



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**



TESE DE DOUTORADO

**APROVEITAMENTO AGROINDUSTRIAL DE CACTÁCEAS
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

MARCOS ANTÔNIO GERMANO DO NASCIMENTO

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte

(Orientadora)

**Campina Grande - PB
Agosto – 2014**

MARCOS ANTÔNIO GERMANO DO NASCIMENTO

**APROVEITAMENTO AGROINDUSTRIAL DE CACTÁCEAS
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Tese apresentada ao Programa de
Doutorado em Engenharia de Processos da
Universidade Federal de Campina
Grande, em cumprimento às exigências
para obtenção do título de Doutor em
Engenharia de Processos.**

Área de concentração: Desenvolvimento de processos

Orientadores: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte

Campina Grande, 22 de agosto de 2014

N244a Nascimento, Marcos Antônio Germano do.
Aproveitamento agroindustrial de cactáceas do semiárido brasileiro /
Marcos Antônio Germano do Nascimento. – Campina Grande, 2014.
305 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.
"Orientação: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti,
Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte".

Referências.

1. Engenharia de Processos. 2. Cactáceas – Aproveitamento
Agroindustrial. 3. Mandacaru e Facheiro. 4. Cinética de Congelamento.
5. Liofilização. 6. Secagem Convectiva. I. Cavalcanti, Mario Eduardo
Rangel Moreira. II. Duarte, Maria Elita Martins. III. Título.

CDU 62-9(043)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE **MARCOS ANTÔNIO GERMANO DO NASCIMENTO** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

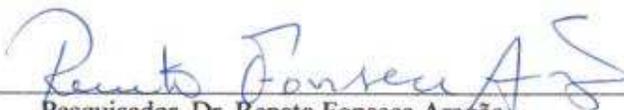
Tese de doutorado apresentada em 22 de agosto de 2014



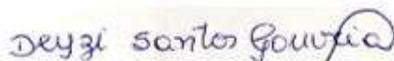
Prof. Dr. Mario Eduardo R. Moreira Cavalcanti Mata
(Orientador - UAEAg/CTRN/UFCG)



Profª. Drª. Maria Elita Martins Duarte
(Orientadora - UAEAg/CTRN/UFCG)



Pesquisador. Dr. Renato Fonseca Aragão
(Examinador Externo - CTRN/UFCG)



Prof. Drª. Deyzi Santos Gouveia
(Examinador Externo - UAEAg/CTRN/UFCG)



Prof. Dr. José Carlos Ferreira
(Examinador Externo - DDE/IFPE)



Pesquisadora Drª. Severina de Sousa
(Examinador externo - UAEAg/CTRN/UFCG)

Campina Grande, PB - Brasil
Agosto de 2014

DEDICO

A minha mãe, **Maria do Carmo Ferreira**,
e a meus irmãos, **Jader Germano do Nascimento e**
Paulo Germano do Nascimento, “*in memóriam*”.

Agradecimentos

A **Deus**, por me permitir realizar este sonho, dando-me forças a cada dia para vencer os obstáculos, pela presença constante e silenciosa na minha vida, concedendo-me paz, tranquilidade, equilíbrio e sabedoria nos momentos que mais precisei.

A **Nossa Senhora**, mãe carinhosa e guia segura, que passou na frente abrindo caminhos para resolver os obstáculos difíceis, com o poder de **DEUS**.

A **Santa Rita** que nos fortaleceu o dom da fé e a chama da confiança em **DEUS**.

A minha mãe, **Maria do Carmo Ferreira do Nascimento**, pelo amor, dedicação e doação de vida.

A minha sogra e segunda mãe, em especial, **Maria de Lourdez Queiróz Dias** pelo incentivo, apoio fundamental nas horas difíceis, pela história de vida, pela mãe que é dedicada aos filhos, netos, genro, nora e aos demais familiares.

