



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos



**INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS NA OBTENÇÃO DE
PRODUTOS SECOS DO CAJU (*Anacardium occidentale* L.)**

PARECER

Por

Patricia Moreira Azoubel

Engenheira Química

Mestre em Engenharia de Alimentos

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Patricia Moreira Azoubel**, aprovada pela Comissão Julgadora em 18 de outubro de 2002.

Campinas, 18 de Outubro de 2002.

Prof. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Presidente da Banca

Orientadora: Prof^a Dr^a Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos

Campinas – SP

Outubro, 2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE Be
Nº CHAMADA T/UNICAMP
Az68i
V _____ EX _____
TOMBO BCI 51540
PROC 16.837102
C _____ DY _____
PREÇO R\$ 11,00
DATA 14/11/02
Vº CPD _____

CM00176460-6



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

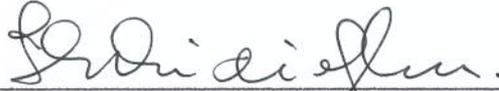
Az68i Azoubel, Patricia Moreira
Influência de pré-tratamentos na obtenção de produtos secos do caju (*Anacardium occidentale* L.) / Patricia Moreira Azoubel. – Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1.Caju. 2.Osmose – Desidratação. 3.Secagem. 4.Qualidade.
I.Murr, Fernanda Elizabeth Xidieh. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

BANCA EXAMINADORA

Campinas, 18 de outubro de 2002



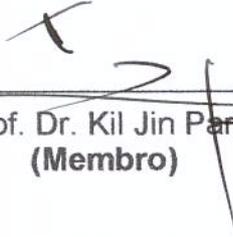
Profa. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
(Orientadora)



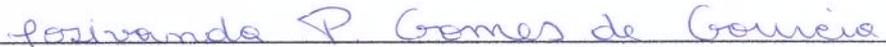
Prof. Dr. Satoshi Tobinaga
(Membro)



Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(Membro)

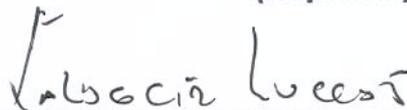


Prof. Dr. Kil Jin Park
(Membro)



Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia
(Membro)

Prof. Dr. Nelson Horacio Pezoa García
(Suplente)



Dr. Valdecir Luccas
(Suplente)

918152002

*“O conhecimento é orgulhoso por ter aprendido tanto;
a sabedoria é humilde por não saber mais”
(William Cowper)*

Dedico

*A Deus pela vida,
Aos meus pais, Mateus e Graça,
Aos meus irmãos, Mateus e Isabela,
Por todo amor, carinho e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

A Profa. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr pela orientação e amizade disponibilizadas durante a realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora Dr. Satoshi Tobinaga, Dr. Carlos Alberto Gasparetto, Dr. Nelson Horacio Pezoa García, Dr. Kil Jin Park, Dra. Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia e Dr. Valdecir Luccas, pela atenção, correções e indispensáveis contribuições a este trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela ajuda financeira.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Semi-Árido, pela liberação na fase final deste trabalho.

A Itaueira Agropecuária S.A. pela doação de parte do caju utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Copersucar pelo fornecimento de parte da sacarose e a Corn Products Brasil pela glicose de milho e maltodextrina utilizados nos experimentos de desidratação osmótica.

A Profa. Dra. Maria Aparecida da Silva, do Departamento de Nutrição da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, por ter permitido utilizar o laboratório para a realização da análise sensorial.

Aos amigos do Laboratório de Medidas Físicas Suzi Ribeiro, Eder Araujo, Ânoar El-Aouar, Denise Alves, Daniela Guimarães, Graziella Colato, José Lucena Jr.,

Maristela Santana, Ângela Grandin, Ângela Gozzo, Fernando Cascardo, Robson Silvestre, Gilvanete Ferreira, Junko Tsukamoto, Sueli Ohata e Elisângela da Silva.

Aos amigos da pós Isabel Berto, Daniel Atala, Michele Berteli, Helen Treichel, Jean Alanis, Nicole Anlicoara, Luciana Schramm, Guilherme Mibielli, Rosiléa França, Eliana Argadoña.

Aos amigos de Recife por compartilharem a alegria de uma amizade sincera.

A minha querida família americana pelo carinho de sempre.

Aos amigos da secretaria do Departamento de Engenharia de Alimentos Sônia, Reinaldo e Sr. Aparecido.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xv
NOMENCLATURA.....	xviii
RESUMO.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Caju.....	5
2.1.1. Histórico.....	5
2.1.2. Botânica.....	5
2.1.3. Importância econômica.....	6
2.1.4. Características do pedúnculo.....	9
2.1.4.1. Ácidos orgânicos.....	9
2.1.4.2. Ácido ascórbico.....	10
2.1.4.3. Açúcares.....	11
2.1.4.4. Compostos fenólicos.....	12
2.1.4.5. Outras características bioquímicas.....	12
2.1.5. Colheita, conservação e comercialização.....	12
2.2. Secagem convectiva.....	13
2.2.1. Cinética de secagem.....	16
2.2.2. Secagem de frutas.....	20
2.2.3. Alterações na qualidade na secagem de frutas.....	21
2.2.3.1. Cor.....	22
2.2.3.2. Nutrientes, aroma e sabor.....	23
2.2.3.3. Fenômenos físicos e estrutura.....	23
2.2.3.4. Atividade de água.....	24
2.2.3.5. Pré-tratamento.....	26
2.3. Desidratação osmótica.....	27
2.3.1. Propriedades do tecido celular.....	28
2.3.2. Agentes desidratantes.....	29
2.3.3. Temperatura.....	31
2.3.4. Tempo de imersão.....	32
2.3.5. Concentração da solução osmótica.....	33
2.3.6. Agitação.....	33
2.3.7. Desidratação osmótica de caju.....	34
2.3.8. Tratamento matemático.....	35
2.4. Secagem a altas temperaturas.....	36
2.4.1. Puffing.....	36
2.5. Análise sensorial.....	38
2.6. Planejamento experimental.....	40
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1. Matéria-prima.....	41
3.1.1. Análises físico-químicas.....	42
3.2. Pré-tratamentos.....	44
3.2.1. Desidratação osmótica.....	44
3.2.1.1. Soluções desidratantes.....	44

3.2.1.2. <i>Planejamento experimental para a desidratação osmótica</i>	46
3.2.2. <i>Secagem HTST</i>	48
3.2.2.1. <i>Planejamento experimental para a secagem HTST</i>	50
3.3. <i>Secagem convectiva</i>	51
3.4. <i>Ajuste dos modelos matemáticos</i>	53
3.5. <i>Análise sensorial</i>	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1. <i>Caracterização da matéria-prima</i>	55
4.2. <i>Desidratação osmótica</i>	55
4.2.1. <i>Perda de peso</i>	58
4.2.2. <i>Perda de água</i>	65
4.2.3. <i>Ganho de sólidos</i>	71
4.2.4. <i>Otimização do processo de desidratação osmótica</i>	77
4.2.4.1. <i>Caracterização dos produtos otimizados</i>	82
4.3. <i>Secagem HTST</i>	85
4.3.1. <i>Umidade</i>	86
4.3.2. <i>Densidade</i>	88
4.3.3. <i>Otimização do processo de secagem HTST</i>	91
4.4. <i>Secagem convectiva</i>	92
4.4.1. <i>Cinética de secagem convectiva</i>	92
4.4.2. <i>Modelagem matemática da secagem convectiva</i>	98
4.4.3. <i>Energia de ativação</i>	105
4.4.4. <i>Caracterização do produto final</i>	106
4.5. <i>Análise sensorial</i>	109
5. CONCLUSÕES	117
5.1. <i>Desidratação osmótica</i>	117
5.2. <i>Secagem HTST</i>	118
5.3. <i>Secagem convectiva</i>	118
5.4. <i>Análise sensorial</i>	119
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXO I	133
ANEXO II	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-	Exemplar de caju vermelho.....	6
Figura 2.2-	Proporção da parte comestível de alguns frutos tropicais.....	8
Figura 2.3-	Porcentagem de suco da parte comestível de alguns frutos.....	8
Figura 2.4-	Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt) com propriedades constantes do ar de secagem.....	16
Figura 2.5-	Esquema de transferência de massa na desidratação osmótica.....	28
Figura 3.1-	Caju.....	41
Figura 3.2-	Cortador utilizado para obtenção das fatias do pedúnculo do caju.....	42
Figura 3.3-	Esquema do secador de leite fluidizado utilizado nos experimentos.....	49
Figura 3.4-	Esquema do secador vertical de leite fixo utilizado nos experimentos.....	52
Figura 4.1-	Gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre a perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju com solução de sacarose e xarope de milho.....	59
Figura 4.2-	Distribuição dos resíduos do modelo ajustado para a perda de peso da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose (a) e em xarope de milho (b).....	61
Figura 4.3-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose: a t= 165 min (a), C= 50% (b) e T=40°C (c).....	63
Figura 4.4-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho: a t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).....	64
Figura 4.5-	Gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre a perda de água na desidratação osmótica do pedúnculo do caju com solução de sacarose e xarope de milho.....	66
Figura 4.6-	Distribuição dos resíduos do modelo ajustado para a perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose (a) e em xarope de milho (b).....	68
Figura 4.7-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).....	69

Figura 4.8-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: $t=165$ min (a), $C=50\%$ (b) e $T=40^{\circ}\text{C}$ (c).....	70
Figura 4.9-	Gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica do pedúnculo do caju com solução de sacarose e xarope de milho.....	72
Figura 4.10-	Distribuição dos resíduos do modelo ajustado para o ganho de sólidos da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose (a) e em xarope de milho (b).....	74
Figura 4.11-	Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica pedúnculo do caju em soluções de sacarose a: $t=165$ min (a), $C=50\%$ (b) e $T=40^{\circ}\text{C}$ (c).....	75
Figura 4.12-	Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: $t=165$ min (a), $C=50\%$ (b) e $T=40^{\circ}\text{C}$ (c).....	76
Figura 4.13-	Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose a: $t=165$ min (a); $T=40^{\circ}\text{C}$ (b) e $C=50\%$ (c).....	79
Figura 4.14-	Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica para a desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: $t=165$ min (a); $T=40^{\circ}\text{C}$ (b) e $C=50\%$ (c).....	79
Figura 4.15-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a umidade do pedúnculo de caju na secagem HTST a: $C_a=2\%$ e $t_a=2$ min (a); $T=150^{\circ}\text{C}$ e $t_a=2$ min (b).....	88
Figura 4.16-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a densidade pedúnculo do caju na secagem HTST a: $C_a=2\%$ e $t_a=2$ min (a); $T=150^{\circ}\text{C}$ e $t_a=2$ min (b).....	90
Figura 4.17	Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju <i>in natura</i>	94
Figura 4.18-	Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em solução de sacarose.....	94
Figura 4.19-	Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em xarope de milho.....	95

Figura 4.20- Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST.....	95
Figura 4.21- Taxa de secagem a T=50°C do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratado por secagem HTST (FHTST).....	97
Figura 4.22- Taxa de secagem a T=60°C do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratado por secagem HTST (FHTST).....	97
Figura 4.23- Taxa de secagem a T=70°C do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratado por secagem HTST (FHTST).....	98
Figura 4.24- Modelo difusional para o pedúnculo do caju <i>in natura</i> : (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	99
Figura 4.25- Modelo difusional para o pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em solução de sacarose: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	99
Figura 4.26- Modelo difusional para o pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em xarope de milho: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	100
Figura 4.27- Modelo difusional para o pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	100
Figura 4.28- Modelo de Page para o pedúnculo do caju <i>in natura</i> : (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	102
Figura 4.29- Modelo de Page para o pedúnculo do caju osmoticamente desidratado em solução de sacarose: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	103
Figura 4.30- Modelo de Page para o pedúnculo do caju osmoticamente desidratado em xarope de milho: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	103
Figura 4.31- Modelo de Page para o pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo.....	104

Figura 4.32- Amostras do pedúnculo do caju seco: <i>in natura</i> (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	108
Figura 4.33- Perfil dos provadores no teste de aceitação.....	109
Figura 4.34- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo aparência das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	112
Figura 4.35- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo aroma das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	112
Figura 4.36- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo sabor das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	113
Figura 4.37- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo textura das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	113
Figura 4.38- Histograma de intenção de compra.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1-	Composição química do pedúnculo do caju.....	10
Tabela 2.2-	Valores de sólidos solúveis, ácido ascórbico, pH e acidez total no pedúnculo do caju em diferentes estádios de maturação.....	10
Tabela 2.3-	Teor de vitamina C das principais frutas.....	11
Tabela 2.4-	Atividade de água mínima para o crescimento de bactérias patogênicas (pH e temperatura ótimos).....	26
Tabela 3.1-	Especificações e composição da glicose de milho MOR-REX®1940.....	45
Tabela 3.2-	Especificações e composição da maltodextrina MOR-REX®1914.....	45
Tabela 3.3-	Variáveis independentes codificadas para a desidratação osmótica.....	46
Tabela 3.4-	Planejamento experimental da desidratação osmótica.....	47
Tabela 3.5-	Variáveis independentes codificadas para a secagem HTST.....	51
Tabela 3.6-	Planejamento experimental da secagem HTST.....	51
Tabela 4.1-	Análises físico-químicas do pedúnculo do caju.....	55
Tabela 4.2-	Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de maltodextrina.....	56
Tabela 4.3-	Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose.....	56
Tabela 4.4-	Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de xarope de milho.....	57
Tabela 4.5-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para a perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e de xarope de milho.....	59
Tabela 4.6-	Análise de Variância do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho.....	61
Tabela 4.7-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a perda de água na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho.....	66

Tabela 4.8-	Análise de Variância do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho.....	67
Tabela 4.9-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho.....	72
Tabela 4.10-	Análise de Variância do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho.....	73
Tabela 4.11-	Valores da razão GS/PA.....	78
Tabela 4.12-	Três condições ótimas de processo escolhidas para validação dos modelos experimentais da desidratação osmótica do pedúnculo do caju com soluções de sacarose e xarope de milho.....	81
Tabela 4.13-	Respostas previstas pelos modelos e observadas experimentalmente para as condições otimizadas.....	81
Tabela 4.14-	Caracterização dos produtos otimizados da desidratação osmótica.....	83
Tabela 4.15-	Influência do processamento no teor de ácido ascórbico (vitamina C)....	84
Tabela 4.16-	Valores de umidade e densidade obtidos experimentalmente na secagem a altas temperaturas por curto tempo do pedúnculo do caju.....	85
Tabela 4.17-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para a umidade do pedúnculo do caju na secagem HTST.....	86
Tabela 4.18-	Análise de Variância do modelo ajustado para umidade no processo de secagem HTST de fatias do pedúnculo de caju.....	86
Tabela 4.19-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para a densidade do pedúnculo do caju na secagem HTST.....	89
Tabela 4.20-	Análise de Variância do modelo ajustado para densidade no processo de secagem HTST do pedúnculo do caju.....	89
Tabela 4.21-	Valores de temperatura (T), tempo de secagem (t), concentração de amido (C_a) e tempo de imersão no amido (t_a) utilizados para validar os modelos experimentais de umidade e densidade na secagem HTST do pedúnculo do caju.....	91

Tabela 4.22-	Valores de umidade relativa (UR) do ar de secagem para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco HTST (FHTST).....	92
Tabela 4.23-	Valores de D_{ef} , R^2 e P para o pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST).....	101
Tabela 4.24-	Valores de K, b, R^2 e P para o modelo de Page para o pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST).....	104
Tabela 4.25-	Energia de ativação.....	106
Tabela 4.26-	Teor de ácido ascórbico para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	106
Tabela 4.27-	Atividade de água para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	107
Tabela 4.28-	Densidade para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju <i>in natura</i> (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	107
Tabela 4.29-	Aceitação média dos atributos aparência, aroma, sabor e textura do pedúnculo do caju seco sem pré-tratamento (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST).....	114

NOMENCLATURA

A	Constante da equação de Arrhenius	-
a_w	Atividade de água	-
b	Parâmetro do modelo de Page	-
C	Concentração da solução osmótica	(%)
C_a	Concentração de amido gelatinizado	(%)
d	Densidade	(g/cm ³)
D_{ef}	Difusividade efetiva	(m ² /s)
E_a	Energia de ativação	(kJ/mol)
GS	Ganho de sólidos	(%)
K	Constante de secagem	-
l	Meia espessura	(m)
L	Espessura inicial da amostra	(m)
L'	Espessura reduzida da amostra	(m)
M_e	Valores obtidos experimentalmente	-
M_i	Peso inicial da amostra	(g)
M_p	Valores preditos pelo modelo	-
M_t	Peso da amostra no tempo t	(g)
MA_o	Peso de água inicialmente presente	(g)
MS_o	Peso dos sólidos inicialmente presente	(g)
MS_t	Peso dos sólidos no tempo t	(g)
N	Número de pontos experimentais	-
MA_o	Peso de água inicialmente presente	(g)
MS_o	Peso dos sólidos inicialmente presente	(g)
MS_t	Peso dos sólidos no tempo t	(g)
ρ	Parâmetro de significância do planejamento experimental	-
ρ_o	Pressão de vapor da água pura na mesma temperatura	(N/m ²)
ρ_r	Pressão de vapor da água no alimento	(N/m ²)
P	Erro médio relativo	(%)
PA	Perda de água	(%)
PP	Perda de peso	(%)
R	Constante universal dos gases	(kJ/mol K)
R^2	Coeficiente de correlação	-

t_a	Tempo de imersão no amido gelatinizado	(min)
t	Tempo de secagem	(min)
T	Temperatura	(°C)
UR	Umidade relativa	(%)
X_o	Umidade inicial da amostra	(kg H ₂ O/kg ms)
X_e	Umidade de equilíbrio	(kg H ₂ O/kg ms)
X_t	Umidade média no tempo t	(kg H ₂ O/kg ms)

RESUMO

No presente trabalho foi estudada a influência dos pré-tratamentos de desidratação osmótica e de secagem a altas temperaturas por curto tempo (HTST) na secagem convectiva de fatias do pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale* L.). Os pré-tratamentos foram otimizados, baseados em planejamentos experimentais fatoriais e posterior análise de superfície de resposta. Para a desidratação osmótica, a influência da temperatura (30-50°C), da concentração da solução osmótica (40-60% p/p) e do tempo de imersão (90-240 min) nas respostas perda de peso, perda de água e ganho de sólidos foi avaliada. O aumento da temperatura, do tempo de imersão e da concentração da solução favoreceu ao aumento das respostas estudadas. Para a secagem HTST foi estudada a influência da temperatura do ar (130-170°C), do tempo de secagem (5-15 min), da concentração do amido gelatinizado (2-6% p/p) e do tempo de imersão no amido gelatinizado (2-10 min) nas respostas umidade e densidade. Os valores dessas respostas diminuem com o aumento dos valores dos fatores analisados. A etapa de secagem convectiva das amostras pré-tratadas e *in natura* foi conduzida em um secador de leito fixo nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e velocidade do ar de secagem de 2,1m/s. Para o ajuste dos dados experimentais foram utilizados o modelo difusional sem considerar o encolhimento e o modelo de Page. Os valores de difusividade efetiva obtidos foram da ordem de 10^{-10} m²/s. A avaliação do produto final foi feita mediante a análise do teor de ácido ascórbico, densidade, atividade de água e testes sensoriais. As amostras pré-tratadas osmoticamente apresentaram maiores perdas de vitamina C, maior densidade, enquanto que os produtos pré-processados pela secagem HTST obtiveram as menores atividades de água. Sensorialmente, a amostra previamente desidratada em solução de sacarose foi a mais aceita, situando-se nas categorias “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”.

SUMMARY

The effect of osmotic dehydration and high temperature short time (HTST) drying as a pretreatment to convective drying of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) slices was studied. For the osmotic pretreatment, the influence of temperature (30-50°C), osmotic solution concentration (40-60% w/w) and immersion time (90-240min) on the responses weight loss, water loss and solid gain was evaluated. An increase in temperature, solution concentration and immersion time favoured the increase of the responses values. In the HTST drying experiments, the effect of air temperature (130-170°C), drying time (5-15min), gelatinized starch concentration (2-6% w/w) and immersion time in the gelatinized starch (2-10min) in the responses moisture content and density was studied. The responses values decreased with the increase of the values of the studied factors. Convective drying was carried out in a fixed bed dryer at 50, 60 e 70°C and air velocity of 2.1m/s. Drying curves were fitted using a diffusional model, considering no shrinkage, and using Page's model. The obtained diffusion coefficients were in the order of 10^{-10} m²/s. Evaluation of the final product was done by means of ascorbic acid content, density, water activity and sensorial tests. The osmotic pretreated samples presented higher vitamin C losses and density, while the HTST pretreated slices exhibited lower water activity values. The peduncle osmotically pretreated in sucrose solution were more acceptable, with acceptance values in the categories "like slightly" and "like moderately".

1. INTRODUÇÃO

O extenso território brasileiro, caracterizado por variadas condições climáticas e por distintos tipos de solos, apresenta uma produção agrícola bastante diversificada, que confere ao país o título de principal produtor mundial em vários mercados. A fruticultura é uma das atividades capazes de assegurar ao Brasil um percentual significativo do volume de produção global, colocando-o em primeiro lugar no *ranking* dos produtores de frutas *in natura*, apesar desta representar apenas 5% das áreas cultivadas no país (CARRARO E CUNHA, 1994).

O plantio de cajueiros ocorre em quase todo o território nacional, com exceção dos estados sulinos (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), sendo ocupada uma área correspondente a aproximadamente 700.000 ha, tendo uma produção de 1.680.375 mil frutos. A região Nordeste corresponde por mais de 90% da área colhida e da produção nacional, onde as maiores concentrações localizam-se nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (IBGE, 1996).

Em peso, o caju é composto por 10% de castanha e 90% de pedúnculo. A amêndoa da castanha do caju, de alto valor nutritivo, é o principal produto de utilização do cajueiro, constituindo um artigo de comércio mundial. As possibilidades de transformações do pedúnculo em produtos alimentícios são muito grandes, entretanto, estima-se que o seu aproveitamento industrial esteja em torno de 12%. O grande desperdício ocorre devido ao reduzido período de pós-colheita, associada à pequena capacidade de absorção da indústria, ao curto período de safra e à inexistência de métodos econômicos de preservação da matéria-prima. O pedúnculo é um produto altamente perecível, que possui uma casca muito frágil, o que impede o seu manuseio e transporte das áreas de produção aos mercados de consumo ao natural ou às indústrias situadas a longa distância. Sobre sua casca existe uma mucilagem na qual se fixam fungos, dando-lhes condições propícias para seu desenvolvimento, que é ainda favorecido

quando as condições de temperatura e umidade forem elevadas nas regiões produtoras de caju (MENEZES *et al.*, 1980; PAIVA *et al.*, 1997).

A preservação de alimentos, principalmente frutas e verduras, pode ser feita através da desidratação. Os produtos secos podem ser armazenados e transportados a um custo relativamente baixo. Entretanto, a remoção de água pode levar a um decréscimo nos valores nutritivos e nas propriedades sensoriais dos alimentos, como textura lignificada, reidratação lenta ou incompleta e perda de suculência da fruta ou do vegetal fresco. Além disso, a cor e o odor podem ser afetados negativamente. Por esta razão, o aperfeiçoamento da secagem convectiva vem sendo trabalhado e o tratamento preliminar da matéria-prima, como a desidratação osmótica, é de importância fundamental (LENART, 1996). A utilização da desidratação osmótica seguida da secagem convectiva geralmente fornece um produto atrativo ao consumo, minimizando, assim, os danos causados pelo calor à cor, à textura e ao sabor do alimento (BORGES e MENEGALLI, 1994). A secagem a altas temperaturas também consiste em uma etapa preliminar a secagem convectiva, na qual permite a obtenção de um produto com menor tempo de reconstituição e de secagem, reduzindo os níveis de contaminação microbológica e propiciando a inativação enzimática (BROLCHAIN, 1973).

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo estudar a secagem convectiva de caju em um secador de leito fixo, determinando o efeito dos pré-tratamentos de desidratação osmótica e de secagem a altas temperaturas por curto tempo, além de verificar a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos a partir desta fruta.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar o pedúnculo do caju através de análises físico-químicas;

- Avaliar a influência da temperatura, do tempo de imersão, do agente osmótico e de sua concentração na desidratação osmótica;
- Avaliar a influência da temperatura, do tempo de processo, da concentração do amido gelatinizado e do tempo de imersão no amido gelatinizado na secagem a altas temperaturas por curto tempo;
- Estudar a cinética de secagem convectiva do pedúnculo do caju *in natura* e pré-tratado pela desidratação osmótica e secagem a altas temperaturas;
- Caracterizar o produto seco através da atividade de água, da densidade real e do conteúdo de ácido ascórbico;
- Análise sensorial do produto final através de testes de aceitação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caju

2.1.1. Histórico

O cajueiro é uma planta genuinamente brasileira e seu nome é derivado do tupi-guarani *acâ-yú*, que quer dizer *pomo amarelo*. Das 12 espécies descritas para o gênero *Anacardium*, apenas uma não é nativa do Brasil, sendo que o indigenato desta fruta está na zona litorânea, da Amazônia ao Nordeste.

Desde a época do descobrimento, o caju já era utilizado pelos indígenas do litoral, sendo o pedúnculo consumido *in natura* ou sob a forma de bebida fermentada, constituindo uma preciosa fonte de alimentos. A fruta foi altamente valorizada nos registros dos cronistas dos séculos XVI e XVII, sendo citada como medicinal, nutritiva e refrescante (MEDINA *et al.*, 1978).

O cajueiro foi levado pelos portugueses para a Índia em meados do século XVI, iniciando-se, assim, sua disseminação pelo mundo, tornando-se para muitas nações, exploração de grande importância econômica (LIMA, 1988).

2.1.2. Botânica

A fruta é composta pela castanha e pelo pedúnculo (Figura 2.1). O fruto propriamente dito ou verdadeiro é um aquênio reniforme (3 a 5cm de comprimento e 3 a 20g de peso), com cor castanho escuro, coriáceo, liso, com mesocarpo espesso, alveolado, cheio de um líquido viscoso, vermelho, acre e cáustico, contém uma amêndoa rinóide no formato, envolvida por uma película avermelhada, composta de dois cotilédones brancos, carnosos e oleosos, e que constitui a castanha comestível quando torrada.

Conforme amadurece, o pedúnculo (receptáculo) que o suporta intumescce rapidamente para formar uma estrutura carnosa, mais ou menos piriforme, com o fruto verdadeiro pendente na sua extremidade. Esse pedúnculo hipertrofiado (falso fruto ou pseudofruto), de casca fina de cor amarela ou avermelhada (4,5 a 7,5cm de comprimento e 60g em média de peso), contém uma polpa esponjosa, de cor branco-amarelada, muito suculenta, de sabor ácido agradável quando se come cru, porém muito adstringente quando verde (MEDINA *et al.*, 1978).



Figura 2.1- Exemplar de caju vermelho

2.1.3. Importância econômica

O cajueiro é cultivado em 26 países, sendo a importância de sua exploração restringida à Índia, Brasil, Vietnã, Tanzânia, Indonésia, Moçambique e Guiné-Bissau. Estes países, em conjunto, são responsáveis por 81% da produção mundial, média do período de 1995 a 1997. No Brasil maiores concentrações de produção localizam-se principalmente nas faixas litorâneas e transição do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, que juntos possuem cerca de 88% da área de cultivo do país (CAVALCANTI, 1998; FAO, 1998).

A industrialização do caju visa, basicamente, o aproveitamento da amêndoa da castanha e, em menor escala, a extração do líquido da casca da castanha, existindo ainda grande possibilidade de aproveitamento do pedúnculo. Da castanha, pode-se obter uma grande quantidade de produtos e subprodutos, como amêndoa, tintas, vernizes, isolantes, colas fenólicas, inseticidas, entre outros (PAIVA *et al.*, 1997).

O pedúnculo, de estrutura carnosa e muito succulenta, rico em vitamina C, constitui matéria residual, podendo ser industrializado sob diversas formas. Do ponto de vista tecnológico, a proporção da parte comestível (tirando a pele e a semente/castanha) está do caju bem acima daquelas de frutas tropicais cultivadas, como abacate, banana, manga, maracujá e abacaxi, conforme a Figura 2.2 (MENEZES e ALVES, 1995).

Os principais produtos obtidos da fração líquida do pedúnculo são (PAIVA *et al.*, 1997):

- Suco integral: é o principal produto do pedúnculo, sendo bem aceito no mercado interno brasileiro, especialmente na Região Nordeste. O aproveitamento da polpa do caju na forma de suco constitui uma vantagem quando comparada a outras frutas (Figura 2.3);
- Néctar: produto não fermentado, não gaseificado, tem obtido grande aceitação, pela facilidade e forma de consumo;
- Bebidas fermentadas/destiladas: produzidas em pequena escala, são praticamente caseiras e os processos de obtenção precisam ser estudados e padronizados.

Os principais produtos obtidos da fração fibrosa do pedúnculo do caju são (PAIVA *et al.*, 1997):

- Polpa: produto da desintegração do pedúnculo, com vistas à estocagem para posterior utilização. A denominação também pode ser utilizada para polpa congelada, sendo seu uso para a obtenção de sucos e refrescos;

- Doces: produtos bastante conhecidos e de fácil obtenção, constituindo-se numa das formas mais rentáveis do aproveitamento da fração fibrosa. Para esta denominação, enquadram-se os doces pastosos, em calda e desidratados.

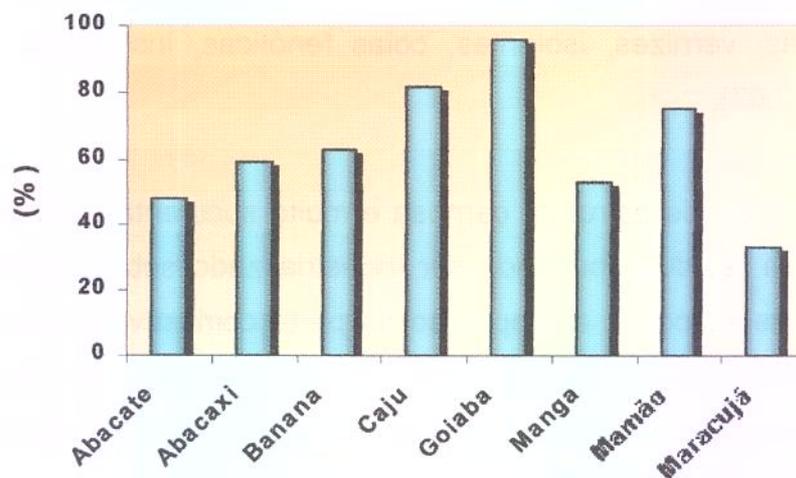


Figura 2.2- Proporção da parte comestível de alguns frutos tropicais

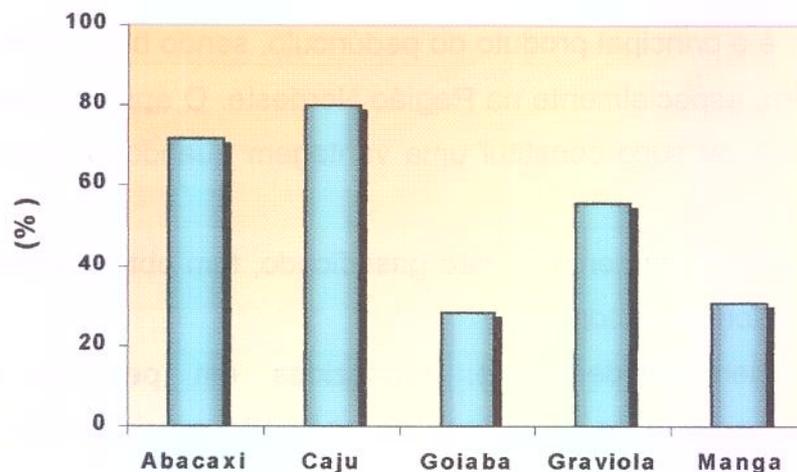


Figura 2.3- Percentagem de suco da parte comestível de alguns frutos
(MENEZES e ALVES, 1995)

Apesar dos sucos e doces do caju serem alimentos de qualidades palatáveis e nutricionais reconhecidas, o mercado interno para estes produtos ainda não se encontra devidamente explorado e consolidado. Dentre os fatores que interferem no melhor aproveitamento e qualidades dos derivados do

pedúnculo, destacam-se a alta perecibilidade e a sazonalidade na produção. É fundamental que, além de melhorias tecnológicas nos setores agrícola e industrial, sejam ampliadas as oportunidades de aproveitamento do pedúnculo visando ao aumento de renda do produtor (PESSOA *et al.*, 1994).

2.1.4. Características do pedúnculo

O pedúnculo do caju apresenta grande variação na sua composição química, dependendo do seu tipo e da região produtora. A Tabela 2.1 apresenta a composição físico-química de frutos do caju provenientes de seis diferentes municípios do Ceará.

2.1.4.1. Ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos presentes em alimentos influenciam o sabor, odor, cor, estabilidade e manutenção de qualidade. A acidez titulável de frutas varia de 0,2 a 0,3% em frutas de baixa acidez, como maçãs vermelhas e bananas, 2,0% em ameixas e acima de 6% em limão (CECCHI, 1999).

A acidez titulável do pedúnculo do caju, assim como a da maçã, banana, ameixa e pêra, deve ser expressa em percentagem de ácido málico, em função de ser este o mais comumente encontrado (MENEZES e ALVES, 1995). Além do ácido málico, o ácido cítrico está presente em proporção variável e o ácido guínico em quantidades muito baixas (PAIVA *et al.*, 1997). O valor da acidez titulável do pseudofruto diminui com o seu amadurecimento, conforme apresentado na Tabela 2.2 para o caju verde (quando a castanha e o pedúnculo se apresentavam completamente verdes), caju de vez (quando a castanha tinha consistência coriácea e o pedúnculo se apresentava verde-amarelo ou vermelho, conforme o tipo) e caju maduro (quando a castanha exibia coloração cinza-castanha e consistência coriácea, com o pedúnculo completamente amarelo ou vermelho) (MAIA *et al.*, 1971).

Tabela 2.1- Composição química do pedúnculo do caju

Determinações (análises)	Caju amarelo		Caju vermelho	
	Variação	Média	Variação	Média
Umidade (%)	85,16 a 87,44	86,62	85,88 a 86,29	86,07
Brix	9,80 a 12,00	10,66	10,60 a 11,20	10,98
Açúcares totais (%)	7,66 a 8,90	8,34	8,15 a 8,70	8,38
Açúcares redutores (%)	7,22 a 8,66	7,95	7,60 a 8,33	8,00
Açúcares não redutores (%)	0,24 a 0,53	0,38	0,22 a 0,55	0,38
Proteína (Nx6,25) (%)	0,57 a 0,75	0,68	0,64 a 0,83	0,74
Extrato etéreo (%)	0,16 a 0,35	0,25	0,28 a 0,60	0,39
Amido (%)	1,21 a 1,33	1,27	1,22 a 1,68	1,33
Tanino (%)	0,16 a 0,49	0,35	0,26 a 0,54	0,40
Acidez total (% ac. Málico)	0,22 a 0,83	0,42	0,23 a 0,46	0,34
Ácido ascórbico (mg/100g)	152,20 a 241,20	197,50	168,70 a 236,20	204,00
pH	3,90 a 4,85	4,27	4,20 a 4,70	4,48
Carotenóides totais (mg/100g)	-	0,29	-	0,22
Beta-caroteno (mg/100g)	-	0,01	-	0,01
Vitamina A (U.I.)	-	10,51	-	11,32
Cinzas (%)	0,30 a 0,54	0,37	0,30 a 0,46	0,38
Cálcio (mg/100g)	13,17 a 16,23	14,43	11,88 a 16,09	14,70
Ferro (mg/100g)	0,28 a 0,42	0,36	0,23 a 0,47	0,35
Fósforo (P ₂ O ₅)(mg/100g)	27,80 a 37,78	33,15	28,96 a 37,80	32,55

Fonte: MOURA FÉ *et al.* (1972)

Tabela 2.2- Valores de sólidos solúveis, ácido ascórbico, pH e acidez total no pedúnculo do caju em diferentes estádios de maturação

Maturação	Sól. solúveis (Brix)	Ác. Ascórbico (mg/100g)	pH	Açúcares (%)			Acidez total (% ác. Málico)
				Red.	Não Red.	Tot.	
Verde	7,90	147,20	4,37	2,73	0,07	2,80	0,40
De vez	9,10	211,10	3,92	5,93	0,13	6,06	0,39
Maduro	10,80	213,30	4,13	9,00	0,29	9,29	0,27

Fonte: MAIA *et al.* (1971)

2.1.4.2. Ácido ascórbico

O caju maduro é recomendado pelo valor alimentar e propriedades medicamentosas, sendo, entre as frutas comestíveis cultivadas, uma das que apresenta maior teor de vitamina C (ácido ascórbico), superado apenas pela acerola (*Malpighia glabra* L.), conforme pode ser observado na Tabela 2.3. Segundo GUIMARÃES e PECHNIK (1969), o consumo diário de 15 a 50g do pedúnculo ou do suco fresco pode cobrir as necessidades de vitamina C do ser humano.

