a população consumir equilibradamente os nutrientes de acordo com as necessidades nutricionais, são necessários dados sobre composições de alimentos. A partir daí, calcula-se a quantidade de energia fornecida pelo alimento para adequar o planejamento alimentar de acordo com as necessidades individuais. Para proceder ao cálculo utiliza-se a Equação 1:

$$\text{Energia fornecida pelo alimento (Kcal)} = \text{CHO (g)} \cdot 4 + \text{Prot (g)} \cdot 4 + \text{Lip (g)} \cdot 9 \quad (1)$$

A composição centesimal corresponde à proporção de grupos homogêneos de substâncias presentes em 100 gramas de um alimento, exprimindo de forma grosseira o valor nutritivo. Os grupos homogêneos de substâncias dizem respeito àqueles compostos que se encontram em praticamente todos os alimentos, a saber: umidade, lipídeos ou extrato etéreo, proteína bruta, fibra bruta, cinzas ou resíduo mineral fixo e fração glicídica (BOAS, 1999).

A análise de alimentos é uma área muito importante, visto que atua em vários segmentos do controle de qualidade, da fabricação e estocagem do alimento processado. Além

disso, é muito útil na caracterização de alimentos “*in natura*”, principalmente alimentos novos e ainda desconhecidos, como as frutas típicas do nordeste brasileiro. O controle analítico da matéria-prima e dos produtos industrializados, envolvendo as determinações de pH, acidez, sólidos solúveis, entre outras, é essencial para garantir um produto final de qualidade e uniformidade antes de ser colocado no mercado (CECCHI, 1999).

Quimicamente, os alimentos são constituídos principalmente de C, H, O e N, porém quantidades menores de outros elementos são encontradas (GAVA, 1999). Como qualquer ser vivo, um alimento é composto de macro e micronutrientes. Dentre os macronutrientes estão as moléculas de água, proteínas, lipídeos e glicídeos. Nestas frações encontram-se inseridas as vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis, que, juntamente com os minerais, constituem os micronutrientes (ANDRADE, 2006).

Carboidratos são polidroxialdeídos (aldoses que possuem em sua constituição um grupo aldeídico) ou cetonas (cetoses que possuem em sua constituição um grupo cetona) ou substâncias que produzem esses compostos quando hidrolisadas. Existem três classes principais de carboidratos: monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os monossacarídeos são estruturas simples que não podem ser hidrolisadas em partículas menores, fato pelo qual são também conhecidos como “açúcares simples”. Oligossacarídeos são constituídos por pequenas cadeias de monossacarídeos, duas, três ou quatro, originando os di-, tri- ou tetrassacarídeos. Por fim os polissacarídeos, que são longas cadeias, centenas ou milhares de unidades de monossacarídeos (BOAS, 1999).

Os carboidratos são nutrientes preponderantemente energéticos e mais requerido que os lipídeos e as proteínas no fornecimento de energia para atividade celular, além de desempenharem outras funções, como: economizam proteínas, poupando-as para a função construtora; ajudam a manter a normalidade da oxidação de lipídeos, devido a ação anticetogênica; e entram na constituição de inúmeros compostos que regulam o metabolismo. Em geral são responsáveis pela textura e *flavor* em muitos processamentos de alimentos (CAVALCANTE, 1995).

Quimicamente, as **proteínas** são polímeros de alto peso molecular formados por cadeias de aminoácidos unidos por ligações peptídicas. Uma única molécula de proteína contém centenas ou mesmo milhares de unidades aminoacídicas (MORRISON, 1973). A seqüência da ligação determinada geneticamente é conhecida como estrutura primária. A conformação no espaço em forma linear, dupla hélice ou dupla pregueada constitui a estrutura secundária da proteína. Já a forma como a estrutura secundária arranja-se no espaço, estendendo-se ou dobrando-se sobre si mesma, é a estrutura terciária. A estrutura quaternária é a associação de subunidades de estrutura terciária. Cada tipo de proteína tem uma seqüência única de aminoácidos, esta juntamente com sua estrutura tridimensional ditará as funções exercidas pela proteína (COSTA, 2007).

A proteína da dieta é fonte para 20 aminoácidos primários. Todos os seres vivos são capazes de sintetizar aminoácidos. Muitas das espécies, entretanto, não são capazes de sintetizar no próprio sistema biológico todos os aminoácidos necessários à vida. Os oito aminoácidos que a espécie humana não é capaz de sintetizar são chamados aminoácidos essenciais (valina, leucina, isoleucina, treonina, metionina, fenilalanina, triptofano e lisina), sendo necessário obtê-los por meio da alimentação (HARPER, 1982; MORRISON, 1973).

Dentre as inúmeras funções das proteínas, pode-se citar aquela que serve de carreador de substâncias como íons, ou moléculas no plasma sanguíneo, a exemplo da hemoglobina. Outras proteínas ancoradas em membranas biológicas são receptoras para compostos específicos que funcionam na regulação celular. Além disso, há os fatores de coagulação, os anticorpos, os hormônios, as enzimas que também são proteínas (COSTA, 2007).

Os **lipídeos** são compostos de origem biológica solúveis em solventes orgânicos, com moléculas constituídas essencialmente de C, H, O; em algumas classes P, N, S. São classificados como: simples (ácidos graxos e álcoois); compostos (fosfolipídeos); derivados obtidos após hidrólise dos lipídeos compostos ou simples representados por ácidos graxos, glicerol, esteróis, fitoesteróis, vitaminas lipossolúveis e pigmentos. As propriedades químicas e funcionais dos triglicerídeos são características dos ácidos graxos que o formam (ANDRADE, 2006).

Embora possa apresentar estrutura química relativamente simples, as funções dos lipídeos são complexas e diversas, atuando em inúmeras etapas do metabolismo e na composição das estruturas celulares. Citam-se como funções dos lipídeos a reserva de energia em animais e sementes oleaginosas; componente estrutural de membranas biológicas; oferecem isolamento térmico, elétrico e mecânico para proteção de células e órgãos; precursores de hormônios sexuais (COSTA, 2007).

As propriedades físicas, químicas e nutricionais dos óleos e gorduras dependem fundamentalmente da natureza, número de carbonos, insaturações e posição dos grupos acila presentes na molécula de triacilgliceróis. Nos ácidos graxos saturados, todos os locais de ligação não ligados ao carbono estão “saturados” com hidrogênio. Os ácidos graxos monoinsaturados contêm apenas uma ligação dupla e nos ácidos graxos poliinsaturados contêm duas ou mais ligações duplas (HARPER, 1982).

Fibra Alimentar ou dietética é definida como aquela porção do alimento que se origina das paredes de célula vegetal e que não é prontamente digerida por enzimas no trato digestivo humano. Apesar dos termos fibra e fibra alimentar serem algumas vezes usados sinonimamente, a fibra é o termo preferido e inclui as frações solúveis e insolúveis em água (HARPER, 1982).

Têm sido relatados numerosos estudos que relacionam o papel da fibra alimentar com a prevenção de certas enfermidades como diverticulite, câncer de cólon, obesidade, problemas cardiovasculares e diabetes. Por outro lado, é importante também conhecer o tipo de fibra

presente em cada alimento, pelo menos quanto a sua solubilidade em água, tendo em vista que embora haja efeitos fisiológicos relacionados com a fração fibra total, existem outros, como a redução da colesterolemia e da glicemia, que têm sido mais relacionados com a fração solúvel da fibra (CALLEGARO, 2005).

2.5. Propriedades Termofísicas:

O aumento da demanda dos produtos alimentícios no país traz como conseqüências a exigência de modernização, adequação tecnológica e maior qualidade para as indústrias. O cumprimento dessas exigências só acontecerá com maiores informações científicas sobre o processamento dos alimentos, o que passa pelo conhecimento das propriedades físicas para os cálculos dos processos (MOURA, 2005).

O conhecimento das propriedades termofísicas é essencial para o projeto eficiente e econômico de operações de processamento de alimentos, envolvendo transferência de calor (ARAÚJO, QUEIROZ, FIGUEIREDO, 2004). Assim, é necessária tanto a obtenção de dados precisos de propriedades como condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico, quanto à predição do comportamento dessas propriedades durante o processo, em função da temperatura (BRAYAN, *et al.*, 1999).

Desta maneira, como as polpas de frutas, na forma de matéria-prima destinada à industrialização, estão sujeitas aos processos de aquecimento e resfriamento é interessante que se determinem suas propriedades termofísicas. Isto melhoraria a situação do comércio de frutas, em especial para o Brasil, um país que se destaca pelo potencial de produção no gênero.

Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta dessas informações quando da seleção de valores de propriedades termofísicas usadas na análise inicial dos sistemas em estudo. A necessidade de se conhecer as propriedades térmicas com precisão tem levado ao estudo da influência da composição e da temperatura nestas propriedades (MOURA *et al.*, 2003; INCROPERA e DEWITT, 2003).

As propriedades térmicas dos alimentos são dependentes da composição química e da temperatura. Os dados da composição para alimentos estão prontamente disponíveis na literatura. Tais componentes incluem a água, proteína, gordura, carboidrato, fibra e cinza. As propriedades térmicas do alimento podem ser preditas usando estes dados da composição conjuntamente com modelos matemáticos dependentes da temperatura e das propriedades térmicas dos componentes individuais. Há também procedimentos analíticos cada vez mais sofisticados, considerando a variação com o tempo e a temperatura (BRAYAN, *et al.*, 1999).

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos a fim de se estabelecer influência da temperatura e concentração nas propriedades termofísicas. CHOI e OKOS (1983) estudaram as propriedades térmicas de suco de tomate numa faixa ampla de temperatura (20 °C a 150 °C) e

concentração (4.8% a 80% de sólidos totais). Estes pesquisadores relataram que, para o suco de tomate, as propriedades termofísicas condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico diminuíram com o decréscimo da temperatura e conteúdo de água. Enquanto a densidade comportou de maneira inversa, diminuindo com o aumento da temperatura e do conteúdo de água.

CONSTENLA, *et al.*, 1989 desenvolveram um trabalho semelhante para suco clarificado de maçã. O trabalho apresenta resultados experimentais de determinações de densidade, viscosidade, calor específico e condutividade térmica, numa faixa de concentração de 12 a 70 °Brix e variação de temperatura de 20 a 90 °C. Os resultados mostraram uma influência da concentração e temperatura na determinação dessas propriedades e modelaram os dados em função destas variáveis.

O efeito da temperatura (0,5 – 62 °C) e teor de umidade (0,34 – 0,73 m/m) na densidade, condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica do suco de laranja brasileira foram estudados por TELIS-ROMERO *et al.* (1998) que encontraram uma dependência linear entre estas propriedades e as variáveis independentes quando se ajustaram os modelos estatísticos.

AZOUBEL *et al.* (2004) trabalharam com suco de caju, determinado a densidade, difusividade e condutividade térmicas e viscosidade a concentrações variadas de sólidos solúveis (5,5 – 25 °Brix) para uma temperatura de 30 °C. Ambas as propriedades diminuíram com o aumento da concentração, exceto a densidade e viscosidade que aumentaram. Os modelos propostos por RAMOS e IBARZ (1998) para o suco de laranja e pêsego despectinado e clarificado foram utilizados para comparação com os dados experimentais.

As informações sobre propriedades termofísicas de polpa de frutas tropicais são escassas, porém são imprescindíveis em sistemas industriais onde se aplicam processos de aquecimento, resfriamento e estocagem sob temperatura controlada. Os dados característicos de cada material também permitem prever a relação tempo-temperatura requerida para se atingir à temperatura desejada no processo, seja de aquecimento ou resfriamento (MUNIZ, *et al.*, 2006).

2.5.1. Densidade ou Massa Específica:

A massa específica de uma substância é definida como a massa por unidade de volume e expressa em kg/m³ no sistema internacional de unidade (MUNSON *et al.*, 1997).

$$\rho_A = \rho_{H_2O} \cdot \frac{(m_A - m_v)}{(m_{H_2O} - m_v)} \quad (2)$$

Onde: ρ_A é a massa específica da amostra (kg/m^3) a uma dada temperatura; ρ_{H_2O} é a massa específica da água (kg/m^3) na mesma temperatura; m_A é a massa (kg) do picnômetro cheio da amostra; m_{H_2O} é a massa do picnômetro (kg) cheio de água e m_V é a massa do picnômetro (kg) vazio.

Muitos processos químicos, tais como a fermentação, são controlados por meio da medida de massa específica (SILVA *et al.*, 1990). Dados sobre essa propriedade são, também, necessários para projetar e avaliar equipamentos de processamento de alimentos como evaporadores, bombas, filtros e misturadores e servem, ainda, como índice de qualidade do produto final (ÁLVARO e ROMERO, 1989).

PEREIRA *et al.* (2002) avaliaram a massa específica de polpa de açaí em três concentrações (15,2, 12,5 e 9,7%) e temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C. Neste experimento ele observou um decréscimo da densidade com o aumento do teor de água e da temperatura da polpa e também propôs um modelo linear que representa a influência dessas variáveis. Entre os modelos utilizados no trabalho para comparação com os valores experimentais o que mostrou melhor adequação para o cálculo teórico foi o de CONSTELA *et al.* (1989), pois apresentou um erro percentual máximo de 0,41%.

RAMOS e IBARZ (1998) trabalharam com suco e purê de frutas. Na determinação da densidade do suco de laranja e de suco clarificado de pêssego, foram utilizadas temperaturas de 0 a 80°C e concentrações de 10 a 60°Brix. Na determinação da densidade dos purês de maçã e marmelo, a faixa de temperatura trabalhada foi também de 0 a 80°C e uma concentração fixa de 12,3°Brix. A temperatura em todos os modelos ajustados apresentou efeito linear, tanto para os sucos como para os purês, enquanto que para concentração de sólidos os autores ajustaram modelos com efeito quadrático que foi avaliado apenas para os sucos. O nível de confiança adotado neste experimento foi de 95% e os coeficientes de determinação encontrados foram superiores a 0.99.

2.5.2. Calor Específico:

O calor específico é definido como a quantidade de energia necessária para alterar em uma unidade de temperatura uma massa unitária de um material qualquer, sendo importante para se determinar a quantidade de energia a ser adicionada ou removida em processos de aquecimento e resfriamento (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Para se determinar o calor específico o método do calorímetro de mistura é simples e bastante utilizado. Este método foi utilizado pelos autores VIEIRA (1996), para o suco de laranja; JHA e PRASAD (1993), em nozes; HENSE (1990), para filé de cação; SHARMA e TOMPSON (1973), para grãos de sorgo; WRIGHT e PORTEFIELD (1970), para amendoim; KAZARIAN e HALL (1965), para grãos de milho, citados por SIMÕES (1997).