A minha família, pelo incentivo, carinho e paciência que me dedicaram durante esta jornada, em especial a minha esposa, **Teresinha Rejane**, pelo amor e cumplicidade, aos meus filhos, **Acauã, Camila e Letícia**, por serem o combustível da minha vida e a meu pai, **Jaime Germano do Nascimento**, pelo exemplo de vida e perseverança.

Aos professores orientadores, **Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata** e à **Dra. Maria Elita Martins Duarte**, a quem agradeço muito mais do que à orientação, apoio, amizade e admiração durante a realização deste trabalho. Agradeço, pela contribuição na superação das dificuldades, por acreditarem e terem contribuído, para que fosse possível a realização deste sonho, que me proporcionaram, que foi capaz de construir mais um pesquisador. Agradeço pelo respeito, simplicidade e companheirismo, pelo o novo rumo dado a nossa vida. Professores vocês cumprirão mais uma vez a sua missão de educar e transformar vidas, estarão sempre presente no nosso coração.

Aos Professores **Dr^a. Deyzi Santos Gouveia, Dr^a. Severina de Sousa, Dr. Renato Fonseca Aragão**, pela valiosa contribuição.

Ao Professor **Dr. José Carlos Ferreira**, pela valiosa contribuição não só na correção da Tese, mais pela a amizade que foi fortalecida na convivência dos últimos sete anos, em que desfrutamos de momentos difíceis e alegres, mais com uma certeza que ganhei não simplesmente um grande amigo, mais um irmão daqueles do coração.

Ao Diretor Geral do Campus Belo Jardim, Professor **Ms. Francisco das Chagas Lino Lopes**, pela amizade, admiração e apoio incondicional para a realização deste trabalho. Agradeço a você Professor **Francisco das Chagas Lino Lopes** tudo o que você fez por mim e minha família nestes momentos tão difíceis.

À coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Processos, **Prof. Dr. Antônio Gilson Barbosa de Lima**, pela compreensão e ajuda desde o início até a conclusão deste trabalho e aos Professores que de forma direta ou indireta, colaboraram na concretização deste trabalho.

Ao Diretor do Departamento de Desenvolvimento Educacional do IFPE Campus Belo Jardim, Professor **Ms. João Almeida e Silva** pela amizade, admiração e apoio incondicional para a realização deste trabalho, que foi fundamental, muito obrigado a você Professor **João Almeida**.

A Coordenadora do Curso Técnico em Agroindústria do IFPE Campus Belo Jardim, Professora **Josalice de Lima Araújo** pela amizade, admiração, paciência e apoio incondicional para a realização deste trabalho, que foi fundamental, muito obrigado a você Professora Josalice.

Aos meus amigos, de luta, **Marcondes Barreto de Souza e José de Assis França** pessoas fundamentais na realização e concretização deste trabalho, onde mantive importantes diálogos que viraram conselhos.

Aos meus amigos, do Curso Técnico em Agroindústria de forma especiais, aos professores e técnicos **Verônica Marinho, Karen, Flávia Cristina, Rosilda, Mayk, Jackon, Socorro e Valdir** pessoas fundamentais na realização e concretização deste trabalho.

Aos meus amigos, da Universidade Federal de Campina Grande do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos de forma especial, **João Carlos, Patrícia, Clóvis, Manoel, Débora, Cristina, Paulo de Moraes, Vital Queiróz, Kátia Brito e Vólia** pessoas fundamentais na realização e concretização deste trabalho.

As amigas de trabalho do IFPE Campus Belo Jardim, **Maria Alidileide de Freitas Bezerra e Jackey Mary de Souza Silva**, pelo o apoio e incentivo.

Aos alunos do curso Técnico em Agroindústria IFPE *Campus* Belo Jardim e amigos de forma carinhosa que colaboram neste trabalho, **Diogo, Aldiline, Danilo, Isabella, Otávio e Iolanda** pessoas fundamentais na realização e concretização deste trabalho.