MAIA *et al.* (1971) verificaram um aumento gradual no conteúdo de ácido ascórbico (vitamina C) com a maturidade do fruto, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.3- Teor de vitamina C das principais frutas

Discriminação	mg de vitamina C/100g de suco
Acerola	560 a 1490
Caju vermelho	187 a 215
Caju amarelo	181 a 229
Goiaba branca	81 a 104
Goiaba vermelha	61 a 96
Laranja-lima	70 a 83
Laranja-Bahia	56 a 77
Limão-galego	35 a 57
Mamão	45 a 87
Carambola	25 a 29

Fonte: GUIMARÃES e PECHNIK (1969)

2.1.4.3. Açúcares

Os carboidratos são os componentes mais abundantes e amplamente distribuídos em alimentos (CECCHI, 1999). Os açúcares presentes nos frutos, na forma livre ou combinada, são responsáveis pela doçura e *flavor*, através do balanço com os ácidos, pela cor, como derivados das antocianinas, e pela textura, quando combinados adequadamente com polissacarídeos estruturais (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

MENEZES e ALVES (1995) citam que os principais açúcares encontrados no caju são: maltose, sacarose, glicose, celobiose e rafinose. A glicose constitui o principal açúcar presente, seguido por frutose (PRICE *et al.*, 1975). Segundo MAIA *et al.* (1971), os açúcares redutores predominam largamente no caju, enquanto os não redutores apresentam-se em proporção muito pequena. Estes autores observaram um aumento dos açúcares redutores, não redutores e totais durante o amadurecimento (Tabela 2.2).

2.1.4.4. Compostos fenólicos

As mudanças no sabor de muitos frutos, ocorridas durante o amadurecimento, estão associadas à modificação na concentração de taninos de peso molecular intermediário. Entretanto, no amadurecimento, a concentração desses compostos é reduzida por processos de complexação e polimerização (Bate-Smith, 1954, e Haslam, 1981, citados por MENEZES e ALVES, 1995; OZAWA *et al.*, 1987).

Os principais fenólicos presentes no pedúnculo do caju são: ácido gálico, ácido protocatocatecuico, ácido caféico e catequina (SASTRY *et al.*, 1962). Este grupo de compostos tem importante papel na determinação do sabor, devido à concentração bastante elevada de taninos.

2.1.4.5. Outras características bioquímicas

O conteúdo de carotenóides no pedúnculo do caju é baixo (37,5-107,5 mg/100g). A concentração de pigmentos ocorre na camada fina da epiderme e a polpa é apenas ligeiramente amarela (CECCHI e RODRIGUEZ-AMAYA, 1981). O teor de ferro presente é elevado (ao redor de 3mg/100g), quantidade equivalente a 30% da ingestão diária recomendada (MENEZES *et al.*, 1980).

Em relação aos sólidos solúveis, MAIA *et al.* (1971) observaram um aumento deste teor durante o amadurecimento do caju (Tabela 2.2). Quanto ao pH, houve um decréscimo da fase verde para a de vez, seguido de um acréscimo no caju maduro, conforme mostra a Tabela 2.2.

2.1.5. Colheita, conservação e comercialização

A colheita do caju concentra-se no segundo semestre, principalmente nos meses de setembro a novembro. No caso do cajueiro anão, esse período alcança

sete meses em regime sequeiro e durante todo o ano quando irrigado (OLIVEIRA *et al.*, 1998).

Devido ao alto teor de umidade e fragilidade do epicarpo, a colheita e o manuseio devem ser feitos cuidadosamente para preservar a qualidade do pedúnculo (MENEZES e ALVES, 1995). O pedúnculo do cajueiro é um produto altamente perecível, com conservação pós-colheita que não ultrapassa 48h, em temperatura ambiente, sendo extremamente susceptível ao ataque de microrganismos fitopatogênicos (MEDINA *et al.*, 1978; MENEZES, 1992).

Apesar de possuir uma barreira química contra a infecção por microrganismos, devido ao alto conteúdo de tanino que contém, o pedúnculo do caju não apresenta resistência física à penetração destes por possuir um elevado conteúdo de umidade e uma casca muito fina. Outro aspecto negativo que contribui para a degradação pós-colheita rápida é a elevada taxa de perda de peso durante o armazenamento, o que favorece ao murchamento acentuado (MENEZES e ALVES, 1995).

2.2. Secagem convectiva

A desidratação é provavelmente o método mais antigo de preservação de alimentos, sendo a secagem de frutas ao sol um processo bastante conhecido originado na antiguidade (COHEN e YANG, 1995).

A secagem consiste na remoção de água, ou de qualquer outro líquido, de um material sólido, na forma de vapor, para uma forma gasosa insaturada, através de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição (OKADA *et al.*, 2001).

A desidratação de frutas tem como objetivo principal a sua conservação, que consiste na redução do teor de água até um determinado nível, no qual as concentrações de açúcares, ácidos, sais e outros componentes sejam suficientemente altas para reduzir a atividade de água, impedindo o crescimento e a reprodução de microrganismos responsáveis pela deterioração dos alimentos (TRAVAGLINI *et al.*, 1993). Pela remoção de água resulta, ainda, uma maior facilidade no transporte, armazenamento e manuseio do produto final, seja ele para consumo na forma direta, ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios (TRAVAGLINI *et al.*, 2001).

Os produtos resultantes da desidratação das frutas são classificados como secos e desidratados. A fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura inteira ou em pedaços, atingindo-se um teor de umidade final que varia de 15 a 25%. As frutas desidratadas, de modo geral, são obtidas pela perda quase total de água da fruta inteira, em pedaços ou polpa, sendo o teor de umidade do produto final no máximo 3% (TRAVAGLINI *et al.*, 2001).

A secagem de produtos sólidos com ar quente é uma operação unitária muito utilizada nas indústrias de alimentos (PARK *et al.*, 1996) e consiste em um processo simultâneo de transferência de calor e de massa. Na superfície da amostra, a transferência de calor ocorre durante a evaporação da água removida da amostra sólida secando, enquanto a transferência de massa acontece durante a remoção da água dessa superfície por meio de um fluido secante externo, que geralmente é o ar (DINCER e DOST, 1995).

Os mecanismos de transporte de água no interior dos sólidos durante a secagem segundo FORTES e OKOS (1980) são:

- Difusão líquida devido ao gradiente de concentração;
- Difusão de vapor em consequência do gradiente de vapor, causado pelos gradientes de temperatura);
- Movimento líquido devido às forças capilares;

- Fluxo de líquido ou vapor devido à diferença na pressão total, causada pela pressão externa, encolhimento, temperaturas altas e capilaridade;
- Escoamento por efusão que existe quando o caminho livre médio das moléculas de vapor for compatível com o diâmetro dos poros;
- Movimento líquido em consequência da força gravitacional.

A Figura 2.4 apresenta uma curva típica de secagem. A região 0 corresponde ao período de indução, durante o qual o material se adapta às condições de secagem. A região 1 corresponde ao período de taxa constante, onde a quantidade de água disponível no produto é muito grande e a pressão de vapor de água na superfície é igual à pressão de vapor de água pura na temperatura do produto (temperatura de bulbo úmido). O mecanismo de secagem neste período é semelhante ao da evaporação de água pura.

O período de taxa decrescente tem seu início no instante em que o material atinge o teor de umidade crítica (região 2). Neste ponto, o movimento do líquido do interior do sólido é insuficiente para manter a taxa de evaporação na superfície deste, que torna-se cada vez mais seca. A velocidade de secagem começa a decrescer e a temperatura do material tende assintoticamente à temperatura do ar. A secagem continua até que o produto atinja a umidade de equilíbrio, onde a pressão parcial do vapor na superfície deste sólido é igual à pressão do vapor na fase gasosa.

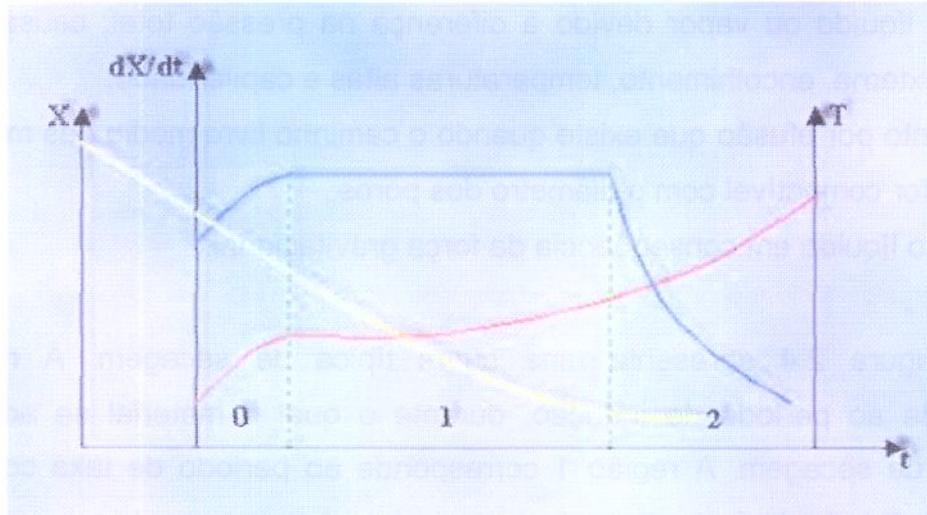


Figura 2.4- Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt) com condições constantes do ar de secagem

2.2.1. Cinética de secagem

O período de taxa constante é raramente observado na secagem de materiais biológicos (NOGUEIRA, 1991). A secagem destes produtos se caracteriza por apresentar um importante período decrescente, que pode ser dividido em duas fases distintas: uma na qual o coeficiente de difusão é constante e outra com um coeficiente de difusão consideravelmente reduzido (HOLDSWORTH, 1971).

Os principais mecanismos de transporte no interior do material durante a primeira fase são: difusão líquida, escoamento capilar e difusão de vapor. Estes mecanismos podem ocorrer simultaneamente (CHIRIFE, 1983). Na segunda fase do período decrescente, onde o conteúdo de umidade é muito baixo, a difusão da fase vapor é o mecanismo predominante de transporte de umidade (KING, 1968).

No caso de produto com elevado teor inicial de umidade, como as frutas, os modelos de secagem baseados na equação de difusão líquida, apresentam, em geral, bons resultados.

Um dos primeiros a analisar o aspecto da difusão interna de água líquida na secagem foi LEWIS (1921). O período de taxa decrescente é controlado pelo mecanismo de difusão líquida e descrito pela segunda lei de Fick.

A solução analítica para a segunda lei de Fick para diversas condições iniciais e diferentes formas geométricas foram obtidas e descritas por CRANK (1975). Para coordenadas retangulares, a equação de difusão é expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial Y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \quad (2.1)$$

Assumindo a forma geométrica de uma placa plana infinita, onde a transferência de umidade durante a secagem é predominantemente unidirecional e considerando a difusividade efetiva constante, a equação acima se reduz a:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} \quad (2.2)$$

Processando a secagem pelas duas faces da placa plana infinita de espessura $2l$, expostas às mesmas condições atmosféricas constantes, desprezando o encolhimento do material durante a secagem e a resistência externa ao transporte de massa, e considerando que na interface a umidade seja a de equilíbrio constante, o valor médio volumétrico da solução analítica da equação (2.2), dada por CRANK (1975) é:

$$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4l^2} \right] \quad (2.3)$$

Onde:

X_t = umidade média no tempo t (kg água/kg massa seca);

X_e = umidade de equilíbrio (kg água/kg massa seca);

X_o = umidade inicial da amostra (kg água/kg massa seca);

D_{ef} = difusividade efetiva (m^2/s);

t = tempo (s);

l = meia espessura (m).

Para as condições em que o tempo de secagem é longo e o adimensional de umidade é inferior a 0,6, os termos da equação (2.3) correspondentes a $i > 1$ são desprezíveis (RAO e RIZVI, 1986; UDDIN *et al.*, 1990; HAWLADER *et al.*, 1991). Sob estas condições, tem-se que:

$$\ln \left(\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} \right) = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4l^2} \quad (2.4)$$

e a difusividade efetiva pode ser obtida através da inclinação da reta no gráfico de

$$\ln \left(\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} \right) \text{ versus } t.$$

Quando o encolhimento é considerado como um fator importante, existem modificações a serem feitas nas condições de contorno usadas para a resolução da segunda lei de Fick (PARK, 1987). Entretanto, segundo SIMAL *et al.* (1996), o problema das condições de contorno pode ser resolvido pelo método das diferenças finitas, enquanto UDDIN *et al.* (1990) relaciona a espessura reduzida da amostra (L') de acordo com a seguinte equação:

$$\frac{L'}{L} = \left(\frac{M_t}{M_i} \right)^n \quad (2.5)$$

Onde:

M_t = peso da amostra no tempo t (g);

M_i = peso inicial da amostra (g);

L = espessura inicial da amostra (m).

O valor de n depende das características do material, sendo o valor $n = 0$ utilizado no caso de não haver encolhimento, enquanto o valor $n = 1$ indica que o volume de encolhimento é igual ao volume de água perdida (HAWLADER *et al.*, 1991).

A utilização de modelos empíricos também tem sido feita para descrever a cinética de secagem de vários produtos. LEWIS (1921) apresentou um modelo exponencial que assume que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre do material:

$$\frac{dX}{dt} = -K(X - X_e) \quad (2.6)$$

Onde:

K = constante de secagem.

Essa equação é a expressão da lei de resfriamento de Newton se for levado em conta que toda a resistência ao transporte de umidade encontra-se na camada limite, desconsiderando-se os efeitos no interior do material (PINTO e TOBINAGA, 1996). A equação (2.6) é normalmente utilizada na forma integrada:

$$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \exp(-Kt) \quad (2.7)$$

PAGE (1949) propôs a inclusão de um expoente b no termo do tempo para ampliar a validade do modelo de Lewis:

$$\frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} = \exp(-Kt^b) \quad (2.8)$$

2.2.2. Secagem de frutas

JOHNSON *et al.* (1998) estudaram o processo de secagem de banana com o objetivo de obter parâmetros ótimos e verificaram que o modelo difusional foi adequado e que os resultados indicaram que a temperatura (40-70°C) e a espessura (7,2-20,0 mm) da amostra afetam significativamente a taxa de secagem, sendo a temperatura o parâmetro a exercer maior influência no processo. Resultados similares foram encontrados por SANKAT *et al.* (1996) para esta fruta. Os pesquisadores concluíram ainda que a variação da velocidade do ar de secagem de 0,82 m/s para 1,03 m/s não afetou o comportamento do processo.

SABAREZ *et al.* (1997) analisaram a influência da temperatura na secagem de ameixa e verificaram que um aumento deste parâmetro de 70 para 100°C reduziu o tempo de secagem de 12 para 5h. Entretanto, temperaturas altas provocaram a ruptura das amostras e a perda de constituintes, prejudicando a qualidade das mesmas.

NIETO *et al.* (2001) utilizaram a lei de difusão de Fick para estudar o fenômeno de transporte de umidade de mangas com e sem pré-tratamento. Além disso, analisaram as modificações da estrutura celular durante o processo. Concluíram que a transferência de massa durante a desidratação destas frutas a 60°C segue o mecanismo difusional e que o pré-tratamento osmótico em solução

aquosa de glicose monoidratada (22,1% e 39,5%) a 25°C não exerceu grandes modificações na resistência da parede celular ao fluxo de água.

A influência da secagem convectiva a 60°C com velocidade do ar de 1,29m/s, da secagem em microondas com uma potência de 210W e a combinação secagem convectiva por 135 min e microondas na cinética de desidratação de kiwi foi estudada por MASKAN (2001a). As amostras secas em microondas exibiram maior encolhimento e menor capacidade de reidratação. Em outro trabalho com kiwi, MASKAN (2001b) avaliou o efeito dos três métodos de secagem descritos acima na mudança de cor. Os parâmetros teor de coloração vermelha, teor de coloração amarela e luminosidade foram usados para estimar as mudanças durante a secagem. Modelos cinéticos de ordem zero e primeira ordem foram utilizados para os dados experimentais do parâmetro citado. A secagem convectiva apresentou menor influência na cor das amostras, enquanto a introdução de microondas aumentou a taxa de deterioração da cor.

2.2.3. Alterações da qualidade na secagem de frutas

O tratamento térmico é um importante método de preservação com a finalidade de inativar enzimas, microrganismos deteriorativos e reduzir a atividade de água dos alimentos, que pode levar a perdas consideráveis em sua qualidade, principalmente nas propriedades sensoriais (MASKAN, 2001a).

Os principais fatores de qualidade de frutas desidratadas são: cor, sabor, aroma, textura, capacidade de reidratação, propriedades estruturais (porosidade, vitrificação, aderência), aparência, características nutricionais e estabilidade microbiológica (KARATHANOS *et al.*, 1995).

2.2.3.1. Cor

Várias reações podem afetar a cor do produto durante o processamento térmico, entre elas, a degradação de pigmentos e as reações de escurecimento (MASKAN, 2001b).

A qualidade de um alimento é avaliada pelo consumidor também por suas características estéticas, destacando-se, entre elas, a cor, em consequência da presença de pigmentos naturais ou da adição de compostos sintéticos e específicos. A oxidação de pigmentos põe fim à vida-de-prateleira dos produtos alimentícios. Em frutas e vegetais, os pigmentos susceptíveis a mudanças são as clorofilas, as antocianinas e os carotenóides (TEIXEIRA NETO, 2001).

No caso de frutas desidratadas, dois tipos de reações por escurecimento podem ocorrer durante e após o processamento: enzimático e não-enzimático. O escurecimento enzimático é responsável pelo escurecimento de frutas após cortadas ou durante a fase inicial do processamento, onde as oxidações de compostos fenólicos se devem à ação das polifenoloxidasas, as quais, com o auxílio do oxigênio, os transformam em quinonas. Posteriormente, estas quinonas coloridas participam das reações de polimerização para dar origem as melanoidinas, caracterizadas pelo aparecimento de uma coloração marrom escura na superfície das frutas (MENEZES *et al.*, 1980).

A maioria dos alimentos desidratados, e praticamente todos os produtos de teor intermediário de umidade, estão sujeitos às reações de escurecimentos não-enzimático (TEIXEIRA NETO, 2001), que são os resultados da formação de polímeros insaturados e coloridos, de composições variada. Podem ser divididos em três grupos: (1) reações entre grupos aminados e carbonílicos, incluindo aldeídos, quetonas e açúcares redutores como aminas, aminoácidos, péptides e proteínas; (2) reações de caramelização, que ocorrem durante o aquecimento de poliidrocarbonílicos (açúcares) e na ausência de compostos aminados e oxigênio;

(3) reações de oxidação, como, por exemplo, a conversão do ácido ascórbico e polifenóis em di ou compostos policarbonílicos (TRAVAGLINI *et al.*, 2001).

2.2.3.2. Nutrientes, aroma e sabor

Os constituintes responsáveis pelo sabor e aroma das frutas vão desde álcoois, ésteres, aldeídos e quetonas de baixo peso molecular até os de maior peso molecular do tipo hidrocarbonatos terpenóides. O processo de secagem resulta na evaporação e perda destes compostos durante o aquecimento e a remoção de água do produto (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996).

As alterações no sabor das frutas secas acompanham as mudanças na coloração. Muitas destas alterações são desejáveis, outras são altamente indesejáveis. Provavelmente, as mudanças no sabor das frutas secas devem-se à formação de aldeídos insaturados (TRAVAGLINI *et al.*, 2001).

A destruição de vitaminas contribui muito para a perda do valor nutritivo de alimentos desidratados. A vitamina C (ácido ascórbico) é provavelmente a mais sensível de todas as vitaminas presentes nos alimentos. O ácido ascórbico é hidrossolúvel e é rapidamente destruído pelo calor e por oxidação (CABRAL, 1983).

2.2.3.3. Fenômenos físicos e estrutura

As mudanças estruturais e geométricas durante a secagem de materiais alimentícios afetam a transferência de massa e a qualidade, resultando em produtos duros e com reidratação lenta ou incompleta (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996).

As alterações que ocorrem na parede celular durante o tratamento térmico são responsáveis pela maioria dos defeitos da textura de frutas processadas.

Durante a secagem, os componentes da parede celular se tornam cada vez mais cristalinos, o que torna o produto seco mais frágil. Também na reconstituição do produto, a estrutura original não é completamente restaurada, criando, assim, uma textura mais rígida que a original (MENEZES *et al.*, 1980).

Um outro fator que influi na aparência, textura e reidratação das frutas é o encolhimento. Normalmente a fruta seca é dura, enrugada e sem presença de poros, tornando-se difícil de mastigar e pouco atraente ao consumidor (LUCCAS, 1996).

2.2.3.4. Atividade de água

A água é o constituinte presente em maior quantidade em alimentos. Sua influência na palatabilidade, digestibilidade, estrutura e manuseio do material é considerável. Praticamente todos os processos deteriorativos que ocorrem nos alimentos são influenciados pela sua concentração e mobilidade (WOLF *et al.*, 1985).

O controle do conteúdo de umidade no processamento de alimentos é um método antigo de preservação de alimentos, cujo princípio consiste na remoção de água ou na interação desta com outros compostos, diminuindo sua disponibilidade para o crescimento de microrganismos e para a deterioração química (LABUZA, 1980).

Em relação à distribuição de água no alimento, esta pode ser encontrada livre ou fracamente ligada ao substrato e entre si, funcionando como solvente, permitindo o crescimento de microrganismos e reações químicas e pode ser eliminada com relativa facilidade. Por outro lado, a água combinada é fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada e não é utilizada como solvente, não permitindo o desenvolvimento microbiano (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

A intensidade e a taxa de deterioração dos alimentos podem ser relacionadas pela atividade de água (a_w) (WOLF *et al.*, 1985), que é expressa como a relação entre a pressão de vapor da água no alimento (p_f) e a pressão de vapor da água pura (p_o) na mesma temperatura:

$$a_w = \frac{p_f}{p_o} \quad (2.9)$$

O valor máximo da a_w é 1, para água pura. Nos alimentos ricos em água ($a_w > 0,90$) pode-se formar soluções diluídas com componentes do alimento em que os microrganismos podem crescer bem. Nessa diluição, as reações químicas e enzimáticas podem ter sua velocidade diminuída pela baixa concentração dos reagentes. Quando a atividade de água baixar para 0,40-0,80 haverá possibilidade de ocorrerem reações químicas e enzimáticas rápidas pelo aumento da concentração dos reagentes, enquanto que para a_w próxima de 0,60, teremos pequeno ou nenhum crescimento microbiano. Em regiões de a_w inferiores a 0,3, a água não seria utilizada por microrganismos e para dissolver componentes do alimento, o que leva as reações a terem velocidade tendendo a zero, com exceção da oxidação dos lipídeos, que é consideravelmente mais rápida (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

A deterioração dos alimentos pelo crescimento bacteriano cessa em uma a_w abaixo de 0,9, conforme apresenta a Tabela 2.4 (CHIRIFE e FAVETTO, 1992). Para as leveduras a a_w limitante está abaixo de 0,85, enquanto para os bolores é abaixo de 0,7 (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

O efeito da variação da a_w no alimento não está relacionada apenas com o crescimento microbiano ou com a deterioração química, mas também com a deterioração de sua consistência, o que pode tornar os alimentos impróprios para o consumo ou diminuir sua aceitabilidade. Além disso, o aumento da a_w acima de limites críticos pode ter como consequência um rápido crescimento de

microrganismos, que por sua vez, obriga o uso de preservantes químicos para evitar a deterioração do material (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

Os vários processos de desidratação têm como objetivo comum a redução da atividade de água para níveis inferiores a 0,60, uma vez que nestes níveis de a_w a maioria das reações de deterioração dos alimentos é desacelerada, com exceção a reação de oxidação dos lípides (TEIXEIRA NETO, 2001).

Tabela 2.4- Atividade de água mínima para o crescimento de bactérias patogênicas (pH e temperatura ótimos)

Bactéria patogênica	a_w
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,990
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,970
<i>Clostridium botulinum E</i>	0,970
<i>Clostridium botulinum G</i>	0,965
<i>Shigella spp.</i>	0,960
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0,960
<i>Clostridium perfringens</i>	0,950
<i>Clostridium botulinum A e B</i>	0,945
<i>Vibrio parahemolyticus</i>	0,940
<i>Salmonella spp.</i>	0,940
<i>Escherichia coli</i>	0,835
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,930
<i>Bacillus cereus</i>	0,930
<i>Bacillus subtilis</i>	0,910
<i>Staphylococcus aureus (anaeróbio)</i>	0,910
<i>Staphylococcus aureus (aeróbio)</i>	0,860

Fonte: CHIRIFE e FAVETTO (1992)

2.2.3.5. Pré-tratamento

Conforme discutido anteriormente, a secagem não afeta apenas o conteúdo de água dos alimentos, mas também suas propriedades físicas, químicas e biológicas que, na maioria dos casos, origina na perda de nutrientes e das propriedades sensoriais do produto. Dessa forma, o pré-tratamento da matéria-prima através de processos como a desidratação osmótica e secagem a altas temperaturas são alternativas para reduzir os danos ocorridos durante a secagem, além de diminuir o tempo de processo, resultando em economia de energia.

2.3. Desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica baseia-se na imersão de alimentos, inteiro ou fatiado, em soluções hipertônicas (açúcares, cloreto de sódio, sorbitol, glicerol), originando dois fluxos simultâneos e em contra-corrente (Figura 2.5): uma saída da água do produto para a solução e uma migração de solutos da solução para o sólido. Um terceiro fluxo, também envolvido consiste na perda de alguns sólidos naturais, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes que, embora sejam insignificantes proporcionalmente aos dois fluxos principais, podem ser importantes para as qualidades organolépticas (aroma, cor, textura) e nutricionais (mineral e vitamina) do produto (RAOULT-WACK *et al.*, 1989).

Este processo tem sido usado em frutas, vegetais, carnes, peixes, além de materiais de gel, como o agar (RAOULT-WACK, 1994). Segundo LENART (1996), na maioria dos estudos e condições industriais, este processo geralmente fornece um produto com atividade de água superior a 0,90, sendo considerado como um método de pré-processamento para a secagem, pasteurização, congelamento e liofilização.

A tendência em se usar a desidratação osmótica como um tratamento preliminar geralmente ocorre devido ao desejo de melhorar a qualidade do alimento seco e não a uma massiva retirada de água. Este pré-tratamento tem um efeito protetor na estrutura do material seco. Praticamente a fruta ou verdura que sofre desidratação osmótica-secagem convectiva é caracterizada por ter uma estrutura flexível e macia. Além disso, há uma diminuição do encolhimento na secagem. No caso da preservação da maçã, LENART (1996) conseguiu uma redução do encolhimento de 80 para 60%, dependendo do grau de desidratação osmótica. Estudos realizados por RAOULT-WACK (1994) também apresentam algumas razões do uso da desidratação osmótica como pré-tratamento. Além da melhoria da qualidade, destaca-se a economia de energia. O produto é processado em fase líquida, geralmente fornecendo bons coeficientes de

transferência de calor e massa. Além disso, a água é removida do produto sem mudança de fase (BOLIN *et al.*, 1983). TORREGGIANI (1993) também cita que através da incorporação de soluto pelo alimento é possível modificar suas propriedades nutricionais e funcionais, levando a uma formulação específica do produto sem mudar a sua integridade.

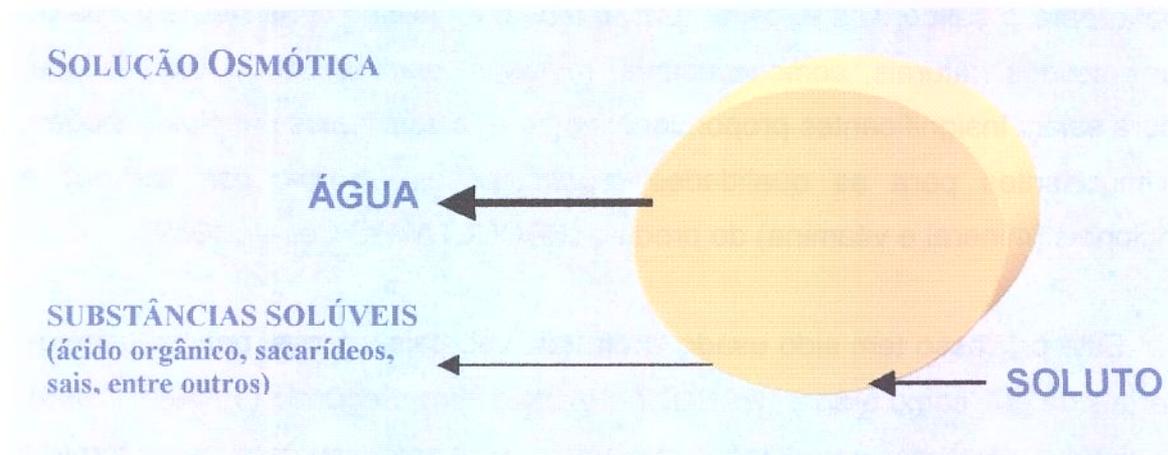


Figura 2.5- Esquema de transferência de massa na desidratação osmótica

A quantidade e a taxa de água removida dos materiais no processo osmótico depende de algumas variáveis e parâmetros de processamento, como: propriedades do tecido vegetal, tipo e concentração do soluto na solução osmótica, tempo de imersão, temperatura e agitação.

2.3.1. Propriedades do tecido celular

A perda de água e o ganho de sólidos são controlados principalmente pelas características da matéria-prima, como membrana celular, o grau de compactação e estrutura natural do tecido, a quantidade de sólidos insolúveis e os espaços intracelulares (RAOULT-WACK, 1994).

Em frutas e vegetais, as membranas da parede celular são unidades biológicas vivas, que podem expandir sob a influência do crescimento e da

pressão de turgor gerada dentro das células. Estas membranas celulares permitem a livre passagem das moléculas do solvente e, em menor grau, a passagem de algumas moléculas de soluto, sendo classificadas como diferencialmente permeáveis, ao invés de semipermeável (TORREGGIANI, 1993).

O excesso de amadurecimento, pré-tratamento com SO₂, branqueamento ou congelamento favorece ao ganho de sólidos, comparado com a perda de água. Devido à intensificação do fenômeno de impregnação, a permeabilidade aumenta e a seletividade descrece (PONTING, 1973; ISLAM e FLINK, 1982; TORREGGIANI, 1993).

Maçãs submetidas a etapa de branqueamento, seguidas da desidratação osmótica em solução de sacarose 60% (p/p), obtiveram uma reduzida seletividade ao processo osmótico, devido ao dano térmico na membrana celular a 55-65°C (DEL VALLE *et al.*, 1998). ISLAM e FLINK (1982) também observaram a perda da integridade, devido ao branqueamento com vapor, na desidratação osmótica de batata em solução de NaCl 20%, provocando uma redução na perda de água e um aumento no ganho de sólidos.

Em relação aos espaços intracelulares e à quantidade de sólidos insolúveis (expressos pela percentagem de sólidos totais) presentes no tecido celular, LENART e FLINK (1984) relatam que a batata, que possui um alto conteúdo de amido (sólidos insolúveis) e pouco espaço intracelular, é mais sensível a perda de água que a maçã, que possui maior percentagem de sólidos totais como sólidos solúveis e maior proporção de espaço intracelular.

2.3.2. Agentes desidratantes

A escolha do tipo e concentração da substância desidratante é uma questão complexa. As mudanças nos valores nutritivos e nas propriedades sensoriais do produto final, com respeito ao custo do processo são os indicadores

básicos para a avaliação da utilização de cada substância osmótica (LENART, 1996). A solução osmótica deve ter uma baixa atividade de água, além do soluto não ser tóxico e ter um sabor agradável (LERICI *et al.*, 1985).

Em relação às frutas, os agentes osmóticos mais comumente utilizados são os açúcares, principalmente a sacarose, devido à sua eficácia e ao sabor compatível (PONTING *et al.*, 1966). Segundo LENART (1996), a sacarose é considerada a melhor substância osmótica, principalmente quando a desidratação é utilizada como pré-tratamento para a secagem. HAWKES e FLINK (1978) afirmaram que a incorporação de sacarose durante o processo osmótico beneficia a retenção de voláteis durante a secagem. A presença de sacarose na superfície do material é um obstáculo ao contato com o oxigênio, resultando na redução do escurecimento enzimático. LENART e GRODECKA (1989) acrescentam que, em alguns casos, essa camada sobre a superfície da fruta torna-se uma resistência adicional a saída de massa e diminui as taxas do processo desidratante complementar (vácuo, convecção, congelamento).

O tipo do açúcar utilizado na solução osmótica afeta a cinética do processo. O uso de solutos com alto peso molecular favorecem a perda de água e à diminuição do ganho de sólidos (a migração é limitada pelo alto peso molecular), promovendo uma maior perda de peso do material. Açúcares de baixo peso molecular (glicose, frutose) favorecem a incorporação de sólidos, devido à alta velocidade de penetração das moléculas (CONTRERAS e SMYRL, 1981). LAZARIDES *et al.* (1995), desidratando osmoticamente maçãs em xarope de milho, verificaram que as soluções que continham os sólidos com dextrose equivalente de média para baixa ($DE < 38$) favoreceram as altas taxas de perda de água, com mínima incorporação de sólidos. Sendo assim, o soluto pode ser empregado como agente de desumidificação e/ou impregnação, sendo a primeira favorecida pelo alto peso molecular do soluto e a segunda, impregnação, por solutos de baixo peso molecular (RAOULT-WACK, 1994).

Segundo CONTRERAS e SMYRL (1981), a utilização de xarope de milho no processo osmótico de maçã seguido de secagem, quando comparado com o uso de sacarose, é vantajoso. Como o coeficiente de difusividade da água depende do conteúdo de sólidos dissolvidos (a difusividade decresce com o aumento dos sólidos), a menor incorporação de sólidos na osmose com xarope de milho favorece a saída mais rápida de água da fruta.

O cloreto de sódio é um excelente agente desidratante para vegetais, porém sua utilização na desidratação de frutas é limitada, devido ao sabor salgado conferido ao alimento (LERICI *et al.*, 1985; HAWKES e FLINK, 1978).

O uso de misturas de solutos pode fornecer algumas vantagens. A combinação sacarose-sal foi utilizada na desidratação e salga de peixes. Em concentrações baixas de sacarose, o ganho de sal aumenta linearmente com a sua concentração, enquanto que em altas concentrações de sacarose, o ganho de sal é independente de sua concentração, permanecendo baixa (RAOULT-WACK, 1994).