Neste método, utiliza-se um recipiente isolado, de capacidade calorífica conhecida, com um líquido inerte. O cálculo do calor específico é feito através de um balanço global de massa e energia em um sistema isolado termicamente (Equação 3). Podem ocorrer perdas ou ganho de energia entre o calorímetro e o meio externo. Assim, é recomendado realizar a calibração do instrumento, usando as mesmas condições da realização do ensaio.

$$c_{pA} = \frac{c_{pH2O} \cdot m_{H2O} \cdot (T_e - T_w) + C_{cal} \cdot (T_e - T_i)}{m_A \cdot (T_e - T_i)} \quad (3)$$

Onde: c_{pA} é o calor específico da amostra ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$), c_{pH2O} é o calor específico da água ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$), C_{cal} é a capacidade calorífica do calorímetro ($\text{kJ} \cdot \text{°C}^{-1}$), m_A é a massa de amostra (kg), m_{H2O} é a massa de água adicionada (kg), T_e é a temperatura de equilíbrio ($^{\circ}\text{C}$), T_i é a temperatura inicial da amostra e do calorímetro ($^{\circ}\text{C}$) e T_w é a temperatura inicial da água).

2.5.3. Difusividade Térmica:

A difusividade térmica mede a capacidade de um material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la (INCROPERA e DEWITT, 2003), sendo a mais utilizada das propriedades térmicas quando ocorre a transferência de calor em regime transiente (ARAÚJO *et al.*, 2004). Esta propriedade é requerida para estabelecer a rapidez que o calor se difunde no alimento e conhecer as relações de tempo-temperatura que podem causar mudanças de nutrientes, texturas etc (SILVA, 1997).

DICKERSON (1965) propôs uma metodologia para determinar a difusividade que vem sendo muito empregada desde a criação, como por LUNA e BRESSAN (1985), VAGENAS e MARINOS-KOURIS (1990), MAGGE e BRANSBURG (1995), citados por SILVA (1997), ARAÚJO (2004), LIMA (2003), MOURA (2003). Este método apresenta uma vantagem quando comparado aos métodos estacionários que dizem respeito ao tempo relativamente curto para realização do experimento e também ao fato de não ser necessário conhecer o fluxo de calor.

O aparato proposto por DICKERSON (1965) consiste de um banho de água com agitação e um cilindro metálico imerso contendo a amostra. Ao cilindro de alta condutividade e extremidades isoladas com rolhas plásticas estão acoplados termopares para o acompanhamento das temperaturas, um inserido na superfície externa e outro internamente, no centro da secção cilíndrica. Durante o decorrer do ensaio, são colhidos apenas dados de tempo-temperatura até que se atinja uma taxa constante de aumento de temperatura nos dois termopares.

O cálculo da difusividade térmica pode ser determinado utilizando-se a Equação 3 proposta por DICKERSON (1965):

$$\alpha_A = \frac{A \cdot R^2}{4 \cdot (T_{EXT} - T_{INT})} \quad (4)$$

Onde: α_A é a difusividade térmica da amostra (m^2/s), A é a taxa de subida de temperatura do banho ($^{\circ}C/s$), R é o raio da célula (m) e $(T_{ext} - T_{int})$ é a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna da célula ($^{\circ}C$).

Os valores da constante da velocidade de aquecimento (A) e $(T_{ext} - T_{int})$ foram obtidos do gráfico de temperatura $(T_{ext} - T_{int})$ versus tempo, construídos a partir dos dados coletados. A inclinação da reta formada pelas temperaturas versus tempo é a taxa de aquecimento do banho.

2.5.4. Condutividade térmica:

A condutividade térmica é definida como a constante de proporcionalidade que relaciona a taxa de transferência de calor por um material com área de transferência de calor e a variação de temperatura com a distância no material (INCROPERA e DEWITT, 2003), podendo ser entendida como a capacidade de um material em conduzir calor (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Nos alimentos, a condutividade térmica depende principalmente da composição, mas também da presença de espaços vazios e da homogeneidade (SILVA, 1997).

Uma vez determinados os valores para a difusividade térmica, o calor específico e a massa específica de uma amostra a uma dada temperatura, a condutividade térmica pode ser determinada pela Equação 4, (INCROPERA e DEWITT, 2003):

$$k_A = \alpha_A \cdot \rho_A \cdot c_{pA} \quad (5)$$

Onde: k_A é a condutividade térmica da amostra ($W \cdot m^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Materiais

A etapa experimental de determinação das propriedades termofísicas foi realizada no Laboratório de Engenharia e Processos do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

A Figura 5 mostra o fluxograma de obtenção das polpas de jaca e umbu, estas frutas foram adquiridas nas regiões Sul e Sudoeste da Bahia.

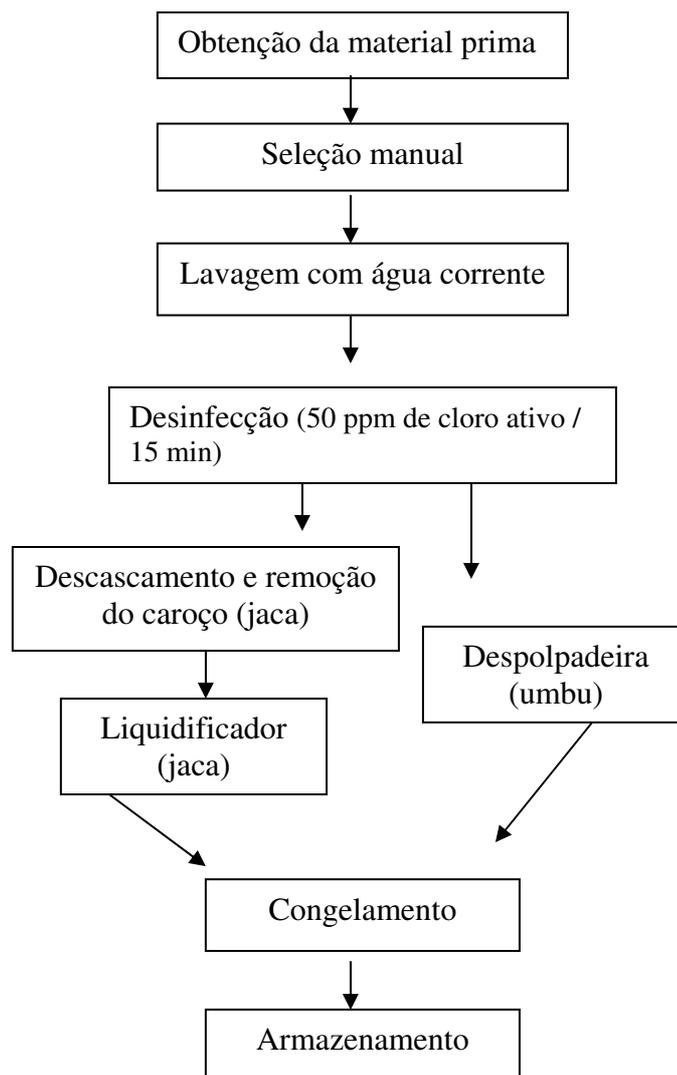


Figura 5: Fluxograma de obtenção das popas de jaca e umbu.

3.2. Planejamento Experimental

Para determinação da densidade da polpa de umbu foi conduzido um experimento em esquema fatorial 9 X 7 para polpa de jaca, sendo as temperaturas de 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C e os teores de umidade de 65 %, 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 % e 95 %, em base úmida, instalado no delineamento inteiramente casualizado. Para a difusividade e condutividade térmicas, os teores de umidade foram de 70 %, 80 %, 85 %, 90 % e 95 %, em base úmida, com as mesmas temperaturas usadas na determinação da densidade. O calor específico foi determinado para os teores de umidade de 65 %, 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 % e 95 %.

Enfim, com a polpa de umbu, igualmente, verificaram-se os efeitos do teor de umidade e da temperatura nas propriedades termofísicas, já citadas. Para isso, foi adotado o esquema fatorial 9 X 6, sendo as temperaturas de 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e

85 °C e os teores de umidade de 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 % e 95 %, em base úmida, instalado no delineamento inteiramente casualizado, na determinação da densidade. Para difusividade e condutividade térmicas os teores de umidade foram de 75 %, 80 %, 85 %, 90 % e 95 %, em base úmida, com as mesmas temperaturas usadas para densidade. O calor específico foi determinado para os teores de umidade de 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 % e 95 %.

3.3. Composição Centesimal e Análises Físico-Químicas

3.3.1. pH

O pH foi determinado utilizando-se um potenciômetro de bancada da marca Quimis, devidamente calibrado. Método Instituto Adolfo Lutz (1996), nº 4.7.2..

3.3.2. Brix

O Brix foi determinado pelo método refratométrico proposto pela AOAC (1990). Uma alíquota da amostra diluída e triturada foi colocada sobre o prisma de um refratômetro portátil ATAGO com escala 0 a 32 °Brix, procedendo-se à leitura direta do índice refratométrico.

3.3.3. Acidez Total

A acidez das amostras foi determinada através de titulação com NaOH 0,1N, com fenolftaleína 1% (em etanol) como indicador, expresso em % de ácido cítrico (massa por volume, em base úmida).

3.3.4. Carboidratos

A porcentagem de carboidratos foi feita pela diferença entre 100 e o somatório das porcentagens detectadas de proteínas, lipídios totais, umidade, fibras e cinzas (MENDONÇA, 2003).

3.3.5. Proteína

A análise de proteína foi realizada segundo o método Kjeldahl. Neste método a amostra de alimento é digerida, a altas temperaturas, com ácido sulfúrico concentrado, e em presença de um sal de metal pesado, por exemplo, sulfato de cobre, como catalisador. Adiciona-se à mistura de digestão o sulfato sódico, para elevar o ponto de ebulição. Nestas condições a matéria orgânica oxida-se e o nitrogênio orgânico fica retido na solução sob a forma de sulfato de amônio. Uma vez terminada a digestão, transfere-se uma alíquota para o aparelho conhecido como destilador de Markham. A solução é alcalinizada para que os íons amônio passem a amoníaco que é arrastado por uma corrente de vapor e recolhido com alíquota de ácido bórico e realiza-se a determinação por titulação (CUNNIFF, 1998).

A razão entre o nitrogênio medido e a proteína estimada depende do tipo de amostra e de outros fatores. Para converter o nitrogênio medido em proteína, devemos multiplicar o conteúdo de nitrogênio por um fator pertinente ao material em estudo, que é 5,7 para trigo e 6,25 para alimentos em geral (GOMES, 2003; CECCHI, 1999).

3.3.6. Gordura Total (Extrato Etéreo e/ou Lipídios)

O teor de lipídeos foi avaliado, segundo o método de Extração com Solvente Orgânico, utilizando-se um Extrator Soxhlet, expresso em % de lipídeos (massa por volume, em base úmida). O processo é gravimétrico e está baseado na perda de peso do material submetido à extração com éter ou na quantidade de material solubilizada pelo solvente (BOAS, 1999).

3.3.7. Fibra

Pelo método de determinação de fibras em detergente neutro determina-se celulose, hemicelulose e lignina, que são fibras insolúveis, ou seja, fibra bruta. A amostra, seca e moída, foi pesada e colocada em tubo digestor com solução detergente neutro (lauril sulfato de sódio, EDTA, tetraborato de sódio, fosfato ácido de sódio e etileno glicol) e aquecida em bloco digestor a 100°C por uma hora. Após a digestão, a solução foi filtrada com água quente e em seguida com acetona para a separação dos componentes solúveis em detergente. Os componentes insolúveis (fibra) recolhidos em cadinho, foram à estufa para secagem e posterior pesagem, os quais equivalem à celulose, lignina e hemicelulose presentes na amostra (CECCHI, 1999).

3.3.8. Umidade

O teor de umidade foi determinado após secagem em estufa a 70°C e por meio de uma balança determinadora de umidade, expresso em % de água (massa por volume, em base úmida).

3.3.9. Resíduo Mineral Fixo (Cinzas)

O teor de minerais foi determinado segundo análise de cinzas (resíduo mineral fixo), com calcinação das amostras em mufla a 550°C, expresso em % de cinzas (massa por volume, em base úmida).

3.4. Determinação das Propriedades Termofísicas

3.4.1. Determinação da Massa Específica

A determinação da massa específica –densidade- foi feita por meio do método picnométrico, em triplicata. Para cada temperatura de interesse (mantida constante utilizando-se um banho termostático, Marca Quimis) o picnômetro, lavado com álcool e seco, era pesado vazio em uma balança analítica com a massa devidamente registrada. Posteriormente, o picnômetro foi preenchido com água destilada na temperatura de trabalho, e a massa medida. Dessa forma, conhecendo a massa específica da água na mesma temperatura e considerando a relação existente entre esta grandeza com massa e volume, obteve-se o volume exato do picnômetro (calibração). Em seguida, o mesmo foi limpo, como mencionado anteriormente, preenchido com a amostra também na temperatura de interesse e pesado em uma balança analítica, com a massa devidamente registrada (Figura 6). O valor da massa específica para a amostra é determinado, então, pela Equação 2, citada na revisão de literatura.



Figura 6: Pesagem do picnômetro com amostra.

3.4.2. Determinação do Calor Específico

O calor específico das amostras foi determinado, utilizando-se o método do calorímetro de mistura. O calorímetro de mistura utilizado foi constituído por uma garrafa térmica isolada termicamente de maneira reforçada, com um termopar adaptado para medições e preenchido com água a uma dada temperatura e então era inserido no sistema um saquinho de polietileno selado com a amostra dentro (Figura 7). Aguardava-se o tempo suficiente até que o sistema atingisse o equilíbrio. Com as informações obtidas, calculava-se o valor do calor específico pela Equação 3, citada na revisão de literatura.

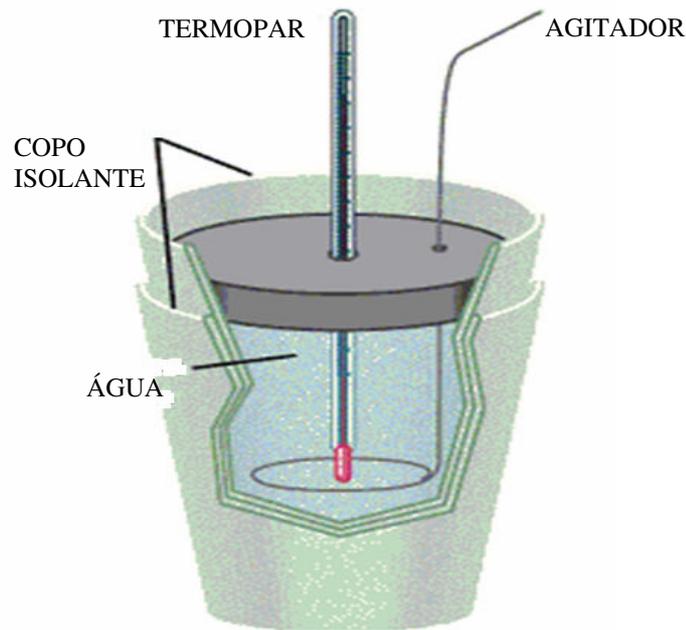


Figura 7: Desenho esquemático do calorímetro de mistura utilizado para medição do calor específico.

3.4.3. Determinação da Difusividade Térmica

Foi utilizado na determinação da difusividade térmica um método adaptado de DICKERSON (1965), empregando-se uma cápsula metálica de aço inoxidável (3,8 cm de diâmetro, 25,5 cm de altura e 1,0 mm de espessura), isolada termicamente nas extremidades, com dois termopares acoplados, um na superfície externa da cápsula e o outro disposto no plano central dela (Figura 8).