À professora **Dra. Líbia de Sousa Conrado** por ceder o laboratório de meios porosos e sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química.

Aos funcionários do Laboratório de Meios Porosos e Sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química, **José Lopes e Nogueira "in memóriam"**, pela importante colaboração.

A **Cândido José**, pela ajuda nas análises físico-químicas.

À empresa **FELINTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA** de embalagens flexíveis, na pessoa do Sr. **Claube Canuto** (Coordenador do Sistema Integrado de Gestão (SIG) - FELINTO) que possibilitou a concretização deste sonho, através de doações.

A todos os alunos do IFPE *Campus* Belo Jardim, sobremaneira aos de Agroindústria e Agropecuária, por participarem da análise sensorial e as minhas turmas do 2º ano D 2014, PROEJA 2013 e Subsequente 2014.

Ao Engº **Paulo de Almeida Farias**, Engº **Dr. José Rildo de Oliveira**, e a Engaº **Ms. Renata Duarte Almeida** pelo apoio recebido e profissionalismo durante minhas atividades no bloco CZ e de Engenharia de Alimentos.

Aos funcionários do bloco CZ, que sempre colaboraram, **Silas e Salomé**.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE SIGLAS	xxiv
NOMENCLATURA	xxv
RESUMO	xxvii
ABSTRACT	xxviii
APRESENTAÇÃO	xxix
CAPÍTULO 1 – Processamento e características química e físico-químicas dos frutos do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i> Ritter) e do mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i> P. DC.)	01
1.1 – INTRODUÇÃO	02
1.1.2 – Objetivos.....	04
1.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
1.2.1 – Semiárido brasileiro.....	05
1.2.2 – Cactáceas.....	06
1.2.2.1 – Planta do Facheiro.....	07
1.2.2.1.1– Fruto do facheiro.....	08
1.2.2.2 – Planta do Mandacaru.....	09
1.2.2.2.1– Fruto do mandacaru.....	10
1.2.3 – Frutas tropicais.....	11
1.2.3.1 – Produção e importância econômica.....	11
1.2.3.2 – polpa de fruta.....	12
1.2.4 – Estado da arte.....	14
1.2.4 – Características química e físico-químicas.....	16
1.2.4.1 – Teor de água.....	17
1.2.4.2 – Cinzas.....	18
1.2.4.3 – Sólidos solúveis totais.....	18
1.2.4.4 – pH.....	19

1.2.4.5 – Acidez total titulável.....	19
1.2.4.6 – Ácido ascórbico.....	19
1.2.4.7 – Proteína.....	20
1.2.4.8 – Carboidrato.....	20
1.2.4.9 – Lipídio.....	21
1.2.4.10 – Valor calórico.....	21
1.3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	23
1.3.1 – Matéria-prima.....	23
1.3.2 – Processamento para obtenção da polpa e casca do fruto do facheiro e mandacaru.....	23
1.3.2.1 – Descrição do processo.....	24
1.3.2.2 – Rendimento da polpa do fruto do facheiro e do fruto do mandacaru em relação ao fruto.....	25
1.3.3 – Caracterização química e físico-química.....	25
1.3.3.1 – Teor de água.....	26
1.3.3.2 – Teor de sólidos totais.....	26
1.3.3.3 – Cinzas.....	26
1.3.3.4 – Sólidos solúveis totais.....	26
1.3.3.5 – pH.....	27
1.3.3.6 – Acidez titulável.....	27
1.3.3.7 – Ácido ascórbico.....	27
1.3.3.8 – Proteína totais.....	27
1.3.3.9 – Glicídios totais, redutores e não redutores.....	27
1.3.3.10 – Lipídios.....	28
1.3.3.11 – Valor calórico.....	28
1.3.3.12 – Massa específica.....	28
1.3.4 – Análise estatística.....	28
1.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
1.4.1 – Rendimento do processamento do fruto do facheiro e mandacaru.....	29
1.4.2 – Caracterização química e físico-química da polpa e da casca dos frutos de facheiro e mandacaru.....	29