Estudos realizados por HAWKES e FLINK (1978) sobre a utilização de misturas binárias de solutos (sal, maltodextrina e lactose) com sacarose, com a finalidade de reduzir os custos e melhorar a eficiência do processo, mostraram que estas combinações podem ser quase tão eficientes quanto a sacarose sozinha na mesma concentração total.

2.3.3. Temperatura

A temperatura é um parâmetro com influência decisiva na cinética de osmose. A velocidade de transferência de massa aumenta com a temperatura, porém acima de um certo valor limite pode induzir a destruição celular (YANG e LE MAGUER, 1992). Além do efeito na cinética, CONTRERAS e SMYRL (1981)

ressaltam que altas temperaturas permitem melhor circulação da solução osmótica devido à redução da viscosidade.

RASTOGI e RAGHAVARAO (1994) verificaram que a elevação de temperatura (24-45°C) e da concentração de sacarose (40 a 70°Brix) na desidratação osmótica de coco permitiu um aumento da perda de água. Entretanto, apesar do maior coeficiente de difusividade de água ser obtido a 45°C e a 70°Brix, altas temperaturas não podem ser usadas devido à sensibilidade do coco ao calor.

VIDEV *et al.* (1990) trabalhando com maçã e usando sacarose como agente osmótico, verificaram que temperaturas acima de 50°C provocam escurecimento enzimático e perda de sabor nas amostras.

2.3.4. Tempo de imersão

De acordo com RAOULT-WACK (1994), a transferência de massa, durante a desidratação-impregnação por imersão de frutas e verduras, ocorre principalmente nas duas primeiras horas. Depois, esta torna-se progressivamente menor, até que o fluxo de água não ocorra mais, enquanto o ganho de sólidos continua invariavelmente. Desta forma, o produto tende a aumentar o peso, tornando-se rico em soluto desidratante.

BISWAL *et al.* (1991) desidratando osmoticamente ervilhas em solução com 17% de cloreto de sódio a (40°C), constataram que a taxa de remoção de água e a incorporação de sal foram máximas no início do processo, decrescendo gradualmente com o tempo de contato. As curvas da cinética indicaram que o conteúdo de umidade destas verduras aproximou-se do equilíbrio mais rapidamente que o conteúdo de sal. Estas curvas também indicaram que a incorporação de sal pode ser controlada pela duração do tempo de contato.

2.3.5. Concentração da solução osmótica

RAOULT-WACK (1994) destacando o efeito dos gradientes de concentração sobre a transferência de massa, verificou que quando a diferença inicial de concentração entre a solução e a fruta é de até 40%, predomina o ganho de sólidos. Quando essa diferença é superior a 40%, predomina a saída de água ou a desidratação propriamente dita.

AZOUBEL (1999) desidratando osmoticamente tomate cereja em soluções de NaCl e na mistura NaCl-sacarose (3:2), nas concentrações de 10 e 25%, observou que a maior perda de água, e conseqüentemente maior difusividade aparente da água, foi obtida para as soluções mais concentradas.

LAZARIDES *et al.* (1995) mostraram que a concentração da solução osmótica (45- 65% p/p) teve um efeito significativo na perda de água e no ganho de sólidos na desidratação osmótica de maçãs em solução de sacarose. Concentrações altas de sacarose favoreceram a incorporação de açúcar.

2.3.6. Agitação

O processo de desidratação osmótica é mais rápido quando conduzido sob agitação, porém deve-se fazer um controle para que não haja danos ao produto, além de se levar em consideração os custos relacionados com equipamento, energia, entre outros (PONTING, 1966).

De acordo com HAWKES e FLINK (1978), a agitação durante a desidratação osmótica de maçãs em soluções com alta concentração de sólidos favorece a diminuição da viscosidade e da resistência à transferência de massa.

ERTEKIN e CAKALUZ (1996) verificaram que as taxas de perda de água e ganho de soluto na desidratação osmótica de ervilhas, em solução de 40% de

sacarose e 20% de citrato (proporção amostra/solução de 1:4), aumentaram com a agitação (200 rpm), observando, ainda, que a difusividade aparente para o sistema agitado é quatro vezes maior que o sistema não agitado e que o tempo para atingir o equilíbrio decresceu significativamente.

2.3.7. Desidratação osmótica de caju

Em relação ao processo de desidratação osmótica de caju, *ORTIZ et al.* (1982) utiliza solução de açúcar mascavo (55-57°Brix) e uma temperatura de 93,2°C. Para minimizar a barreira que a pele cerosa do caju oferece a transferência de massa, foi feito um tratamento químico com NaOH (1%) por 3 minutos e a 50°C e um branqueamento a vapor por 5 minutos, seguido de furos na fruta. O processo de desidratação osmótica se estendeu por 2,75h, sendo seguido de secagem ao ar quente e ao sol. Os resultados indicaram um produto com boa qualidade em relação à aparência e à textura, sendo uma alternativa para a utilização do pedúnculo.

SOUZA FILHO et al. (1999) desidrataram osmoticamente o pedúnculo de caju em solução de sacarose a 25°Brix por cinco dias, após o branqueamento com solução de NaOH 2% e a 90°C, verificando que a maior perda de vitamina C durante o processamento e armazenamento do pedúnculo ocorreu na etapa de branqueamento. As perdas por difusão durante a osmose e armazenamento foram menos relevantes.

BIDAISEE e BADRIE (2001) estudaram a influência da salga (NaCl 5 e 10%) antes do processo combinado de desidratação osmótica (sacarose 30-70°Brix) e secagem convectiva (60°C por 48h) na qualidade do caju. Concluíram que os produtos que não passaram pela etapa de salga apresentaram melhores resultados nas avaliações sensoriais de textura e sabor, tornando-se os mais aceitos pelos consumidores.

2.3.8. Tratamento matemático

Os parâmetros perda de água e ganho de sólidos podem ser calculados de acordo com as seguintes equações (HAWKES e FLINK, 1978):

-Perda de água (PA)

$$PA(\%) = \frac{MA_o - (M_t - MS_t)}{M_i} \cdot 100 \quad (2.10)$$

- Ganho de sólidos (GS)

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_o}{M_i} \cdot 100 \quad (2.11)$$

Onde:

MA_o = peso da água inicialmente presente (g);

MS_o = peso dos sólidos inicialmente presentes (g);

MS_t = peso dos sólidos no tempo t (g);

M_i = peso inicial da amostra (g);

M_t = peso da amostra no tempo t (g).

- Perda de peso (PP)

$$PP(\%) = \frac{M_i - M_t}{M_i} \cdot 100 \quad (2.12)$$

2.4. Secagem a altas temperaturas

A desidratação de vegetais para obtenção de um produto com níveis baixos de umidade através da secagem com ar quente resulta em mudanças irreversíveis em sua textura, devido ao encolhimento e à difusão de solutos que acompanha os processos lentos de secagem, fornecendo produtos que não se reidratam rapidamente em estruturas semelhantes aos materiais frescos cozidos. Este problema pode ser resolvido pela desidratação osmótica até um produto de umidade intermediária (30-50%), utilizando solução contendo sal, açúcar ou glicerol, ou pela infusão de aditivos, combinados com secagem parcial ao ar quente, resultando em produtos que requerem pouca reidratação antes de serem consumidos. Entretanto, estes produtos possuem menos estabilidade quando comparados com os que possuem baixa umidade, devido à oxidação dos lipídios e reações de escurecimento que ocorrem em atividades de água altas associadas a estes produtos (JAYARAMAN *et al.*, 1982).

A secagem parcial de frutas e hortaliças com ar quente a temperaturas entre 110 e 180°C por períodos de tempo que variam de 5 a 20 minutos, seguida de secagem convectiva vem sendo estudada. Este processo é denominado HTST (*High Temperature-Short Time*), podendo-se citar as seguintes vantagens do seu emprego: redução do tempo total de secagem, inativação enzimática, aumento do volume do sólido (*puffing*) e sua porosidade (facilitando a reidratação), além de promover a característica de crocância (LOPES, 1999).

2.4.1. *Puffing*

O *puffing* consiste no aumento do volume de um sólido a partir da expansão de um gás em seu interior, propiciando a formação de estrutura porosa, existindo basicamente dois métodos aplicáveis a alimentos: mudança de fase da água presente no material e a infiltração de substâncias líquidas no material, que é submetido posteriormente à evaporação *flash* (LUCCAS, 1996). O processo mais

conhecido desse método é o *explosion-puffing*, no qual o material é seco em alta temperatura e pressão, seguido de rápida despressurização, causando a vaporização da água e a expansão do volume. Este processo geralmente resulta na redução da contaminação bacteriológica, além de fornecer um produto com baixa densidade, reduzindo o peso da embalagem (BROLCHAIN, 1973), entretanto requer equipamentos de alto custo (TORREGGIANI *et al.*, 1995).

O processo de secagem a alta temperatura em leito fluidizado (HTFB) foi empregado por KIM e TOLEDO (1987) em *blueberries* com e sem pré-tratamento osmótico (150°C por 4 minutos e 170°C por 8 minutos, respectivamente), reduzindo consideravelmente o tempo de desidratação comparado ao processo de secagem convectiva. Os autores realizaram ensaios preliminares para determinar o efeito da temperatura (30-180°C) e do tempo de secagem (1-15 minutos) no *puffing* desta fruta, observando a ocorrência do cheiro torrado e do endurecimento da superfície do material.

LUCAS (1996) comprovou a eficiência da secagem a alta temperatura-secagem convencional de banana na qualidade do produto final. A pré-secagem HTST em secador de leito fluidizado promoveu a expansão do volume das amostras, originando produtos com propriedades superiores aos desidratados pelo método convencional em secadores de bandejas. As condições ótimas do *puffing* ocorreram com temperatura de 130°C e tempo de secagem de 12 minutos, tendo obtido *snacks* com boas propriedades organolépticas (crocância, alto índice de reidratação e cor atraente). A secagem posterior em secador de bandejas manteve a estrutura expandida formada.

Puffing é essencial para a obtenção de um produto com estrutura crocante. Entretanto, a formação da estrutura porosa será alcançada se a matriz do produto resistir ao encolhimento quando a água é removida. Para materiais com alta umidade é necessário um processo especial para o desenvolvimento de um produto seco e crocante. O colapso do tecido do material durante a desidratação

pode ser minimizado pela infusão de sólidos ou aplicando uma camada apropriada na superfície da matéria-prima (TORREGGIANI *et al.*, 1995).

JAYARAMAN *et al.* (1982) estudaram a secagem a altas temperaturas de diversas hortaliças (batata, cenoura, inhame, entre outros), cortadas em cubos e submetidas a temperaturas de 160-180°C por 8 minutos, após o qual foi realizada a secagem em secador convencional nas temperaturas de 60-70°C. Os autores verificaram que apenas os vegetais que possuem amido na estrutura celular obtiveram uma expansão satisfatória, originando um produto poroso, de excelente textura e boa reidratação, o qual manteve essa estrutura durante a secagem final. Segundo BOBIC *et al.* (1988), o pré-tratamento com uma suspensão de amido gelatinizado forma uma camada impermeável na superfície, a qual permite a retenção de vapor, desenvolvendo uma pressão interna que permite a expansão do material durante a secagem.

2.5. Análise sensorial

A análise sensorial é feita através dos órgãos dos sentidos, principalmente do gosto, olfato e tato, quando um alimento é ingerido. A complexa sensação que resulta da interação de nossos sentidos, é usada para medir a qualidade do alimento em programas de controle de qualidade, onde uma equipe pode dar respostas que indicarão: a preferência do consumidor, diferenças e preferências entre amostras, seleção do melhor processo e determinação do grau ou nível de qualidade do produto. A análise sensorial pode ainda auxiliar no desenvolvimento de novos produtos (MORAES, 1988).

Os métodos de avaliação sensorial podem ser divididos em métodos discriminativos ou métodos de diferenças, métodos descritivos ou métodos analíticos e métodos afetivos ou métodos subjetivos (DUTCOSKY, 1996).

Os métodos de diferença têm como propósito medir efeitos específicos pela simples discriminação, indicando se as amostras são iguais ou diferentes. Estes testes são usados em controle de qualidade, pesquisa, trabalhos em desenvolvimento para determinar possíveis efeitos de ingredientes e alterações de processamento (MORAES, 1988).

Os métodos descritivos envolvem tanto a discriminação quanto a descrição dos atributos sensoriais de um produto, ou seja, o provador também avalia o grau de intensidade com que cada atributo está presente no alimento (DUTCOSKY, 1996).

Os métodos afetivos têm como função avaliar a resposta pessoal, preferência e/ou aceitação dos consumidores habituais ou potenciais em relação a um produto ou a uma característica específica deste (MEILGAARD *et al.*, 1988).

A escolha pessoal por um alimento pode ser determinada por um grande número de fatores. O alimento possui uma composição química e física particular, que origina características sensoriais percebidas pelo indivíduo, como aparência, gosto, aroma e textura. O aspecto nutricional apresenta efeitos fisiológicos após a ingestão, e influencia o processo de seleção de um alimento, tais como intolerância a um constituinte específico, alergias, doenças. As diferenças individuais, tais como a personalidade, relacionada ao estilo de vida da pessoa, o nível de conhecimento, experiências anteriores, efeitos fisiológicos ou psicológicos após a ingestão (humor, sonolência, entre outros) influenciam na escolha do produto. Os fatores externos englobam o contexto social e cultural. A disponibilidade, preço, embalagem, informações e propaganda do produto, e ainda, diferenças de idade, sexo classe social, região e grau de urbanização são responsáveis pelas diferenças no consumo de alimentos (DUTCOSKY, 1996).

2.6. Planejamento experimental

A falta de um planejamento experimental muitas vezes é a causa do insucesso de uma investigação, sendo raros os pesquisadores que pensam em estatística antes de realizar seus experimentos. Através de planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos pode-se extrair do sistema em estudo o máximo de informação útil, fazendo um mínimo de experimentos.

No planejamento de qualquer experimento, a primeira coisa a fazer é decidir quais são os fatores e as respostas de interesse. Os fatores, em geral, são as variáveis que o experimentador tem condições de controlar e podem ser qualitativas ou quantitativas. As respostas são as variáveis de saída do sistema, nas quais se tem interesse e que serão- ou não- afetadas por modificações provocadas nos fatores. Também podem ser qualitativas ou quantitativas. Dependendo do problema pode-se ter várias respostas de interesse, que talvez precisem ser consideradas simultaneamente.

A essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que procuramos. Para isso, é preciso definir claramente que objetivo se pretende alcançar com os experimentos, porque isso determinará que tipo de planejamento experimental deve ser utilizado. Quando se deseja fazer uma triagem inicial dos fatores, é vantajoso começar pela execução de planejamentos fatoriais fracionários. Esses planejamentos são extremamente econômicos e podem ser usados para estudar vinte ou mais fatores experimentais ao mesmo tempo. Os planejamentos fatoriais completos avaliam quantitativamente a influência das variáveis sobre a resposta de interesse, bem com suas possíveis interações. Quando o objetivo principal do pesquisador é otimizar o seu sistema, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta, utiliza-se à metodologia da superfície de resposta (BARROS NETO *et al.*, 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria-prima

Para o presente trabalho foram utilizados caju (*Anacardium occidentale* Linn.) adquiridos no mercado local (CEASA-Campinas, SP), sendo estes originários do Piauí.

A geometria da fruta (comprimento e diâmetro) e o teor de sólidos solúveis (°Brix) foram adotados como parâmetros de padronização das amostras, sendo utilizados os caju maduros, ou seja, quando a castanha exibiu coloração característica (cinza-castanha) e com o pedúnculo completamente vermelho (Figura 3.1), do tipo 5 (diâmetro médio de 5cm) e faixa de 10 a 12°Brix, onde o nível de adstringência é menor. Foram descartadas as frutas que apresentavam injúria física.



Figura 3.1- Caju

As frutas foram lavadas com água destilada e em seguida foram retiradas a castanha e as extremidades superior e inferior do pedúnculo, que foi cortado em rodela de 0,5cm de espessura, utilizando-se uma faca de aço inoxidável e o cortador projetado para este fim (Figura 3.2).

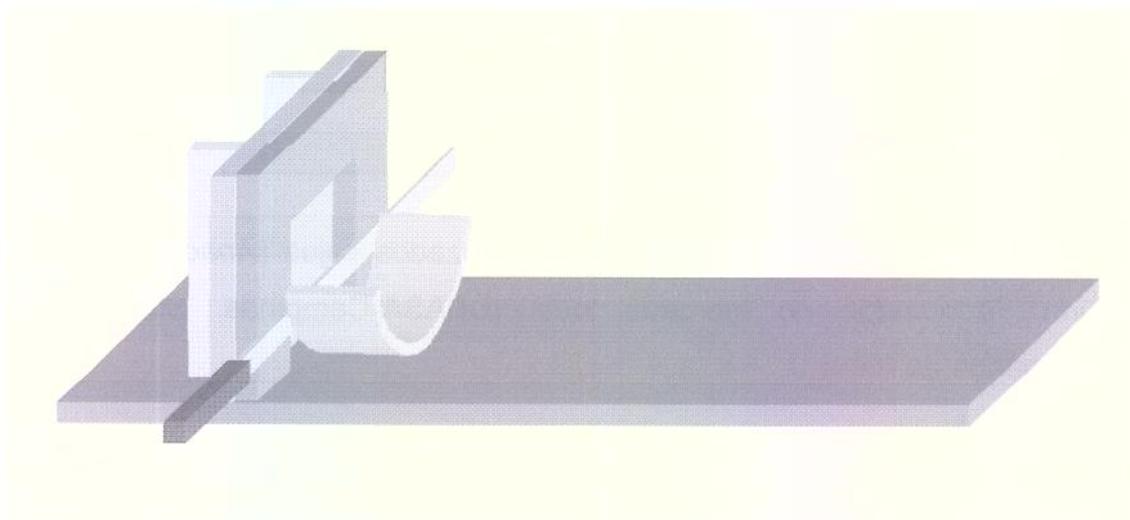


Figura 3.2- Cortador utilizado para obtenção das fatias do pedúnculo do caju

3.1.1. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos a seguir. Todas as análises foram feitas em triplicata.

• Conteúdo de umidade

O conteúdo de umidade foi determinado de acordo com a metodologia da AOAC (1992) para frutas, modificada para o pedúnculo do caju. Pesou-se aproximadamente 1g de amostra, cortada em finas fatias, e colocou-se em cadinhos de alumínio previamente tarados. O conjunto cadinho e amostra foi colocado em uma estufa a vácuo (SUPRILAB, modelo EST 920) por um período de 24h a 70°C.

• Acidez

A determinação da acidez foi baseada no Método de Mohr, através da titulação direta, sendo expressa em percentagem de ácido málico (RANGANNA, 1977).

- **Açúcares redutores e totais**

O teor de açúcares redutores e totais foi determinado pelo Método de Lane e Eynon (RANGANNA, 1977), que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling através de açúcar invertido. O conteúdo de açúcar presente na amostra do pedúnculo do caju foi estimado pelo volume de solução de açúcar necessário para reduzir completamente a solução de Fehling, de volume conhecido.

- **Sólidos solúveis**

A percentagem de sólidos solúveis foi determinada utilizando-se um refratômetro de bancada (PZO Warszawa, modelo RL3).

- **Ácido ascórbico**

A determinação do teor de ácido ascórbico foi realizada através da redução do 2,6-diclorofenol-indofenol pelo ácido ascórbico (RANGANNA, 1977).

- **Atividade de água**

Esta determinação foi feita utilizando-se um aparelho analisador de atividade de água (Decagon, série 3TE), que aplica o princípio do ponto de orvalho onde a água é condensada em superfície espelhada e fria e detectada por sensor infravermelho.

- **Densidade real**

A densidade do caju foi realizada de acordo com a metodologia descrita por RANGANNA (1977), utilizando-se um picnômetro com capacidade de 25mL. O fluido usado foi o tolueno, devido à sua pouca tendência em penetrar no sólido, sua baixa tensão superficial, pouca ação do solvente nos constituintes do sólido, alto ponto de ebulição e sua viscosidade e seu peso específico quando exposto à atmosfera.

3.2. Pré-tratamentos

3.2.1. Desidratação osmótica

A matéria-prima, devidamente cortada e limpa, foi pesada e colocada em béqueres de 600mL com a solução desidratante contendo 0,02% de metabissulfito de sódio (QUERIDO, 2000) e aquecida à temperatura de processo. A relação amostra/solução de 1:10 foi utilizada para diminuir a diluição da solução osmótica ao longo do processo.

Os béqueres foram colocados em uma incubadora da marca TECNAL (modelo TE-421), com agitação (80 rpm) e temperatura controlada. Após tempos pré-determinados, as fatias foram retiradas da solução, enxaguadas com água destilada para retirar o excesso de solução osmótica, colocadas em papel absorvente e pesadas. Após terem sido pesadas, as amostras foram embaladas com filme de PVC e levadas a um dessecador para posterior análise de umidade, cujo procedimento foi descrito no item 3.1.1. Os experimentos foram feitos em triplicata.

O processo de desidratação osmótica foi avaliado em termos de perda de água, ganho de sólidos e perda de peso (item 3.2.8), utilizando os dados de umidade obtidos.

3.2.1.1. Soluções desidratantes

Foram utilizados três agentes osmóticos diferentes no preparo das soluções desidratantes de sacarose, xarope de milho e maltodextrina. Na primeira, foi utilizada sacarose refinada comercial (marca União), na segunda, glicose de milho MOR-REX®1940 (Corn Products Brasil) e, na terceira, maltodextrina MOR-REX®1914 (Corn Products Brasil). As soluções eram deixadas em repouso até a

sua estabilização, ou seja, até quando estivessem completamente límpidas e homogêneas.

A glicose de milho MOR-REX®1940 é obtida através da conversão do amido de milho, sendo utilizada em produtos cárneos, chocolates, sorvetes, pós para sorvetes, pós para bolos e biscoitos. Suas especificações e composição são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Especificações e composição da glicose de milho MOR-REX®1940

Características físico-químicas	Mínimo	Máximo
Umidade (%)	-	5,0
Dextrose equivalente	38	40
pH	4,5	5,5
Composição aproximada em açúcares (% base seca)		
Dextrose		15
Maltose		12
Outros açúcares		73

A maltodextrina MOR-REX®1914 é um composto de açúcares na forma de pó, totalmente solúvel em água, produzido através da conversão enzimática do amido de milho, e pode ser utilizado em aromas e essências, pós para refrescos, sopas desidratadas, achocolatados, balas e caramelos, leite modificado, recheios de bombons e bebida láctea. As especificações e composição são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2- Especificações e composição da maltodextrina MOR-REX®1914

Características físico-químicas	Mínimo	Máximo
Umidade (%)	-	5,0
Dextrose equivalente	11,0	14,0
pH	4,5	5,5
Solúveis	99,3	-
Cinzas	-	0,5
Aspecto		Pó branco
Odor		Inodoro
Sabor		Levemente doce
Composição aproximada em açúcares (% base seca)		
Dextrose		1
Maltose		2
Outros açúcares		97

3.2.1.2. Planejamento experimental para a desidratação osmótica

Para estudar os efeitos da temperatura, da concentração da solução desidratante e do tempo de imersão na perda de peso, perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju, com a finalidade de verificar a condição de processo mais favorável à maximização da perda de água e minimização do ganho de sólidos, foi utilizado um planejamento fatorial completo 2^3 , mais os pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$). Dessa forma, cada fator foi estudado em 5 níveis, conforme apresenta a Tabela 3.3. As faixas de variação entre o limite inferior e superior de cada variável foram estabelecidas com base nos estudos de QUERIDO (2000).

Tabela 3.3- Variáveis independentes codificadas para a desidratação osmótica

Variável	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Temperatura (°C)	30	34	40	46	50
Concentração (%)	40	44	50	56	60
Tempo (min)	90	120	165	210	240

O planejamento requer a execução de um número mínimo de experimentos. Neste estudo, foram realizados 17 ensaios (Tabela 3.4), sendo oito fatoriais (combinações entre os níveis ± 1), três centrais (três variáveis no nível 0) e seis axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e duas em 0), gerando um modelo quadrático, onde o valor das variáveis dependentes Y (perda de peso, perda de água e ganho de sólidos) é função das variáveis independentes (temperatura, concentração da solução e tempo de imersão), conforme descreve a equação abaixo:

$$Y = \varphi(T, C, t) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 t + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} Tt + \beta_{23} Ct \quad (3.1)$$

Os pontos centrais servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial. Os pontos axiais ($\pm \alpha$) são utilizados para a

ampliação do modelo linear, tornando-o um modelo quadrático. O valor de α é função do número de variáveis independentes (k), sendo definido pela equação 3.2 (BARROS NETO et al., 2001). O valor de α calculado para o presente estudo ($k=3$) é 1,6818.

$$\alpha = (2^k)^{1/4} \quad (3.2)$$

A elaboração dos modelos foi feita utilizando o software STATISTICA 5.0, sendo considerado preditivo o modelo que apresentasse regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa ao mesmo nível de confiança e alto valor de R^2 . O maior valor de R^2 é 1, e ele só ocorrerá se não houver resíduo algum e, portanto, toda a variação em torno da média for explicada pela regressão. Quanto mais perto de 1 estiver o valor de R^2 , melhor terá sido o ajuste do modelo aos dados observados (BARROS NETO et al., 2001).

Tabela 3.4- Planejamento experimental da desidratação osmótica

Ensaio	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo (min)
01	34	44	120
02	46	44	120
03	34	56	120
04	46	54	120
05	34	44	210
06	46	44	210
07	34	56	210
08	46	56	210
09	40	50	165
10	40	50	165
11	40	50	165
12	30	50	165
13	50	50	165
14	40	40	165
15	40	60	165
16	40	50	90
17	40	50	240

3.2.2. Secagem HTST

Para os experimentos de secagem a altas temperaturas durante um curto tempo, HTST (High Temperature Short Time), do caju *in natura* foi utilizado um secador de leito fluidizado desenvolvido e construído especialmente para este fim. A Figura 3.3 apresenta um esquema do secador.

O sistema de operação do equipamento constitui um sistema fechado, entretanto, sua construção permite uma fácil manutenção e limpeza. A câmara de secagem consistiu em uma base cônica em aço inoxidável de 0,2 cm de espessura, com ângulo de 60°, diâmetro de entrada de 4,26 cm e diâmetro superior de 12 cm. Este cone é dotado de um orifício de 3,0 cm de diâmetro por onde é possível fazer medidas da temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar de secagem. Acoplado à base cônica havia uma coluna cilíndrica construída com chapa de aço inox com 0,4 cm de espessura, 12 cm de diâmetro e 27 cm de altura, contendo um visor de vidro que permitiu melhor acompanhamento da fluidização das amostras. A parte superior da câmara é formada por outro cone em inox, com ângulo de 60°. Na saída da base cônica inferior foi colocada uma tela metálica para sustentar e evitar a queda das amostras após o final da operação. Da mesma forma, outra tela metálica foi colocada na entrada da base cônica superior para impedir o arraste das fatias de caju.

O dispositivo utilizado para a movimentação do ar foi um soprador centrífugo (IBRAM), acionado por um motor trifásico (EBERLE) com potência de 4,5 Hp.

O aquecimento do ar foi realizado através de oito conjuntos de resistências aletadas, fornecendo uma potência máxima de 4000 W. Estes conjuntos de resistências encontravam-se ligados a um termostato digital (SUPRILAB).

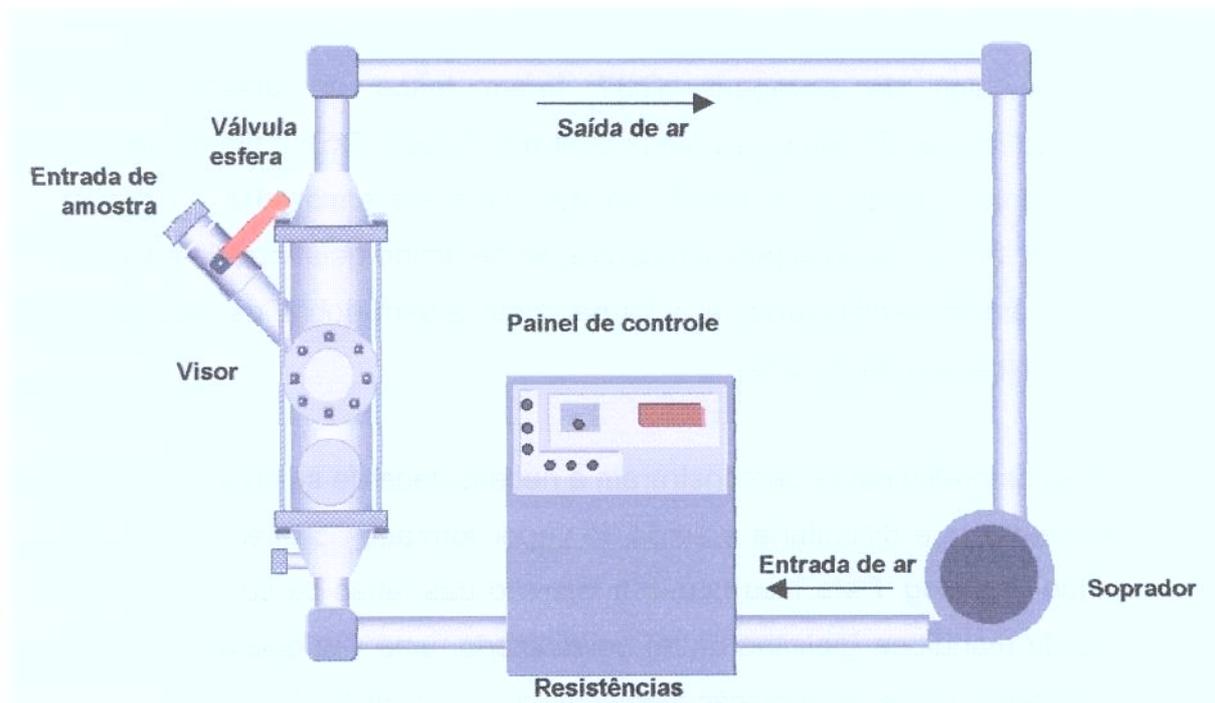


Figura 3.3- Esquema do secador de leito fluidizado utilizado nos experimentos

Para linha de transporte do ar foram utilizados tubos de aço galvanizado com duas polegadas de diâmetro, envolvido por uma camada de 3,0 cm de espessura de lã de vidro e alumínio corrugado, como revestimento térmico. O sistema possuía uma válvula gaveta com uma polegada e meia, corpo de bronze, para o controle da vazão do sistema.

A velocidade do ar de secagem foi medida através de um anemômetro digital (AIRFLOW, modelo LCS 6000) e a temperatura de bulbo seco e a umidade do ar através de termo higrômetro (TESTO, modelo 635).

A secagem das amostras foi realizada em diferentes temperaturas e tempos de processamento e velocidade do ar de 12 m/s. As fatias do pedúnculo do caju foram colocadas no leito, que já operava em regime, através de uma válvula esfera acoplada a coluna cilíndrica. Os ensaios foram feitos em batelada e a umidade e a densidade dessas amostras foram determinadas conforme item 3.1.1.

3.2.2.1. Planejamento experimental para a secagem HTST

Os ensaios de secagem HTST foram feitos de acordo com um planejamento fatorial 2^4 , mais os pontos centrais (Tabela 3.5), a fim de se avaliar estatisticamente o nível de significância das variáveis envolvidas no processo (temperatura, tempo de secagem, concentração de amido gelatinizado e tempo de imersão no amido gelatinizado) e a forma como atuam sobre as respostas de interesse (umidade e densidade).

Ensaio preliminares demonstraram a necessidade de se criar uma camada semi-permeável que dificultaria a saída de vapor formado no interior do produto, propiciando o *puffing*. Para isso houve a imersão das fatias de caju em soluções de amido de mandioca (polvilho doce) gelatinizado, uma vez que a cobertura de amido apresentou uma contribuição significativa na expansão. Tal fato também, foi observado por TORREGGIANI et al. (1995) e LUCAS (1996) na secagem HTST de maçã e banana, respectivamente. TORREGGIANI et al. (1995) utilizou concentrações de amido de mandioca gelatinizado de 1, 2 e 3% e tempos de imersão de 2 minutos, enquanto LUCAS (1996) testou concentrações de 2, 5 e 7% e tempos de imersão de 2, 5 e 10 minutos.

Neste estudo foram realizados dezenove ensaios (Tabela 3.6), sendo dezesseis fatoriais e três centrais. A elaboração dos modelos foi realizada da mesma forma descrita para a desidratação osmótica (item 3.2.1.2), onde o valor das variáveis dependentes Y (umidade e densidade) foi função das variáveis independentes (temperatura, tempo de secagem, concentração de amido gelatinizado e tempo de imersão no amido gelatinizado), de acordo com a seguinte equação:

$$Y = \varphi(X, d) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 t + \beta_3 C_a + \beta_4 t_a + \beta_{12} Tt + \beta_{13} TC_a + \beta_{14} Tt_a + \beta_{23} tC_a + \beta_{24} tt_a + \beta_{34} C_a t_a \quad (3.3)$$

Tabela 3.5- Variáveis independentes codificadas para a secagem HTST

Variável	-1	0	+1
Temperatura (°C)	130	150	170
Tempo (min)	5	10	15
Concentração de amido getanizado (%)	2	4	6
Tempo de imersão no amido gelatinizado (min)	2	6	10

Tabela 3.6- Planejamento experimental da secagem HTST

Ensaio	T (°C)	t (min)	C _a (%)	t _a (min)
01	130	5	2	2
02	170	5	2	2
03	130	15	2	2
04	170	15	2	2
05	130	5	6	2
06	170	5	6	2
07	130	15	6	2
08	170	15	6	2
09	130	5	2	10
10	170	5	2	10
11	130	15	2	10
12	170	15	2	10
13	130	5	6	10
14	170	5	6	10
15	130	15	6	10
16	170	15	6	10
17	150	10	4	6
18	150	10	4	6
19	150	10	4	6

3.3. Secagem convectiva

A secagem convectiva foi realizada em um secador de leito fixo, em três temperaturas (50, 60 e 70°C) e velocidade de 2,1 m/s. Para esta etapa foram utilizadas a fruta *in natura* e pré-tratada.

O equipamento utilizado é formado por uma cabine vertical de madeira com três portas independentes, onde eram colocadas as bandejas feitas de tela de aço inoxidável com malha quadrada de 1,2 mm de abertura. O sistema de operação do secador consistiu na passagem de ar verticalmente através das bandejas,

retornando ao ventilador em um sistema de circuito fechado. Um esquema do secador é apresentado na Figura 3.4.

A movimentação e o aquecimento do ar foram realizados com o soprador centrífugo e o conjunto de resistências, respectivamente, descritos no item 3.2.2.

A cabine de madeira possuía orifícios que permitiram a instalação de termopares antes e após cada bandeja, possibilitando a leitura das temperaturas de entrada e saída do ar de secagem. A velocidade do ar foi medida no interior da cabine onde estão localizadas as bandejas. Os aparelhos utilizados para estas medidas foram os mesmos da secagem HTST.

As amostras foram colocadas na segunda bandeja do secador (de baixo para cima), sendo a primeira bandeja reservada à sílica-gel, a fim de se manter a umidade constante no interior do equipamento. A pesagem das amostras foi realizada através de uma balança semi-analítica. Os intervalos de tempo utilizados na pesagem foram de 15 em 15 minutos durante a primeira hora de processo, de 30 em 30 minutos para as duas horas seguintes e de 1 em 1 hora até que o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem fosse alcançado.