A cápsula metálica foi totalmente preenchida com a amostra e então mergulhada em um banho térmico cinemático, marca Marconi a 2°C. Aguardava-se que o equilíbrio térmico entre a célula e o banho fosse alcançado. Nesse momento, iniciava-se o aquecimento no banho até que a temperatura interna da cápsula chegasse a aproximadamente 85°C. Foram registrados os valores da temperatura dos dois termopares, em intervalos de 2 minutos até o fim do experimento. Com os dados obtidos, foi calculada a difusividade térmica conforme a equação 4, citada na revisão de literatura.

TERMOPARES

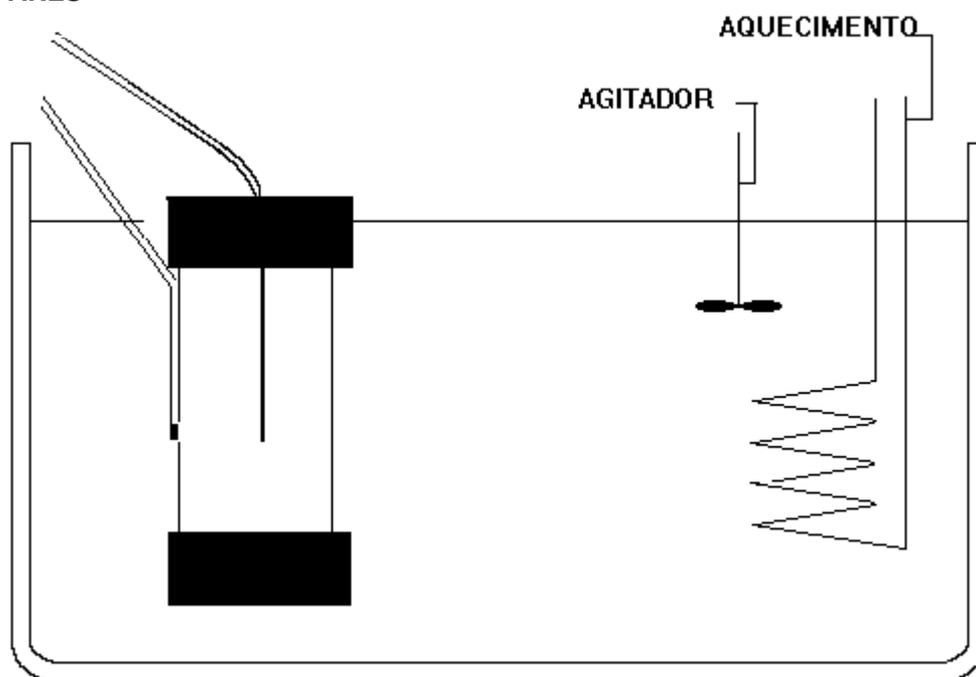


Figura 8: Esquema do aparato para medição de difusividade térmica.

3.4.4. Determinação da Condutividade Térmica

Uma vez determinados os valores para a difusividade térmica, o calor específico e a massa específica das amostras nas temperaturas de estudo, a condutividade térmica foi determinada substituindo tais dados na Equação 5, citada na revisão de literatura.

3.4.5. Comparação dos Dados Experimentais com Modelos Preditos em Literatura

Os modelos utilizados para comparar os dados experimentais do calor específico, densidade, difusividade térmica e condutividade térmica e o valor calculado por estes modelos encontram-se nas Tabelas 1 a 4. Estes foram escolhidos com base na avaliação das variáveis independentes que influenciam as propriedades termofísicas, ou seja, se estavam de acordo com aquelas estudadas no presente trabalho.

Tabela 1: Modelos da Literatura Utilizados para o Cálculo da Densidade das Polpas de Jaca e Umbu.

| Produto | Fórmula, ρ (Kg/m ³) | Autor |
|------------------|---|------------------------------|
| Polpa de açaí | $\rho = 1068,65 - 0,4579X_w - 0,3867T$ | PEREIRA <i>et al.</i> (2002) |
| Sulco de laranja | $\rho = 1068,65 - 0,4579 X_w - 0,3867T$ | ROMERO <i>et al.</i> (1998) |

Tabela 2: Modelos da Literatura Utilizados para o Cálculo do Calor Específico das Polpas de Jaca e Umbu.

| Produto | Fórmula, C_p () | Autor |
|-----------------------|---------------------------|--|
| Produtos Alimentícios | $C_p = 0,837 + 3,349 X_w$ | SIEBEL (1892), citado por KASAHARA, 1986 |
| Produtos Alimentícios | $C_p = 1,675 + 2,512 X_w$ | DICKERSON (1968), citado por SIMÕES, 1997 |
| Gêneros Alimentícios | $C_p = 1,465 + 2,721 X_w$ | LAMB (1976), citado por CHOI e OKOS, 1986. |

Tabela 3: Modelos da Literatura Utilizados para o Cálculo da Difusividade Térmica das Polpas de Jaca e Umbu.

| Produto | Fórmula, α (m ² /s) | Autor |
|--------------------|---|--|
| Alimentos em Geral | $A = 0,057363 \times 10^{-6} X_w + 0,000288 \times 10^{-6} (T+273)$ | MARTENS (1980) citado por CHOI e OKOS, 1986. |
| Suco de Laranja | $\alpha = 7,9683 \times 10^{-8} + 5,9839 \times 10^{-8} X_w + 0,02510 \times 10^{-8} T$ | ROMERO <i>et al.</i> (1998) |

Tabela 4: Modelos da Literatura Utilizados para o Cálculo da Condutividade Térmica das Polpas de Jaca e Umbu

| Produto | Fórmula, K (Wm ⁰ C) | Autor |
|------------------|--|--|
| Suco de frutas | $K = [326,58 + 1,0412T - 0,00337T^2] [0,46 + 0,54X_w] 1,73 \times 10^{-3}$ | RIEDEL (1949) citado por CHOI e OKOS, 1986 |
| Sulco de laranja | $K = 0,0797 + 0,5238X_w + 0,000580T$ | ROMERO <i>et al.</i> (1998) |

O critério de avaliação utilizado para comparação dos valores experimentais e aqueles calculados teoricamente pelos modelos foi o erro percentual, ξ_p (Equação 6).

$$\varepsilon_p = \left| \frac{V_e - V_t}{V_e} \right| \cdot 100 \quad (6)$$

Onde: ε_p - erro percentual (%); V_e - valor experimental, e V_t - valor teórico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização Físico-Química

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados referentes à caracterização físico-química da polpa de jaca.

Tabela 5: Caracterização físico-química da polpa de jaca.

| <i>Análises</i> | <i>Resultados</i> |
|---|-------------------|
| pH | 4,82 ± 0,00 |
| Sólidos Solúveis Totais (em °Brix) | 23,00 ± 0,01 |
| Acidez Titulável Total (% de ácido cítrico) | 1,04 ± 0,01 |
| Umidade (%)* | 75,39 ± 0,08 |
| Carboidratos (%)* | 19,63 ± 0,15 |
| Proteínas (%) (m/m)* | 0,77 ± 0,08 |
| Lípideos Totais (%)* | 0,30 ± 0,01 |
| Fibras (%)* | 0,20 ± 0,02 |
| Cinzas (%)* | 3,71 ± 0,58 |

*Porcentagem em massa/ massa

As Tabelas de composição de alimentos dos autores FRANCO (1999) e PINHEIRO *et al.* (1996) trazem informações a respeito da composição centesimal e de vitaminas e minerais para polpa de jaca, porém para o umbu estes dados não são contemplados, o que chama a atenção para o estudo de caracterização dessa fruta.

Nestas Tabelas, os valores de carboidratos, proteínas e lipídeos em 100 gramas de polpa de jaca são, respectivamente, 10,00; 2,20; 0,30, para FRANCO (1999) e 13,5; 2,67; 0,42, para PINHEIRO *et al.* (1996). Ao comparar com os valores apresentados na Tabela 5, percebe-se que os dados encontrados para a jaca nesse experimento distancia-se um pouco daqueles citados nas tabelas, no que diz respeito a carboidratos e proteínas. Existem alguns fatores a serem levados em consideração para melhor compreender esta diferença, como a metodologia utilizada, a variedade da jaca se mole ou dura, o grau de maturação da fruta.

Como a determinação de carboidratos foi feita por diferença entre 100 e a porcentagem dos macrocomponentes (MENDONÇA, 2003), existe uma margem de erro neste caso, considerando-se que a fibra bruta utilizada no cálculo computa apenas a fração lignocelulósica insolúvel em ácido, desprezando os polissacarídeos estruturais hemicelulose e pectina que normalmente não são utilizados como fonte de energia e são consideradas fibras alimentares, porém são solúveis.

Assim, o valor de carboidratos fica um pouco superestimado, o que provavelmente ocorreu no caso da jaca que é uma fruta rica em fibras, sendo indicada às pessoas com problemas intestinais (VITAMINASECIA, 2006) e, provavelmente, uma parte das fibras presentes seja a pectina que não foi computada pela metodologia empregada, resultando em um valor experimental baixo para o teor de fibras e alto para o de carboidratos.

Entretanto, NANJUNDASWAMY (1990) citado por JAGADEESH *et. al.* (2007) relata um teor de 25% de carboidratos para a jaca. Desta forma, trabalhos que estudam a composição da fruta em função da variedade, estado de maturação e condições climáticas têm sido desenvolvidos (JAGADEESH *et. al.*, 2007; RAHMAN *et. al.*, 1998). Os valores de cinzas e da caracterização físico-química (pH, sólidos solúveis e acidez titulável total) apresentados na Tabela 5 estão de acordo com os encontrados por estes autores.

Os valores encontrados para as análises de pH, sólidos solúveis, acidez e composição centesimal do umbu estão de acordo com a literatura consultada (BISPO, 1989 e MATTIETTO, 2005), como se observa na Tabela 6, que mostra os dados das propriedades físico-química da polpa de umbu encontrados neste experimento e aqueles reportados por estes autores para efeito de comparação.

Ao comparar o teor de carboidratos da polpa de umbu, percebe-se uma semelhança de valor experimental com o encontrado por Bispo, que são maiores que o reportado por MATTIETTO (2005). Este fato também pode ser explicado pela questão do valor superestimado dos carboidratos em relação à fibra pela metodologia empregada, como mencionado para polpa de jaca. E, também, percebe-se claramente que o valor de fibra apresentado por este último autor é 4 vezes maior que o valor experimental e quase 3 vezes maior que o de BISPO (1989). MATTIETTO (2005) determinou além da fibra bruta, as fibras solúveis e insolúveis.

Tabela 6: Caracterização físico-química da polpa de umbu, de acordo com alguns autores.

| <i>Análises</i> | <i>Resultados</i> | | |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------|
| | <i>Experimental</i> | <i>Bispo (1989)</i> | <i>Mattietto (2005)</i> |
| Ph | 2,3 ± 0,00 | 2,45 | 2,75 |
| Sólidos Solúveis (expressos em °Brix) | 9,5 ± 0,00 | 10,00 | 9,59 |
| Acidez Titulável Total (% de ácido cítrico) | 1,68 ± 0,00 | 1,23 | 1,39 |
| Umidade (%)* | 89,70 ± 0,57 | 89,89 | 89,4 |
| Carboidratos (%)* | 7,96 ± 0,38 | 7,95 | 4,93 |
| Proteínas (%)* | 0,74 ± 0,08 | 0,52 | 0,75 |
| Lipídeos Totais (%)* | 0,37 ± 0,01 | 0,35 | 0,3 |
| Fibras (%)* | 0,24 ± 0,03 | 0,37 | 1,07 |
| Cinzas (%)* | 0,99 ± 1,21 | 0,35 | 0,4 |

*Porcentagem em massa/ massa

Os baixos teores em proteínas e lipídios fazem da polpa de umbu uma fruta de baixo valor energético, com valores entre 25 a 38 Kcal/ 100 g de fruta. Em contrapartida, os valores energéticos para jaca são maiores, cerca de 52 a 84,34 Kcal/ 100 g de fruta, calculados conforme a Equação 5.

Alimentos de origem vegetal são pobres em lipídios, constituindo uma boa opção para pessoas obesas, além disso, são boas fontes de fibras o que pode contribuir para reduzir o nível de colesterol ruim no sangue (HANIF, *et. al.*, 2006).

As frutas apresentam composição química variável no teor de hidratos de carbono e de gorduras. Podem ser classificadas em frutas aquosas ou sumarentas ou carnudas, em virtude de proporcionarem suco; amidonadas, que são aquelas ricas em hidratos de carbono como a banana, o pinhão, fruta-de-conde e outras; as oleaginosas constituídas pelas nozes, amêndoas, avelã, abacate (FRANCO, 1999). Assim, pode-se considerar o umbu como uma fruta aquosa ou sumarenta ou carnuda, por apresentar um elevado teor de umidade, e a jaca como sendo amidonadas, em função da grande porcentagem em carboidratos, semelhante à proporção apresentada por algumas espécies de banana e também pela fruta-de-conde.

4.2. Propriedades Termofísicas

4.2.1. Densidade

Os resultados das determinações de densidade das polpas de jaca e umbu para as diversas temperaturas e teores de umidade são apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. Percebe-se que, de modo geral, a massa específica diminui com o aumento da temperatura e conteúdo de umidade. Este comportamento também foi mencionado por outros autores que

trabalharam com derivados de frutas, como suco de maçã (CEPEDA e VILLARÁN, 1999); suco e purê de pêsego (RAMOS e IBARZ, 1998); suco de maçã clarificado (CONSTENLA *et al.*, 1989).

Tabela 7: Valores Experimentais das Densidades de Polpa de Jaca a Diferentes Temperaturas e Teores de Umidade.

| <i>UMID</i> (%) | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
|-----------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <i>T</i> (°C) | <i>Densidade (kg/m³)</i> | | | | | | |
| 5 | 1142,76 | 1117,98 | 1101,56 | 1065,99 | 1054,89 | 1032,56 | 1019,55 |
| 15 | 1140,07 | 1114,52 | 1082,83 | 1064,25 | 1049,58 | 1030,51 | 1018,28 |
| 25 | 1135,61 | 1103,14 | 1076,02 | 1057,60 | 1044,64 | 1026,13 | 1015,48 |
| 35 | 1123,89 | 1097,76 | 1068,99 | 1048,81 | 1038,29 | 1019,48 | 1009,68 |
| 45 | 1106,33 | 1083,37 | 1062,39 | 1034,62 | 1029,54 | 1010,56 | 1005,32 |
| 55 | 1095,06 | 1078,99 | 1054,76 | 1022,74 | 1021,19 | 1003,80 | 999,61 |
| 65 | 1081,39 | 1066,22 | 1044,31 | 1003,25 | 1009,61 | 994,75 | 992,32 |
| 75 | 1070,84 | 1058,84 | 1028,70 | 994,08 | 994,82 | 977,54 | 982,13 |
| 85 | 1027,07 | 1040,84 | 1006,33 | 972,04 | 954,26 | 945,94 | 968,01 |

Tabela 8: Valores Experimentais das Densidades de Polpa de Umbu a Diferentes Temperaturas e Teores Umidade.

| <i>UMID</i> (%) | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
|-----------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| <i>T</i> (°C) | <i>Densidade (kg/m³)</i> | | | | |
| 5 | 1102,35 | 1068,57 | 1050,42 | 1027,21 | 1019,97 |
| 15 | 1098,69 | 1066,02 | 1044,65 | 1026,30 | 1017,87 |
| 25 | 1095,03 | 1059,91 | 1039,09 | 1026,92 | 1015,11 |
| 35 | 1090,00 | 1053,44 | 1031,80 | 1020,51 | 1011,32 |
| 45 | 1084,65 | 1047,53 | 1025,44 | 1014,00 | 1004,99 |
| 55 | 1078,84 | 1039,93 | 1016,80 | 1007,87 | 997,68 |
| 65 | 1072,14 | 1032,63 | 1009,56 | 999,51 | 989,84 |
| 75 | 1063,53 | 1019,37 | 999,15 | 986,40 | 979,13 |
| 85 | 1052,00 | 988,05 | 969,93 | 952,41 | 961,55 |

Encontram-se na literatura muitos outros estudos de determinação de propriedades termofísicas que variam, além da temperatura, a concentração de sólidos solúveis e/ou totais; a composição química (gorduras, proteínas, minerais); a textura da polpa (clarificada, peneirada, integral). A adição de qualquer sólido, exceto gorduras, na água aumentará a densidade. O valor de densidade de uma substância pura pode ser usado como uma indicação do conteúdo de matéria sólida (LEWIS, 1993).