1.5 – CONCLUSÕES.....	35
1.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
CAPÍTULO 2 – Propriedades termofísicas e cinética de congelamento das polpas dos frutos do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i> Ritter) e do mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i> P. DC.).....	51
2.1 – INTRODUÇÃO.....	52
2.1.2 – Objetivos	54
2.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	55
2.2.1 – Conservação por congelamento.....	59
2.2.1.1 – Classificação do congelamento.....	56
2.2.1.1.1 – Congelamento lento.....	57
2.2.1.1.2 – Congelamento rápido.....	58
2.2.1.1.3 – Congelamento ultrarrápido.....	60
2.2.1.2 – Cinética de congelamento.....	61
2.2.2 – Estado da arte.....	66
2.3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	71
2.3.1 – Matéria-prima.....	71
2.3.2 – Cinética de congelamento.....	71
2.3.3 – Análise estatística.....	73
2.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
2.4.1 – Cinética de congelamento.....	74
2.4.1.1 – Cinética de congelamento da polpa do fruto do facheiro e de mandacaru na temperatura de -25 °C.....	74
2.4.1.2 – Cinética de congelamento da polpa do fruto do facheiro e de mandacaru na temperatura de -60 °C.....	77
2.4.1.3 – Cinética de congelamento da polpa do fruto do facheiro e de mandacaru na temperatura de -150 °C.....	81
2.4.1.4 – Cinética de congelamento da polpa do fruto do facheiro e de mandacaru na temperatura de -196 °C.....	84
2.5 – CONCLUSÕES.....	88

2.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
CAPÍTULO 3 – Obtenção da polpa em pó dos frutos das cactáceas facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i> Ritter) e mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i> P. DC.) obtido pelo o processo de liofilização.....	100
3.1 – INTRODUÇÃO.....	101
3.1.2 – Objetivos.....	104
3.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	105
3.2.1 – Suco.....	105
3.2.1.1 – Suco tropical.....	105
3.2.2 – Secagem.....	106
3.2.2.1 – Liofilização.....	107
3.2.2.1.1 – Fundamentos físicos da liofilização.....	109
3.2.2.1.2 – Mecanismo de transferência de calor e massa.....	112
3.2.2.1.3 – Cinética de liofilização.....	114
3.2.3 – Características sensoriais.....	118
3.2.3.1 – Aparência e cor.....	119
3.2.3.2 – Sabor.....	119
3.2.3.3 – Aroma.....	120
3.2.4 – Estado da arte.....	120
3.3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	125
3.3.1 – Matéria-prima.....	125
3.3.2 – Cinética de liofilização da polpa dos frutos das cactáceas.....	125
3.3.3 – Determinação das características química e físico-química da polpa dos frutos de cactáceas em pó obtido por liofilização.....	128
3.3.3 – Sólidos solúveis totais.....	128
3.3.4 – Preparação dos sucos formulados com polpas dos frutos de facheiro e de mandacaru e liofilizado.....	128
3.3.5 – Análise sensorial do suco.....	129
3.3.6 – Análise estatística.....	129
3.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	131