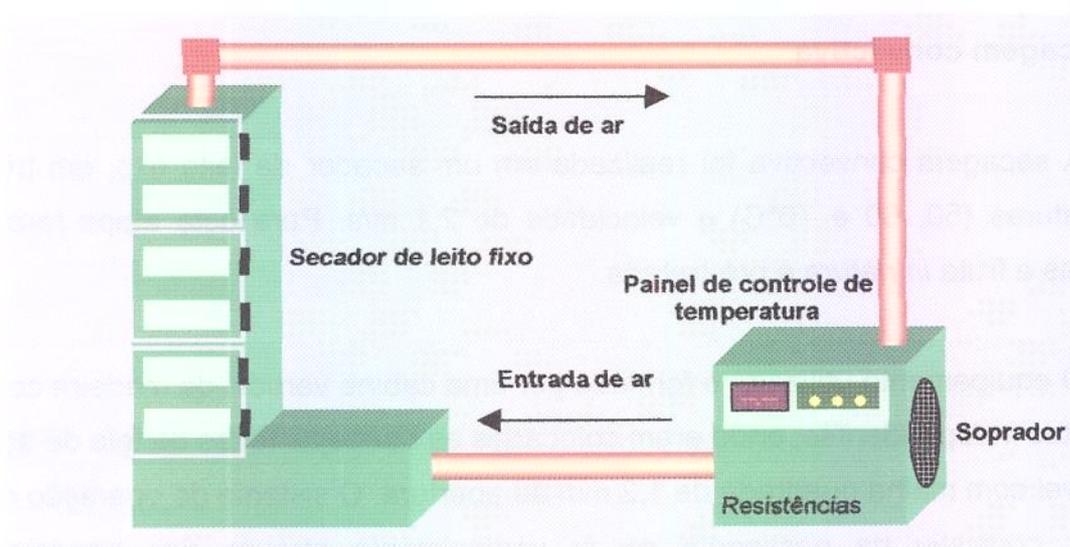


Figura 3.4- Esquema do secador vertical de leito fixo utilizado nos experimentos

O estudo da cinética de secagem convencional foi realizado a partir dos dados do adimensional de umidade e da taxa de secagem em função do tempo do processo. Os modelos difusional e empírico de Page, descritos no item 2.2.1, foram utilizados para ajustar os dados experimentais.

3.4. Ajuste dos modelos matemáticos

Para verificar o ajuste de todos os modelos aos dados experimentais, calculou-se o desvio médio relativo (P), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (equação 3.4), sendo considerado preditivo o modelo que apresentar valores de P menores que 10% (LOMAURO et al., 1985).

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|M_p - M_e|}{M_p} \quad (3.4)$$

Onde:

M_p : valores preditos pelo modelo;

M_e : valores obtidos experimentalmente;

N : número de pontos experimentais.

3.5. Análise sensorial

Os produtos secos obtidos foram submetidos a testes sensoriais de aceitação utilizando-se escala hedônica de 9 pontos (9= gostei extremamente; 1= desgostei extremamente) e testes de intenção de compra. Os atributos avaliados foram aparência, aroma, sabor e textura. A ficha utilizada na avaliação sensorial das amostras encontra-se no Anexo I.

As amostras foram servidas em pires brancos, sob iluminação ambiente e codificadas com números de 3 dígitos, escolhidos ao acaso, de forma a não

influenciar os provadores. A ordem de apresentação das mesmas foi balanceada, para que cada amostra aparecesse em cada posição em igual número de vezes.

Foram recrutados 30 provadores da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP.

Os dados obtidos no teste de aceitação foram analisados por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (5% de significância).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização da matéria-prima

A caracterização do pedúnculo do caju *in natura*, de acordo com os métodos descritos por RANGANNA (1977), é apresentada na Tabela 4.1. Os resultados encontrados estão dentro da faixa apresentada na literatura, conforme item 2.1.4. Entretanto, verificou-se que a acidez, expressa em ácido málico (ácido mais encontrado no pedúnculo), encontrava-se um pouco elevada. PRICE *et al.* (1975) encontraram valores médios de acidez titulável (% ácido málico) de 0,48, 0,30 e 0,58 para pedúnculos de suco doce, suco ácido e suco adstringente, respectivamente. Observou-se, assim, que os caju utilizados neste estudo apresentam valores próximos ao do suco adstringente.

Tabela 4.1- Análises físico-químicas do pedúnculo do caju

Análise	Valor médio
Conteúdo de umidade (base úmida, %)	85,56±0,15
Acidez (% ácido málico)	0,60±0,12
Açúcar redutor (%)	7,81±0,19
Açúcar total (%)	8,05±0,09
Ácido ascórbico (mg/100g)	204,78±2,01
°Brix	11,70±0,21
Densidade (g/cm ³)	1,05±0,01
Atividade de água (a _w)	0,989±0,001

4.2. Desidratação osmótica

Os resultados das respostas perda de peso, perda de água e ganho de sólidos da desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju em soluções de maltodextrina, sacarose e xarope de milho, de acordo com o planejamento experimental proposto, encontram-se nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente.

Tabela 4.2- Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de maltodextrina

Ensaio	T (°C)	C (%)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)
1	34	24	120	13,42	12,17	-1,26
2	46	24	120	26,48	23,82	-2,67
3	34	36	120	19,25	19,22	-0,03
4	46	36	120	30,32	29,053	-1,26
5	34	24	210	15,94	14,05	-1,89
6	46	24	210	34,18	31,15	-3,03
7	34	36	210	21,09	20,87	-0,22
8	46	36	210	44,05	42,51	-1,54
9	40	30	165	21,31	19,16	-2,15
10	40	30	165	22,56	20,43	-2,13
11	40	30	165	19,86	18,02	-1,85
12	30	30	165	6,57	6,14	-0,43
13	50	30	165	27,53	23,80	-3,73
14	40	20	165	16,40	14,38	-2,02
15	40	40	165	18,89	18,72	-0,17
16	40	30	90	13,19	16,36	3,17
17	40	30	240	23,21	33,62	10,40

Tabela 4.3- Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose

Ensaio	T (°C)	C (%)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)
1	34	44	120	23,81	28,01	4,20
2	46	44	120	48,40	51,07	2,67
3	34	56	120	29,84	32,67	2,83
4	46	56	120	48,93	53,94	5,03
5	34	44	210	34,88	39,55	4,67
6	46	44	210	48,09	53,90	5,82
7	34	56	210	39,92	43,64	3,72
8	46	56	210	57,38	64,14	6,76
9	40	50	165	38,00	41,11	3,31
10	40	50	165	37,78	41,33	3,56
11	40	50	165	39,31	42,65	3,34
12	30	50	165	30,89	32,99	2,10
13	50	50	165	57,25	61,54	4,29
14	40	40	165	32,20	35,72	3,52
15	40	60	165	41,79	45,96	4,17
16	40	50	90	28,27	31,74	3,47
17	40	50	240	49,15	55,32	6,18

Tabela 4.4- Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de xarope de milho

Ensaio	T (°C)	C (%)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)
1	34	44	120	23,20	24,20	1,00
2	46	44	120	34,07	35,72	1,65
3	34	56	120	25,63	26,97	1,34
4	46	56	120	40,14	42,39	2,26
5	34	44	210	30,45	32,06	1,61
6	46	44	210	48,73	50,71	1,98
7	34	56	210	36,01	38,03	2,02
8	46	56	210	53,91	56,55	2,65
9	40	50	165	34,98	36,12	1,14
10	40	50	165	37,41	38,59	1,18
11	40	50	165	36,65	37,80	1,15
12	30	50	165	26,29	26,74	0,45
13	50	50	165	47,70	49,51	1,81
14	40	40	165	25,53	26,91	1,38
15	40	60	165	34,01	36,02	2,01
16	40	50	90	22,46	29,39	1,93
17	40	50	240	42,96	45,95	2,99

Para a desidratação em solução de maltodextrina, a concentração máxima deste composto na solução osmótica obtida foi de 40%, devido à sua solubilidade em água. Sendo assim, os níveis do planejamento experimental para a concentração deste agente osmótico foram modificados e encontram-se apresentados na Tabela 4.2. Observa-se que a desidratação, nesta solução, obteve valores negativos de ganho de sólidos para a maioria das condições estudadas, ou seja, a fruta perdeu seus próprios solutos (ácido orgânico, sacarídeos, sais, entre outros) para a solução osmótica, o que foge do objetivo deste estudo de manter ao máximo as características da fruta fresca. Este fato, provavelmente, ocorreu devido ao alto conteúdo de polissacarídeos deste xarope e, segundo BOLIN *et al.* (1983), solutos com alto peso molecular promovem menor pressão osmótica. Conseqüentemente, quanto maior o tamanho do soluto, menor é a incorporação de sólidos no processo osmótico, conforme resultado obtido por outros pesquisadores (LERICI *et al.*, 1985; CONTRERAS e SMYRL, 1981). Sendo assim, não foi proposto nenhum modelo para a desidratação osmótica com maltodextrina e a sua otimização não foi realizada.

Para os experimentos realizados com xarope de milho e sacarose, observa-se que, para as mesmas condições de temperatura, concentração da solução e tempo de imersão, maiores valores dessas respostas foram obtidos para as fatias desidratadas em soluções de sacarose. O xarope de milho apresentou menores valores devido ao conteúdo de polissacarídeos deste xarope.

Todos os ensaios realizados nas condições máximas de tempo e temperatura resultaram em um produto escurecido e com textura diferente da fruta *in natura*, provavelmente, devido ao comprometimento da estrutura celular. Resultados similares foram encontrados por RASTOGI e RAGHAVARAO (1994), VIDEV *et al.* (1990) e YANG e LE MAGUER (1992) na desidratação osmótica de coco, maçã e morango, respectivamente. Sendo assim, temperaturas acima de 45°C não foram utilizadas neste estudo.

4.2.1. Perda de peso

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose e xarope de milho são apresentados na Tabela 4.5. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação em negrito são significativos ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Estes efeitos significativos podem ser mais facilmente visualizados pelo gráfico apresentado na Figura 4.1.

O efeito estimado indica o quanto cada fator influi nas respostas estudadas. Quanto maior é o seu valor, maior é a sua influência, e um efeito positivo indica que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta. Já um efeito negativo indica o contrário, ou seja, ao passar de um valor mínimo para o valor máximo, a resposta diminui.

Tabela 4.5- Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para a perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e de xarope de milho

	Sacarose		Xarope de milho	
	Valor do efeito \pm erro puro	p	Valor do efeito \pm erro puro	p
Média global	38,25 \pm 0,48	0,00	36,12 \pm 0,72	0,00
Efeitos principais				
Temperatura-L	17,45 \pm 0,45	0,00	14,35 \pm 0,68	0,00
Temperatura-Q	4,74 \pm 0,50	0,01	1,72 \pm 0,75	0,15
Concentração-L	5,44 \pm 0,45	0,01	4,92 \pm 0,68	0,02
Concentração-Q	-0,36 \pm 0,50	0,55	-3,48 \pm 0,75	0,04
Tempo-L	9,46 \pm 0,45	0,00	10,61 \pm 0,68	0,00
Tempo-Q	0,88 \pm 0,50	0,22	0,44 \pm 0,75	0,62
Efeito de interação				
Temperat.*conc.	-0,32 \pm 0,59	0,64	0,81 \pm 0,88	0,45
Temperat.*tempo	-3,24 \pm 0,59	0,03	2,70 \pm 0,88	0,09
Conc.*tempo	1,95 \pm 0,59	0,08	0,56 \pm 0,88	0,59

L: linear

Q: quadrático

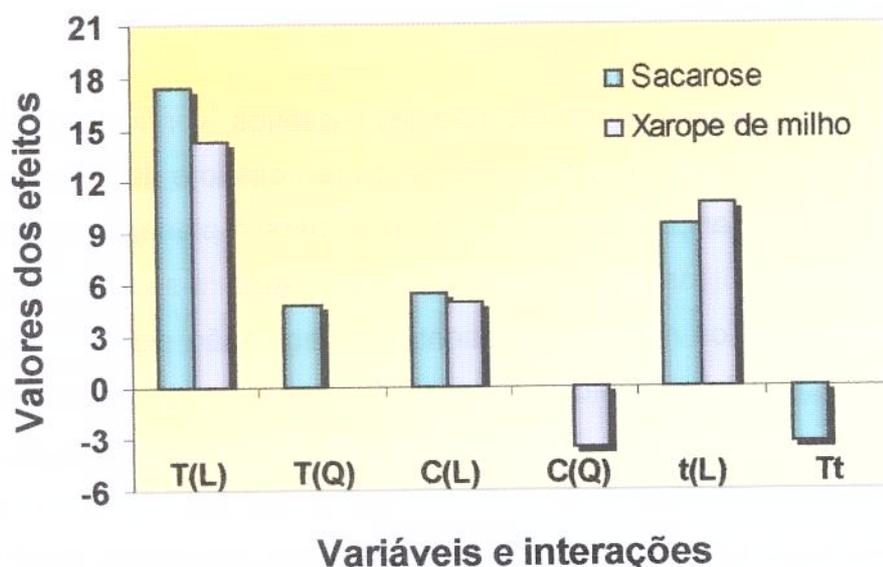


Figura 4.1- Gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre a perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju com solução de sacarose e xarope de milho

Em relação à desidratação osmótica de fatias do pedúnculo de caju em soluções de sacarose, observa-se que os efeitos dos parâmetros concentração-Q,

tempo-Q e das interações temperatura*concentração e concentração*tempo não são significativos a $p \leq 0,05$ e, portanto, não serão utilizados no modelo de predição. O parâmetro a exercer maior influência é a temperatura. O tempo é o segundo efeito mais significativo.

Para a desidratação em soluções de xarope de milho, verifica-se que os efeitos dos parâmetros temperatura-Q, tempo-Q e das interações não são significativos a $p \leq 0,05$ e, portanto, não serão utilizados no modelo de predição. Os três termos lineares têm efeitos positivos, indicando que a perda de peso deve ser mais intensa ao aumentarmos a temperatura, a concentração e o tempo de imersão. No entanto, tem-se uma contribuição negativa na concentração-Q, indicando que um aumento da temperatura também tenderá a diminuir a perda de peso, e na proporção do quadrado da variação. O parâmetro temperatura-L é o de maior valor, seguido pelo efeito tempo-L, assim como observado para a desidratação em soluções de sacarose.

Após a eliminação dos fatores não significativos, verificou-se através da Análise de Variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste F, para o planejamento estudado, conforme a Tabela 4.6 (os valores em negrito apresentam-se significativos a $p \leq 0,05$). Verifica-se que os modelos apresentaram regressão significativa ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}) e falta de ajuste não significativa ($F_{\text{calculado}}$ inferior ao F_{tabelado}). Entretanto, segundo BARROS NETO *et al.* (2001), uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser útil para realizar previsões por cobrir uma faixa de variação pequena dos fatores estudados. BOX e WETZ (1973) sugeriram que para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também útil para fins preditivos, o valor de $F_{\text{calculado}}$ para a regressão deve ser no mínimo de quatro a cinco vezes o valor de F_{tabelado} . Essa condição é amplamente satisfeita nesse estudo.

Os coeficientes de correlação (R^2) obtidos para os modelos ajustados foram superiores a 0,95, ou seja, a porcentagem da variação explicada pelo modelo foi maior que 95%. Sendo assim, os modelos ajustados foram considerados preditivos, conforme pode ser observado na Figura 4.2.

Tabela 4.6- Análise de Variância do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho

Sacarose					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	5	1521,27	304,25	54,72	3,20
Resíduo	11	61,13	5,56		
Falta de ajuste	9	57,30	6,37	3,32	19,38
Erro puro	2	3,83	1,92		
Total	16	1582,40			$R^2=0,96$

Xarope de Milho					
Fonte de variação	GL	SQ	MQ	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Regressão	4	1210,43	302,61	58,42	3,26
Resíduo	12	62,12	5,18		
Falta de ajuste	10	59,01	5,90	3,81	19,40
Erro puro	2	3,10	1,55		
Total	16	1272,55			$R^2=0,95$

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

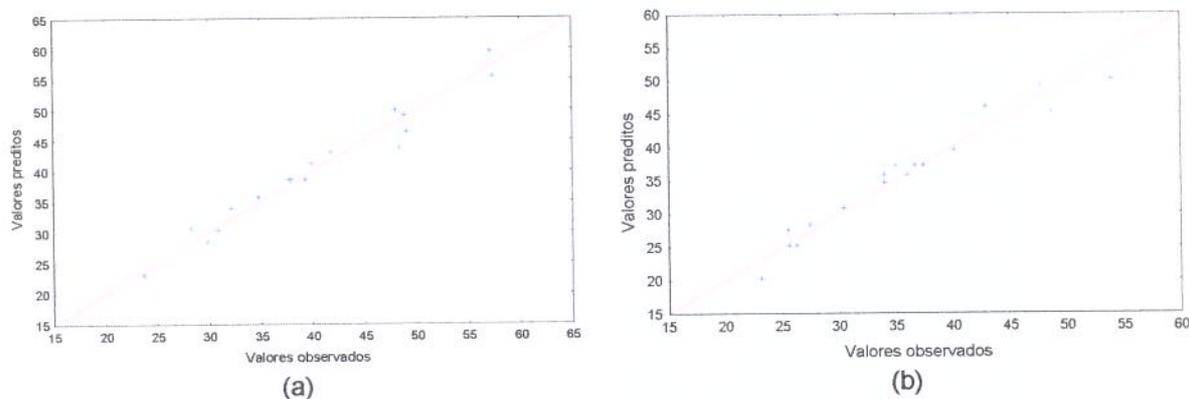


Figura 4.2- Distribuição dos resíduos do modelo ajustado para perda de peso da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose (a) e em xarope de milho (b)

Os modelos propostos para representar a perda de peso na desidratação osmótica de fatias do pedúnculo de caju em soluções de sacarose (eq. 4.1) e de xarope de milho (eq. 4.2) são os seguintes:

$$PP(\%) = 3,374 - 2,689T + 0,064T^2 + 0,453C + 0,345 - 0,006Tt \quad (4.1)$$

$$PP(\%) = -188,119 + 1,196T + 5,911C - 0,055C^2 + 0,118t \quad (4.2)$$

Onde:

T : temperatura (°C);

C : concentração (%);

t : tempo (min).

As superfícies de resposta e as curvas de níveis geradas pelos modelos propostos para cada agente osmótico são apresentadas nas Figuras 4.3 (sacarose) e 4.4 (xarope de milho). Estas superfícies confirmam a análise dos efeitos realizada anteriormente e permite a visualização da variação da resposta perda de peso para cada parâmetro estudado.

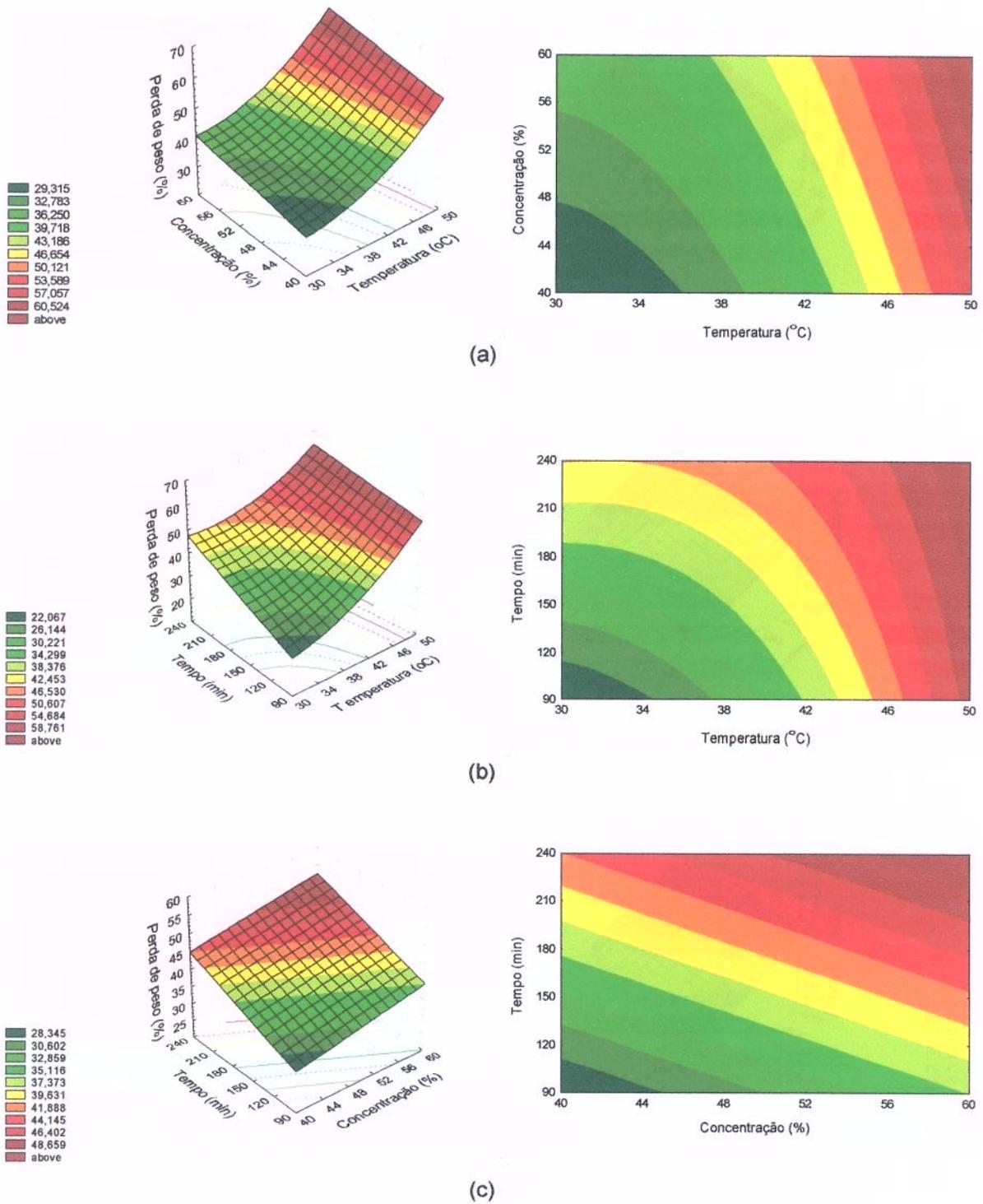


Figura 4.3- Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c)

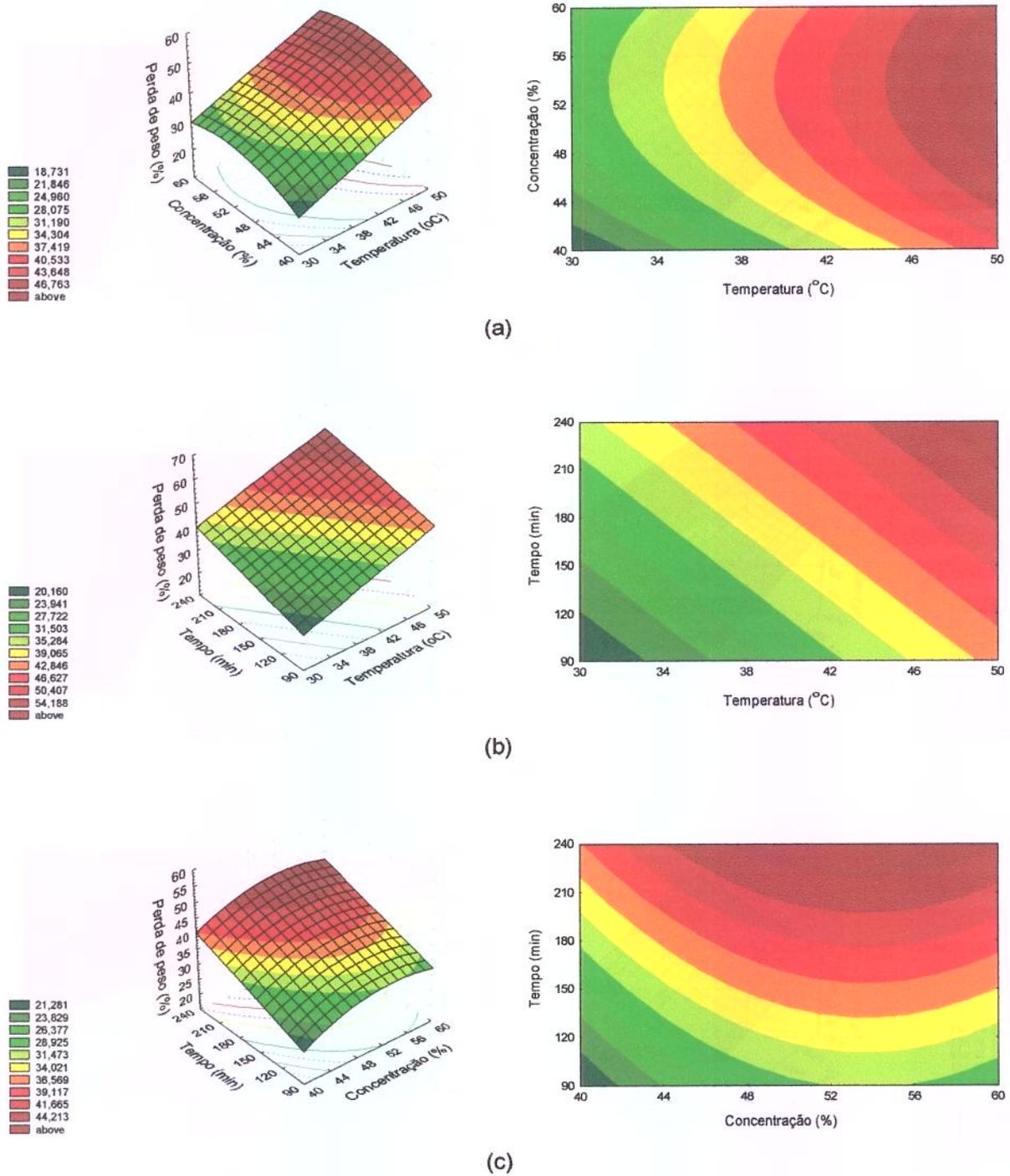


Figura 4.4- Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: $t = 165$ min (a), $C = 50\%$ (b) e $T = 40^\circ\text{C}$ (c)

Para a desidratação em solução de sacarose, observa-se, através da Figura 4.3, um aumento da perda de peso com a elevação dos parâmetros estudados, sendo a temperatura o parâmetro que exerce maior influência, seguido pelo tempo, conforme descrito anteriormente. Para valores de temperatura inferior a 35°C, a perda de peso não ultrapassa 47%, independentes dos valores de tempo e concentração utilizados. Em relação à concentração, verifica-se que para obter perdas de peso superiores a 40% utilizando baixas concentrações, de 40 a 46%, torna-se necessário tempos de imersão de 200 a 240 minutos das fatias da fruta na solução osmótica. Por outro lado, quando são utilizadas concentrações maiores, de 56 a 60%, o tempo de processo pode ser reduzido para 120 a 150 minutos.

Para a desidratação em xarope de milho, verifica-se que, através da Figura 4.4, assim como na utilização de sacarose, uma elevação na perda de peso com o aumento dos parâmetros de estudo, sendo a temperatura e o tempo os que exercem maior influência. Para valores de temperatura inferior a 35°C (Figuras 4.4 a e b), a perda de peso não ultrapassa 43%, independentes dos valores das demais variáveis estudadas. Em relação à concentração, percebe-se uma tendência ao equilíbrio na perda de peso quando concentrações maiores que 50% são utilizadas, mantendo-se a temperatura e o tempo constantes.

4.2.2. Perda de água

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e interações na perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e xarope de milho são apresentados na Tabela 4.7. Para melhor visualizar os efeitos dos parâmetros e interações significativas, conforme Tabela 4.7, foi construído o gráfico representado na Figura 4.5. Os valores em negrito na Tabela 4.7 são significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.7- Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a perda de água na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho

	Sacarose		Xarope de milho	
	Valor do efeito \pm erro puro	p	Valor do efeito \pm erro puro	P
Média global	41,55 \pm 0,48	0,00	37,28 \pm 0,73	0,00
Efeitos principais				
Temperatura-L	18,70 \pm 0,45	0,00	15,06 \pm 0,69	0,00
Temperatura-Q	4,84 \pm 0,50	0,01	1,70 \pm 0,76	0,15
Concentração-L	5,74 \pm 0,45	0,01	5,38 \pm 0,69	0,02
Concentração-Q	0,22 \pm 0,50	0,70	-3,09 \pm 0,76	0,06
Tempo-L	11,04 \pm 0,46	0,00	11,16 \pm 0,69	0,00
Tempo-Q	2,16 \pm 0,50	0,05	1,38 \pm 0,76	0,21
Efeito de interação				
Temperat.*conc.	1,09 \pm 0,59	0,21	0,94 \pm 0,90	0,40
Temperat.*tempo	-2,37 \pm 0,59	0,06	2,56 \pm 0,90	0,10
Conc.*tempo	1,70 \pm 0,59	0,10	0,59 \pm 0,90	0,58

L: linear

Q: quadrático

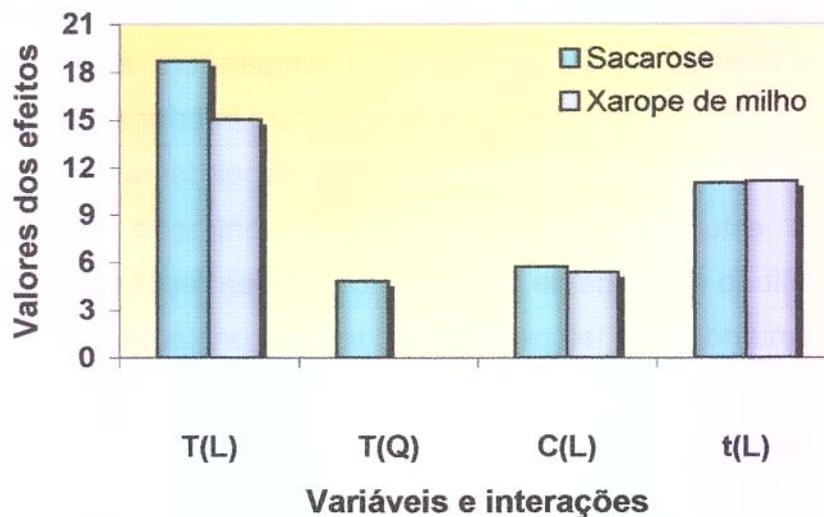


Figura 4.5- Gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre a perda de água na desidratação osmótica do pedúnculo do caju com solução de sacarose e xarope de milho

Quando sacarose é utilizada como agente osmótico, observa-se que apenas a interação temperatura*tempo tem efeito negativo na perda de água. Entretanto, o efeito de todas as interações não é significativo a $p \leq 0,05$, assim como os parâmetros concentração-Q e tempo-Q. Dessa forma, apenas os

parâmetros temperatura-L e Q, concentração-L e tempo-L foram considerados no modelo, sendo a temperatura o parâmetro a exercer maior influência na perda de água de fatias do pedúnculo do caju.

Para o xarope de milho, apenas a concentração-Q tem efeito negativo na perda de água. Entretanto, assim como para a sacarose, este efeito e o das interações não foram significativos a $p \leq 0,05$. Os parâmetros quadráticos de temperatura e de tempo também não foram significativos. Dessa forma, apenas os parâmetros lineares dessas variáveis foram considerados no modelo, sendo a temperatura o parâmetro a exercer maior influência na perda de água do processo de desidratação osmótica em solução de xarope de milho.

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste do modelo ao nível de 95% de confiança através da Análise de Variância (ANOVA), conforme mostra a Tabela 4.8, onde os valores significativos a $p \leq 0,05$ estão em negrito. O modelo ajustado para perda de água foi considerado preditivo por apresentar regressão significativa e falta de ajuste não significativa (95% de confiança), além de R^2 superior a 0,92, como pode ser observado pelas Figuras 4.6.

Tabela 4.8- Análise de Variância do modelo ajustado para a perda de água na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho

Fonte de variação	Sacarose				
	GL	SQ	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	4	1769,35	442,34	65,53	3,26
Resíduo	12	80,96	6,75		
Falta de ajuste	10	79,57	7,96	11,37	19,40
Erro puro	2	1,39	0,70		
Total	16	1850,31			$R^2=0,96$
Fonte de variação	Xarope de milho				
	GL	SQ	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3	1288,85	429,62	52,01	3,41
Resíduo	13	107,33	8,26		
Falta de ajuste	11	104,13	9,47	5,92	19,40
Erro puro	2	3,20	1,60		
Total	16	1396,18			$R^2=0,92$
GL: grau de liberdade		SQ: soma quadrática		MQ: média quadrática	

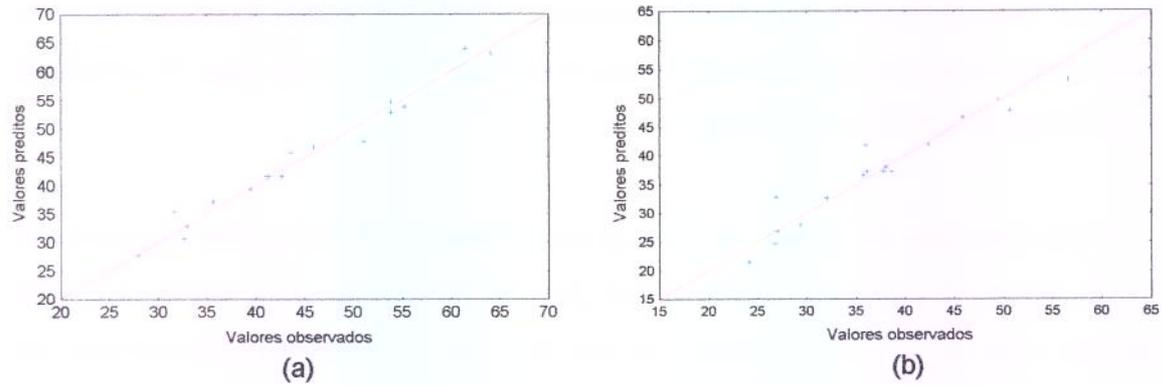


Figura 4.6- Distribuição dos resíduos do modelo ajustado para a perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose (a) e em xarope de milho (b)

Os modelos propostos para descrever a perda de água na desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju em solução de sacarose (eq. 4.3) e xarope de milho (eq. 4.4) são:

$$PA (\%) = 32,102 - 3,237 T + 0,060 T^2 + 0,479 C + 0,123 t \quad (4.3)$$

$$PA (\%) = -55,790 + 1,255 T + 0,448 C + 0,124 t \quad (4.4)$$

Onde:

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

C : concentração (%);

t : tempo (min).

As superfícies de resposta geradas pelos modelos são apresentadas nas Figuras 4.7 (sacarose) e 4.8 (xarope de milho).