A análise estatística por meio do teste dos parâmetros demonstrou que o teor de água e a temperatura têm efeitos significativos na densidade das polpas de jaca e umbu a um nível de

confiança de 95 % e não houve interação entre estas variáveis independentes. Após a análise de regressão foram obtidos os parâmetros para modelos de 1º e 2º ordens com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), a fim de se escolher o modelo que melhor se ajustasse aos dados experimentais. Estes parâmetros encontram-se dispostos nas Tabelas 9 e 10, para jaca e umbu respectivamente.

Tabela 9: Parâmetros Encontrados para Polinômio de 1º e 2º Ordem para Predizer a Variação da Densidade da Polpa de Jaca em função da Temperatura e Teor de Umidade.

| <i>Modelo</i> | $P = \beta_0 + \beta_1 UMID + \beta_2 UMID^2 + \beta_3 T + \beta_4 T^2$ | | | | | |
|-------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| <i>Coefficientes:</i> | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | R^2 |
| <i>Polinômio De 1°C</i> | 0,13758x10 ⁴ | -3,57761 | -1,03019 | | | 0,93 |
| <i>Polinômio De 2°C</i> | 0,18437X10 ⁴ | -15,81350 | 0,07647 | -0,10963 | -0,01029 | 0,97 |

Tabela 10: Parâmetros Encontrados para Polinômio de 1º e 2º Ordem para Predizer a Variação da Densidade da Polpa de Umbu em função da Temperatura e Teor de Umidade

| <i>Modelo</i> | $\rho = \beta_0 + \beta_1 UMID + \beta_2 UMID^2 + \beta_3 T + \beta_4 T^2$ | | | | | |
|-------------------------|--|--------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-------|
| <i>Coefficientes</i> | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | R^2 |
| <i>Polinômio De 1°C</i> | 0,14039x10 ⁴ | -0,39864X10 ¹ | | -0,77565 | | 0,89 |
| <i>Polinômio De 2°C</i> | 0,28915X10 ⁴ | -0,39558X10 ² | 0,20924 | 0,13471 | -0,10115X10 ⁻¹ | 0,97 |

Em se observando os valores dos coeficientes de determinação (R^2), verifica-se que o modelo quadrático apresenta um bom ajuste aos dados experimentais. Desta forma, as equações que melhor representam a relação entre a densidade, o teor de umidade e a temperatura para as polpas de jaca e umbu, estão demonstradas pelas Equações 7 e 8, respectivamente:

$$\rho = 1843,68 - 15,8135 UMID + 0,07647 UMID^2 - 0,10963T - 0,01029T^2 \quad (7)$$

$$\rho = 2891,52 - 39,5580 UMID + 0,20924 UMID^2 + 0,13471T - 0,01011T^2 \quad (8)$$

As Figuras 9 e 10 ilustram a variação da densidade com a temperatura para cada teor de umidade, para as polpas de jaca e umbu, respectivamente. Percebe-se, visualmente pelo gráfico, que a temperatura exerceu uma influência semelhante para ambas as polpa, ou seja, à medida que a temperatura aumenta a densidade das polpas de jaca e umbu diminui.

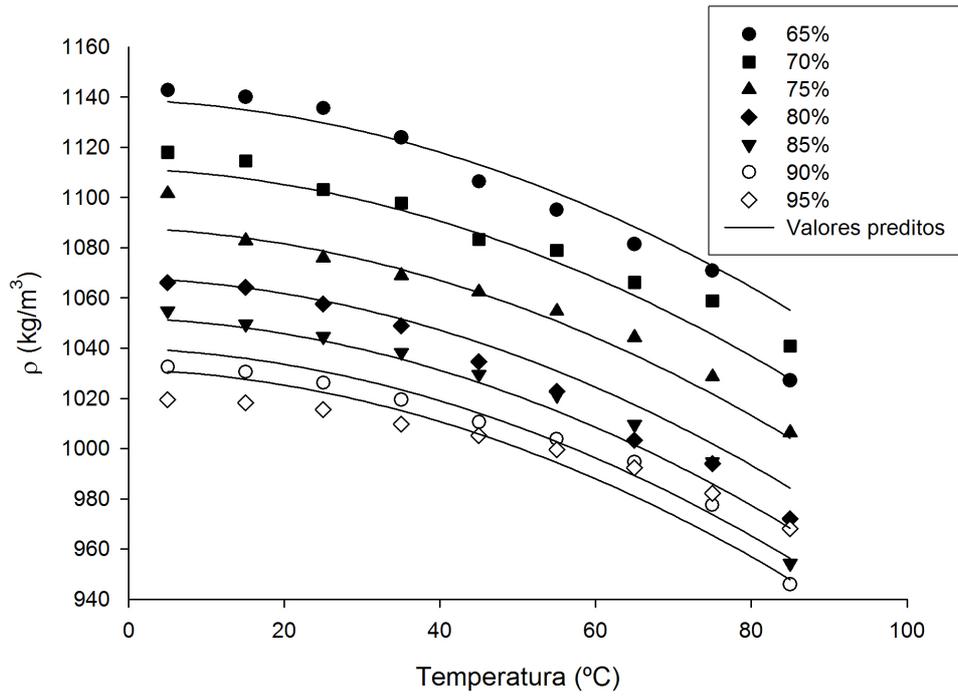


Figura 9: Variação da Densidade com a Temperatura para cada Teor de Umidade da Polpa de Jaca

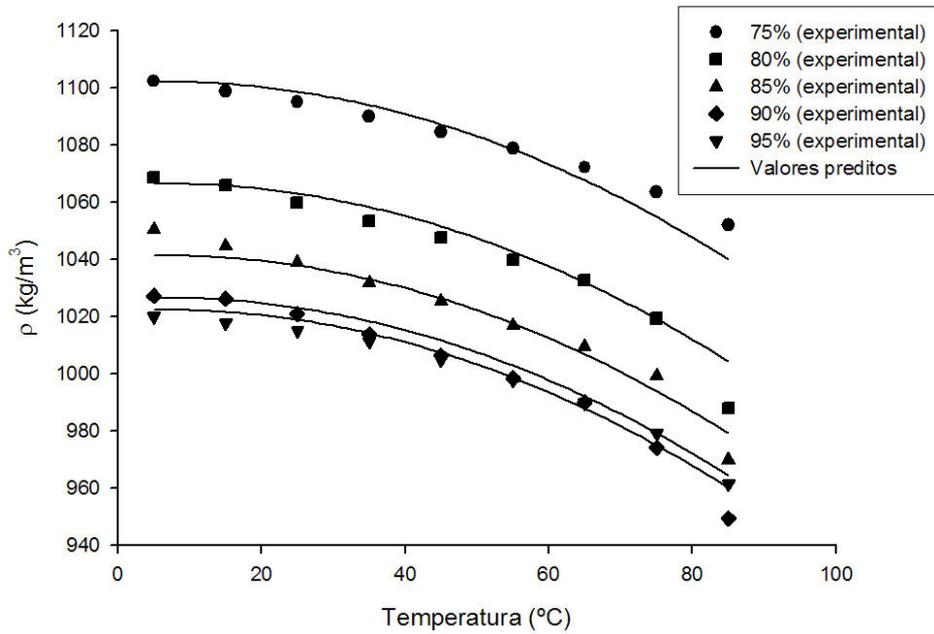


Figura 10: Variação da Densidade com a Temperatura para cada Teor de Umidade da Polpa de Umbu

As Figuras 11 e 12 ilustram a variação da densidade com o teor de umidade para cada temperatura das polpas de jaca e umbu, respectivamente.

TELIS-ROMERO *et. al.* (1998), para o suco de laranja brasileira, afirmaram que a umidade exerce maior influência na densidade que a temperatura. Esta afirmação está de acordo com o que foi encontrado neste trabalho. Pela observação das Figuras 9, 10, 11 e 12, pode-se observar visualmente essa tendência.

Pode-se comparar os gráficos 9 e 10 com os 11 e 12, respectivamente, para comprovar a maior influência do teor de umidade na densidade. A distância entre os valores experimentais de densidade para cada teor de umidade (gráficos 9 e 10) é maior que a distância entre os dados experimentais de densidade para cada temperatura (gráficos 11 e 12).

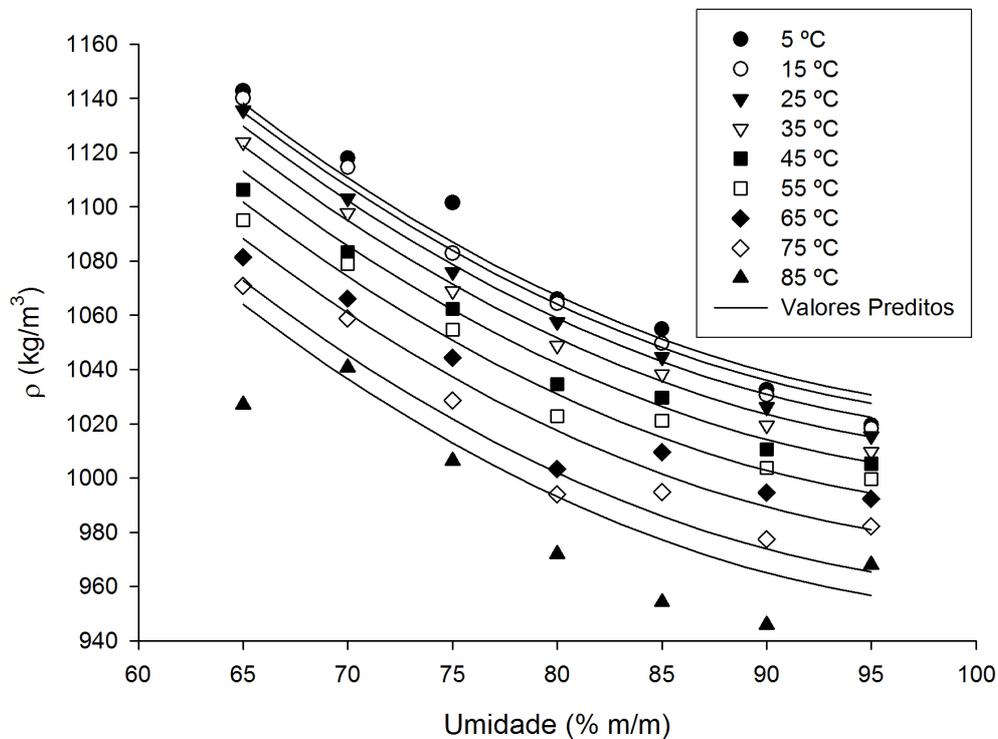


Figura 11: Variação da Densidade com o Teor de umidade para cada Temperatura da polpa de Jaca.

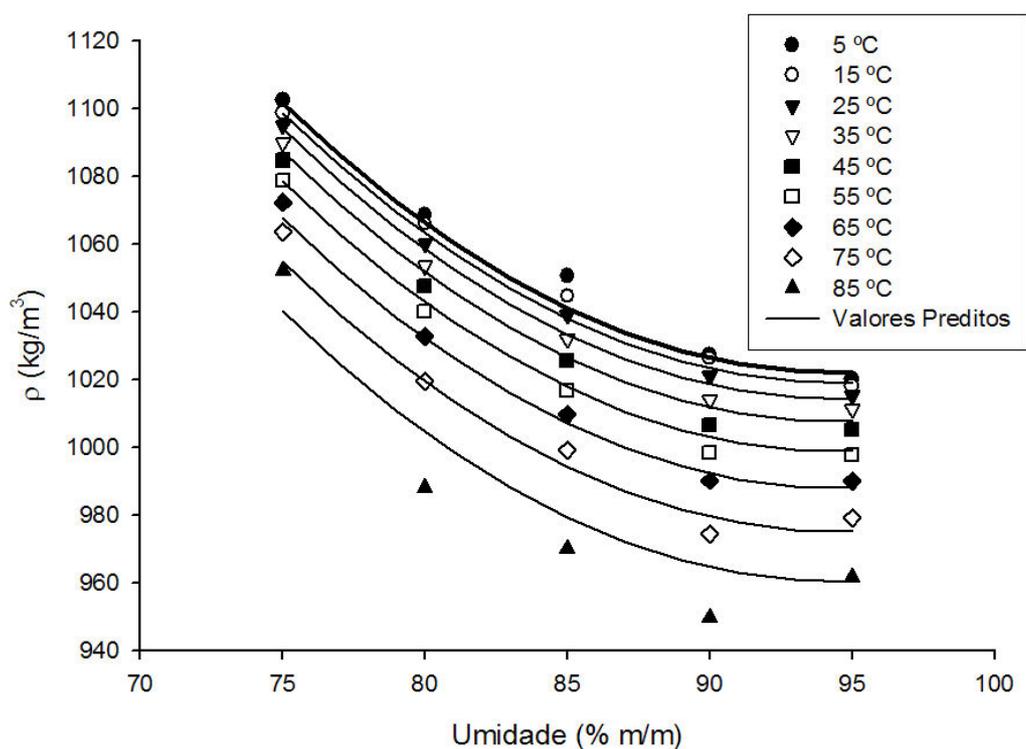


Figura 12: Variação da Densidade com o Teor de umidade para cada Temperatura da polpa de Umbu.

Segundo CHOI e OKOS (1986), existe certa dificuldade em mensurar a densidade em temperaturas superiores a 80°C. Nota-se também, neste experimento, que quando se chega a 85 °C a redução da densidade com a temperatura é mais acentuada, isto fica nítido ao observar a distância entre os pontos para uma mesma concentração nos gráficos 11 e 12, provavelmente devido a grande expansão térmica da polpa a esta temperatura. A Figura 13 representa a polpa de jaca na temperatura de temperatura de 85°C, ilustrando a expansão térmica.



(A)



(B)

Figura 13: (A) Picnômetro com polpa de jaca a 85 °C; (B) Picnômetro com polpa de jaca após a pesagem, na determinação da densidade.