3.4.1 – Cinética de liofilização.....	131
3.4.2 – Caracterização química e físico-química da polpa dos frutos de cactáceas em pó obtido por liofilizado.....	139
3.4.3 – Análise sensorial do suco.....	144
3.4.3.1 – Sucos formulados com polpa do fruto de facheiro.....	144
3.4.3.2 – Sucos formulados com polpa do fruto de mandacaru.....	145
3.5 – CONCLUSÕES.....	146
3.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	150
CAPÍTULO 4 – Secagem das cascas dos frutos do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i> Ritter) e mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i> P. DC.) pelo processo convectivo.....	164
4.1 – INTRODUÇÃO.....	165
4.1.2 – Objetivos.....	168
4.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	169
4.2.1 – Resíduos de produtos biológicos.....	169
4.2.2 – Secagem convectiva.....	170
4.2.2.1 – Cinética de secagem.....	174
4.2.2.1.1 – Variáveis envolvidas na secagem.....	175
4.2.2.1.2 – Curvas típicas de secagem.....	176
4.2.2.2 – Modelos Matemáticos para ajuste das curvas de secagem em camada fina.....	177
4.2.2.2.1 – Modelo de Page.....	178
4.2.2.2.2 – Modelo de Cavalcanti Mata.....	179
4.2.2.2.3 – Modelo de Midilli, Kucuk e Yapar.....	179
4.2.2.2.4 – Modelo de exponencial de dois termos.....	180
4.2.2.3 – Secador de Leito Fixo.....	180
4.2.2.4 – Planejamento experimental.....	181
4.2.2.5 – Estado da arte.....	182
4.2.3 – Farinha.....	185
4.2.3.1 – Características físico-químicas e química.....	185

4.2.3.1.1 – Acidez Graxa.....	186
4.2.3.1.2 – Amido.....	186
4.2.3.1.3 – Granulometria.....	187
4.2.4 – Pão de forma.....	188
4.3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	189
4.3.1 – Matéria-prima.....	189
4.3.2 – Secagem das cascas dos frutos das cactáceas.....	189
4.3.3 – Caracterização química e físico-química da farinha das cascas dos frutos do facheiro e mandacaru.....	194
4.3.3.1 – Determinação do teor de acidez graxa.....	194
4.3.3.2 – Teor de amido.....	195
4.3.3.3 – Distribuição granulométrica.....	195
4.3.4 – Preparação do pão de forma integral formulados com a farinha das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru.....	195
4.3.5 – Análise sensorial.....	197
4.3.6 – Análise estatística.....	197
4.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	199
4.4.1 – Otimização da secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru.....	199
4.4.1.1 – Teor de água.....	202
4.4.1.2 – Rendimento do processo de secagem.....	206
4.4.1.3 – Tempo para a secagem.....	210
4.4.2 – Cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru.....	213
4.4.3 – Caracterização das cascas em pó do fruto de facheiro e mandacaru.....	223
4.4.3.1 – Teor de água.....	223
4.4.3.2 – Cinzas.....	225
4.4.3.3 – Acidez graxa.....	226
4.4.3.4 – Proteína.....	227
4.4.3.5 – Amido.....	228
4.4.3.6 – Granulometria.....	229
4.4.4 – Análise sensorial.....	232
4.4.4.1 – Pão de forma formulado com a casca do fruto de facheiro.....	232

4.4.4.2 – Pão de forma formulado com a casca do fruto de mandacaru.....	233
4.5 – CONCLUSÕES.....	234
4.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	236
APÊNDICE A-C1.....	251
APÊNDICE B-C2.....	261
APÊNDICE C-C3.....	274
APÊNDICE D-C4.....	288