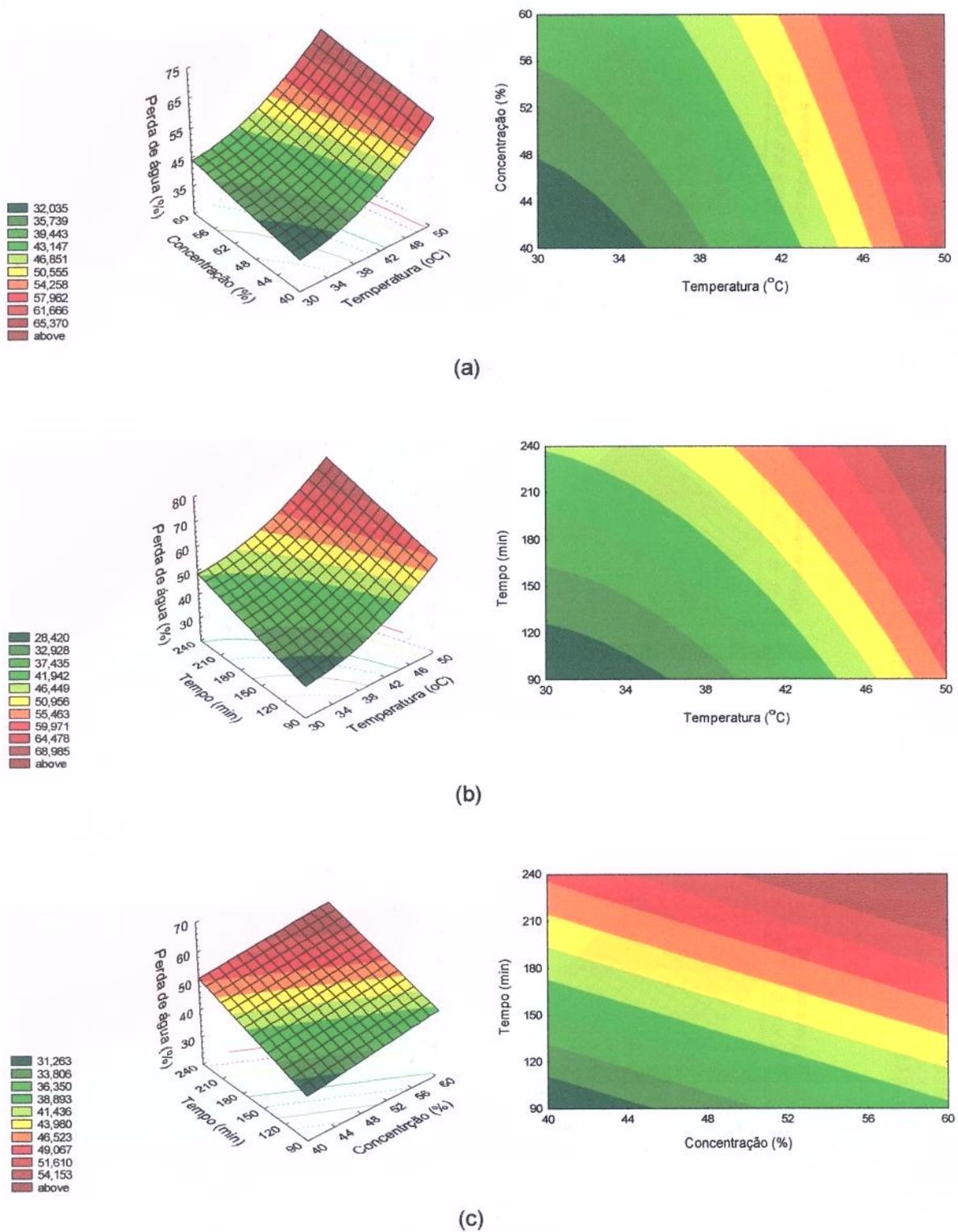


Figura 4.7- Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose a: $t = 165$ min (a), $C = 50\%$ (b) e $T = 40^{\circ}\text{C}$ (c)

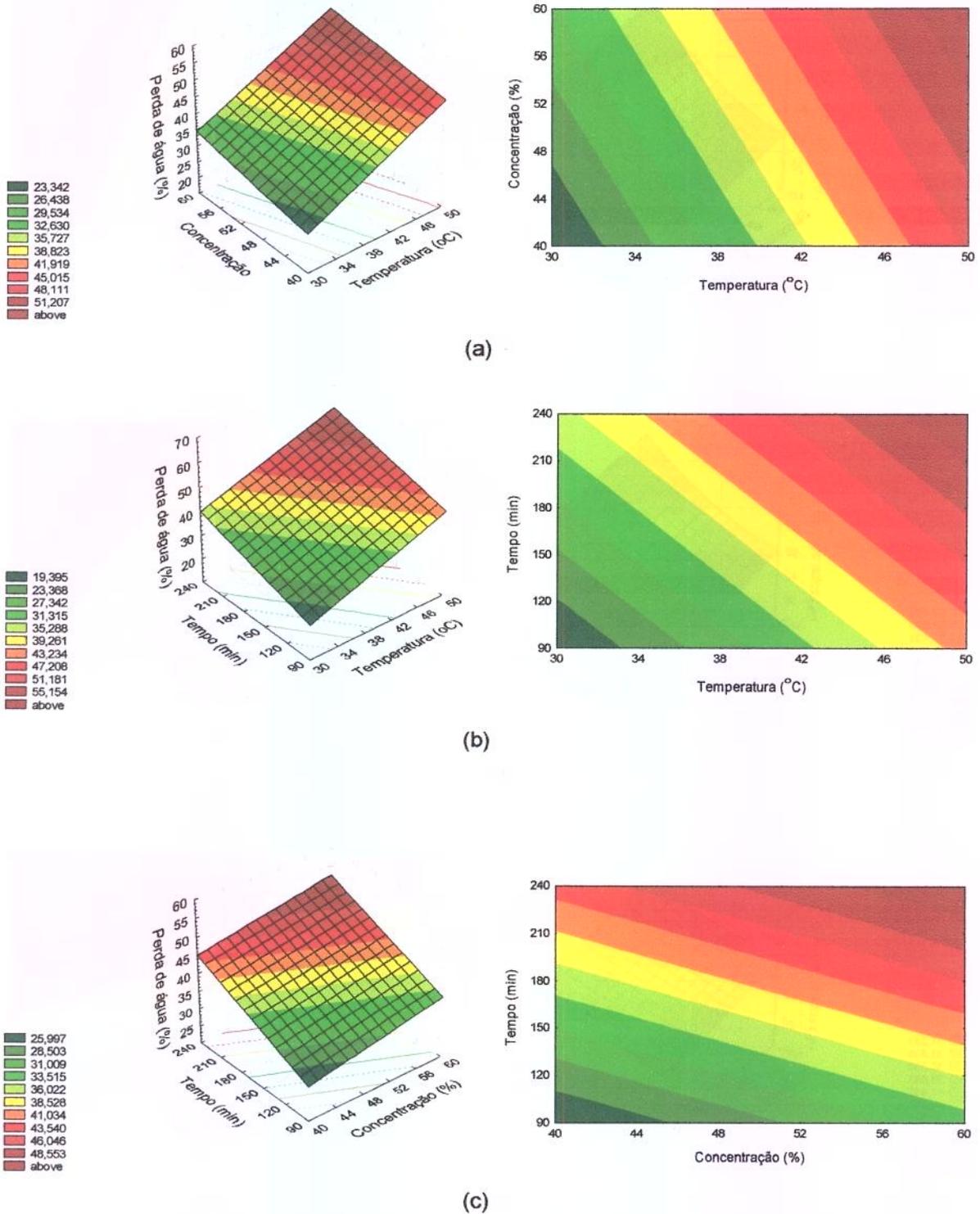


Figura 4.8- Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c)

Verifica-se que, para qualquer agente osmótico utilizado, a temperatura é o parâmetro que exerce maior influência na perda de água e que a concentração tem a menor influência. Quando temperaturas inferiores a 34°C são utilizadas, a concentração e o tempo não exercem influência e a perda de água não ultrapassa 47% (Figuras 4.7 a e b). Em relação à Figura 4.8 c, observa-se que perdas de água acima de 40% podem ser obtidas utilizando-se baixas concentrações de sacarose na solução desidratante (inferior a 44%) e tempos de imersão superiores a 180 minutos ou utilizando-se altas concentrações da solução (superiores a 54%) e tempos de processo de no máximo 2 horas. Valores intermediários de concentração (48 a 52%) e de tempo (150 a 180 minutos) também podem ser utilizados para obter perdas de água nesta faixa.

Para o xarope de milho, quando temperaturas inferiores a 34°C são utilizadas, a concentração e o tempo não exercem influência e a perda de água não ultrapassa 40% (Figuras 4.8 a e b). Altas temperaturas (valores próximos 50°C) permitem a utilização da concentração em seu nível mais baixo (40%) e a realização do processo por um tempo de 100 minutos para obtenção de perdas de água superiores que 45%. Em relação à Figura 4.8 c, observa-se que perdas de água acima de 40% podem ser obtidas utilizando-se baixas concentrações de xarope de milho (inferior a 44%) e tempos de imersão superiores a 200 minutos ou utilizando-se altas concentrações da solução (56%) e tempos de 160 minutos de processo.

4.2.3. Ganho de sólidos

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações no ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica de fatias de pedúnculo do caju desidratadas em soluções de sacarose e xarope de milho são mostrados na Tabela 4.9. O gráfico dos efeitos significativos é apresentado na Figura 4.9.

Tabela 4.9- Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho

	Sacarose		Xarope de milho	
	Valor do efeito \pm erro puro	p	Valor do efeito \pm erro puro	p
Média global	3,43 \pm 0,07	0,00	1,16 \pm 0,01	0,00
Efeitos principais				
Temperatura-L	1,25 \pm 0,06	0,00	0,71 \pm 0,01	0,00
Temperatura-Q	0,02 \pm 0,07	0,81	-0,02 \pm 0,01	0,31
Concentração-L	0,30 \pm 0,06	0,04	0,45 \pm 0,01	0,00
Concentração-Q	0,49 \pm 0,07	0,02	0,39 \pm 0,01	0,00
Tempo-L	1,58 \pm 0,06	0,00	0,56 \pm 0,01	0,00
Tempo-Q	1,19 \pm 0,07	0,00	0,94 \pm 0,01	0,00
Efeito de interação				
Temperat.*conc.	1,41 \pm 0,08	0,00	0,13 \pm 0,01	0,01
Temperat.*tempo	0,88 \pm 0,08	0,01	-0,14 \pm 0,01	0,01
Conc.*tempo	-0,25 \pm 0,08	0,09	0,03 \pm 0,01	0,17

L: linear

Q:quadrático

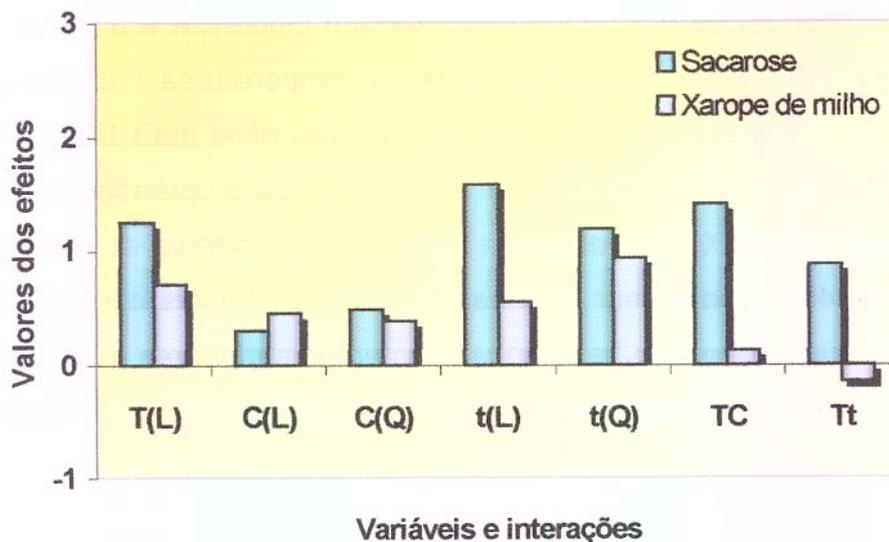


Figura 4.9- Gráfico dos valores dos efeitos significativos sobre o ganho de sólidos na desidratação do pedúnculo do caju com solução de sacarose e xarope de milho

Para a sacarose, observa-se que todos os fatores, com exceção da interação concentração*tempo, apresentam efeito positivo no ganho de sólidos. Entretanto esta interação, assim como o parâmetro temperatura-Q, não são significativos a $p \leq 0,05$, sendo todos os fatores que influenciam o modelo

positivos. Para o xarope de milho, os efeitos significativos são os mesmos, entretanto entre estes apenas a interação temperatura*tempo é negativa. Observa-se ainda que os parâmetros linear e quadrático da concentração e linear do tempo exercem efeitos similares.

Eliminando os efeitos não significativos, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) para verificar a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança. Analisando os valores obtidos (Tabela 4.10), observa-se que o modelo apresentou regressão significativa e falta de ajuste não significativa ($p \leq 0,05$). O coeficiente de correlação (R^2) obtido foi superior a 0,94 e os modelos foram considerados preditivos, conforme pode ser verificado pela Figuras 4.10.

Tabela 4.10- Análise de Variância do modelo ajustado para o ganho de sólidos na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e em xarope de milho

Fonte de variação	Sacarose				
	GL	SQ	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	7	24,03	3,43	24,50	3,29
Resíduo	9	1,30	0,14		
Falta de ajuste	7	1,27	0,18	9,00	19,35
Erro puro	2	0,03	0,02		
Total	16	25,32			$R^2=0,95$
Fonte de variação	Xarope de milho				
	GL	SQ	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	7	6,33	0,90	134,93	3,29
Resíduo	9	0,06	$6,67 \times 10^{-3}$		
Falta de ajuste	7	0,06	$8,57 \times 10^{-3}$	17,14	19,35
Erro puro	2	$1,00 \times 10^{-3}$	$0,50 \times 10^{-3}$		
Total	16	6,38			$R^2=0,99$

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

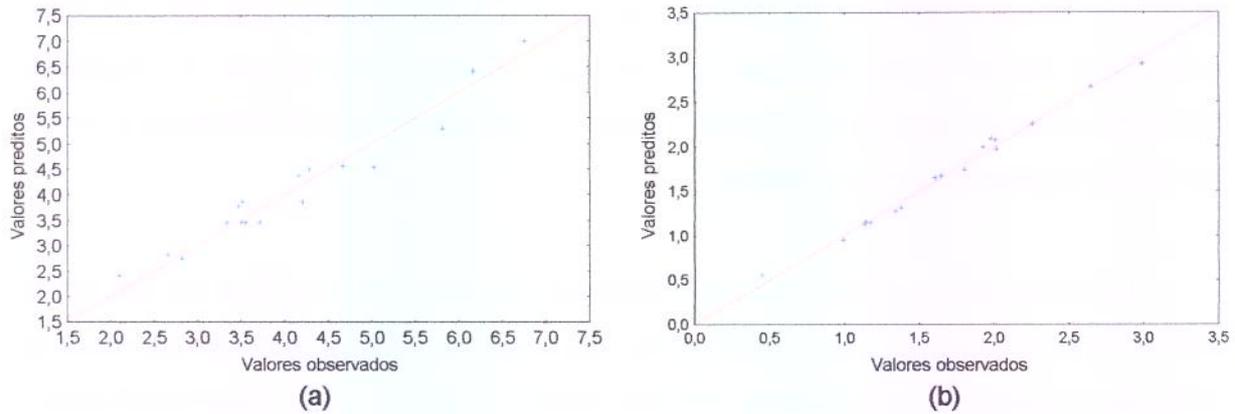


Figura 4.10- Distribuição dos resíduos do modelo ajustado para o ganho de sólidos da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose (a) e em xarope de milho (b)

Os modelos propostos para descrever o ganho de sólidos na desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose (eq. 4.5) e xarope de milho (eq. 4.6) são:

$$GS(\%) = 69,674 - 1,142T - 1,428C + 0,007C^2 - 0,144t + 0,0003t^2 + 0,020TC + 0,002Tt \quad (4.5)$$

$$GS(\%) = 17,756 + 0,013T - 0,581C + 0,005C^2 - 0,060t + 0,0002t^2 + 0,002TC + 0,0003Tt \quad (4.6)$$

Onde:

T : temperatura (°C);

C : concentração (%);

t : tempo (min).

As superfícies de resposta para ganho de sólidos são mostradas nas Figuras 4.11 e 4.12.

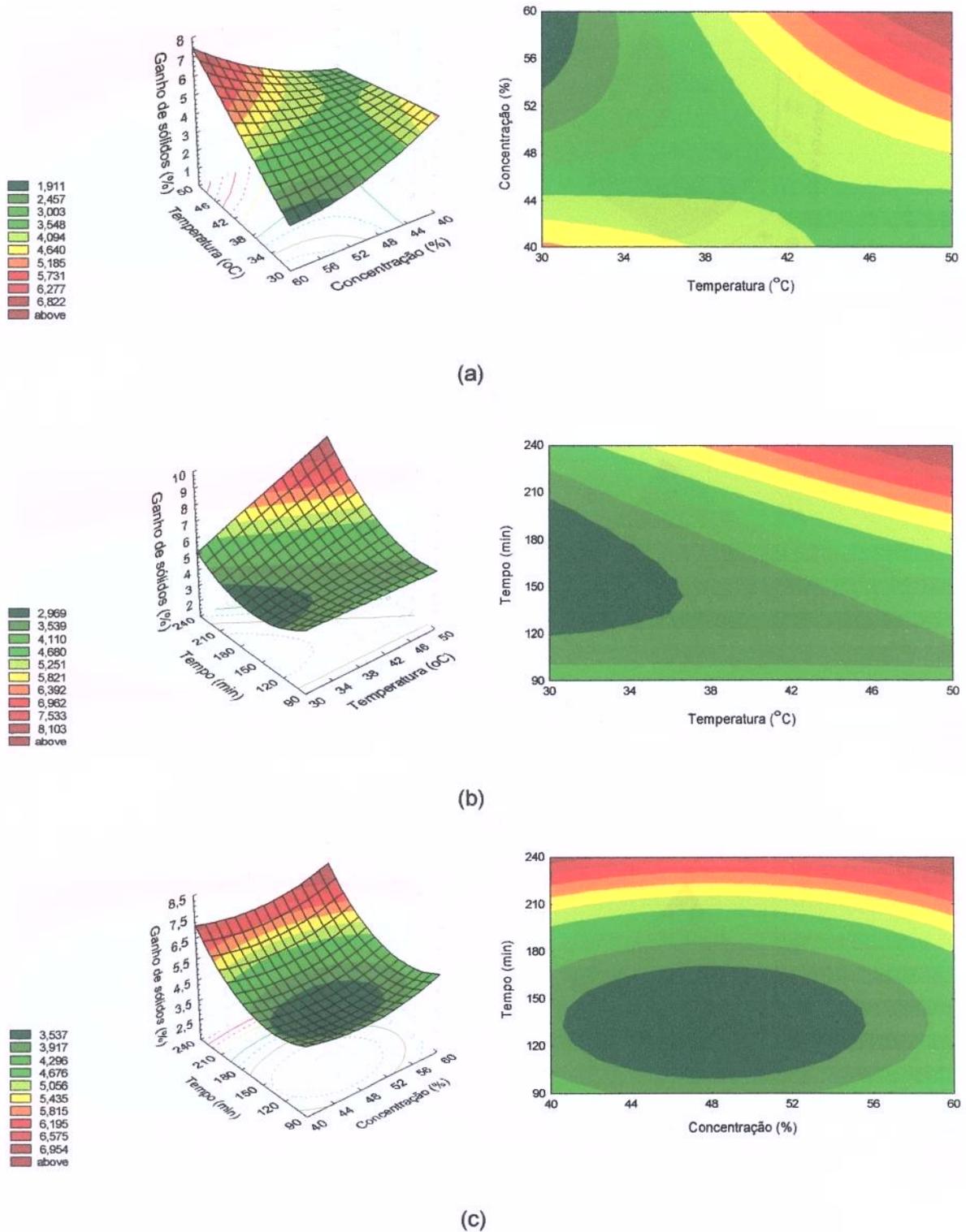


Figura 4.11- Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em soluções de sacarose a: $t=165$ min (a), $C=50\%$ (b) e $T=40^{\circ}\text{C}$ (c)

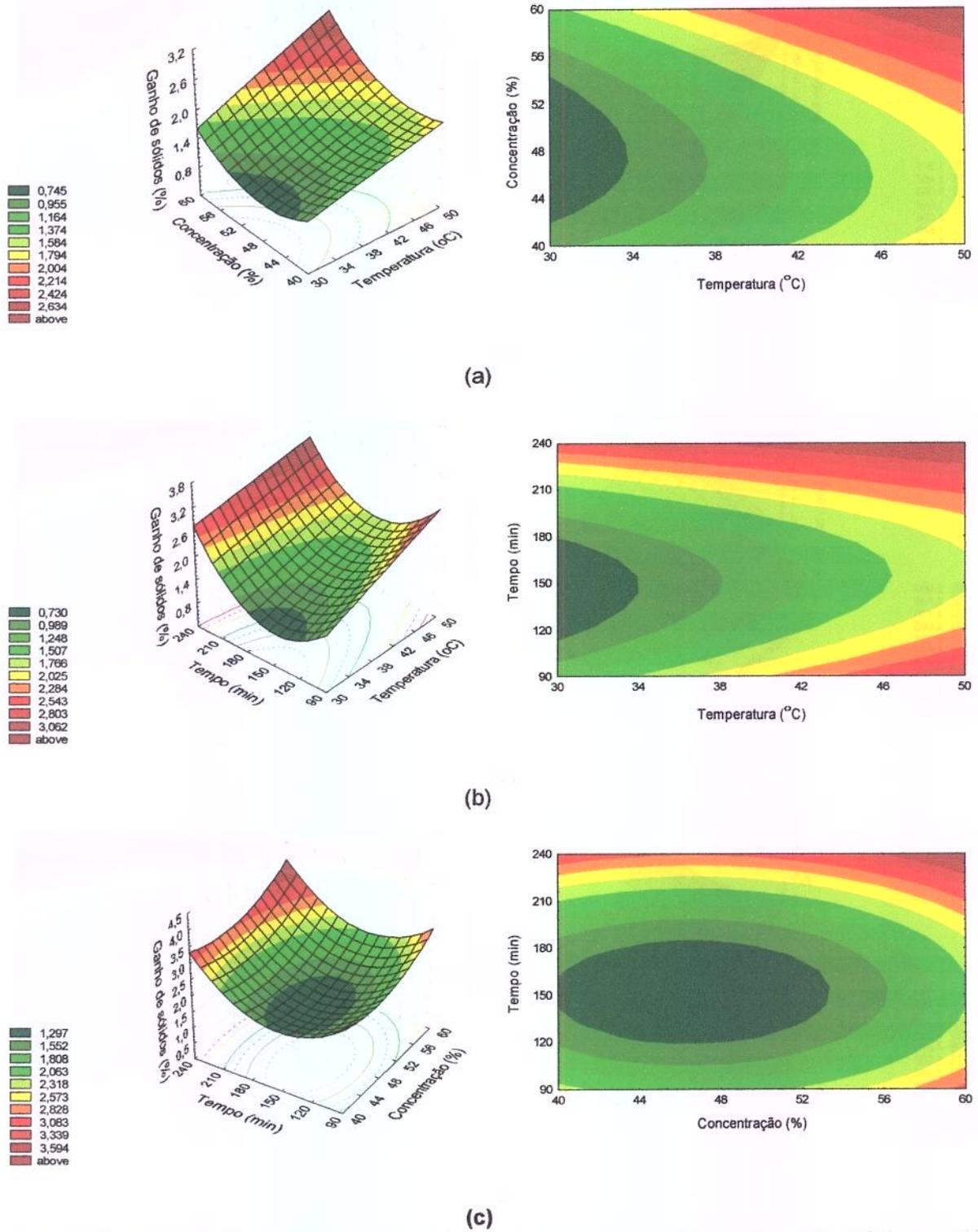


Figura 4.12- Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: $t = 165$ min (a), $C = 50\%$ (b) e $T = 40^\circ\text{C}$ (c)

A incorporação de sólidos, assim como a perda de água, é dependente das características do material, como a estrutura natural do tecido e membrana celular, que podem ser modificados durante o processamento, havendo assim perda de integridade, provocando alterações na permeabilidade e seletividade. É provável que o aumento da temperatura até 50°C tenha possibilitado o rompimento da membrana celular do pedúnculo do caju, ocasionando um aumento no ganho de sólidos para as duas soluções osmóticas. Para a sacarose, baixas concentrações, de 40 a 44%, e baixas temperaturas, de 30 até 37°C, provocam ganhos de sólido intermediários, inferiores a 6% (Figuras 4.11 a e b). Através da Figura 4.11c percebe-se que a concentração não exerce influência no ganho de sólidos para tempos de processo menores que 180 minutos.

Para o xarope de milho, baixas temperaturas (30 a 34°C) e tempos intermediários de processo (140 a 160 minutos), independente da concentração utilizada, provocam ganhos de sólidos de até 1,4% (Figuras 4.12 a e b). Através da Figura 4.12 c, percebe-se que para tempos intermediários de 140 até 170 minutos, uma ampla faixa de concentração pode ser utilizada, provocando ganhos de sólidos de até 2,4%.

4.2.4. Otimização do processo de desidratação osmótica

A desidratação osmótica é um processo que geralmente envolve uma significativa remoção de água (40-70g de água é perdida por 100g da massa inicial do produto) com uma limitada e controlada incorporação de sólidos (5-25g de soluto ganho em 100g da massa inicial) (RAOULT-WACK, 1994).

A otimização do processo osmótico de fatias do pedúnculo do caju teve como objetivo manter as características iniciais da fruta *in natura*, utilizando temperaturas que não provocassem alterações na estrutura do material, através da maximização da perda de água e da minimização do ganho de sólidos. A entrada de açúcar na fruta durante o processamento modifica a sua estrutura e o

sabor do produto final (PONTING, 1973), além de permitir o desenvolvimento de uma camada de sólidos na superfície da fruta, resistente a transferência de massa (LENART e GRODECKA, 1989). Segundo MENTING *et al.* (1970), uma incorporação mínima de sólidos durante a desidratação osmótica leva a uma secagem mais rápida, devido ao coeficiente de difusão de água decrescer com o aumento do teor de sólidos. Em relação às características do produto final, a incorporação de açúcar também afeta a reidratação e favorece a retenção do aroma (LAZARIDES *et al.*, 1995).

A maximização da perda de água provoca um aumento da incorporação dos sólidos e, por outro lado, a minimização do ganho de sólidos conduz a baixos valores de perda de água. Sendo assim, a razão ganho de sólidos/perda de água (GS/PA) é um bom indicador do grau que o processo alcança (LAZARIDES *et al.* (1995); RAVINDRA e CHATTOPADHYAY, 2000). A Tabela 4.11 apresenta os valores da razão GS/PA para os dois agentes osmóticos utilizados e as Figuras 4.13 e 4.14 apresentam as curvas de níveis para esta relação na desidratação osmótica do pedúnculo de caju dentro da faixa experimental estudada de temperatura (30 a 50°C), concentração (40 a 60%) e tempo (90 a 240 minutos).

Tabela 4.11- Valores da razão GS/PA

Ensaio	Sacarose	Xarope de milho
	GS/PA	GS/PA
01	6,66	24,25
02	19,13	21,65
03	11,55	20,07
04	10,72	18,79
05	8,462	19,93
06	9,27	25,57
07	11,73	18,83
08	9,49	21,35
09	12,42	31,59
10	11,62	32,71
11	12,76	32,90
12	15,72	58,90
13	14,35	27,40
14	10,15	19,51
15	11,02	17,92
16	9,15	15,23
17	8,96	14,37

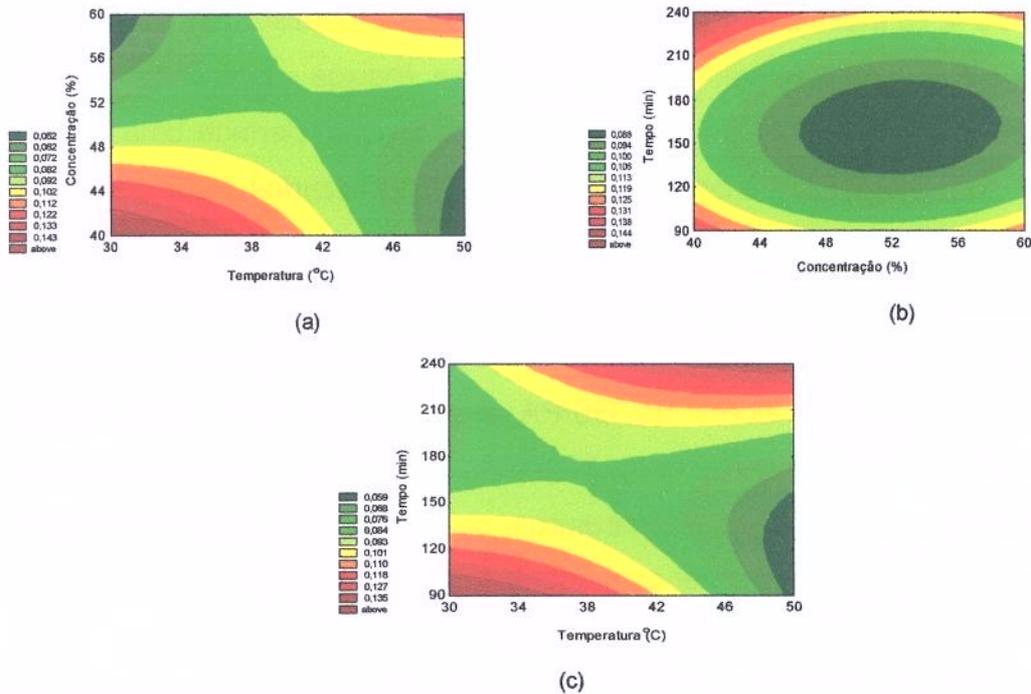


Figura 4.13- Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose a: $t=165$ min (a); $T= 40^{\circ}\text{C}$ (b) e $C=50\%$ (c)

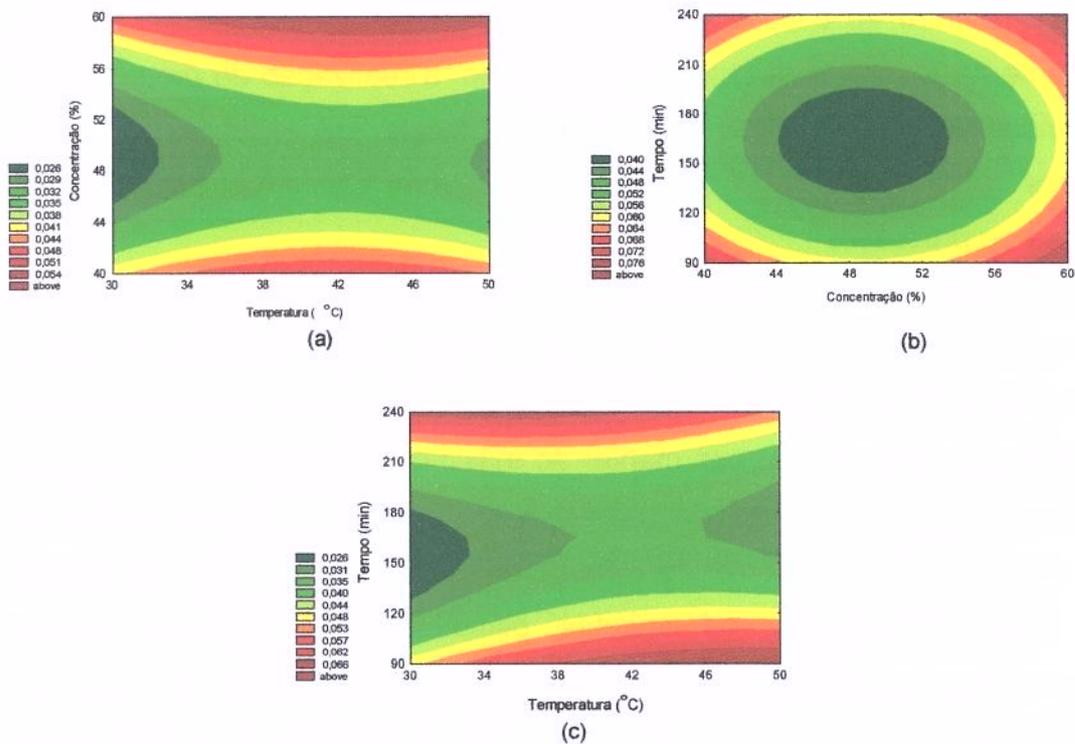


Figura 4.14- Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica do pedúnculo do caju em xarope de milho a: $t=165$ min (a); $T= 40^{\circ}\text{C}$ (b) e $C=50\%$ (c)

A Figura 4.13 mostra que para a otimização do processo de desidratação osmótica do pedúnculo em soluções de sacarose (baixos valores de GS/PA) utilizando tempo intermediário de processo de 165 minutos permite uma grande variabilidade de temperaturas e concentrações a serem utilizadas. Pode-se utilizar tanto a combinação altas concentrações, acima de 50%, e baixas temperaturas, até 38°C, quanto à combinação baixas concentrações, inferiores a 50%, e altas temperaturas, acima de 45°C. Para a desidratação utilizando o tempo mínimo de 90 minutos, os menores valores de GS/PA encontram-se para temperaturas superiores a 45°C e concentrações entre 50 e 56%. Por outro lado, a desidratação por 240 minutos requer a baixas temperaturas, de 30 até 35°C, e concentrações elevadas, de 50 até 60%, para obter os menores valores de GS/PA.

Em relação à otimização do processo utilizando solução de xarope de milho, a Figura 4.14 apresenta as curvas de níveis para a relação GS/PA. Para processos realizados em tempos intermediários de 130 a 200 minutos e concentrações entre 43 e 53%, os mais baixos valores de GS/PA são obtidos, independente da temperatura utilizada. Entretanto, a realização do processo por longos tempos, acima de 220 minutos ou tempos curtos, até 100 minutos, resulta em maiores valores de GS/PA, principalmente quando ocorre um acréscimo na temperatura do processo.

Levando-se em consideração todas as observações realizadas e com a finalidade de se obter máxima perda de água e mínimo ganho de sólidos (menores valores de GS/PA) e também para manter ao máximo as características originais do pedúnculo, escolheu-se três condições ótimas de processo para validar os modelos experimentais de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos (Tabela 4.12) para ambos os agentes osmóticos, procurando-se utilizar temperaturas que provocassem alterações mínimas na estrutura do material. Desse modo, processos realizados com temperaturas próximas a 50°C foram descartados, devido à obtenção de um produto escurecido e com textura diferente da fatia *in natura*, conforme observado anteriormente.

Tabela 4.12- Três condições ótimas de processo escolhidas para validação dos modelos experimentais da desidratação osmótica do pedúnculo do caju com soluções de sacarose e xarope de milho

Condição	T (°C)	C (%)	t (min)
1	30	60	160
2	34	52	165
3	42	44	120

Os resultados experimentais, obtidos no processo de desidratação osmótica nas condições otimizadas escolhidas, as respostas obtidas através dos modelos propostos e os valores do desvio médio relativo P (equação 3.1) encontram-se na Tabela 4.13. Observa-se que os valores preditos pelos modelos do planejamento experimental estão próximos aos valores experimentais, e que os valores de P são inferiores a 7%.

Tabela 4.13- Respostas preditas pelos modelos e observadas experimentalmente para as condições otimizadas

Resposta	Sacarose						P (%)
	Condição 1		Condição 2		Condição 3		
	Observ.	Predito	Observ.	Predito	Observ.	Predito	
PP (%)	34,63	33,88	32,60	32,75	33,07	34,42	2,20
PA (%)	39,94	37,41	38,73	36,61	39,39	37,82	5,55
GS (%)	5,31	5,17	6,12	6,51	6,32	6,51	3,78

Resposta	Xarope de milho						P (%)
	Condição 1		Condição 2		Condição 3		
	Observ.	Predito	Observ.	Predito	Observ.	Predito	
PP (%)	24,27	23,23	26,29	30,60	30,07	29,81	6,47
PA (%)	25,72	28,58	28,27	30,64	32,50	31,51	6,97
GS (%)	1,45	1,46	1,97	1,83	2,43	2,76	6,68

4.2.4.1. Caracterização dos produtos otimizados

A caracterização dos produtos otimizados foi realizada com o objetivo de verificar a variação desses com relação à matéria-prima. A Tabela 4.14 apresenta os resultados experimentais das análises de acidez, atividade de água e açúcares (reduzidos e totais) para os dois agentes osmóticos estudados. Comparando-se com a Tabela 4.1, observa-se a diminuição da acidez após a desidratação osmótica do pedúnculo para as três condições otimizadas de sacarose e de xarope de milho. A condição 2 foi a que apresentou menor valor da acidez, sendo este decréscimo maior ao se utilizar sacarose como agente desidratante. Essa diminuição dos valores pode ter ocorrido devido à saída de ácidos orgânicos da fruta para a solução infusora, conforme observação feita por MORENO *et al.* (2000) na desidratação osmótica de morangos em solução de sacarose. Esse fluxo de ácido parece ter sido responsável pelo escurecimento da solução desidratante. BOLIN *et al.* (1983) observaram que a extração de ácidos de maçãs durante a osmose é o principal fator que leva ao escurecimento da solução, uma vez que ao repetir o mesmo experimento nas mesmas condições estudadas, entretanto sem a fruta, o escurecimento da solução não foi constatado. FORNI *et al.* (1997) perceberam que na desidratação osmótica de damasco a pressão ambiente, o decréscimo da acidez em função do tempo de imersão foi similar quando maltose e sorbitol foram utilizados como agente osmótico, enquanto para sacarose esse decréscimo foi menor.