O coeficiente de expansão térmica foi calculado para as polpas de jaca e umbu. Segundo ZURITZ *et. al.* (2005), pode-se determinar esta propriedade pela Equação 9, usando o polinômio que melhor tenha se ajustado aos dados experimentais de densidade.

$$\beta = - \left(\frac{a_1 + 2 * a_3 * T}{a_0 + a_1 * T + a_2 * UMID + a_3 * T^2 + a_4 * UMID^2} \right) \quad (9)$$

Onde: β é o coeficiente de expansão térmica, T é a temperatura absoluta (K), UMID é a umidade em % (m/m), a_0 , a_1 , a_2 , a_3 e a_4 são os parâmetros encontrados para o polinômio de 2º ordem da densidade.

Os coeficientes de expansão térmica calculados para as polpas de jaca e umbu estão apresentados nas Tabelas 11 e 12. Como era de se esperar, os maiores coeficientes de expansão térmica foram para as temperaturas mais elevadas e também para teores de umidade mais altos. Isto explica o comportamento da densidade de ambas as polpas nas temperaturas de 75 °C e 85 °C, chegando a ser inferior a densidade da água.

Tabela 11: Coeficiente de Expansão Térmica da Polpa de Jaca.

| T (°C) | COEFICIENTE DE EXPANÇÃO TÉRMICA (10 ⁻⁴) | | | | | | |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | | | |
| | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 1,00 | 1,03 | 1,05 | 1,07 | 1,08 | 1,10 | 1,10 |
| 15 | 2,82 | 2,89 | 2,95 | 3,00 | 3,05 | 3,09 | 3,11 |
| 25 | 4,65 | 4,77 | 4,87 | 4,96 | 5,04 | 5,10 | 5,14 |
| 35 | 6,51 | 6,68 | 6,82 | 6,95 | 7,06 | 7,14 | 7,20 |
| 45 | 8,42 | 8,63 | 8,82 | 8,99 | 9,13 | 9,24 | 9,32 |
| 55 | 10,37 | 10,64 | 10,88 | 11,09 | 11,26 | 11,40 | 11,49 |
| 65 | 12,39 | 12,71 | 13,00 | 13,26 | 13,47 | 13,63 | 13,75 |
| 75 | 14,49 | 14,87 | 15,21 | 15,51 | 15,77 | 15,96 | 16,10 |
| 85 | 16,68 | 17,13 | 17,53 | 17,88 | 18,18 | 18,41 | 18,57 |

Tabela 12: Coeficiente de Expansão Térmica da Polpa de Umbu.

| T (°C) | COEFICIENTE DE EXPANÇÃO TÉRMICA (10 ⁻⁴) | | | | |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | |
| | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | -0,30 | -0,31 | -0,32 | -0,33 | -0,33 |
| 15 | 1,53 | 1,58 | 1,62 | 1,64 | 1,65 |
| 25 | 3,38 | 3,49 | 3,57 | 3,63 | 3,64 |
| 35 | 5,24 | 5,42 | 5,55 | 5,63 | 5,65 |
| 45 | 7,13 | 7,38 | 7,56 | 7,67 | 7,70 |
| 55 | 9,07 | 9,38 | 9,61 | 9,75 | 9,79 |
| 65 | 11,05 | 11,44 | 11,72 | 11,90 | 11,95 |
| 75 | 13,11 | 13,56 | 13,91 | 14,12 | 14,18 |
| 85 | 15,24 | 15,78 | 16,18 | 16,43 | 16,50 |

Os valores de densidade encontrados experimentalmente foram comparados aos modelos propostos por TELIS-ROMERO (1998), para o suco de laranja e por PEREIRA (2002), para a polpa de açaí, e os erros apresentados nas Tabelas 13 e 14.

Numericamente, um desvio médio relativo da ordem de 5 % mostra que o modelo consegue prever bem o comportamento de um dado experimental (LOMAURO, 1985, citado por SIMÕES, 1997). Com base nesta afirmação, nota-se que o modelo proposto por TELIS-ROMERO (1998) foi mais adequado para prever a densidade das polpas de jaca e umbu, visto que, de uma maneira geral, apresentou erros percentuais menores que os produzidos pelo modelo de PEREIRA (2002). Entretanto, para a temperatura de 85 °C a situação inverte-se, sendo este último modelo o mais indicado, com exceções das concentrações de 95% de umidade, para polpa de jaca e 75% de umidade para polpa de umbu.

Tabela 13: Erro Percentual para Densidade da Polpa de Jaca, Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| T (°C) | DESVIOS (%) | | | | | | |
|-----------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| | TELIS-ROMERO (1998) | | | | | | |
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | | | |
| | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 0,97 | 0,81 | 1,40 | 0,24 | 1,35 | 1,42 | 2,39 |
| 15 | 0,93 | 0,71 | 0,10 | 0,29 | 1,07 | 1,44 | 2,49 |
| 25 | 0,75 | 0,10 | 0,51 | 0,11 | 0,82 | 1,25 | 2,45 |
| 35 | 0,07 | 0,38 | 0,96 | 0,73 | 0,44 | 0,83 | 2,12 |
| 45 | 1,45 | 1,50 | 1,37 | 1,89 | 0,18 | 0,18 | 1,93 |
| 55 | 2,28 | 1,70 | 1,88 | 2,85 | 0,78 | 0,26 | 1,60 |
| 65 | 3,37 | 2,70 | 2,68 | 4,62 | 1,70 | 0,94 | 1,11 |
| 75 | 4,17 | 3,20 | 4,01 | 5,35 | 2,98 | 2,48 | 0,32 |
| 85 | 8,38 | 6,17 | 6,10 | 7,50 | 7,12 | 5,66 | 0,90 |
| | PEREIRA (2002) | | | | | | |
| 5 | 9,26 | 7,45 | 6,28 | 3,37 | 2,57 | 0,68 | 0,36 |
| 15 | 9,38 | 7,51 | 5,02 | 3,57 | 2,44 | 0,86 | 0,10 |
| 25 | 9,37 | 6,91 | 4,78 | 3,33 | 2,35 | 0,81 | 0,00 |
| 35 | 8,77 | 6,80 | 4,51 | 2,89 | 2,13 | 0,55 | 0,19 |
| 45 | 7,67 | 5,92 | 4,28 | 1,93 | 1,67 | 0,05 | 0,24 |
| 55 | 7,07 | 5,90 | 3,96 | 1,17 | 1,25 | 0,24 | 0,43 |
| 65 | 6,25 | 5,14 | 3,36 | 0,36 | 0,50 | 0,76 | 0,78 |
| 75 | 5,69 | 4,84 | 2,27 | 0,90 | 0,59 | 2,14 | 1,43 |
| 85 | 2,05 | 3,57 | 0,49 | 2,79 | 4,46 | 5,14 | 2,51 |

Tabela 14: Erro Percentual para Densidade da Polpa de Umbu, Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| T (°C) | DESVIOS (%) | | | | |
|-----------|---------------------|------|------|------|------|
| | TELIS ROMERO (1998) | | | | |
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | |
| | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 1,47 | 0,48 | 0,93 | 0,90 | 2,43 |
| 15 | 1,35 | 0,46 | 0,60 | 1,04 | 2,45 |
| 25 | 1,23 | 0,10 | 0,29 | 0,75 | 2,42 |
| 35 | 0,99 | 0,29 | 0,19 | 0,28 | 2,28 |
| 45 | 0,71 | 0,64 | 0,59 | 0,22 | 1,89 |
| 55 | 0,39 | 1,15 | 1,21 | 0,80 | 1,41 |
| 65 | 0,02 | 1,64 | 1,71 | 1,42 | 0,86 |
| 75 | 0,61 | 2,74 | 2,54 | 2,82 | 0,01 |
| 85 | 1,49 | 5,76 | 5,39 | 5,26 | 1,58 |
| | PEREIRA (2002) | | | | |
| 5 | 6,35 | 3,60 | 2,15 | 0,17 | 0,32 |
| 15 | 6,39 | 3,73 | 1,98 | 0,45 | 0,15 |
| 25 | 6,43 | 3,54 | 1,83 | 0,31 | 0,04 |
| 35 | 6,35 | 3,32 | 1,51 | 0,00 | 0,03 |
| 45 | 6,25 | 3,14 | 1,28 | 0,35 | 0,27 |
| 55 | 6,10 | 2,81 | 0,82 | 0,78 | 0,62 |
| 65 | 5,87 | 2,49 | 0,49 | 1,24 | 1,03 |
| 75 | 5,47 | 1,60 | 0,16 | 2,48 | 1,74 |
| 85 | 4,81 | 1,12 | 2,78 | 4,74 | 3,20 |

O maior erro percentual para polpa de jaca foi de 9,38 e para polpa de umbu foi de 6,43, ambos em relação ao modelo de PEREIRA (2002). Uma limitação deste modelo que explicaria o fato é a menor faixa de concentração abrangida em seu experimento, que foi de (15,2%; 12,5% e 9,7 % de sólidos totais). Esta hipótese fica mais evidente quando se observa que os erros percentuais a partir dos teores de umidade de 80%, próximos dos estudados por este autor, tornam-se menores e mais aceitáveis.

Estes resultados mostram, de modo geral, a validação dos modelos utilizados e caso não se disponha de dados para polpa de jaca e umbu e não seja exigida uma grande precisão, esses modelos podem ser utilizados para predizer o valor de densidade.

4.2.2. Calor Específico

De acordo com os valores médios experimentais apresentados na Tabela 15, tem-se um calor específico mínimo de 2,70 kJ/Kg °C e máximo de 3,92 kJ/Kg °C, para a polpa de jaca. Para a polpa de umbu, os resultados obtidos foram maiores variando de 3,66 a 4,18 kJ/Kg °C. O calor específico de sucos de frutas apresentados por CHOI e OKOS (1986), situa-se entre 3,00 a 4,00 kJ/Kg °C. Outros pesquisadores reportam valores de calor específico de frutas na mesma faixa mencionada, como 3,346 kJ/Kg °C para o açaí (PEREIRA, 2003), 3,616 kJ/Kg °C para

polpa de bacuri (MUNIZ, 2006), 2,962 kJ/Kg °C para polpa de banana (ALVARADO, 1994), valores bem próximo dos encontrados experimentalmente para as polpas estudadas neste trabalho.

LIMA *et. al.* (2003) também trabalharam com determinação das propriedades termofísicas da polpa de umbu, avaliando a influência de sólidos solúveis nas concentrações de 10, 20, 30°Brix e para o calor específico encontraram valores de 3,67; 3,48; 3,21 kJ/Kg °C, que foram inferiores aos encontrados neste experimento.

Tabela 15: Valores médios do calor específico das polpas de jaca e umbu em função do teor de umidade.

| Teor de umidade (%) | C_p (kJ/Kg °C) | |
|---------------------|------------------|-------------|
| | <i>Jaca</i> | <i>Umbu</i> |
| 65 | 2,7018 | ----- |
| 70 | 3,1214 | 3,658 |
| 75 | 3,2497 | 3,780 |
| 80 | 3,4391 | 3,895 |
| 85 | 3,6637 | 4,018 |
| 90 | 3,8145 | 4,099 |
| 95 | 3,9203 | 4,183 |

Para explicar a relação existente entre o teor de umidade e o calor específico, foram ajustados modelos lineares simples, que apresentaram significância dos parâmetros ($p \leq 0,05$) e altos coeficientes de determinação (R^2), demonstrado pelas Equações 10 e 11 para as polpas de jaca e umbu, respectivamente.

$$C_p = 0,504785 + 0,0367911 \text{ UMID} \quad R^2 = 0,94 \quad (10)$$

$$C_p = 2,19206 + 0,0211731 \text{ UMID} \quad R^2 = 0,99 \quad (11)$$

A partir da análise dos dados da Tabela 13, observa-se a influência do teor de umidade nesta propriedade termofísica, sendo a relação entre calor específico e umidade diretamente proporcional, visto que os maiores valores de C_p foram para as amostras com maior fração de água, acordando com diversos autores: CHOI e OKOS (1986) para o suco de tomate, CONSTENLA (1989) para o suco clarificado de maçã, SIMÕES (1997) para polpa de manga, SILVA (1997) para a polpa de abacaxi.

Na Figura 14 pode-se comparar o calor específico da jaca com o do umbu. Nota-se claramente que o umbu apresenta um calor específico maior que o da jaca, para uma mesma porcentagem de água. Segundo LEWIS (1993), é possível prever o calor específico de um alimento conhecendo sua composição. Como citado anteriormente na secção 4.1, a jaca tem uma porcentagem maior de carboidratos e cinzas quando comparada com o umbu, o que pode

contribuir para diminuir o calor específico dela, visto que entre os componentes dos alimentos, os minerais seguidos dos carboidratos são os que apresentam menores calores específicos.

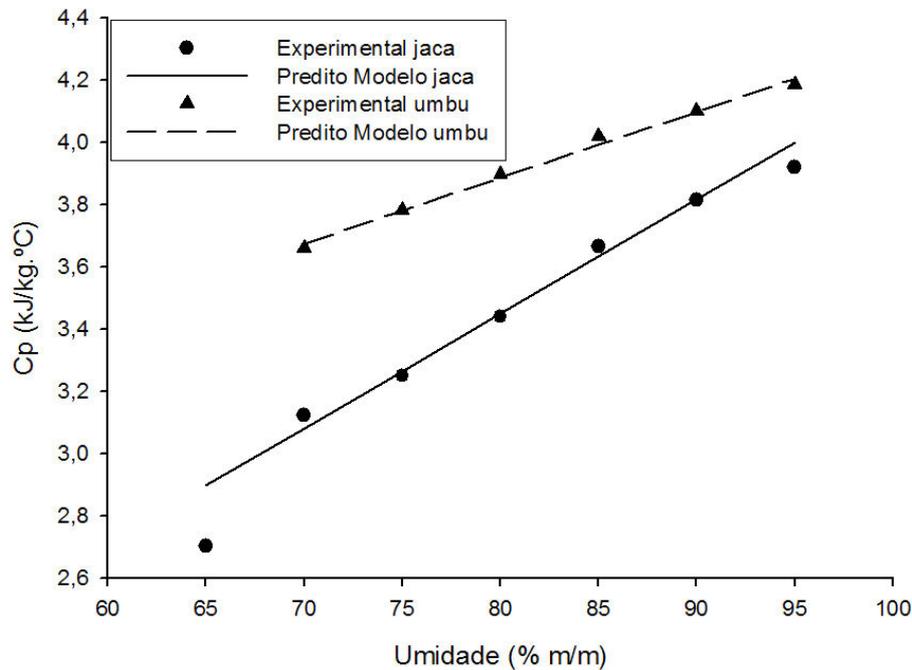


Figura 14: Comparação do Calor Específico entre as Polpas de Jaca e de Umbu.

Os valores experimentais de calor específico também podem ser confrontados aos obtidos através de modelos de predição, conforme citado no item 3.3.5. As Figuras 15 e 16 ilustram essa comparação.

Em se observando estes gráficos, percebe-se visualmente um comportamento semelhante entre os três modelos encontrados em Literatura e os dados experimentais de ambas as polpas, ou seja, um maior distanciamento entre os modelos a teores de umidade mais baixos e uma aproximação dos mesmos quando as umidades das polpas de jaca e umbu aumentam. A composição dos sólidos ganha importância, no caso de polpas mais concentrada, exercendo maior influência na determinação do calor específico. Em soluções diluídas, o único componente que influencia realmente no cálculo é a água.