O aumento do conteúdo de açúcares ocorreu devido à incorporação de sólidos durante o processo de pré-tratamento. As desidratações realizadas com a solução mais concentrada (condição 1) resultaram em um produto com maior teor de açúcares reduzidos que as demais condições. O aumento deste teor em relação à fruta desidratada em solução de sacarose pode ser explicado pela hidrólise parcial da sacarose após penetrar no material.

Os valores de a_w encontrados para a fruta processada foram menores quando soluções mais concentradas de cada soluto foram utilizadas (condições 1 e 2). Comparando os dois agentes osmóticos utilizados, percebe-se o processo realizado com sacarose obteve valores mais baixos de a_w quando comparados à xarope de milho. Como a sacarose penetrou mais rapidamente na fruta, esta conseguiu substituir uma maior parte da água contida nas células. MORENO *et al.* (2000) também relatam que a hidrólise da sacarose contribui para a depressão do valor de a_w .

Apesar do processo osmótico conseguir baixar a a_w do caju, percebe-se a necessidade de um processo adicional, como a secagem, para que valores ainda menores de a_w sejam obtidos e assim o produto não se encontre susceptível a proliferação de microrganismos, principalmente de bactérias, conforme foi apresentado na Tabela 2.4.

Tabela 4.14- Caracterização dos produtos otimizados da desidratação osmótica

Análise	Sacarose		
	Condição 1	Condição 2	Condição 3
Acidez (% fruta fresca)	0,26± 0,01	0,20± 0,01	0,31± 0,01
Açúcares redutores (% fruta fresca)	11,52 ± 0,29	11,50± 0,43	8,19 ± 0,03
Açúcares totais (% fruta fresca)	14,01 ± 0,36	12,76± 0,35	14,35 ± 0,85
a_w	0,968± 0,000	0,970± 0,000	0,975± 0,000
Análise	Xarope de milho		
	Condição 1	Condição 2	Condição 3
Acidez (%fruta fresca)	0,42± 0,02	0,42± 0,01	0,40± 0,01
Açúcares redutores (%fruta fresca)	9,28± 0,17	8,03 ± 0,18	7,86 ± 0,27
Açúcares totais (%fruta fresca)	9,81 ± 0,13	9,18 ± 0,07	8,64 ± 0,05
a_w	0,986± 0,000	0,983± 0,000	0,987± 0,000

A influência do processo osmótico no conteúdo de ácido ascórbico (vitamina C) do caju é apresentada na Tabela 4.15. Observa-se que todas as condições de processamento resultaram em perda de vitamina C. QUERIDO (2000) obteve perdas de 16,97 e 25,22% na desidratação de fatias de caju a pressão ambiente e em solução de sacarose (64,5°Brix) por períodos de imersão de 180 min (35°C) e 100 min (40°C), respectivamente.

Tabela 4.15- Influência do processamento no teor de ácido ascórbico (vitamina C)

Ácido Ascorb.	Fruta fresca	Sacarose			Xarope de milho		
		1	2	3	1	2	3
mg/100g fruta tratada		205,77	196,27	173,49	178,58	177,00	162,91
mg/100g fruta fresca	204,78	133,36	130,53	114,58	134,37	130,30	116,61
Perda (%)		34,98	36,26	44,05	34,38	36,37	43,06

As perdas observadas para os dois solutos testados foram idênticas para a mesma condição de desidratação. Resultados semelhantes foram encontrados por VIAL *et al.* (1991) na desidratação de kiwi em soluções de sacarose, de glicose e da mistura sacarose/açúcar invertido.

Perdas maiores de vitamina C foram obtidas quando a temperatura de 42°C foi utilizada (condição 3). Utilizando baixas temperaturas, a perda de ácido ascórbico durante o processo osmótico pode ser atribuída ao fluxo de saída desta vitamina do produto para a solução desidratante, conforme observações também feitas por ISLAM e FLINK (1982) durante o processo osmótico de fatias de batata em soluções de sacarose/NaCl. Em processos realizados com altas temperaturas, a degradação química, além da difusão, também contribuiu para essas perdas. Resultados similares foram observados por VIAL *et al.* (1991) na desidratação osmótica de kiwi. Apesar das perdas obtidas, o teor de vitamina C presente no pedúnculo do caju desidratado osmoticamente é superior aos valores relatados na literatura para frutas frescas como banana, goiaba, laranja e limão.

4.3. Secagem HTST

Os resultados das respostas de conteúdo de umidade e densidade na secagem HTST das fatias do pedúnculo do caju, de acordo com o planejamento experimental proposto, encontram-se na Tabela 4.16. A expansão das amostras foi observada apenas quando temperaturas próximas ao nível mais alto (170°C) foram utilizadas. Entretanto, no momento da retirada das amostras do secador de leite fluidizado houve um colapso no volume expandido. Tal fato também foi observado por CARDOSO (1998) na secagem de banana a altas temperaturas em secador de leite fluidizado.

Os ensaios realizados por 15 minutos na temperatura de 170°C resultaram na formação de coloração marrom na superfície das fatias, que apresentaram aparência de queimadas.

Tabela 4.16- Valores de umidade e densidade obtidos experimentalmente na secagem a altas temperaturas por curto tempo do pedúnculo do caju

T (°C)	t (min)	C _a (%)	t _a (min)	X (%)	d (g/cm ³)
130	5	2	2	83,36	1,21
170	5	2	2	75,08	1,03
130	15	2	2	66,76	1,10
170	15	2	2	43,92	0,99
130	5	6	2	81,45	1,15
170	5	6	2	73,71	1,04
130	15	6	2	77,27	1,11
170	15	6	2	48,54	1,01
130	5	2	10	81,24	1,21
170	5	2	10	76,89	1,01
130	15	2	10	61,84	1,07
170	15	2	10	31,87	0,99
130	5	6	10	85,24	1,22
170	5	6	10	80,88	1,12
130	15	6	10	74,90	1,11
170	15	6	10	53,80	1,01
150	10	4	6	75,62	1,11
150	10	4	6	73,86	1,10
150	10	4	6	75,31	1,10

4.3.1. Umidade

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de umidade mostram que o tempo de imersão no amido gelatinizado e as interações temperatura-concentração e temperatura-tempo de imersão no amido não são significativos a $p \leq 0,05$ (Tabela 4.17). Entre os parâmetros significativos (em negrito), o tempo de secagem exerce maior efeito na umidade, seguido da temperatura.

Tabela 4.17- Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para a umidade do pedúnculo do caju na secagem HTST

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	Significância estatística
Temperatura	-15,92	0,47	0,00
Tempo secagem	-22,37	0,47	0,00
Concentração amido	6,85	0,47	0,00
Tempo amido	-0,43	0,47	0,46
Temperat.*tempo	-9,74	0,47	0,00
Temperat.*conc. amido	0,44	0,47	0,45
Temperat.*tempo amido	0,98	0,47	0,17
Tempo sec.*conc. amido	5,68	0,47	0,01
Tempo sec.*tempo amido	-3,09	0,47	0,02
Conc. amido*tempo amido	3,89	0,47	0,01

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, verificou-se através da Análise de Variância (ANOVA) a significância da regressão e da falta de ajuste do modelo ao nível de 95% de confiança (Tabela 4.18). O modelo obtido para a umidade foi considerado preditivo, pois apresentou regressão significativa, falta de ajuste não significativa e R^2 superior a 0,96.

Tabela 4.18- Análise de Variância do modelo ajustado para umidade no processo de secagem HTST de fatias do pedúnculo de caju

Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	7	3810,16	544,31	41,24	3,01
Resíduo	11	145,15	13,20		
Falta de ajuste	9	143,38	15,93	17,90	19,38
Erro puro	2	1,78	0,89		
Total	18	3955,32			

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

O modelo proposto para descrever a umidade na secagem HTST de fatias de caju é:

$$X (\%) = 83,057 + 0,089 T + 4,466 t - 2,414 C_a - 0,049 T.t + 0,284 tC_a - 0,089 t.t_a + 0,215 C_a.t_a \quad (4.7)$$

As superfícies de resposta geradas pelo modelo proposto são mostradas na Figura 4.15, considerando as variáveis que exercem maior influência no processo. Verifica-se que o processo de secagem HTST pode reduzir o conteúdo de umidade do material consideravelmente e que a umidade do produto decresce com o aumento da temperatura e do tempo de secagem. Entretanto, como mencionado anteriormente, para os ensaios realizados nas condições máximas de temperatura e tempo houve o escurecimento não enzimático do produto, que apresentou um aspecto de queimado, tornando-o inaceitável.

Em relação ao amido gelatinizado, os resultados indicaram a formação de uma camada rígida e expansível na superfície. Entretanto, a imersão em soluções mais concentradas aumentou a resistência à migração de água para a superfície do sólido quando tempos de secagem superiores a 9 minutos foram utilizados.

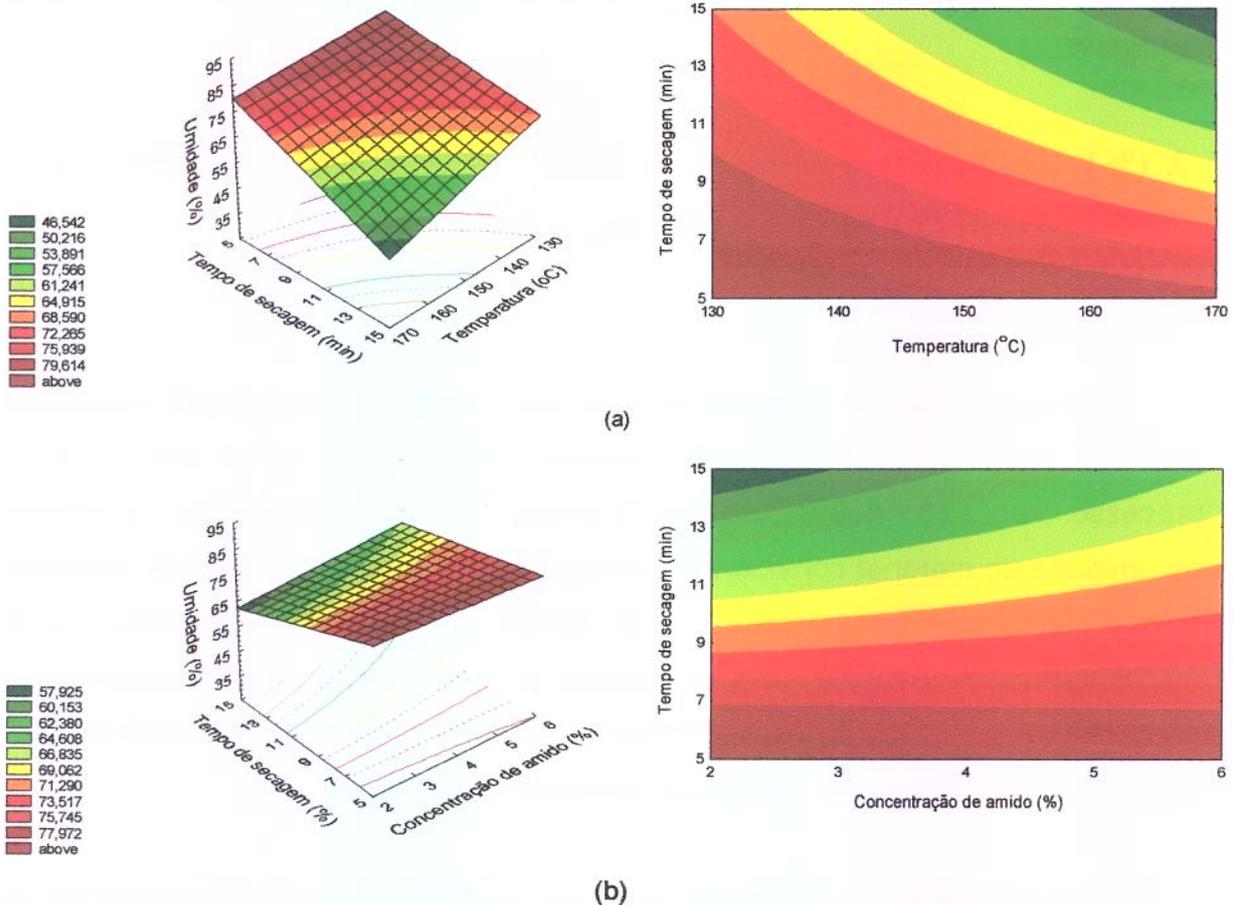


Figura 4.15- Superfícies de resposta e curvas de nível para a umidade do pedúnculo do caju na secagem HTST a: $C_a=2\%$ e $t_a=2$ min; $T=150^\circ\text{C}$ e $t_a=2$ min

4.3.2. Densidade

Os efeitos dos parâmetros estudados na densidade das fatias de caju pré-tratadas por secagem HTST são mostradas na Tabela 4.19. Assim como observado para a umidade, o tempo de imersão no amido e a interação temperatura-tempo de imersão no amido não foram significativos ao nível de 95% de confiança. Além destes, a interação tempo de imersão-concentração de amido também não foi significativa. Os parâmetros que exerceram maior influência sobre a resposta foram a temperatura e o tempo de secagem.

Tabela 4.19- Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para a densidade do pedúnculo do caju na secagem HTST

Fatores	Efeito estimado	Erro puro	Significância estatística
Temperatura	-0,12	0,00	0,00
Tempo secagem	-0,08	0,00	0,00
Concentração amido	0,02	0,00	0,02
Tempo amido	0,012	0,00	0,05
Temperat.*tempo	0,03	0,00	0,01
Temperat.*conc. amido	0,02	0,00	0,02
Temperat.*tempo amido	-0,00	0,00	0,77
Tempo sec.*conc. amido	0,00	0,00	0,49
Tempo sec.*tempo amido	-0,02	0,00	0,02
Conc. Amido*tempo amido	0,03	0,00	0,01

Eliminado os efeitos não significativos, realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) para verificar a significância da regressão e da falta de ajuste através do teste F (Tabela 4.20). Observa-se que o modelo apresentou regressão significativa e falta de ajuste não significativa ($p \leq 0,05$). O coeficiente de correlação obtido foi superior a 0,94 e o modelo foi considerado preditivo.

Tabela 4.20- Análise de Variância do modelo ajustado para densidade no processo de secagem HTST do pedúnculo do caju

Fonte de variação	GL	SQx10 ²	MQ x10 ²	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	7	9,35	1,34	26,80	3,01
Resíduo	11	0,52	0,05		
Falta de ajuste	9	0,51	0,06	6,00	19,38
Erro puro	2	0,01 ⁴	0,01		
Total	18	9,87			

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

O modelo proposto para descrever a umidade na secagem HTST de fatias de caju é:

$$\begin{aligned}
 d \text{ (g / cm}^3\text{)} = & 1,965 - 0,0055 T - 0,0255 t - 0,0422 C_a + \\
 & + 0,0001 T.t + 0,0003 T.C_a - 0,0005 t.t_a \\
 & + 0,0016 C_a t_a
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

As superfícies de resposta geradas pelo modelo proposto são mostradas na Figura 4.16. Constata-se um considerável efeito das condições de operação sobre

a densidade, principalmente a temperatura e o tempo de secagem. A diminuição da densidade confirma a observação visual da extensão da expansão, uma vez que quanto menor o seu valor, maior o volume e, portanto, maior a expansão.

Para as temperaturas intermediárias (em torno de 150°C) é possível obter baixos valores de densidade para tempos de processo acima de 12 minutos. Para temperaturas altas (acima de 160°C) valores ainda menores podem ser obtidos, permitindo a redução do tempo de processo. Quando tempos de secagem inferiores a 10 minutos foram utilizados, maiores valores de densidade foram obtidos, independentes da concentração de amido utilizada.

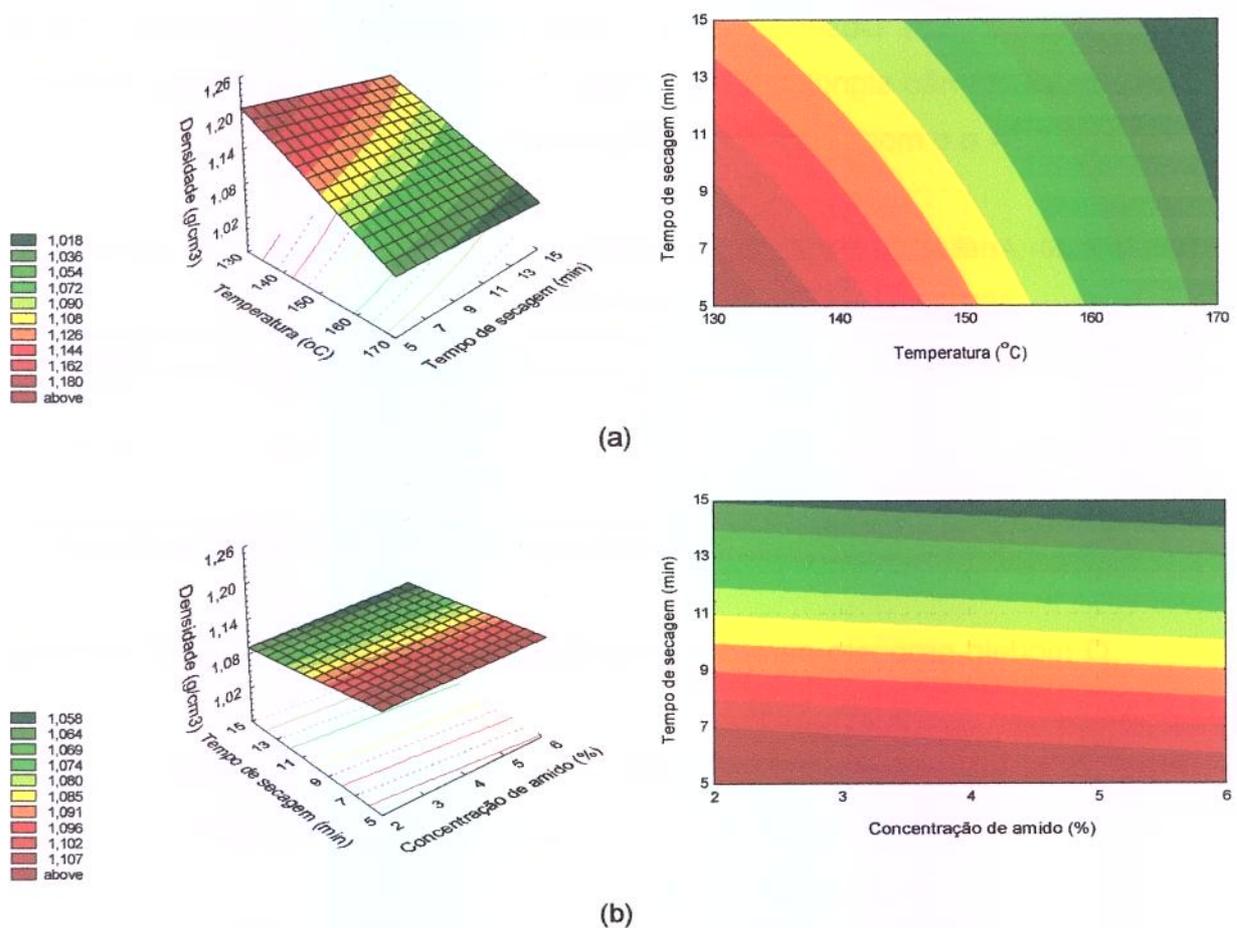


Figura 4.16- Superfícies de resposta e curvas de nível para a densidade do pedúnculo do caju na secagem HTST a: $C_a=2\%$ e $t_a=2$ min; $T=150^\circ\text{C}$ e $t_a=2$ min

4.3.3. Otimização do processo de secagem HTST

A otimização do processo de secagem HTST de fatias de caju foi feita com o objetivo de obter o máximo *puffing*, através de baixos valores de densidade, aliada a condições de processamento que não afetassem a aparência do produto seco. Dessa forma, levando-se em consideração as observações feitas anteriormente, escolheu-se uma condição ótima (Tabela 4.21) e os modelos propostos foram testados. Observa-se que os valores experimentais obtidos estão próximos aos valores preditos pelos modelos. Nessa condição ótima, o produto obtido apresentou um teor de ácido ascórbico de 120,244mg/100g fruta fresca e atividade de água de 0,865. Observa-se a sensibilidade dessa vitamina à oxidação pelo calor, resultando em 42% de perda em apenas 10 minutos de processamento. Em relação à atividade de água, o produto obtido ainda se encontra susceptível à proliferação de microrganismos.

Tabela 4.21- Valores de temperatura (T), tempo de secagem (t), concentração de amido (C_a) e tempo de imersão no amido (t_a) utilizados para validar os modelos experimentais de umidade e densidade na secagem HTST do pedúnculo do caju

	T (°C)	t (min)	C_a (%)	t_a (min)
Cond. ótima	160	10	2	2
	X (%)		d (g/cm ³)	
Observado	64,22		1,00	
Predito	63,49		1,00	

4.4. Secagem convectiva

4.4.1. Cinética de secagem convectiva

Os dados experimentais de secagem foram obtidos para o caju *in natura* e pré-tratado. No pré-tratamento osmótico, as amostras foram imersas em soluções de sacarose e xarope de milho na condição ótima 2 descrita no item 4.2.4. Nesta condição, as amostras apresentaram menores valores de acidez, de açúcares e perdas de ácido ascórbico em torno de 36%. Em relação à secagem HTST, a condição ótima escolhida foi o processamento a 160°C por 10 minutos, conforme discutido no item 4.3.3.

Os parâmetros utilizados foram temperatura de secagem a 50, 60 e 70°C e velocidade do ar de 2,10 m/s, levando-se em consideração a umidade relativa do ar de secagem, que variou de acordo com a Tabela 4.22.

Tabela 4.22- Valores de umidade relativa (UR) do ar de secagem para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratada osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco HTST (FHTST)

T (°C)	UR (%)			
	FIN	FDOS	FDOX	FHTST
50	16,8	16,0	18,7	13,3
60	10,0	10,0	11,2	8,8
70	6,7	8,4	5,6	5,5

As Figuras 4.17 a 4.20 mostram o termo adimensional de umidade em função do tempo. Percebe-se a influência da temperatura na cinética de secagem, uma vez que maiores valores deste parâmetro resultam na diminuição do tempo de secagem das amostras.

As amostras de caju *in natura* apresentaram comportamento bastante similar quando temperaturas de secagem de 50 e 60°C foram utilizadas. Para a fruta pré-tratada em xarope de milho o mesmo comportamento foi observado

nesta faixa de temperatura, enquanto que para as amostras previamente imersas em solução de sacarose e para as pré-tratadas por HTST o processo realizado a 60 e 70°C apresentou uma inclinação bastante semelhante entre si.

As amostras que sofreram pré-tratamento atingiram a condição de equilíbrio em menor tempo, entretanto com valores de umidade superiores à fruta *in natura*. Tal comportamento, também observado por ISLAM e FLINK (1982) e EL-AOUAR (2001) na secagem de batata e mamão pré-tratados por osmose, respectivamente, pode ser explicado pelo fato do ganho de sólidos aliado à perda de água no processo osmótico resultar em um produto que oferece maior dificuldade à saída de água durante a secagem, uma vez que a água que estava mais livre foi retirada durante o pré-tratamento.

Percebeu-se que o aumento da temperatura não implicou na redução da umidade de equilíbrio dinâmico das amostras, exceto para a fruta desidratada em solução de sacarose, onde nota-se uma pequena diferença na variação deste parâmetro entre o processo realizado a 70°C e as demais condições de temperatura.

BOLIN (1991) estudou a relação entre a umidade de equilíbrio de ameixa em função da umidade relativa do ar nas temperaturas de 25 e 35°C e verificou que a dependência destas curvas da temperatura foi praticamente desprezível. AZOUBEL (1999) também encontrou resultados semelhantes para o tomate cereja a 50 e 70°C.

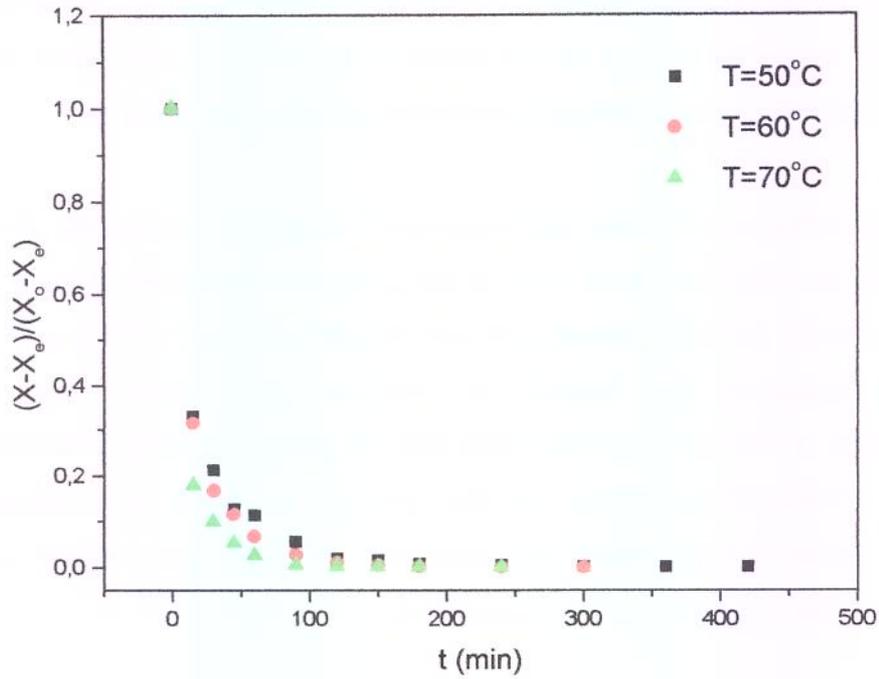


Figura 4.17- Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju *in natura*

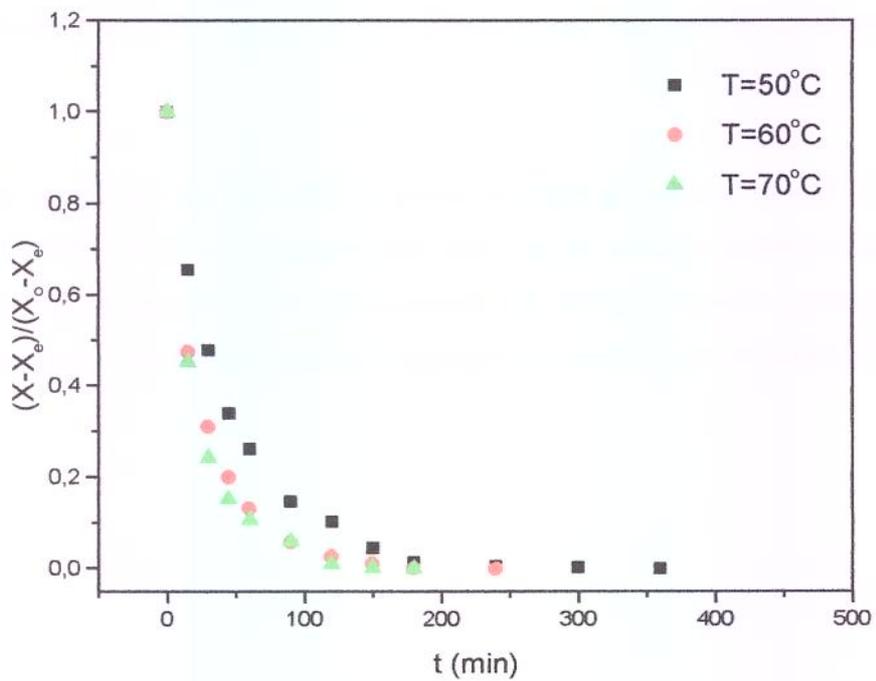


Figura 4.18- Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em solução de sacarose

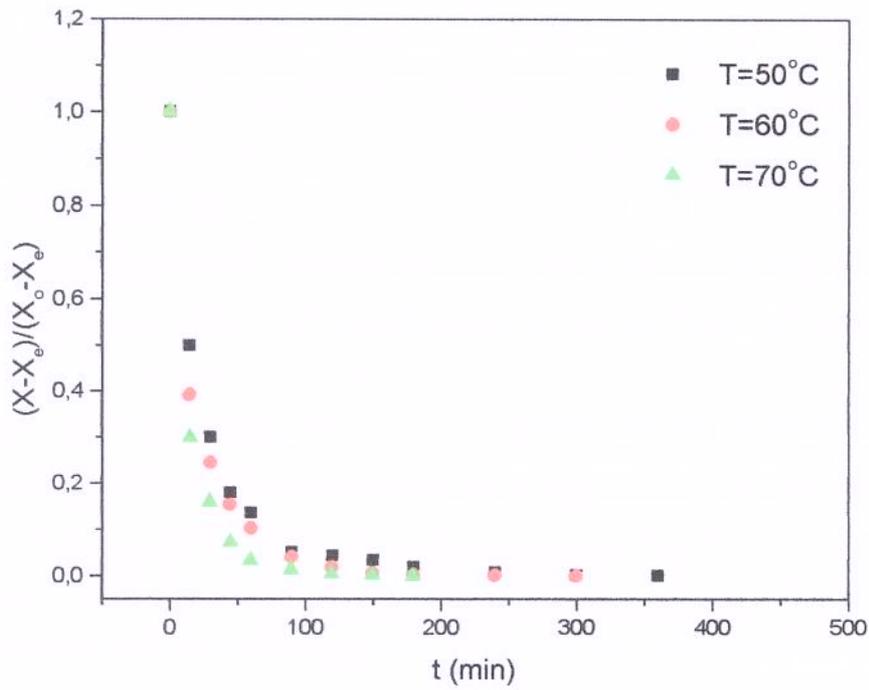


Figura 4.19- Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em xarope de milho

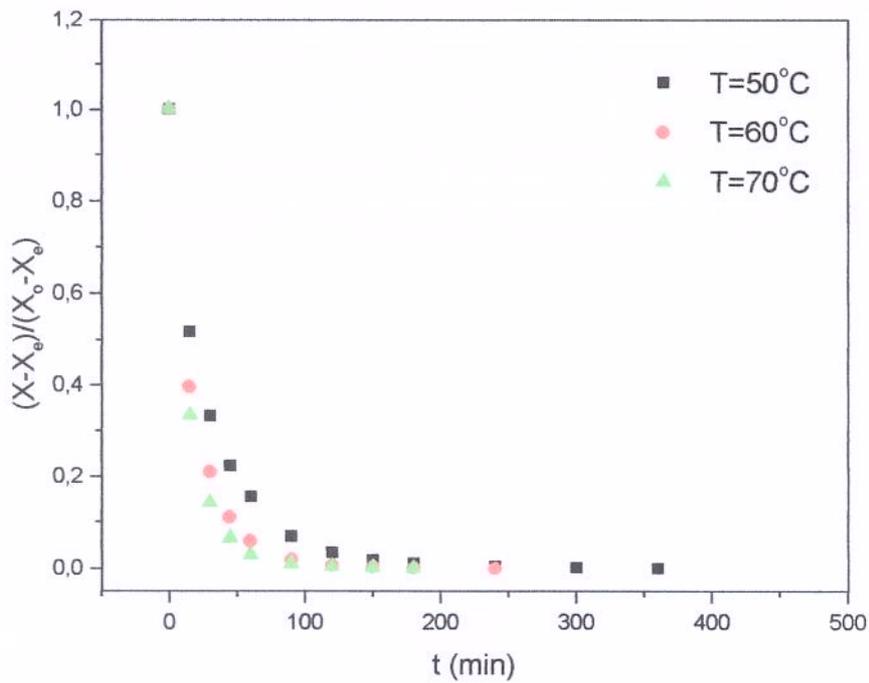


Figura 4.20- Efeito da temperatura na secagem do pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST

A taxa de secagem em função do conteúdo de umidade é mostrada nas Figuras 4.21 a 4.23. Comparando as figuras é possível observar que, para uma mesma faixa de umidade, as amostras pré-processadas por secagem HTST apresentaram taxas similares às da *in natura* nas temperaturas de 50 e 60°C. Já as amostras pré-tratadas em solução de sacarose exibiram as menores taxas, ou seja, secam mais lentamente que as demais amostras. Tal fato pode ser explicado sabendo-se que a água é ligada a matriz sólida de várias maneiras: capilares, ligações químicas com os constituintes sólidos, entre outras. Dessa forma, as diferenças observadas podem estar relacionadas às mudanças que ocorrem na composição do produto durante o processo osmótico. RAHMAN e LAMB (1991), ao estudar a influência da desidratação osmótica em solução de sacarose na secagem convencional de abacaxi verificaram que a fruta pré-tratada apresentou menores taxas de processo. Segundo os autores, um material higroscópico como a sacarose contém sítios polares que atraem a água, resultando em maior resistência à transferência de massa durante o processo de secagem.

Um outro estudo desenvolvido por LEWICKI *et al.* (1998) observou que a secagem de cebolas previamente imersas em água a 20°C por 30 minutos resultou em menor tempo de secagem quando comparadas com a cebola sem pré-tratamento. A imersão do vegetal em água provocou a perda de substâncias solúveis, resultando em maiores taxas no processo de secagem.

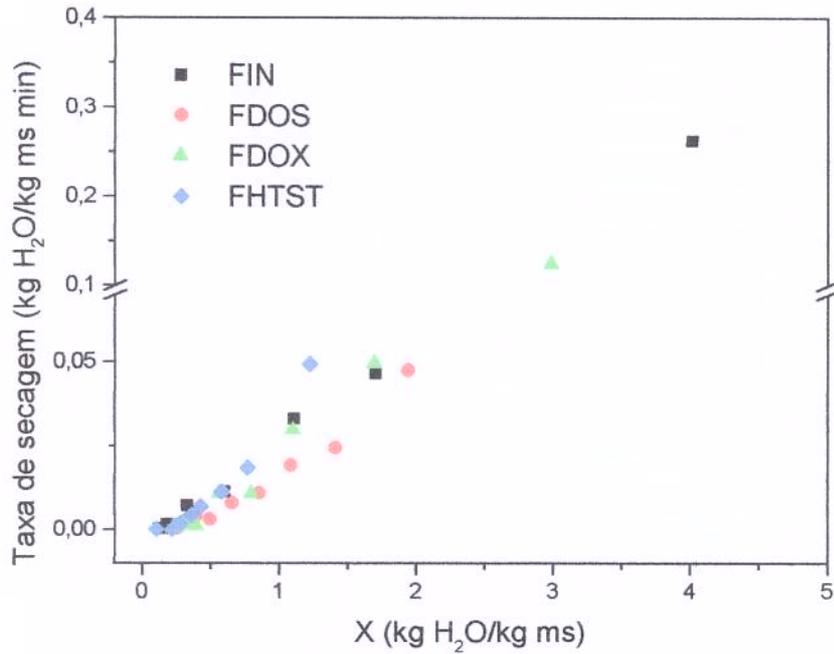


Figura 4.21- Taxa de secagem a $T= 50^{\circ}\text{C}$ do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST)

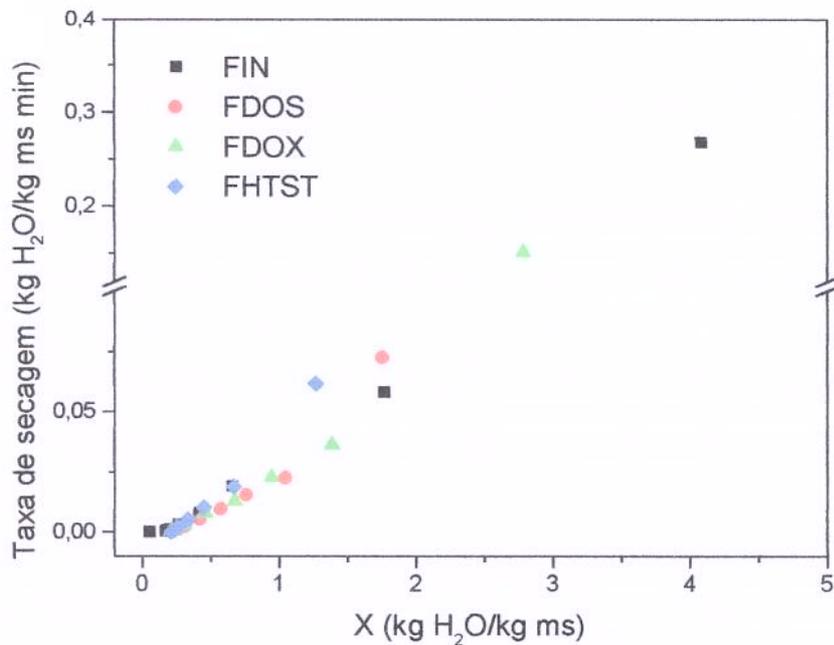


Figura 4.22- Taxa de secagem a $T= 60^{\circ}\text{C}$ do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST)

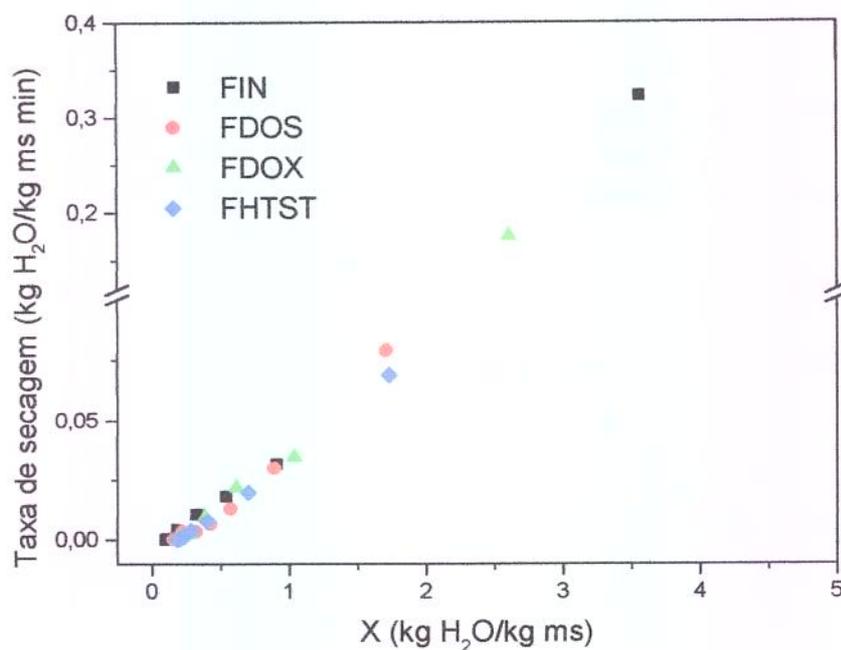


Figura 4.23- Taxa de secagem a $T = 70^{\circ}\text{C}$ do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST)

4.4.2. Modelagem matemática da secagem convectiva

O período de secagem a taxa constante não foi observado em nenhuma das condições estudadas (Figuras 4.21 a 4.23). Dessa forma, o modelo difusional de Fick considerando geometria de placa plana infinita foi utilizado para a modelagem da secagem e cálculo da difusividade efetiva (D_{ef}). Os dados experimentais também foram ajustados utilizando-se o modelo de Page.

A difusividade efetiva foi calculada utilizando-se o primeiro termo da série, conforme descrito na equação 2.3. As Figuras 4.24 a 4.27 mostram o ajuste do modelo difusional para o caju "in natura" e pré-tratado nas temperaturas de 50, 60 e 70°C . A Tabela 4.23 apresenta os valores encontrados para a difusividade, bem como os respectivos coeficientes de correlação (R^2) e erros médios (P).

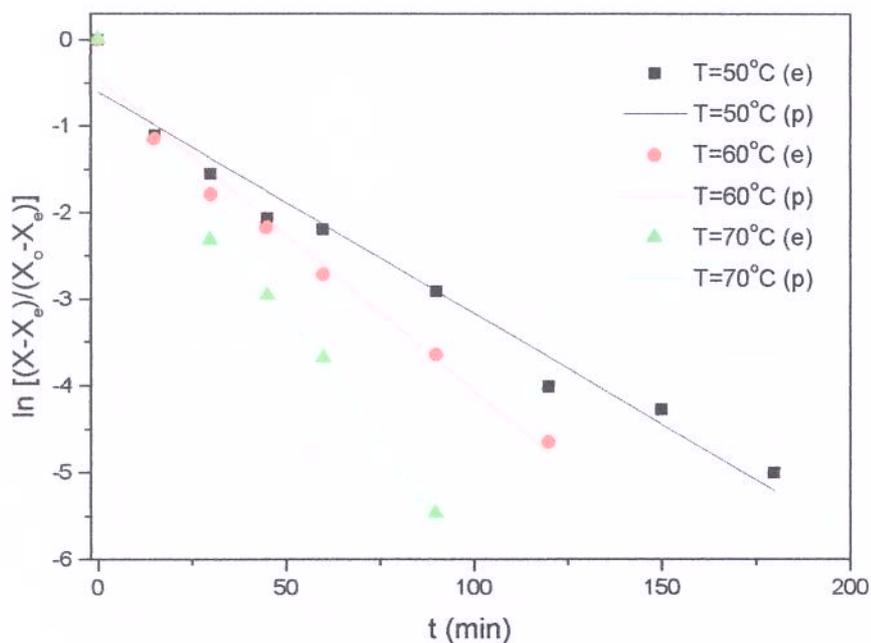


Figura 4.24- Modelo difusional para o pedúnculo do caju *in natura*: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

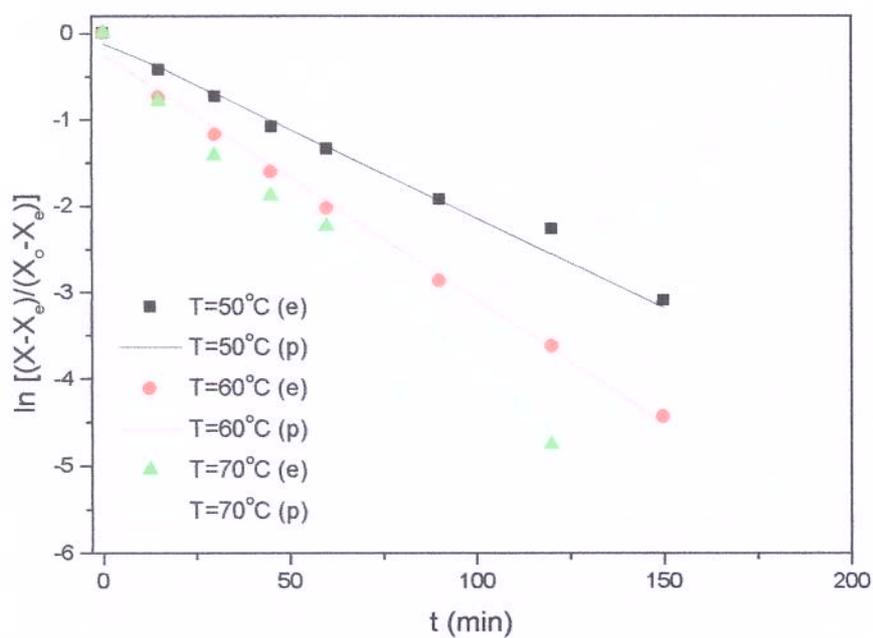


Figura 4.25- Modelo difusional para o pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em solução de sacarose: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

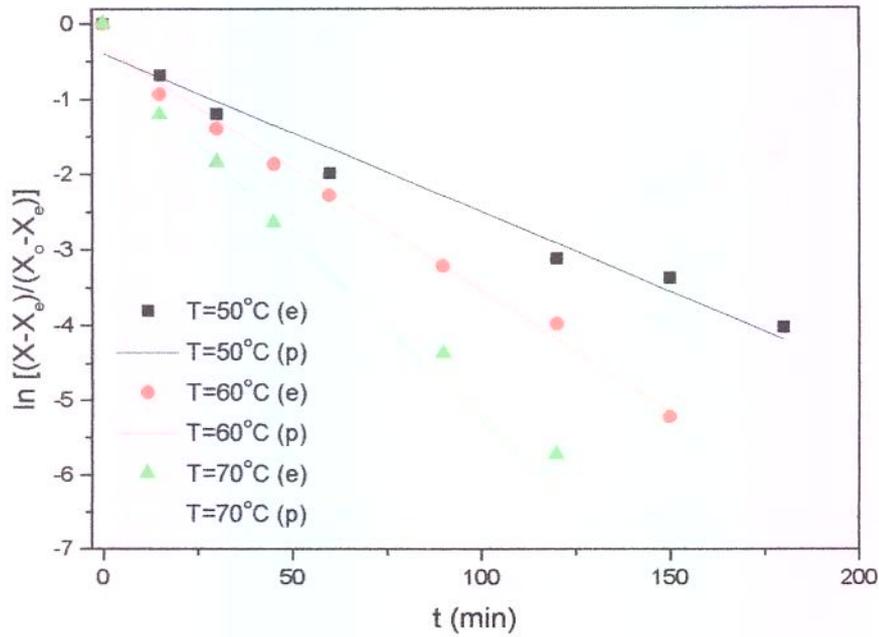


Figura 4.26- Modelo difusional para o pedúnculo do caju desidratado osmoticamente em xarope de milho: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

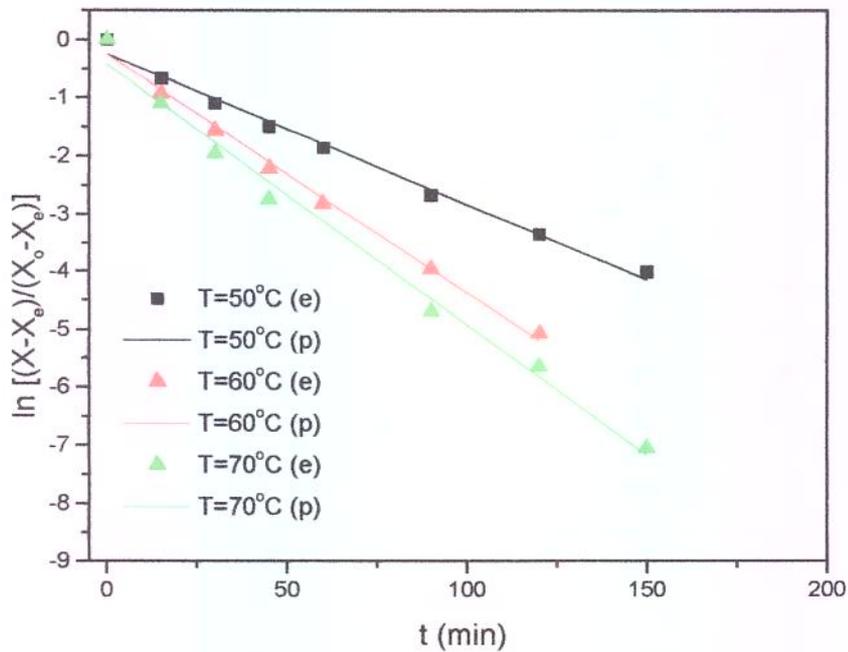


Figura 4.27- Modelo difusional para o pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

Tabela 4.23- Valores de D_{ef} , R^2 e P para o pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratada osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST)

Amostra	T (°C)	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² /s)	R^2	P (%)
FIN	50	10,82	0,97	7,02
	60	15,27	0,98	6,97
	70	25,00	0,99	5,08
FDOS	50	8,23	0,99	5,78
	60	12,03	0,99	4,28
	70	15,68	0,98	7,76
FDOX	50	8,57	0,97	8,24
	60	13,68	0,99	9,80
	70	20,69	0,99	6,20
FHTST	50	10,97	0,99	3,45
	60	17,40	0,99	4,19
	70	19,00	0,99	7,67

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que o aumento da temperatura favorece ao processo de transferência de massa e, conseqüentemente, ao aumento da difusividade efetiva. Os valores mais baixos do coeficiente de difusão foram obtidos para as amostras pré-processadas em solução de sacarose, ou seja, o coeficiente de difusão diminui com aumento do ganho de sólidos durante a osmose (D_{ef} é função do conteúdo de umidade), uma vez que o pré-tratamento com sacarose resulta em um produto com cerca de 6% de ganho de sólidos, enquanto para o xarope de milho a incorporação de sólidos não passa de 2%.

MAZZA (1983) observou que ao aumentar a concentração de sacarose de 5 para 60% (conseqüentemente aumentando o ganho de sólidos durante o pré-processo) a taxa de secagem decresce. Segundo o autor, este fato ocorreu devido à cristalização da sacarose durante processo de secagem diminuir a difusividade do vapor d'água e dificultar a transferência de calor e à redução da pressão de vapor d'água no produto em conseqüência da dissolução do açúcar. Assim, a diferença da pressão de vapor entre o ar e o produto diminui, resultando em menores taxas no processo.

Os valores de difusividade efetiva encontrados neste estudo são da mesma ordem de magnitude dos reportados na literatura para frutas: $3,21-12,67 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para a maçã a $30-60^\circ\text{C}$ e $1,98-9,79 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para maçã osmoticamente desidratada a $30-90^\circ\text{C}$ (SIMAL *et al.*, 1997); $0,30-0,94 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para o tomate cereja a $50-70^\circ\text{C}$ e $0,30-0,54 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para o tomate cereja pré-tratado a $50-70^\circ\text{C}$ (AZOUBEL, 1999), $0,32-10,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para o abacaxi a $50-80^\circ\text{C}$ e $0,39-10,50 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para o abacaxi pré-processado a $50-80^\circ\text{C}$ (UDDIN *et al.*, 1990). O único valor de difusividade efetiva de frutas pré-processadas por secagem HTST encontrado na literatura foi o relatado por CARDOSO (1998) para a banana, que foi de $3,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, da mesma ordem de grandeza do valor obtido para o caju neste estudo.

As Figuras 4.28 e 4.31 mostram o ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Page para as amostras com e sem pré-tratamento. Os parâmetros do modelo obtidos estão apresentados na Tabela 4.24. Observa-se que o modelo de Page obteve um bom ajuste, podendo ser utilizado para predição da cinética de secagem do caju nas condições experimentais utilizadas neste estudo.

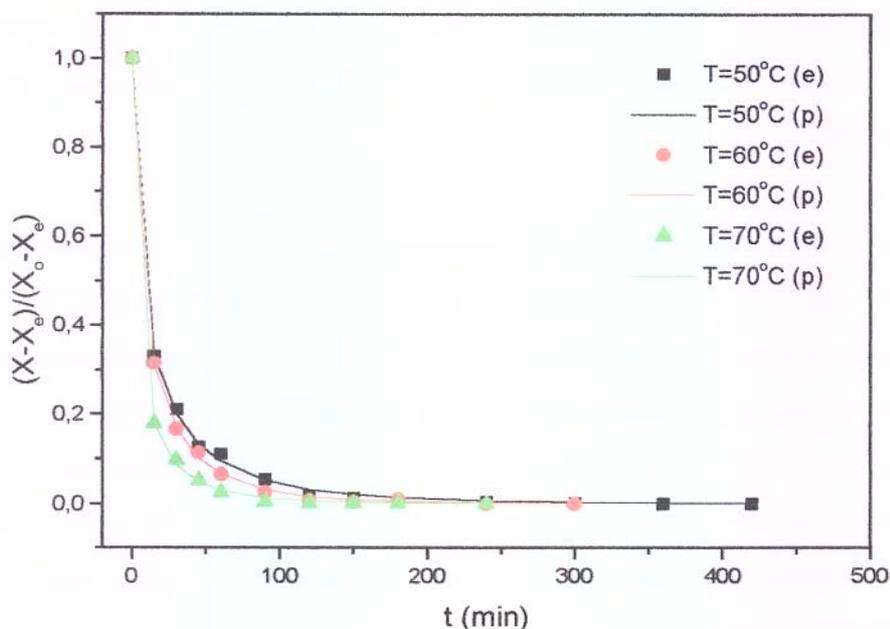


Figura 4.28- Modelo de Page para o pedúnculo do caju *in natura*: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

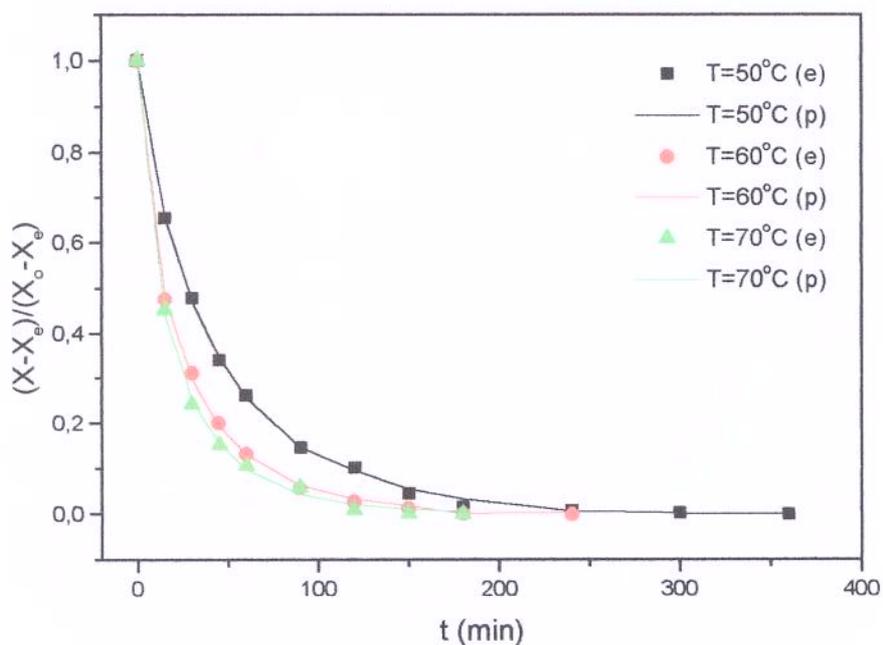


Figura 4.29- Modelo de Page para o pedúnculo do caju osmoticamente desidratado em solução de sacarose: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

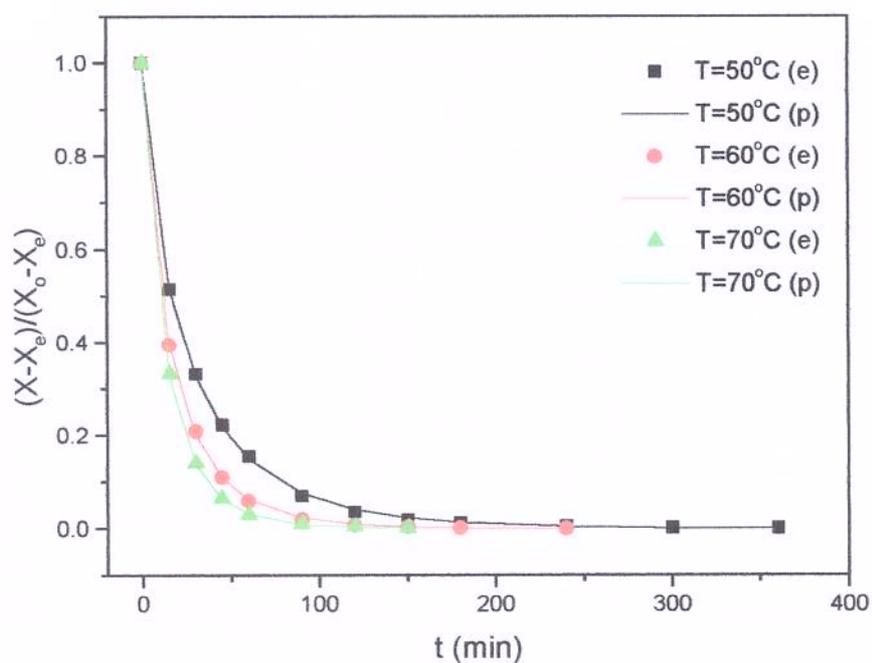


Figura 4.30- Modelo de Page para o pedúnculo do caju osmoticamente desidratado em xarope de milho: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

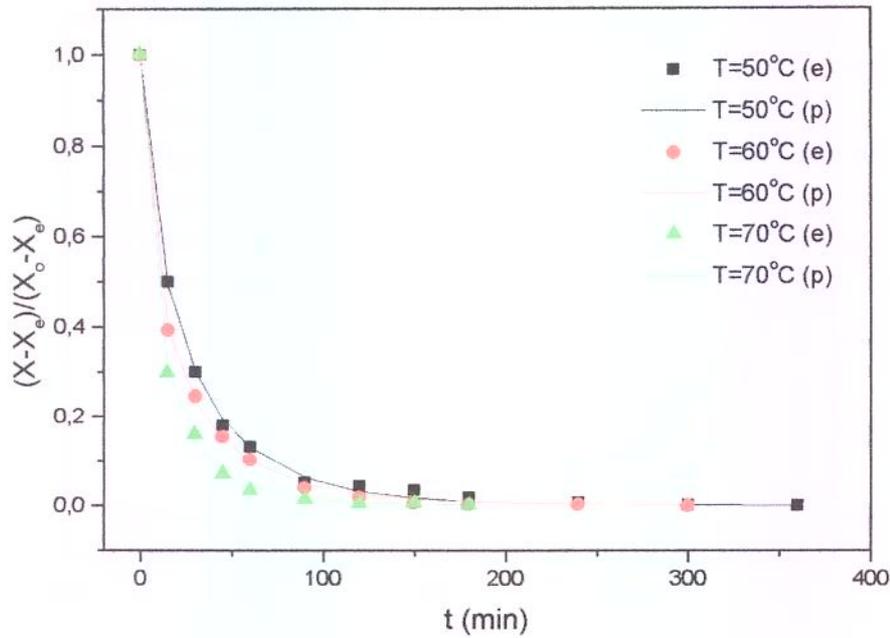


Figura 4.31- Modelo de Page para o pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST: (e) dados experimentais; (p) valores preditos pelo modelo

Tabela 4.24- Valores de K, b, R² e P para o modelo de Page para a fruta *in natura* (FIN), desidratada osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e seco por HTST (FHTST)

Amostra	T (°C)	K	b	R ²	P (%)
FIN	50	0,25	0,55	1,00	15,03
	60	0,22	0,62	1,00	13,93
	70	0,41	0,52	1,00	7,85
FDOS	50	0,04	0,84	1,00	5,15
	60	0,09	0,75	1,00	6,63
	70	0,10	0,76	1,00	7,02
FDOX	50	0,09	0,76	1,00	9,35
	60	0,15	0,67	1,00	10,23
	70	0,18	0,71	1,00	10,59
FHTST	50	0,08	0,77	1,00	7,61
	60	0,11	0,79	1,00	8,00
	70	0,12	0,83	1,00	13,45

4.4.3. Energia de ativação

A energia de ativação é um importante parâmetro do processo de secagem, uma vez que indica a dependência da difusividade da temperatura da amostra. Ela é calculada através da equação de Arrhenius, dada por:

$$D_{ef} = A \exp\left(\frac{E_a}{R(T + 273)}\right) \quad (4.9)$$

Onde:

E_a : energia de ativação (kJ/mol);

A: constante;

R: constante universal dos gases ($8,314 \times 10^{-3}$ kJ/mol K);

T: temperatura (°C).

Esta equação apresenta-se como função linear relacionada com o logaritmo da difusividade e o inverso da temperatura.

Os valores da energia de ativação obtidos usando os valores da difusividade estimados pelo modelo difusional são apresentados na Tabela 4.25. Para o pedúnculo do caju sem pré-tratamento, os valores obtidos estão próximos aos encontrados na literatura para frutas como o abacaxi (35,5 kJ/mol), a maçã (39,7 kJ/mol) e a banana (38,8 kJ/mol), conforme estudos realizados por UDDIN *et al.* (1990), SIMAL *et al.* (1997) e JOHNSON *et al.* (1998), respectivamente.

Observa-se ainda que a amostra que sofreu o pré-tratamento de secagem HTST apresentou o menor valor, seguido da amostra previamente desidratada em solução de sacarose, indicando menor dependência da difusividade em relação à temperatura na secagem convectiva dessas amostras. SIMAL *et al.* (1997) também obteve valor mais baixo de energia de ativação para a maçã pré-processada osmoticamente em solução de sacarose a 70°Brix (24,0 kJ/mol) em relação a fruta fresca.

Tabela 4.25- Energia de ativação

Amostra	E_a (kJ/mol)	R^2
FIN	38,49	0,99
FDOS	29,73	0,99
FDOX	40,62	1,00
FHTST	25,46	0,88

4.4.4. Caracterização do produto final

O produto final foi avaliado através do teor de ácido ascórbico (vitamina C), da atividade de água (a_w) e da densidade (d). Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.26, 4.27 e 4.28.

Pela Tabela 4.26 percebe-se a sensibilidade da vitamina C à oxidação pelo calor. À medida que a temperatura aumentou, menores teores desta vitamina foram obtidos, principalmente quando a temperatura de 70°C foi utilizada. Nota-se também que o pré-tratamento não foi suficiente para proteger a fruta das oxidações durante a secagem, uma vez que as amostras pré-processadas apresentaram maiores perdas de vitamina C. Tais comportamentos podem ter ocorrido devido à solubilidade do ácido ascórbico em água durante o processo de desidratação osmótica, à sua sensibilidade à temperatura e ao fato deste ser facilmente oxidado, conforme observado por ISLAM e FLINK (1982), JAYARAMAN *et al.* (1990) e AZOUBEL (1999) na secagem de batata, couve-flor e tomate cereja, respectivamente, com e sem pré-tratamento osmótico.

Tabela 4.26- Teor de ácido ascórbico para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

T (°C)	Ácido ascórbico (mg/100g fruta fresca)			
	FIN	FDOS	FDOX	FHTST
50	72,67	59,05	59,11	62,03
60	57,77	51,52	48,45	52,48
70	49,92	39,98	34,77	41,64

Pela Tabela 4.27 nota-se que o aumento da temperatura provocou a diminuição da atividade de água. O pré-tratamento por secagem HTST foi mais satisfatório para promover o abaixamento da atividade de água das amostras. Para todas condições estudadas é possível prevenir a deterioração do produto em relação às bactérias patogênicas, uma vez que o crescimento destas cessa em atividades de água abaixo de 0,9 (Tabela 2.4). Entretanto, para a fruta *in natura* processada a 50°C tem-se um produto que ainda permite o desenvolvimento de bolores xerófilos e leveduras.

Tabela 4.27- Atividade de água para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

T (°C)	a_w			
	FIN	FDOS	FDOX	FHTST
50	0,72	0,47	0,48	0,39
60	0,55	0,44	0,48	0,34
70	0,44	0,37	0,43	0,29

Em relação à densidade (Tabela 4.28), nota-se que o caju desidratado osmoticamente e seco apresenta maiores valores deste parâmetro, o que pode ser explicado pela perda de água e incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica com solução de sacarose e xarope de milho. Com o aumento da temperatura também percebe-se um acréscimo nos valores da densidade de todas as amostras.

Tabela 4.28- Densidade para as diferentes condições de processo do pedúnculo do caju *in natura* (FIN), desidratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

T (°C)	d (g/cm ³)			
	FIN	FDOS	FDOX	FHTST
50	1,23	1,29	1,26	1,15
60	1,38	1,41	1,39	1,28
70	1,42	1,50	1,48	1,37

Muitos pesquisadores afirmam que a qualidade do produto seco, como cor e textura, pode ser melhorada ou preservada utilizando-se a desidratação osmótica como pré-tratamento (HAWKES e FLINK, 1978; LERICI *et al.*, 1985). Em relação ao caju seco, notou-se que as fatias que sofreram pré-processamento osmótico apresentaram redução do encolhimento e melhor conservação da cor (Figura 4.32). Resultados similares foram obtidos por LENART (1996) e AZOUBEL (1999) para a maçã e o tomate cereja, respectivamente.

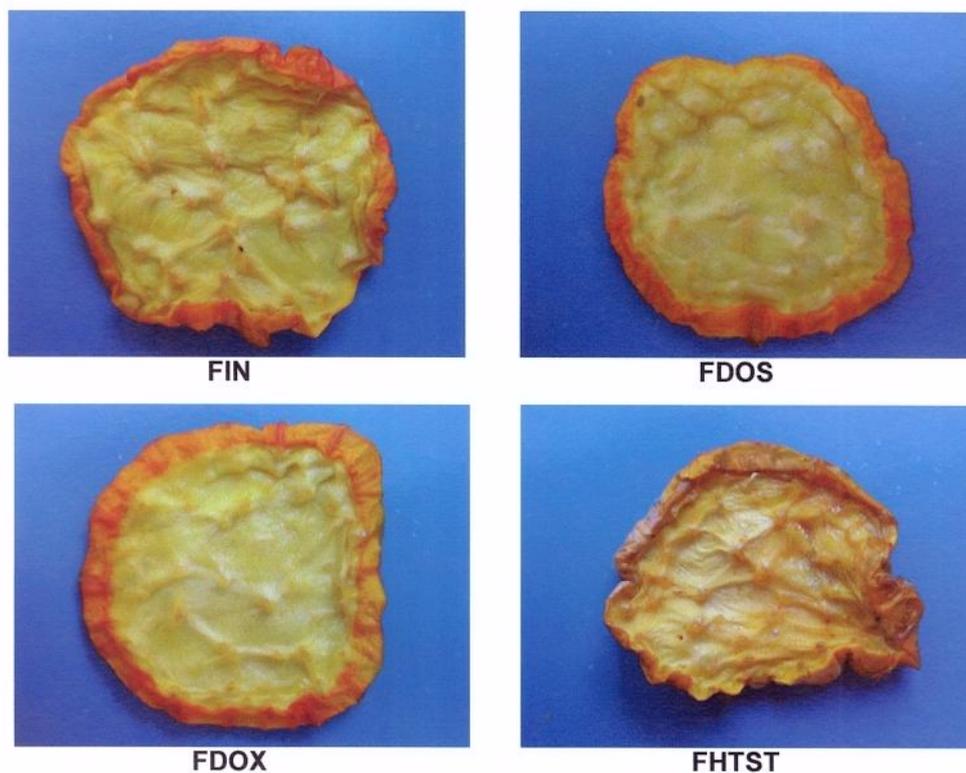


Figura 4.32- Amostras do pedúnculo do caju seco: *in natura* (FIN), desidratada osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

4.5. Análise sensorial

O perfil sensorial dos consumidores do teste de aceitação é mostrado na Figura 4.33, onde verifica-se uma maior participação de consumidores do sexo feminino e um consumo anual do produto quase inexistente.

A análise dos dados obtidos foi feita por histogramas de freqüência e pela análise de variância (ANOVA), seguida do Teste de Tukey. Dessa forma, foi possível observar a influência dos diferentes pré-tratamentos utilizados na aceitação do pedúnculo do caju seco, bem como verificar a intenção de compra por parte dos consumidores.

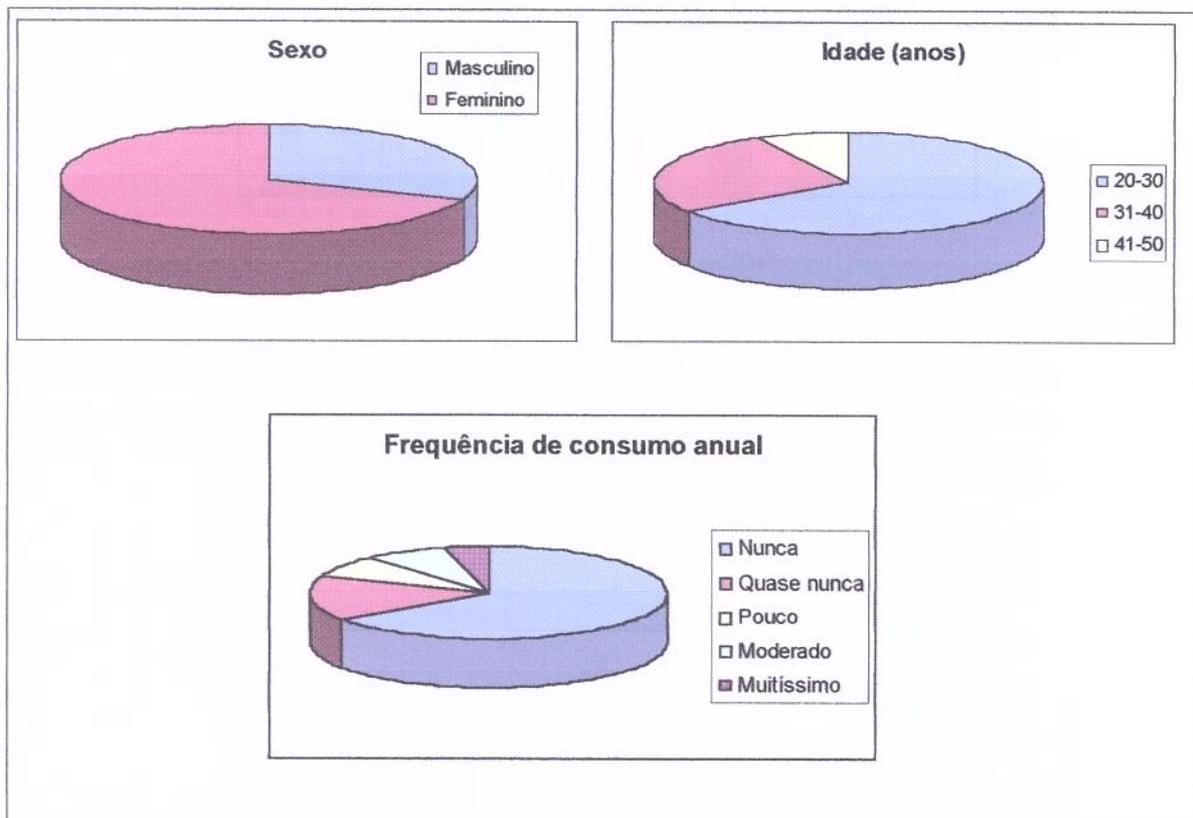


Figura 4.33- Perfil dos provadores no teste de aceitação

As Figuras 4.34 a 4.37 mostram a distribuição das notas recebidas por cada uma das amostras para os atributos aparência, aroma, sabor e textura. Percebe-se que a maioria das notas recebidas para cada um dos atributos das amostras pré-processadas pela desidratação osmótica e da amostra sem pré-tratamento situam-se na região indicativa de aprovação dos produtos (valores iguais ou superiores a 5), convergindo para o lado direito do histograma. Para a amostra pré-processada por secagem HTST, observou-se comportamento inverso no que diz respeito aos atributos aparência, sabor e textura, o que caracteriza a menor aceitação pelos provadores.