Segundo SWEAT (1986), citado por SIMÕES (1997), os modelos de predição dessa propriedade tendem a convergir a 100% de umidade e apresentar uma grande variação no cálculo, quando o conteúdo de água aproxima-se de zero, o que pode ser verificado nas figuras 14 e 15.

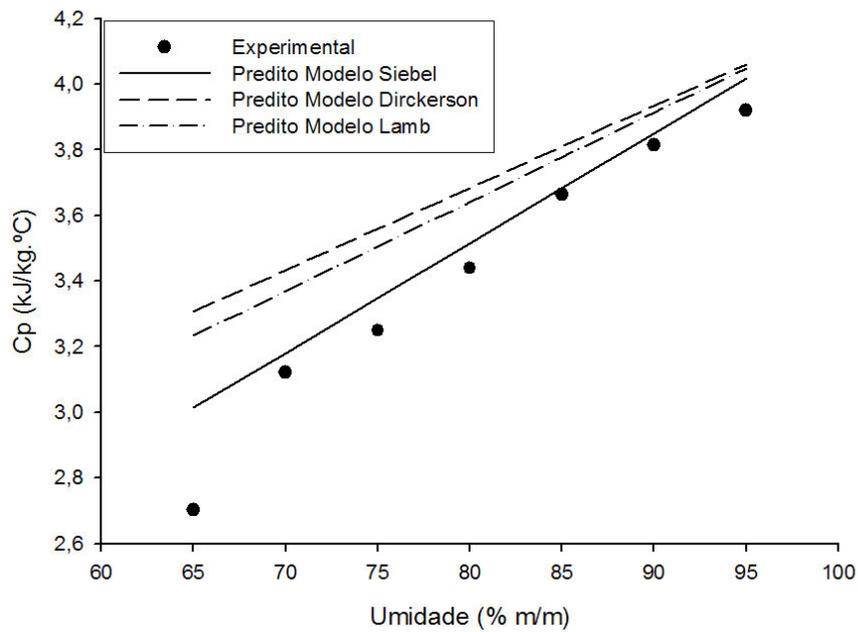


Figura 15: Comparação dos dados experimentais de Calor Específico e modelos da literatura, para a polpa de Jaca em função do Teor de umidade.

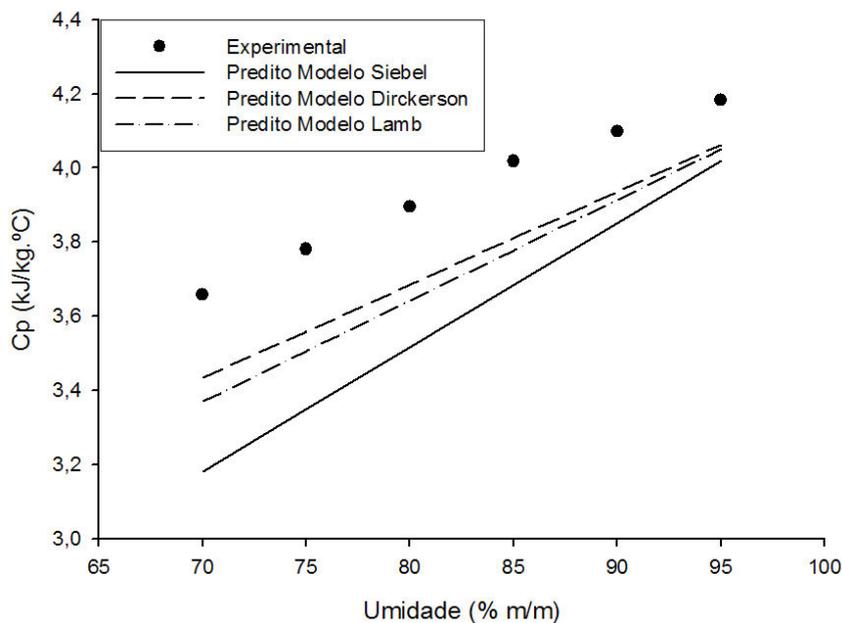


Figura 16: Comparação dos dados experimentais de Calor Específico e modelos da literatura, para a polpa de Umbu em função do Teor de umidade.

Na Tabela 16 encontram-se os valores dos erros percentuais quando se compara os dados experimentais com os modelos utilizados. Consta-se que a equação proposta por SIEBEL (1892) apresentou um menor erro percentual para polpa de jaca, podendo ser utilizado para prever o valor de seu calor específico. Entretanto, para polpa de umbu este modelo resultou em maiores erros percentuais, sendo o de DICKERSON (1968) o mais adequado.

Tabela 16: Erro Percentual para Calor Específico das Polpas de Jaca e Umbu, Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| TEOR DE UMIDADE (%) | DESVIOS (%) | | | | | |
|------------------------|---|-------------|--|-------------|--|-------------|
| | MODELOS | | | | | |
| | Siebel (1892), citado por KASAHARA, 1986. | | Dickerson (1968), citado por SIMÕES, 1997. | | Lamb (1976), citado por CHOI e OKOS, 1986. | |
| | <i>Jaca</i> | <i>Umbu</i> | <i>Jaca</i> | <i>Umbu</i> | <i>Jaca</i> | <i>Umbu</i> |
| 65 | 11,55 | | 22,43 | | 19,69 | |
| 70 | 1,92 | 13,02 | 10,00 | 6,13 | 7,96 | 7,87 |
| 75 | 3,05 | 11,42 | 9,52 | 5,86 | 7,88 | 7,27 |
| 80 | 2,24 | 9,73 | 7,14 | 5,41 | 5,89 | 6,51 |
| 85 | 0,55 | 8,32 | 4,00 | 5,17 | 3,12 | 5,97 |
| 90 | 0,96 | 6,04 | 3,18 | 3,98 | 2,61 | 4,51 |
| 95 | 2,51 | 3,93 | 3,60 | 2,91 | 3,31 | 3,18 |

No trabalho de LIMA *et. al.* (2003), com polpa de umbu nos teores de sólidos solúveis totais de 10, 20 e 30 °Brix, a equação de predição de calor específico proposta por SIEBEL (1892), citado por KASAHARA (1986), resultou nas melhores aproximações em relação as determinação experimentais, produzindo erros percentuais de 2,87, 1,10 e 3,04, respectivamente.

4.2.3. Difusividade Térmica

Materiais com elevados valores de difusividade responderão rapidamente a mudanças nas condições térmicas impostas a ele, no contrário responderão lentamente, levando um tempo maior para atingir uma nova condição de equilíbrio (INCROPERA e DEWITT, 2003).

Para explicar a relação existente entre o teor de umidade, a temperatura e a difusividade térmica, foram ajustados modelos lineares simples, que apresentaram significância dos parâmetros ($p \leq 0,05$) e efeito de interação entre as variáveis independentes também significativo ($p \leq 0,05$). Após a análise de regressão foram obtidos os parâmetros para os modelos de 2º ordem das frutas estudadas, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,90. As equações 12 e 13 representam os modelos ajustados para jaca e umbu respectivamente.

$$\alpha = 0,79236 \times 10^{-8} - 0,73269 \times 10^{-8} T + 0,59118 \times 10^{-10} T^2 + 0,27338 \times 10^{-8} UMID + 0,47715 \times 10^{-10} T UMID \quad R^2 = 0,93 \quad (12)$$

$$\alpha = 0,67504 \times 10^{-8} - 0,12861 \times 10^{-7} T + 0,11134 \times 10^{-9} T^2 + 0,33536 \times 10^{-8} UMID + 0,64938 \times 10^{-10} T UMID \quad R^2 = 0,97 \quad (13)$$

Os gráficos 17 e 18 -que retratam a difusividade térmica das polpas de jaca e umbu, respectivamente, em função da temperatura para cada teor de umidade- ilustram bem esse fato, principalmente, quando se observa que o limite máximo da escala de difusividade térmica é de $5,00 \times 10^{-7}$, para a jaca e no gráfico que representa o umbu esse valor chega a $8,00 \times 10^{-7}$, existindo valores de difusividade térmica próximos aos limites da escala. Percebe-se que, na medida em que se aumenta a quantidade de água das polpas, esta propriedade também se eleva. Este comportamento significa, fisicamente, que o aumento da concentração de sólidos diminui a velocidade com que o calor se propaga ou se difunde através da polpa, a qual é representada pelo valor da difusividade térmica (HUBINGER e BARONI, 2001, citado por MUNIZ, 2005).

MOURA *et. al.* (2001) estudaram as propriedades termofísicas, difusividade térmica e calor específico de modelos similares a suco em função da sua composição química, variando a água, o carboidrato e a gordura. Segundo estes autores, o menor valor de porcentagem de carboidratos implica num maior valor de difusividade térmica. Ao observar os gráficos 22 e 23, a título de comparação da difusividade térmica das polpas estudadas, notam-se valores maiores para o umbu que para a jaca, visto que, como apresentado no item 4.1, a porcentagem de carboidratos desta última fruta é bem maior que a do umbu, o que vai ao encontro da afirmação de Moura, 2001.

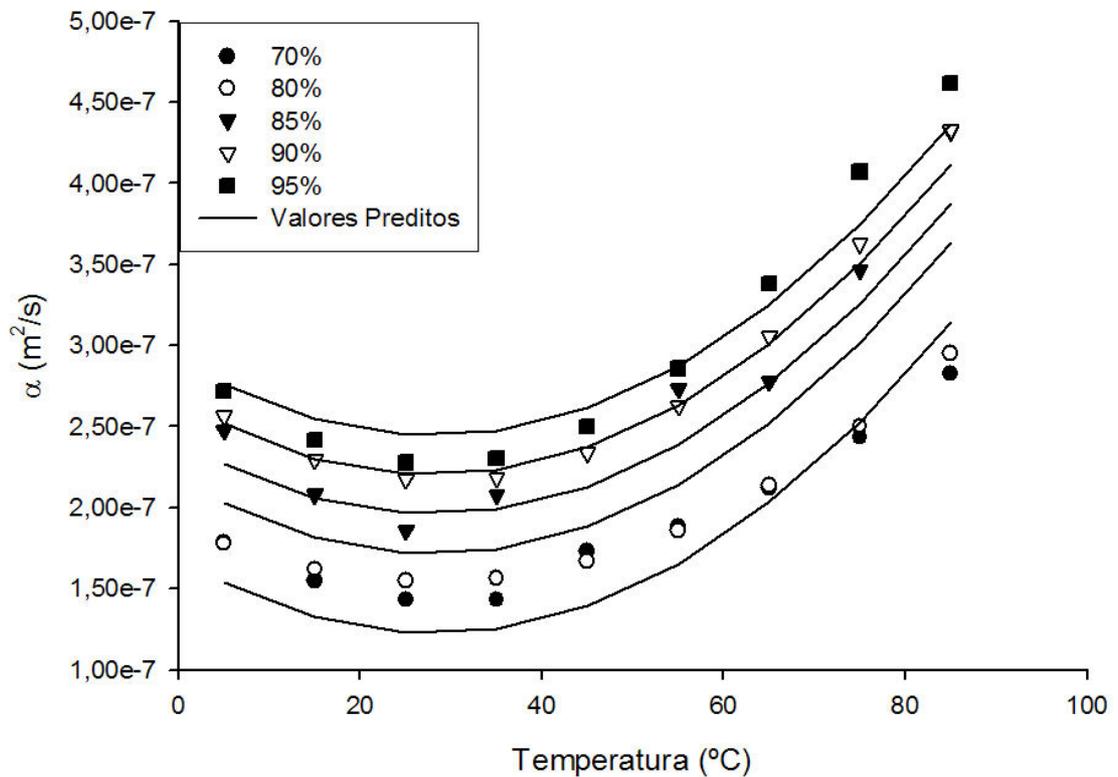


Figura 17: Variação da Difusividade térmica com a Temperatura para cada Teor de umidade da polpa de Jaca

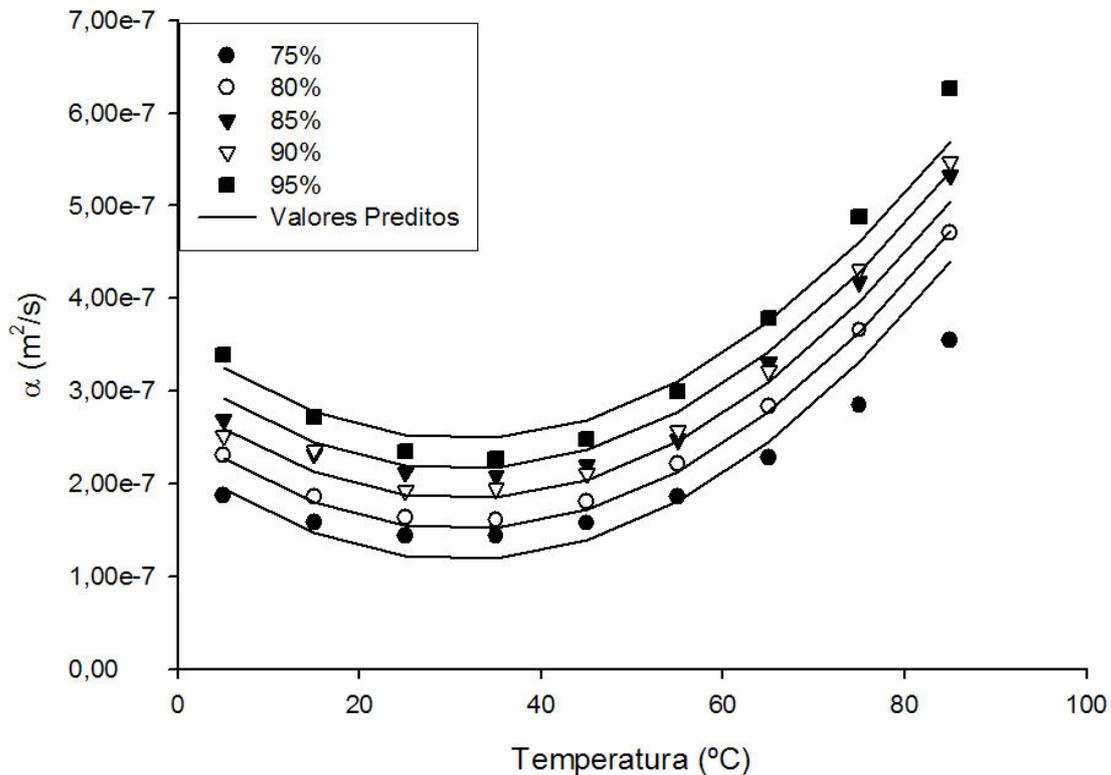


Figura 18: Variação da Difusividade térmica com a Temperatura para cada Teor de umidade da polpa de Umbu

Entre os trabalhos publicados que avaliam a difusividade térmica, pode-se citar HAYES (1984), que trabalhou com polpa de mamão; SILVA (1997), com a polpa de abacaxi; SIMÕES (1997), com a polpa de manga; LIMA (2003), com a polpa de umbu; MUNIZ (2005), com a polpa de bacuri. A difusividade térmica das polpas, nestes trabalhos, variou de 1×10^{-7} a 2×10^{-7} m^2/s .

Além do teor de umidade, existe a temperatura como fator influenciável na difusividade térmica. De um modo geral, afirma-se que estas duas variáveis são proporcionais, ou seja, à medida que se eleva a temperatura, a difusividade também cresce. O que foi confirmado nos trabalhos de CHOI e OKOS (1938), que utilizaram suco de tomate concentrado numa faixa ampla de temperatura (20 a $150^{\circ}C$) e TELIS-ROMERO *et. al.* (1998), que trabalharam com suco de laranja a temperaturas de 0,5 a $62^{\circ}C$.

Entretanto, no presente estudo ocorreu uma pequena queda da difusividade nas temperaturas mais baixas até um valor de aproximadamente $25^{\circ}C$, a partir daí, esta propriedade volta a subir com a temperatura. Ao levar em consideração que no trabalho de CHOI e OKOS

(1938) a determinação da difusividade inicia-se a 20 °C, podemos considerar que nesta mesma faixa os dados experimentais da jaca e umbu estão de acordo com o esperado.

Nas Tabelas 17 e 18 apresentam-se os valores dos erros percentuais obtidos quando comparamos as determinações experimentais com aquelas calculadas a partir dos modelos encontrados em literatura. Estas equações foram, escolhidas por trabalharem com as mesmas variáveis avaliadas neste experimento. Os erros apresentados por estas duas equações foram muito parecidos e bastante altos também, chegando a aproximadamente 65% para a jaca e 75% para o umbu.

ALVARADO (1994), citado por SIMÕES (1997), comparou o modelo de RIEDEL (1969), que é um modelo linear em função da umidade, com polpas de diferentes frutas, e a relação linear não foi satisfatória, podendo isto ser explicado pelas diferentes características físicas de cada fruta.

Dessa forma, citam-se trabalhos mais recentes com ajustes de equações quadrática para melhor explicar a relação existente entre a concentração e difusividade térmica, como MOURA *et. al.* (2001) e MUNIZ *et. al.*, (2003).

Tabela 17: Erro Percentual para Difusividade Térmica da Polpa de Jaca, Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| T (°C) | DESVIOS (%) | | | | |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|
| | TELIS-ROMERO et al. (1998), suco de laranja | | | | |
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | |
| | 70 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 31,25 | 27,58 | 46,82 | 47,41 | 49,29 |
| 15 | 19,12 | 18,99 | 35,41 | 40,26 | 41,90 |
| 25 | 10,70 | 13,67 | 26,45 | 35,64 | 37,30 |
| 35 | 9,00 | 12,97 | 32,95 | 34,87 | 36,98 |
| 45 | 23,17 | 16,85 | 39,37 | 38,02 | 40,85 |
| 55 | 28,22 | 24,01 | 47,13 | 43,92 | 47,40 |
| 65 | 34,99 | 32,69 | 47,18 | 50,98 | 54,80 |
| 75 | 42,33 | 41,49 | 56,86 | 57,97 | 61,84 |
| 85 | 49,44 | 49,58 | 64,83 | 64,25 | 65,81 |
| | MARTENS (1980), alimentos em geral | | | | |
| 5 | 32,71 | 29,19 | 48,02 | 48,62 | 50,47 |
| 15 | 20,56 | 20,52 | 36,66 | 41,45 | 43,08 |
| 25 | 12,00 | 15,04 | 27,65 | 36,73 | 38,39 |
| 35 | 10,04 | 14,08 | 33,85 | 35,78 | 37,89 |
| 45 | 23,82 | 17,67 | 40,01 | 38,72 | 41,55 |
| 55 | 28,62 | 24,55 | 47,54 | 44,40 | 47,88 |
| 65 | 35,18 | 32,99 | 47,45 | 51,27 | 55,10 |
| 75 | 42,34 | 41,60 | 56,97 | 58,11 | 61,99 |
| 85 | 49,32 | 49,55 | 64,84 | 64,28 | 65,86 |

Tabela 18: Erro Percentual para Difusividade Térmica da Polpa de Umbu, Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| T (°C) | DESVIOS (%) | | | | |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|
| | TELIS-ROMERO et al. (1998), suco de laranja | | | | |
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | |
| | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 32,74 | 44,12 | 50,91 | 46,47 | 59,30 |
| 15 | 18,99 | 29,45 | 42,24 | 41,86 | 48,42 |
| 25 | 9,10 | 17,91 | 35,58 | 27,25 | 39,17 |
| 35 | 7,18 | 15,39 | 33,07 | 26,76 | 35,93 |
| 45 | 13,78 | 23,07 | 35,47 | 31,22 | 40,42 |
| 55 | 25,47 | 36,06 | 41,63 | 42,55 | 49,68 |
| 65 | 38,19 | 49,15 | 55,54 | 53,37 | 59,64 |
| 75 | 49,58 | 60,01 | 64,19 | 64,62 | 68,16 |
| 85 | 58,91 | 68,35 | 71,48 | 71,67 | 74,80 |
| | MARTENS (1980), alimentos em geral, citado por CHOI e OKOS, 1986 | | | | |
| 5 | 34,20 | 45,36 | 52,02 | 47,70 | 60,26 |
| 15 | 20,48 | 30,79 | 43,36 | 43,02 | 49,47 |
| 25 | 10,49 | 19,20 | 36,64 | 28,48 | 40,23 |
| 35 | 8,31 | 16,47 | 33,96 | 27,78 | 36,86 |
| 45 | 14,57 | 23,83 | 36,15 | 31,99 | 41,13 |
| 55 | 25,94 | 36,52 | 42,08 | 43,04 | 50,14 |
| 65 | 38,42 | 49,38 | 55,77 | 53,65 | 59,90 |
| 75 | 49,63 | 60,08 | 64,29 | 64,74 | 68,29 |
| 85 | 58,84 | 68,32 | 71,48 | 71,70 | 74,84 |

Como já mencionado, na análise de difusividade térmica, MOURA *et. al.* (2001) variou a temperatura de 0,7 °C/min. até que ela atingisse 85 °C. Os valores encontrados experimentalmente foram comparados aos modelos propostos por RIEDEL (1969) e MARTENS (1980). Os valores preditos pelas equações respectivas forneceram valores com um erro de 86,64 % e 81,41 %, porém, como os valores de difusividade térmica são muito pequenos, em geral uma pequena variação provoca um erro grande. Os valores preditos não se ajustaram bem aos valores experimentais, visto que os modelos encontrados em literatura não consideram de maneira adequada o efeito de cada componente e da interação entre eles.

LIMA *et. al.* (2003), ao compararem os dados experimentais encontrados por eles de difusividade térmica da polpa de umbu com os modelos disponíveis, em literatura perceberam que o modelo teórico que apresentou o melhor ajuste foi o de RIEDEL (1969), proposta para alimentos em geral, com erros percentuais variando de 3,18% a 5,79%, entretanto a faixa de concentração abrangida pelo experimento deste autor foi pequena (10, 20, 30 °Brix). Em todos

os modelos os valores teóricos comparados por LIMA (2003), situaram-se abaixo dos valores experimentais o que também ocorreu nesta pesquisa.

4.2.4. Condutividade Térmica

A condutividade térmica das polpas de jaca e umbu foi calculada a partir da equação 5, utilizando os dados de densidade, calor específico e difusividade térmica determinados experimentalmente. Nas figuras 18 e 19 estão apresentados os valores da condutividade térmica em função da temperatura para cada teor de umidade, para as polpas de jaca e umbu respectivamente.

Para explicar a relação existente entre o teor de umidade, a temperatura e a condutividade térmica, foram ajustados modelos lineares simples, que apresentaram significância dos parâmetros ($p \leq 0,05$) e não houve efeito de interação entre as variáveis independentes. As equações 14 e 15 representam os modelos ajustados para jaca e umbu respectivamente.

$$k = -1,05054 - 0,11773 \times 10^{-1} T + 0,20268 \times 10^{-3} T^2 + 0,23209 \times 10^{-1} UMID \quad R^2 = 0,899 \quad (14)$$

$$k = -0,70589 - 0,27667 \times 10^{-1} T + 0,43436 \times 10^{-3} T^2 + 0,22837 \times 10^{-1} UMID \quad R^2 = 0,955 \quad (15)$$

Nas Figuras 19 e 20 estão apresentados os valores, experimentais e preditos, da condutividade térmica em função da temperatura para cada teor de umidade, das polpas de jaca e umbu, respectivamente.

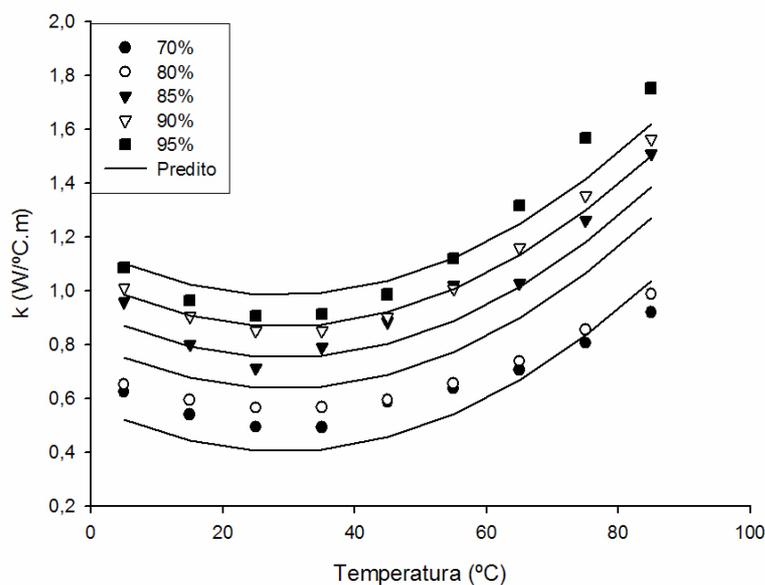


Figura 19: Variação da Condutividade Térmica com a Temperatura para cada Teor de umidade da polpa de Jaca

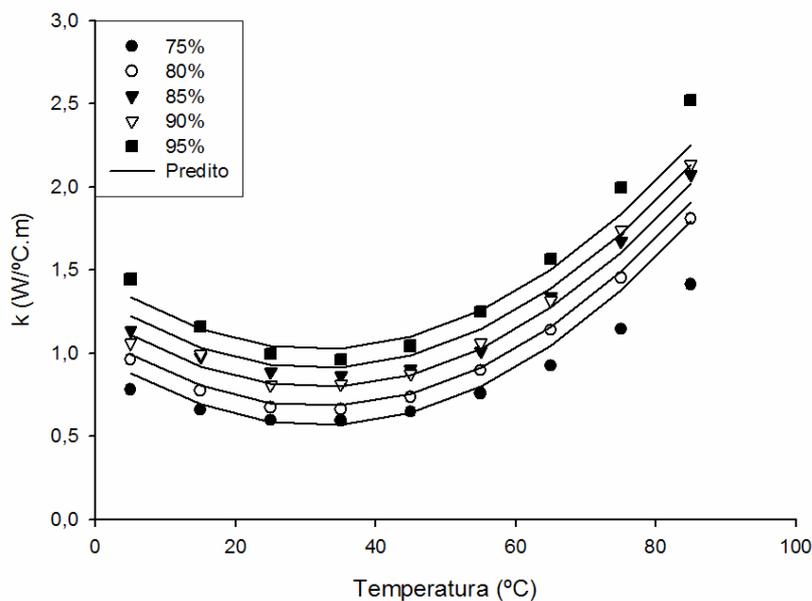


Figura 20: Variação da Condutividade Térmica com a Temperatura para cada Teor de umidade da polpa de Umbu

À medida que se aumenta o teor de umidade, há um acréscimo na condutividade térmica. Este comportamento já era esperado, visto que a referida propriedade é influenciada pela composição do alimento, sendo a água o componente que exerce maior influência. A maior parte dos alimentos são maus condutores de calor, sendo que aqueles ricos em água apresentam maiores valores desta propriedade (LEWIS, 1993).

DONSÌ *et. al.* (1996) determinaram a condutividade térmica de amostras de maçã e tomate, variando o teor de umidade à temperatura de 30 °C e perceberam essa mesma tendência de acréscimo com o aumento da fração mássica de água. Comportamento idêntico também foi observado para sucos de goiaba nas concentrações de 10 a 40 °Brix e temperatura de 30 °C (SHAMSUDIN *et. al.*, 2005).

A temperatura também exerceu uma influência positiva na condutividade térmica das polpas. Este comportamento foi semelhante ao que ocorreu com a difusividade térmica. Pode-se inferir que a difusividade térmica contribuiu de maneira mais expressiva no comportamento da condutividade térmica em relação á temperatura que a densidade e que o calor específico, visto que para determinação da condutividade térmica foi utilizada a equação 5 em que as propriedades citadas são diretamente proporcionais e para densidade houve uma decréscimo com a temperatura e o calor específico utilizado foi o médio.

Os valores de condutividade térmica determinados no presente trabalho foram comparados com os modelos de predição encontrados em literatura e disposto na Tabela 4. Os erros percentuais estão apresentados nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19: Erro Percentual para Condutividade Térmica da Polpa de Jaca , Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| T (°C) | DESVIOS (%) | | | | |
|-----------|---|-------|-------|-------|-------|
| | RIEDEL (1949), suco de frutas, citado por CHOI e OKOS, 1986 | | | | |
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | |
| | 70 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 77,13 | 78,50 | 55,06 | 53,77 | 51,42 |
| 15 | 91,82 | 88,81 | 67,89 | 61,85 | 59,63 |
| 25 | 103,08 | 95,92 | 78,27 | 67,46 | 65,07 |
| 35 | 106,01 | 98,01 | 72,18 | 69,12 | 66,19 |
| 45 | 90,88 | 95,21 | 66,05 | 66,60 | 62,65 |
| 55 | 85,28 | 88,13 | 58,16 | 60,78 | 56,16 |
| 65 | 78,05 | 79,52 | 58,75 | 53,62 | 48,62 |
| 75 | 69,49 | 69,59 | 48,59 | 46,70 | 41,42 |
| 85 | 61,68 | 61,08 | 41,14 | 40,91 | 37,54 |
| | ROMERO et al. (1998), suco de laranja | | | | |
| 5 | 72,06 | 76,93 | 55,11 | 54,88 | 53,43 |
| 15 | 84,41 | 85,53 | 66,74 | 61,97 | 60,80 |
| 25 | 93,49 | 91,02 | 75,77 | 66,52 | 65,27 |
| 35 | 95,08 | 91,85 | 68,97 | 67,24 | 65,48 |
| 45 | 80,79 | 88,33 | 62,44 | 64,08 | 61,26 |
| 55 | 75,29 | 81,10 | 54,51 | 57,95 | 54,40 |
| 65 | 68,57 | 72,74 | 54,71 | 50,77 | 46,75 |
| 75 | 60,88 | 63,40 | 45,04 | 43,99 | 39,61 |
| 85 | 53,97 | 55,51 | 38,03 | 38,41 | 35,76 |

Tabela 20: Erro Percentual para Condutividade Térmica da Polpa de Umbu, Segundo Modelos Propostos em Literatura.

| T (°C) | DESVIOS (%) | | | | |
|-----------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | RIEDEL (1949), suco de frutas | | | | |
| | TEOR DE UMIDADE (%) | | | | |
| | 70 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| 5 | 63,67 | 53,35 | 46,54 | 51,21 | 38,65 |
| 15 | 77,65 | 68,17 | 55,62 | 56,25 | 49,62 |
| 25 | 88,02 | 80,36 | 62,84 | 71,33 | 59,19 |
| 35 | 90,72 | 83,76 | 66,12 | 72,73 | 62,97 |
| 45 | 84,91 | 76,82 | 64,37 | 69,06 | 59,16 |
| 55 | 73,85 | 64,38 | 58,80 | 58,26 | 50,45 |
| 65 | 61,56 | 51,53 | 45,09 | 47,69 | 40,80 |
| 75 | 50,48 | 40,95 | 36,62 | 36,70 | 32,49 |
| 85 | 41,41 | 33,31 | 29,94 | 30,05 | 26,10 |
| | ROMERO et al. (1998), suco de laranja | | | | |
| 5 | 60,99 | 52,28 | 46,58 | 52,26 | 40,17 |
| 15 | 73,14 | 65,65 | 54,68 | 56,35 | 50,60 |
| 25 | 81,74 | 76,26 | 60,83 | 70,33 | 59,37 |
| 35 | 83,25 | 78,50 | 63,18 | 70,76 | 62,29 |
| 45 | 77,18 | 71,26 | 60,85 | 66,44 | 57,85 |
| 55 | 66,62 | 59,25 | 55,12 | 55,55 | 48,86 |
| 65 | 55,23 | 47,13 | 41,99 | 45,15 | 39,22 |
| 75 | 45,13 | 37,31 | 33,94 | 34,57 | 31,07 |
| 85 | 36,96 | 30,27 | 27,67 | 28,22 | 24,87 |

Uma hipótese provável para explicar os altos erros percentuais seria que a determinação indireta da condutividade térmica através da relação existente com as outras propriedades gera mais erros que a determinação experimental, potencializando os erros percentuais.