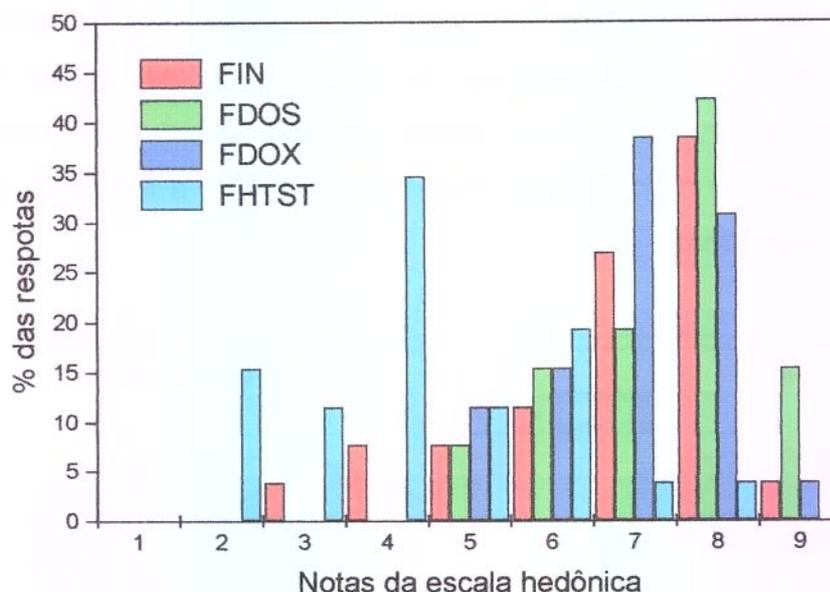


Figura 4.34- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo aparência das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

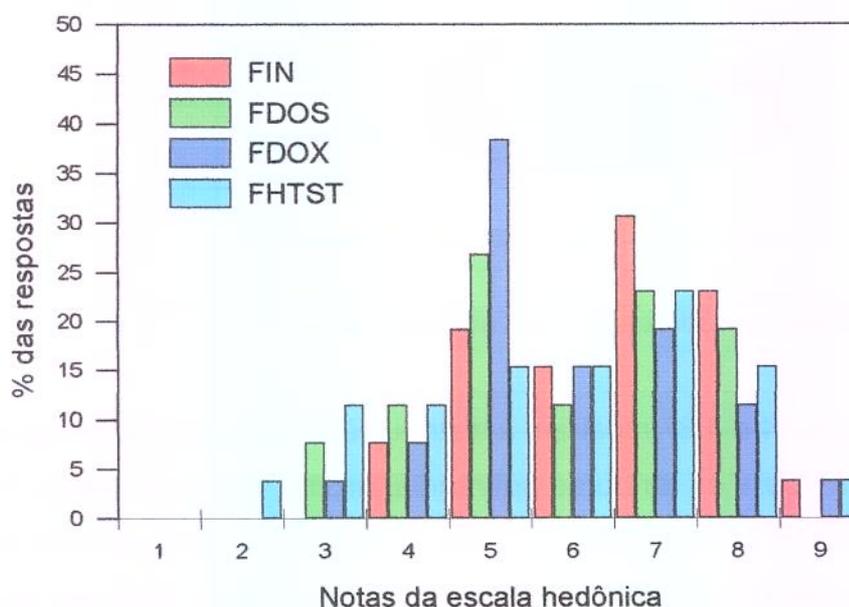


Figura 4.35- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo aroma das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

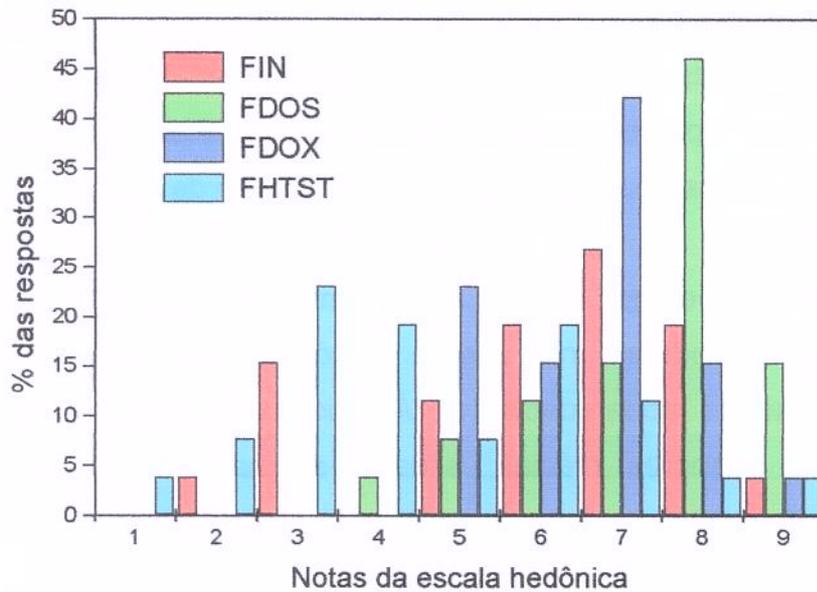


Figura 4.36- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo sabor das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

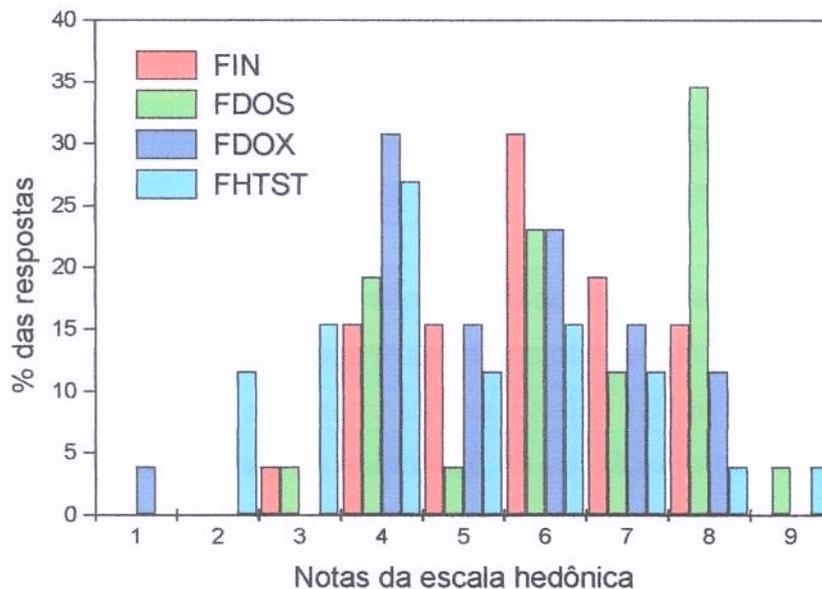


Figura 4.37- Histograma de frequência dos valores atribuídos ao atributo textura das amostras do pedúnculo do caju sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

A aceitação média dos atributos aparência, aroma, sabor e textura de cada uma das quatro amostras estudadas e os resultados da análise de variância e do Teste de Tukey são apresentados na Tabela 4.29. De uma maneira geral, o pedúnculo do caju pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose apresentou as maiores médias de aceitação para os atributos estudados (exceto para o aroma, onde foi superado apenas pela amostra que não sofreu pré-processamento), situando-se na escala hedônica nas categorias “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. A amostra pré-tratada por secagem HTST obteve as menores médias, situando-se nas categorias “desgostei ligeiramente” e “não gostei, nem desgostei”.

Tabela 4.29- Aceitação média dos atributos aparência, aroma, sabor e textura do pedúnculo do caju seco sem pré-tratamento (FIN), pré-tratado osmoticamente em solução de sacarose (FDOS) e em xarope de milho (FDOX) e pré-tratada por secagem HTST (FHTST)

Atributo	FIN	FDOS	FDOX	FHTST
Aparência	6,81 ^a	7,42 ^a	7,00 ^a	4,35
Aroma	6,54 ^a	6,00 ^a	5,88 ^a	5,58
Sabor	6,04 ^a	7,38 ^b	6,62 ^b	4,65 ^c
Textura	5,92 ^{ab}	6,38 ^a	5,42 ^{bc}	4,73 ^c

Obs.: Médias com letras iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$)

As amostras do pedúnculo do caju seco não diferem entre si ao nível de 5% de significância no que diz respeito ao aroma. Para a aparência, apenas a amostra submetida a secagem HTST diferiu significativamente das demais ($p \leq 0,05$), apresentando índice de rejeição de 61,5% (notas da escala hedônica inferiores a 5).

Em relação ao sabor, as amostras pré-tratadas pela desidratação osmótica não apresentaram diferença significativa entre si ($p \leq 0,05$). Entretanto, a amostra previamente desidratada em solução de sacarose diferiu significativamente ao nível de 5% da amostra seca sem pré-processamento. A

amostra pré-seca por HTST apresentou diferença significativa de todas as amostras e o maior índice de rejeição (53,8%).

Para a textura, as amostras que sofreram o pré-tratamento osmótico apresentaram diferença significativa entre si ao nível de 5% de significância, apesar de não diferirem da amostra que não sofreu nenhum pré-processamento. A amostra submetida a secagem HTST diferiu significativamente da amostra osmoticamente desidratada em solução de sacarose e da que não recebeu pré-tratamento ($p \leq 0,05$) e mais uma vez apresentou o maior índice de rejeição, que foi de 53,8%.

A Figura 4.38 apresenta o histograma de intenção de compra de cada uma das amostras de pedúnculo de caju seco. A amostra pré-tratada pela desidratação osmótica em solução de sacarose obteve a menor rejeição por parte dos provadores. A amostra pré-tratada por secagem HTST provocou uma atitude de compra menos positiva, apresentando a menor possibilidade de compra.

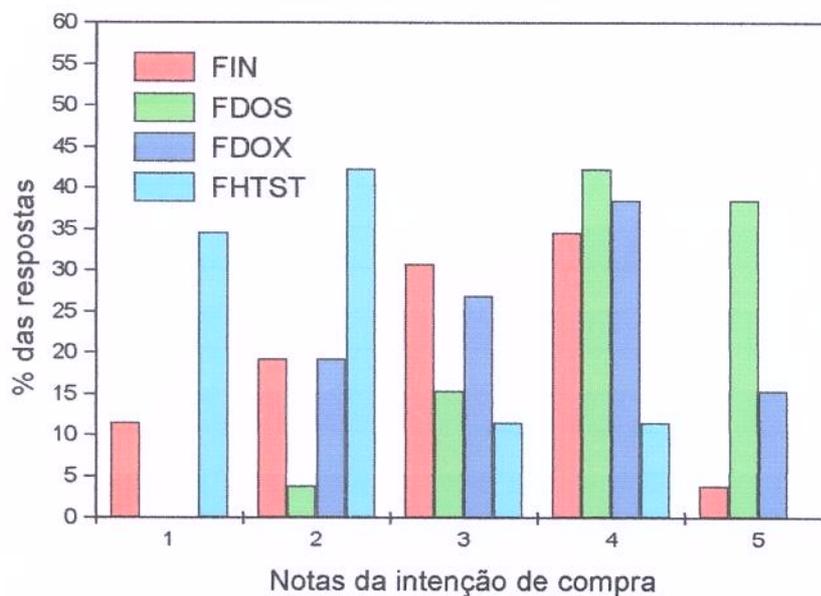


Figura 4.38- Histograma de intenção de compra

Os resultados obtidos no teste sensorial permitiram perceber o potencial do mercado para comercialização dos produtos secos pré-tratados osmoticamente e dos sem pré-processamento, constituindo, assim, em mais uma forma de aproveitamento do pedúnculo, contribuindo para a redução do seu desperdício.

5. CONCLUSÕES

5.1. Desidratação osmótica

- No processo osmótico de imersão das fatias do pedúnculo do caju em solução de sacarose e xarope de milho ficou evidenciada a influência das variáveis temperatura, tempo e concentração da solução desidratante na perda de peso, perda de água e ganho de sólidos durante o processo. Os valores dessas variáveis aumentam com o aumento desses parâmetros.
- Todos os modelos empíricos obtidos pela metodologia da superfície de resposta foram considerados preditivos no cálculo da perda de peso, perda de água e ganho de sólidos por apresentarem regressão significativa e falta de ajuste não significativa, ambos ao nível de 95% de confiança e valores satisfatórios de R^2 .
- Das condições otimizadas obtidas do processo osmótico, a desidratação do pedúnculo em solução de sacarose e de xarope de milho, ambas com concentração de 52% (p/p), por 165 minutos e na temperatura de 34°C apresentaram menores valores de acidez, de atividade de água e perdas de ácido ascórbico em torno de 36%. Porém os valores de atividade de água obtidos ainda as tornam susceptíveis ao desenvolvimento microbiano.
- A desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju em soluções de maltodextrina não foi otimizada, uma vez que foi obtida perda de sólidos, isto é, a fruta perdeu seus próprios solutos para a solução osmótica.

5.2. Secagem HTST

- Na secagem HTST do pedúnculo do caju ficou evidenciada a influência das variáveis temperatura, tempo e concentração de amido gelatinizado nos valores da umidade e densidade do produto. Os valores desses parâmetros diminuem com o aumento dessas variáveis.
- Todos os modelos empíricos obtidos pela metodologia da superfície de resposta foram considerados preditivos no cálculo da umidade e densidade do produto seco por apresentarem regressão significativa e falta de ajuste não significativa, ambos ao nível de 95% de confiança e valores satisfatórios de R^2 .
- As fatias de caju previamente imersas em solução de amido gelatinizado (2%) por 2 minutos e secas a 160°C por 10 minutos foi eficiente em promover o *puffing* (aumento de volume) sem apresentar uma aparência de queimado.

5.3. Secagem convectiva

- As condições otimizadas nos processos de desidratação osmótica e secagem HTST foram as escolhidas para proceder a secagem convectiva.
- O modelo difusional e a equação de Page apresentaram um bom ajuste aos dados experimentais da secagem convectiva do pedúnculo do caju com e sem pré-tratamento.
- Os valores de difusividade efetiva calculados através do modelo difusional simplificado, baseado na 2ª lei de Fick, situaram-se entre $10,82 \times 10^{-10}$ e $25,00 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para a fruta sem pré-tratamento. Para as fatias pré-tratadas (desidratação osmótica e secagem HTST) os valores foram menores, situando-se entre $8,23 \times 10^{-10}$ e $20,69 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

- O aumento da temperatura favoreceu ao processo de transferência de massa, enquanto que a incorporação de sólidos na desidratação osmótica resultou em menores valores do coeficiente de difusão durante a secagem convectiva.
- Em relação à qualidade do produto final, as amostras tratadas osmoticamente apresentaram maiores perdas de vitamina C, menor atividade de água e densidade mais alta que o produto sem pré-tratamento.
- O pré-tratamento osmótico apresentou melhora na qualidade do produto final quando visualmente foram comparadas a cor e a textura das amostras obtidas e sem pré-tratamento.

5.4. Análise sensorial

- O pedúnculo de caju submetido à pré-secagem HTST foi a que menos atendeu à expectativa do consumidor, obtendo médias de aceitação para os atributos aparência, aroma, sabor e textura nas categorias “desgostei ligeiramente” e “não gostei, nem desgostei” da escala hedônica, enquanto a amostra pré-tratada osmoticamente em solução de sacarose situou-se nas categorias “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”.
- As amostras pré-tratadas em xarope de milho foram classificadas como similares às sem pré-tratamento, pois não apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) em todos os atributos estudados.
- As amostras pré-tratadas por secagem HTST provocaram uma atitude de compra menos positiva nos consumidores, enquanto as amostras pré-tratadas osmoticamente em solução de sacarose obtiveram maior intenção de compra, constituindo em mais uma alternativa de aproveitamento do

pedúnculo do caju, que tanto pode ser consumido diretamente ou em formulações de produtos alimentícios.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 16 ed. Arlington, 1992. (várias paginações).
- AZOUBEL, P.M. **Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum var. cerasiforme*)**. Campinas, 1999. 102p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEJA-MERCADO, H. **Dehydration of foods**. New York: Chapman & Hall, 1996. p.29-95.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos-pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2001. 401p.
- BIDAISEE, G.; BADRIE, N. Osmotic dehydration of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.): quality evaluation of candied cashew apples. **International Journal of Food Science and Technology**, v.36, p.71-78, 2001.
- BISWAL, R. N.; BOZORGMEHR, K.; TOMPKINS, F. D.; LIU, X. Osmotic concentration of green beans prior to freezing. **Journal of Food Science**, v.56, n.4, p.1008-1012, 1991.
- BOBIC, S.; BAUMAN, E.; TRIPALO, B. Fluidized bed drying of fruit and vegetable particles with different pretreatments. **Proc. Sixth International Drying Symposium (IDS'88)**, Versailles, M.A. Rougues e A. S. Mujumdar (Ed.), v.II, p.47-51, 1988.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. p.11-24.

- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, L.C.; JACKSON, R.; NG, K.G. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, v.56, p.202-205, 1983.
- BOLIN, H. R. Relation of moisture to water activity in prunes and raisins. **Journal of Food Science**, v.56, n.4, p.1008-1012, 1991.
- BORGES, S. V.; MENEGALLI, F. C. Influência da desidratação osmótica sobre a cinética de secagem de manga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.4, p. 637-642, 1994.
- BOX, G.E.P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. **University of Wisconsin Technical Report**, n.9, 1973.
- BROLCHAIN, P.O. Explosion puffing of vegetables. **Process Biochemistry**, p. 26-39, August, 1973.
- CABRAL, A.C.D. Embalagem para alimentos desidratados. In: **Embalagens de Produtos Alimentícios**. Brasília: Secretaria da Indústria e Comércio, Ciência e Tecnologia, 1983. p. 44-77.
- CARDOSO, C.S.B. **Secagem de fatias de banana em leito vibro-fluidizado a altas temperaturas por curto tempo**. Campinas, 1998. 104p. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas.
- CARRARO, F.; CUNHA, M.M. **Manual de exportação de frutas**. Brasília: MAARA-SDR-FRUPLEX/IICA, 1994. p.254.
- CAVALCANTI, J.J.V. *Anacardium occidentale*. Disponível na Internet: <http://www.unicamp.br/nipe/rbma/caju/rtm>. 1998.
- CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 1999. 212 p.

- CECCHI, H.M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.D. Carotenoid compositions and vitamin A value of fresh and pasteurized cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice. **Journal of Food Science**, v.56, n.1, p.147-149, 1981.
- CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. **Advances in Drying**, p.73-102, 1983.
- CHIRIFE, J.; FAVETTO, G.J. Some physical-chemical basis of food preservation by combined methods. **Food Research International**, Oxford, v.25, n.5, p.389-396, 1992.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças; fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.
- COHEN, J. S.; YANG, C. S. Progress in food dehydration. **Trends in Food Science and Technology**, v.6, p.20-24, 1995.
- CONTRERAS, J.E.; SMYRL, T.G. An Evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Can. Inst. Food Science Technology**, v.14, n.4, p.310-314, 1981.
- CRANK J. **Mathematics of diffusion**. 2ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414p.
- DEL VALLE, J.M.; ARÁNGUIZ, V.; LEÓN H. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. **Food Research International**, v.31, n.8, p.557-569, 1998.
- DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, v.13, n.1&2, p.425-435, 1995.
- DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. 123p.

- EL-AOUAR, A.A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya* L.)**. Campinas, 2001. 113p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- ERTEKIN, F.K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, p.87-104, 1996.
- FAO. Disponível na Internet: <http://www.fao.org>. 1998.
- FORNI, E.; SORMANI, A.; SCALISE, S.; TORREGGIANI, D. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Research International**, v.30, n.2, p.87-94, 1997.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. **Advances in Drying**, v.1, p.119-153, 1980.
- GUIMARÃES, L.R.; PECHNIK, R. Contribuição ao estudo do valor alimentício da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Arquivos Brasileiros de Nutrição**, p.31-43, 1969.
- HAWLADER, M. N. A.; UDDIN, M. S.; HO, J. C.; TENG, A. B. W. Drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v.14, p.259-268, 1991.
- HAWKES, J.; FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of process variables on the quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.
- HOLDSWORTH, S. D. Dehydration of food products: a review. **Journal of Food Technology**, v.6, p.331-370, 1971.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo. Disponível na Internet: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. 1996

- ISLAM, M. N.; FLINK, L. N. Dehydration of potato II – Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. **Journal of Food Technology**, v.17, n.3, p.387-403, 1982.
- JAYARAMAN, K.S.; DAS GUPTA, D.K.; BABU RAO, N. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. **International Journal of Food Science and Technology**, v.25, p.47-60, 1990.
- JAYARAMAN, K.S.; GOPINATHAN, V.K.; PITCHAMUTHU, P.; VIJAYARAGHAVAN, P.K. The preparation of quick-cooking dehydrated vegetables by high temperature short time pneumatic drying. **Journal of Food Technology**, v.17, p.669-678, 1982.
- JOHNSON, P-N. T.; BRENNAN, J.G.; ADDO-YOBO, F.Y. Air-drying characteristics of platain (*Musa AAB*). **Journal of Food Engineering**, v.37, p. 233-242, 1998.
- KARATHANOS, V.T.; KOSTAROPOULOS, A.E.; SARAVACOS, G.D. Air drying of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, v.13, p.1503-1521, 1995.
- KIM, M.H.; TOLEDO, R.T. Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries. **Journal of Food Science**, v.52, n.4, .980-989, 1987.
- KING, C. J. Rates of moisture sorption and desorption in porous dried foodstuffs. **Food Technology**, v.22, p.165-171, 1968.
- LABUZA, T. P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**, v.34, n.4, p.34-40, 1980.
- LAZARIDES, H.N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v.25 ,p. 151-166, 1995.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, n.2, 391-413, 1996.

- LENART, A.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of potatoes I. Criteria for the end-point of the osmosis process. **Journal of Food Technology**, v.19, n.1, p.45-63, 1984.
- LENART, A.; GRODECKA, E. Influence of the kind of osmotic substance on the kinetics of convection drying of apples and carrots . **Food Technology Nutrition**, v.18, p.27-35, 1989.
- LERICI, C.R.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotidehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v.50, p. 1217-1220, 1985.
- LEWICKI, P.P.; WITROWA-RAJCHERT, D.; NOWAK, D. Effect of pretreatment on kinetics of convection drying of onion. **Drying Technology**, v.16, n.1&2, p.83-100, 1998.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **Industrial Engineering Chemistry**., v.13, n.5, p.427-432, 1921.
- LIMA, V.P.M.S. **Cultura do cajueiro no nordeste do Brasil**. Banco do Nordeste do Brasil, 1988, 486p.
- LOPES, C.C.. **Banana Seca e Crocante**. Campinas, 1999. Exame de Qualificação. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Moisture transfer properties of dry and semimoist food. **Journal of Food Science**, v.50, p.397-400, 1985.
- LUCCAS, V. **Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através da pré-secagem a altas temperaturas e curto tempo em leito fluidizado**. Campinas, 1996. 104p. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas.

- MAIA, G.A.; HOLANDA, L.F.F.; MARTINS, C.B. Características físicas e químicas do caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência Agrônômica**, v.1 n.2, p.115-120, 1971.
- MASKAN, M. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.177-182, 2001a.
- MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.169-175, 2001b.
- MAZZA, G. Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. **Journal of Food Technology**, v.18, p.113-123, 1983.
- MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; BERNHARDT, L.W.; HASHIZUME, T.; RENESTO, O.V.; VIEIRA, L.F. **Caju- da cultura ao processamento e comercialização**, 1978, 178p.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. Flórida: CRC Press, 1988, p.
- MENEZES, J.B. **Armazenamento refrigerado de pedúnculos de caju (*Anacardium occidentale* L.) sob atmosfera ambiental e modificada**. Lavras, 1992. 102 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras.
- MENEZES, J.B.; ALVES, R.E. **Fisiologia e tecnologia pós-colheita do pedúnculo de caju**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1995. 20p.
- MENEZES, H.C.; DRAETTA, I.S.; SALES, A.M.; LEITÃO, M.F.F.; CAMPOS, S.D.S.; CABRAL, A.C.D.; ORTIZ, S.A.; MADI, L.F.C.; SOLER, R.M.; GAZETA, E.F. **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos**, 1980. p.9-83.

- MENTING, L.C.; HOEGSTD, B.; THIJSEN, H.A.C. Diffusion coefficients of water and organic volatiles in carbohydrates-water systems. **Journal of Food Technology**, v.5, p.111, 1970.
- MORAES, M.A.C. **Métodos para avaliação sensorial dos alimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1988. 93p.
- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J.A. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, v.33, p.609-616, 2000.
- MOURA FÉ, J.A. Características químicas do hipocarpo do caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciência Agrônômica**, v.2, n.2, p.103-108, 1972.
- NIETO, A.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v.50, p.175-185, 2001.
- NIETO, A.; SALVATORI, D.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Air drying behavior of apples as affected by blanching and glucose impregnation. **Journal of Food Engineering**, v.36, p.63-79, 1998.
- NOGUEIRA, R.I. **Processo de secagem de banana (*Musa acuminata* subgrupo *cavendish* cultivar *Nanica*)**. Campinas, 1991, 53p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- OKADA, M.; VITALI, A.A.; TEIXEIRA NETO, R.O.; CARVALHO, R.; JARDIM, D.C.P. Fundamentos sobre a secagem de sólidos. In: **Desidratação de frutas e hortaliças-Manual técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. p1.1-1.29.

- OLIVEIRA, V.H.; MIRANDA, F.R.; SANTOS, F.J.S.; SAUNDERS, L.C.V. Distribuição mensal da produção de castanha de clones comerciais de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) irrigados no Ceará-1º ano. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, n.22, p.1-4, 1998.
- ORTIZ, A.J.; COOKE, R.D.; QUIROS M., R.A. The processing of a date-like caramel from cashew apple **Tropical Science**, v.24, n.1, p. 29-38, 1982.
- OZAWA, T.; LILLEY, T.H.; HASLAM, E. Poliphenol interactions: astringency and the loss of astringency in ripening fruit. **Phytochemistry**, v.26, n.11, p.2937-2942, 1987.
- PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. Indiana, 1949. Dissertação (Mestrado). Purdue University.
- PAIVA, F.F.A.; GARRUTTI, D.S.; SILVA NETO, R.M. **Aproveitamento industrial do caju**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1997. 85p.
- PARK, K.J.; BROD, F.P.R.; SILVA, J.E.A.R. Estudo comparativo de secagem de cebolinha (*Allium* sp. cv. Galega.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.16, n.2, p.143-145, 1996.
- PARK, K.J. **Estudo comparativo do coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante secagem**. Campinas, 1987, 54p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- PESSOA, P.F.A.P.; LIMA, L.A.A.; PARENTE, J.I.G; PIMENTEL C.R.M.; FROTA, P.C.E.. **Cajucultura brasileira: mercado interno versus mercado externo**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1994. 16p.
- PINTO, L.A.A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **Vetor**, v.6, p.33-49, 1996.
- PONTING, J.D. Osmotic dehydration of fruits- recent modifications and applications. **Process Biochemistry**, v.8, p.18-20, 1973.

- PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v.20, n.10, p.125-128, 1966.
- PRICE, R.L.; HOLANDA, L.F.F.; MOURA FÉ, J.A.; MAIA, G.A., MARTINS, C.B. Constituents of brazilian cashew apple juice. **Ciência Agronômica**, v.5, n.1-2, p.61-65, 1975.
- QUERIDO, A.F. **Otimização e comparação dos processos de desidratação osmótica a vácuo e a pressão ambiente de pseudofruto de caju**. Campinas, 2000. 113p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- RAHMAN, M.D.; LAMB, J. Air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated pineapple. **Journal of Food Engineering**, v.14, p.163-171, 1991.
- RANGANNA, S. **Manual of analysis of fruit and vegetables products**. New Delhi: Mc-Graw Hill Publishing Company, 1977. 634p.
- RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of food**. New York: Marcel Dekker, 1986. p.123-214.
- RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v.5, p. 255-260, 1994.
- RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; RIOS, G.; GUILBERT, S. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. In: MUJUMDAR, A. S.; ROQUES, M. A. **Drying of solids**. New York: Hemisphere Publishing Company, 1989. p. 487-495.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v.27, p.564-567, 1994.

- RAVINDRA. M.R.; CHATTOPADHYAY, P.K. Optimisation of osmotic pre-concentration and fluidised bed drying dehydrated quick-cooking potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v.44, p.5-11, 2000.
- SABAREZ, H.; PRICE, W.E.; BACK, P.J.; WOOLF, L.A. Modelling kinetics of drying of d'Agen plums (*Prunus domestica*). **Food Chemistry**, v.60, n.3, p.371-382, 1997.
- SANKAT, C.K., CASTAIGNE, F.; MAHARAJ, R. The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. **International Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.123-135, 1996.
- SASTRY, L.V.; SETTY, L.; CATYAVANTHI, V.K.; PRUTHI, J.S.; SIDAPPA, G.S. Poliphenol constituent in cashew apple juice as influenced by region, strain and selection. **Indian Journal of Applied Chemistry**, v.25, n.4-6, p.119-122, 1962.
- SIMAL, S.; DEYÁ, E.; FRAU, M.; ROSELLÓ, C. Simple modelling of drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. **Journal of Food Engineering**, v.33, p.139-150, 1997.
- SIMAL, S.; MULET, A.; TARRAZO, J.; ROSELLÓ, C. Drying models for green peas. **Food Chemistry**, v.55, n.2, p.121-128, 1996.
- SOUZA FILHO, M.S.M.; LIMA, J.R.; SOUZA, A.C.R.; SOUZA NETO, M.A.; COSTA, M.C. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.2, p. 211-213, 1999.
- TEIXEIRA NETO, R.O. Alterações da qualidade de frutas e hortaliças desidratadas durante a estocagem. In: **Desidratação de frutas e hortaliças-Manual técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. p8.1-8.9.

- TORREGGIANI, D.; TOLEDO, R. T.; BERTOLO, G. Optimization of vapor induced puffing in apple dehydration. **Journal of Food Science**, v.60, n.1, p.181-186, 1995.
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.
- TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA, E.T. Desidratação de frutas. In: **Desidratação de frutas e hortaliças-Manual técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. p3.1-3.40.
- TRAVAGLINI, D.A. ; NETO, M.P.; BLEINROTH, E.W.; LEITÃO, M.F.F. **Banana-passa: princípios de secagem, conservação e produção industrial**. Campinas: ITAL, 1993. 73p.
- UDDIN, M.S.; HAWLADER, M.N.A.; RAHMAN, M.S. Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.14, p.375-391, 1990.
- VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v.11, p. 63-84, 1991.
- VIDEV, K.; TANCHEV, S.; SHARMA, R. C.; JOSHI, V. K. Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Science and Technology**, v.27, n.5, p.307-308, 1990.
- WOLF, W.; SPIESS, W.E.L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. London: Elsevier Science, 1985.
- YANG, D. C.; LE MAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberries in a batch recirculation system. **Journal of Food Quality**, v.15, p.387-397, 1992.

ANEXO I: Modelo da ficha para a análise sensorial

Nome: _____ Data: _____

1. Por favor, prove as amostras de caju seco da esquerda para direita e indique, através da escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou de cada amostra em relação aos atributos de **aparência, aroma, sabor, textura e aparência global**.

- 9- Gostei extremamente
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Não gostei, nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei extremamente

Amostras	Notas				
	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Aparência global

2. Utilizando a escala abaixo, verifique, por favor, qual seria sua atitude de compra frente a cada uma das amostras que você avaliou.

- (5) Certamente compraria
- (4) Provavelmente compraria
- (3) Tenho dúvidas se compraria ou não
- (2) Provavelmente não compraria
- (1) Certamente não compraria

Amostras	Notas

ANEXO II: Dados da cinética de secagem convectiva

Tabela a1. Valores de umidade em base seca e adimensional de umidade para a secagem do pedúnculo do caju *in natura* nas temperaturas de 50, 60 e 70°C

Tempo (min)	T = 50°C		T = 60°C		T = 70°C	
	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_o - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_o - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_o - X_e)$
0	5,9784	1,0000	5,9784	1,0000	5,9784	1,0000
15	2,0540	0,3302	1,9656	0,3157	1,1478	0,1783
30	1,3562	0,2111	1,0950	0,1673	0,6759	0,0980
45	0,8615	0,1266	0,7864	0,1147	0,4042	0,0518
60	0,7743	0,1117	0,5009	0,0660	0,2468	0,0250
90	0,4373	0,0542	0,2670	0,0261	0,1246	0,0042
120	0,2253	0,0180	0,1701	0,0096	0,1095	0,0017
150	0,2008	0,0139	0,1378	0,0041	0,1081	0,0014
180	0,1588	0,0067	0,1198	0,0010	0,1012	0,0002
240	0,1461	0,0045	0,1147	0,0001	0,0998	0,0000
300	0,1309	0,0019	0,1140	0,0000	-	-
360	0,1230	0,0006	-	-	-	-
420	0,1195	0,0000	-	-	-	-

Tabela a2. Valores de umidade em base seca e adimensional de umidade para a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C do pedúnculo do caju pré-tratado osmoticamente em sacarose

Tempo (min)	T = 50°C		T = 60°C		T = 70°C	
	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_o - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_o - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_o - X_e)$
0	2,3025	1,0000	2,3025	1,0000	2,3025	1,0000
15	1,5919	0,6552	1,2166	0,4754	1,1228	0,4519
30	1,2279	0,4786	0,8766	0,3112	0,6711	0,2420
45	0,9419	0,3399	0,6473	0,2004	0,4769	0,1518
60	0,7811	0,2618	0,5058	0,1321	0,3787	0,1062
90	0,5434	0,1465	0,3505	0,0570	0,2756	0,0583
120	0,4537	0,1030	0,2873	0,0265	0,1685	0,0085
150	0,3344	0,0451	0,2569	0,0118	0,1531	0,0014
180	0,2718	0,0147	0,2359	0,0017	0,1501	0,0000
240	0,2540	0,0061	0,2324	0,0000	-	-
300	0,2468	0,0026	-	-	-	-
360	0,2414	0,0000	-	-	-	-

Tabela a3. Valores de umidade em base seca e adimensional de umidade para a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C do pedúnculo do caju pré-tratado osmoticamente em xarope de milho

Tempo (min)	T = 50°C		T = 60°C		T = 70°C	
	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)$
0	3,9188	1,0000	3,9188	1,0000	3,9188	1,0000
15	2,0695	0,4998	1,6632	0,3923	1,3006	0,2970
30	1,3290	0,2995	1,1193	0,2458	0,7840	0,1582
45	0,8840	0,1792	0,7774	0,1537	0,4576	0,0706
60	0,7268	0,1366	0,5858	0,1021	0,3141	0,0321
90	0,4100	0,0510	0,3554	0,0400	0,2417	0,0126
120	0,3837	0,0439	0,2759	0,0186	0,2068	0,0032
150	0,3471	0,0340	0,2268	0,0054	0,1963	0,0004
180	0,2873	0,0178	0,2185	0,0031	0,1947	0,0000
240	0,2476	0,0070	0,2146	0,0021	-	-
300	0,2248	0,0009	0,2069	0,0000	-	-
360	0,2215	0,0000	-	-	-	-

Tabela a4. Valores de umidade em base seca e adimensional de umidade para a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C do pedúnculo do caju pré-tratado por secagem HTST

Tempo (min)	T = 50°C		T = 60°C		T = 70°C	
	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)$	X_{bs}	$(X_t - X_e)/(X_0 - X_e)$
0	1,7389	1,0000	1,7389	1,0000	1,7389	1,0000
15	0,9989	0,5148	0,8150	0,3947	0,7056	0,3331
30	0,7209	0,3325	0,5306	0,2083	0,4085	0,1410
45	0,5534	0,2227	0,3795	0,1093	0,2904	0,0646
60	0,4498	0,1547	0,3030	0,0592	0,2345	0,0284
90	0,3194	0,0692	0,2417	0,0190	0,2048	0,0092
120	0,2672	0,0350	0,2223	0,0063	0,1961	0,0035
150	0,2415	0,0182	0,2182	0,0036	0,1920	0,0009
180	0,2298	0,0105	0,2142	0,0010	0,1906	0,0000
240	0,2194	0,0036	0,2127	0,0000	-	-
300	0,2150	0,0008	-	-	-	-
360	0,2138	0,0000	-	-	-	-