MOURA *et. al.* (2005) - em sua pesquisa de determinação das propriedades termofísicas de solução modelo similares a suco, variando a água, carboidrato e gordura - utilizaram a mesma equação para o cálculo da condutividade térmica e também encontraram erros percentuais elevados, quando compararam os valores dessa propriedade encontrados em seu trabalho com os obtidos por modelos dispostos em Literatura. Os modelos utilizados foram os propostos por KALAROV (1973) e SWEAT (1986). KALAROV (1973) propõe um modelo que relaciona a condutividade térmica com a fração mássica de água e SWEAT (1986) acrescenta a influência de carboidrato e gordura, modelos estes semelhantes com a proposta apresentada por MOURA *et. al.* (2005). Os erros variaram de 1,09% a 118,9%, para a comparação com o modelo de SWEAT e 2,53% a 108,84% para os outros autores. Segundo SILVA (1997), que utilizou essa mesma metodologia para determinação da condutividade térmica, apesar dessa consideração, a determinação indireta pode se constituir de uma primeira estimativa da condutividade térmica do sistema.

5. CONCLUSÕES

Entres as propriedades estudadas, a densidade foi a única que diminuiu com o aumento da temperatura e do teor de umidade, ou seja, a difusividade térmica, a condutividade térmica e o calor específicos foram influenciados positivamente por esta última variável.

Os menores erros percentuais encontrados, ao comparar os dados experimentais com os modelos dispostos em literatura, foram os para densidade, sendo, apenas para jaca, os erros superiores a 7 %, a temperatura de 85°C no modelo proposto por TELIS-ROMERO (1998) e para o proposto por PEREIRA (2002) à umidade de 65%.

O modelo proposto para prever os valores da densidade das polpas de jaca e umbu foi um modelo quadrático em função da temperatura e teor de umidade. Enquanto que nos apresentados pelos autores citados essas variáveis independentes tiveram efeito linear na influência da densidade. O que pode ter contribuído para este comportamento, no presente trabalho, foi a densidade na temperatura de 85°C que acentua a curva nesse momento, caracterizando o comportamento quadrático. Um estudo da caracterização físico-química e centesimal das polpas depois de atingir esta temperatura faz-se necessário para tentativa de identificar quais alterações na composição estariam levando a este comportamento.

O calor específico da polpa de umbu foi maior que o da polpa de jaca, demonstrando a influência da composição centesimal nesta propriedade, visto a grande concentração de carboidratos e cinzas da jaca, componentes estes que apresentam o menor calor específicos entre os componentes dos alimentos.

Os modelos utilizados para prever as propriedades termofísicas das polpas de jaca e umbu, apresentaram resultados menos satisfatórios para a difusividade térmica e condutividade térmica, partindo-se do princípio de que apresentaram maiores erros percentuais.

A determinação indireta da condutividade térmica através da relação das outras propriedades termofísicas gera mais erros que a determinação experimental direta. No entanto, a determinação indireta pode-se constituir de uma primeira estimativa da condutividade térmica do sistema.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUERQUE, U.P.; ANDRADE, L.H.C. Uso de recursos vegetais da caatinga: o caso do agreste do estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil). **Interciencia**, Caracas, v.27, n.7, jul., 2002;

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

ANDRADE, E., C., B. **Análise de Alimentos/ Uma Visão Química da Nutrição**. São Paulo, Livraria Varela, 2006;

AOAC. Association of Official Analytical Chemists – AOAC International, **Official methods of analysis**, 16th edition, Gaithersburg, MD, USA, 1996;

ARAÚJO, F.P. et al. Influência do período de armazenamento das sementes de umbuzeiro na germinação e no desenvolvimento da plântula. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.26, n.2, p.36-39, 2001;

ARAÚJO, J. L., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçú com diferentes teores de sólidos. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v.28, n.1, p. 126-134, jan/fev, 2004;

AZOUBEL, M., P. *et al.* Effects of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**. v. 66, p.413-417, 2005;

AZOUBEL, P.M.,*et. al.* Effect of concentration on the physical properties of the cashew juice. **Journal of Foods Process Engineering**, v.66, p. 413-417, 2005;

BISPO, E. S. **Estudo de produtos industrializáveis do umbu (*Spondias tuberosas*, Arr. *Câmara*)**. 1989. 119f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1989;

BOAS, E., V., B. **Avaliação nutricional dos alimentos**. Lavras: - UFLA FAEP, p.53, curso de pós-graduação “Lato Senso” (Especialização) á distância: Nutrição Humana e Saúde,1999;

BORGES, S., V. Chemical composition of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam) seeds. **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 1, 49-52, 2007;

BRYAN, R. B.; BRIAN, A.F. Food thermophysical property models. Comun. **Heat Mass Transfer**. V. 26, No 5, p.627-636, 1999;

CALLEGARO, M., G., K. *et al.* Determinação da Fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de Produtos Derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n. 2, p.271-274, abr.- jun., 2005;

CAVALCANTE, N.B e RESENDE, G. M. Ocorrência de xilopódio em plantas nativas de imbuzeiro. **Revista Caatinga**, v.19, n.3, p.287-293, julho/setembro 2006;

CAVALCANTI, N.B.; RESENDE, G.M.; BRITO, L.T.L.de. Processamento do fruto do imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.1, p.252-259, 2000;

CECCHI, H.M. **Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos**. Campinas. SP: Editora da Unicamp. 212p., 1999;

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, p.103-107, 1999;

CHOI, Y., OKOS,M.R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of the foods. In MANGUER, L. , JELEN,P. Foods engineering and Process Application. Vol.1, **Transport Phenomenon**, Elsevier, New York, pp 93-101, 1986;

CHOI, Y.; OKOS, M.R. The properties of tomato juice concentrates. **Transactions of the ASAE**, v.26, n.1, p.305-311, 1983;

CHOWDHURY, F., A.; RAMAN, M., A.,& MIAN, A.J. Distribution of free sugars and fatty acids in jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). **Food Chemistry**, Vol. 60, No. 1, pp.25-28, 1997;

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;

CORRÊA, M.P. Umbuzeiro. In: **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, IBDF. v.6, p.336, 1978;

COSTA, N., M., B.; PELUZIO, M., C., G. **Nutrição Básica e Metabolismo**. UFV, 201p., curso de pós-graduação á distância: Nutrição, Dietética e Dietoterapia, 2007;

CUNNIFF, P., **Official Methods of Analysis of AOAC International**. MARYLAND: AOAC International, Vol.1. 1998;

CUPPARI, L. **Nutrição Clínica no Adulto**, 2º ed. Editora Manole. São Paulo, 2002;

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

DONSÍ, G.; FERRARI, G.; NIGRO, R. Experimental Determination of Thermal Conductivity of Apple and Potato at Different Moisture Contents. **Journal of Foods Engeneering**, v. 30, p.263-268,1996;

FOLEGATTI, M. I.S. Aproveitamento industrial do umbu: Processamento de geléia e compota. **Ciência agrotécnica**, Lavras. V.27, n.6, p.1308-1314, nov./dez., 2003;

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. 9º ed., Rio de Janeiro: Ed. Livraria Atheneu; 1999;

GAVA, A.J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. 7.ed. São Paulo: Nobel. 284p, 1999;

GOMES, J.C. **Análise de Alimentos**. 2.ed. Viçosa: UFV, DTA: FUNARBE. 153p., 2003;

HANIF, R.; IQBAL, Z.; HANIF, S. E RASHEED, M. Use of Vegetables as nutritional food: Role in human health. **Journal of Agricultural and Biological Science**. Vol.1, no. 1, julho, 2006;

HARPER, H.A. **Manual de Química Fisiológica**. 5.ed. São Paulo: Atheneu. 736p., 1982;

IBAMA. Núcleo Desert/IBAMA. In: **Conferência Internacional sobre o Impacto das Variações Climáticas no Desenvolvimento Sustentável do SemiÁrido ICID**. 1992;

INCROPERA, F. P., DeWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 5ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, Brasil, 698p., 2003;

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ª ed. São Paulo, Brasil, 533p., 1985;

JAGADEESH, S., L. *et al.* Chemical composition of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) selections of Western Ghats of India. **Food Chemistry**, Vol. 102, pp.361-365, 2007;

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Dehydration of Fruits and Vegetables – Recent Developments in Principles and Techiques. **Drying Technology**, v. 10, n. 1, p. 1-50, 1992;

KANZAKI, S., YONEMORI, K., SUGIURA, A., SUBHADRABANDHU, S. Phylogenetic relationships between the jackfruit, the breadfruit and nine other *Artocarpus* spp. From RFLP analysis of an amplified region of cpDNA, **Scientia Horticulturae**, v.70, p. 57-66, 1997;

LABRUNA, J.C. Sucos prontos: matam a sede do mercado. **Engarrafador moderno: revista de negócios e tecnologia em bebidas**. São Paulo: ADEN Editora e Comunicações LTDA, ano X, n.84, abr., 2001;

LEWIS, M.J. **Propriedades de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 494p, 1993;

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

LIMA, L.F.N.do.; ARAÚJO, J.E.V.; ESPÍNDOLA, A.C.M.de. **Umbu (Spondias tuberosa Arr. Câm.)**. Jaboticabal: Funep, p.29, 2000;

MATTIETTO, R., A. **Estudo Tecnológico De Um Néctar Misto De Cajá (Spondias Lutea L.) E Umbu (Spondias Tuberosa, Arruda Câmara)**. 2004. 299 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005;

MELO, A .S. et al. Desenvolvimento de porta-enxertos de umbuzeiro em resposta à adubação com nitrogênio fósforo. **Ciência rural**, v. 35, n.2, p.324-331, mar-abr, Santa Maria, 2005;

MENDES, B.V. Umbuzeiro (*Spondias tuberosas Arr. Cam.*) : Importante fruteira do semi-árido. Mossoró: ESAM, 1990.p.63. (ESAM.Coleção Mossoreense, 564);

MENDONÇA, T., M., T., P. **Valor Nutritivo de Alguns Doces Fabricados no Município de Campos dos Goytacazes – RJ**. Campo dos Goitacazes: UFNF, 2005 (Dissertação de Mestrado);

MORRISON, R.; BOYD, R. Química Orgânica. 7.ed. **Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian**. 1498p. 1973;

MOURA, S. C. S. R., FRANÇA, V. C. L., LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de modelos similares a sucos – parte I, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.1, p. 62-68, jan-abr, 2003;

MOURA, S., C., S., R.; FRANÇA, V., C., L.; LEAL, A., M., C., B. Propriedades termofísicas de soluções- modelo Similares a Sucos – Parte II. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.25, n.3, p. 454-459, jul.n/set. 2005;

MUNIZ, M., B. *et al.* Caracterização Termofísica de Polpas de Bacuri. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.2, abr./jun. 2006;

MUNSON, B. R., YOUNG, D. F., OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos** – tradução da 2ª edição americana, V.1., Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo Brasil, 418p., 1997;

NIELSEN, S. S. (editor). **Food Analysis**, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, New York, 630p., 1998;

PEREIRA, E.A., QUEIROZ, A.J.M., FIGUEIREDO, 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**. v.6, n.3, p.526-530, 2002;

PINHEIRO, A.B. V. Tabela para avaliação de consumo alimentar em medidas caseiras. 3º ed. Rio de Janeiro, diagramação e editoração eletrônica, p.21, 1996;

PUA, C.K. *et al.* Production of drum-dried jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder with different concentration of soy lecithin and gum arabic. **Journal of Food Engineering**, Vol. 72, pp. 630-636, 2007;

RAHMAN, M. A. *et al.* Variation of carbohydrate composition of two forms of fruit from jack tree (*Artocarpus heterophyllus*) with maturity and climatic conditions. **Food Chemistry**, Vol. 65, pp. 91-97, 1999;

RAMOS, A.M, IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Foods Engineering**, 35, p.57-63, 1998;

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Ed. Folha de Viçosa, Viçosa, 301p., 2001;

SCHOTTLER, P.; HAMATSCHEK, J. Application of decanters for the production of tropical fruit juices. **Fruit Processing**, v. 4, n. 1, p. 198-301, 1994;

SEAGRI, **Secretaria de Agricultura do Estado da Bahia**. <www.seagri.ba.gov.br>. Acessado em 05/05/2006;

SEBRAE. SEBRAE/MG: **A agroindústria de frutas, 2004**. Disponível em <www.sebraemg.com.br/agronegocios/Fruticultura/Cap5.doc>. Acesso: em 25 de Junho de 2007;

SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I.O.; YAMAN. Termophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. . **Journal of Foods Engineering**, v.66, p.395-399, 2005;

SILVA, C.M.M. de; PIRES, I.E.; SILVA, H.D.da. Caracterização dos frutos do umbuzeiro. Petrolina: Embrapa, 1987. 17p. (**Embrapa. Boletim de Pesquisa, 34**);

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos**. 3. ed. Viçosa: UFV. 235p, (2002);

SILVA, R.R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R.C. **Introdução à química experimental**. São Paulo: McGraw-Hill, p.296, 1990;

SILVA, S. B. **Propriedades Termofísicas de Polpa de Abacaxi**. 1997. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997;

SIMÕES, M. R. **Propriedades Termofísicas de Polpa de Manga**. 1997, 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997;

SOUZA, A . H.; CATÃO, D. D. Umu e seu suco. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v.51, p. 335-353, 1970;

SOUZA, T., S. **Desidratação osmótica de frutículos de jaca (*Artocarpus integrifolia L.*): aplicação de modelos matemáticos**. 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do sudoeste da Bahia, Itapetinga, 1997;

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**. v. 38, p.27-40, 1998;

ZURITZ, C. A. et. al. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. **Journal of Foods Process Engineering**, v.71, p. 143-149, 2005.