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Planta do facheiro (<i>Pilosocereus pachycladus</i> Ritter) (a); Planta do facheiro com o fruta (b).....	07
Figura 1.2 - Aspectos externos do fruto do facheiro verde (A) e maduro (B).....	08
Figura 1.3 - Planta do Mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i> D.C.).....	09
Figura 1.4 - Frutos do Mandacaru provenientes do vale do Curu.....	10
Figura 1.5 - Fluxograma do processamento de obtenção da polpa do fruto do facheiro e do fruto do mandacaru.....	24
Figura 2.1 - Evolução da temperatura durante o congelamento de um produto biológico com resfriamento lento (a), rápido (b) e ultrarrápido (c).....	57
Figura 2.2 - Unidades principais de cristalização. (a) Hexágonos regulares; (b) Dendrito (diedros) irregulares; (c) Unidades esféricas.....	61
Figura 2.3 - Curvas de congelamento de: (a) água pura e (b) uma solução diluída de sacarose.....	62
Figura 2.4 - Curva tempo-temperatura durante o congelamento.....	64
Figura 2.5 - Curva de congelamento de um produto alimentício.....	65
Figura 2.6 - Esquema com os termopares utilizados para a determinação da cinética de congelamento.....	72
Figura 2.7 - Cinética de congelamento a -25 °C da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru.....	74
Figura 2.8 - Cinética de congelamento a -60 °C da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru.....	78
Figura 2.9 - Cinética de congelamento a -150 °C da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru.....	82
Figura 2.10 - Cinética de congelamento a -196 °C da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru.....	85
Figura 3.1 - Diagrama de fases da água mostrando a sublimação do gelo.....	109
Figura 3.2 - Etapas do processo de liofilização.....	110
Figura 3.3 - Fluxo de calor e de massa durante a liofilização unidimensional.....	113
Figura 3.4 - Fluxo de calor e massa durante a liofilização unidimensional.....	113
Figura 3.5 - Fluxograma do processo de liofilização.....	126

Figura 3.6 - Liofilizador Marca Terroni, modelo LS 6000 A.....	126
Figura 3.7 - Câmara de secagem do Liofilizador Marca Terroni, modelo LS 6000 A.....	127
Figura 3.8 - Embaladora a vácuo e embalagens metalizadas de polipropileno, revestidas internamente com polietileno.....	127
Figura 3.9 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Cavalcanti Mata	134
Figura 3.10 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar.....	135
Figura 3.11 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Page.....	135
Figura 3.12 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de exponencial de dois termos.....	136
Figura 3.13 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Cavalcanti Mata.....	136
Figura 3.14 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar.....	137
Figura 3.15 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Page.....	137
Figura 3.16 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de exponencial de dois termos.....	138
Figura 4.1 - Variáveis de um processo de secagem (1 - Umidade relativa do ar; 2 - Temperatura do ar; 3 - Vazão do ar; 4 - Umidade inicial do produto; 5 - Umidade final do produto; 6 - Coeficiente de difusão de massa; 7- Área relativa).....	175
Figura 4.2 - Curvas típicas de secagem.....	175
Figura 4.3 - Fluxograma do processo de obtenção da farinha das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru.....	191
Figura 4.4 - Secador de leito fixo.....	192
Figura 4.5 - Cesta metálica: (a) Fechada (b) Aberta.....	192

Figura 4.6 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de água no processo de secagem das cascas do fruto de facheiro.....	203
Figura 4.7 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de água no processo de secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	203
Figura 4.8 - Superfície de resposta para o teor de água (%Xbs) na secagem das cascas do fruto de facheiro.....	205
Figura 4.9 - Superfície de resposta para o teor de água (%Xbs) na secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	206
Figura 4.10 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre rendimento do processo da secagem das cascas do fruto de facheiro.....	206
Figura 4.11 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre rendimento do processo da secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	207
Figura 4.12 - Superfície de resposta para o rendimento do processo (%) na secagem das cascas do fruto de facheiro.....	209
Figura 4.13 - Superfície de resposta para o rendimento do processo (%) na secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	209
Figura 4.14 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o tempo no processo de secagem das cascas do fruto de facheiro.....	210
Figura 4.15 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o tempo no processo de secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	210
Figura 4.16 - Superfície de resposta para o tempo (minutos) na secagem das cascas do fruto de facheiro.....	212
Figura 4.17 - Superfície de resposta para o tempo (minutos) na secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	213
Figura 4.18 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Cavalcanti Mata...	219
Figura 4.19 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar.....	219
Figura 4.20 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Page.....	220

Figura 4.21 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de exponencial de dois termos.....	220
Figura 4.22 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Cavalcanti Mata...	221
Figura 4.23 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar.....	221
Figura 4.24 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Page.....	222
Figura 4.25 - Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru nas temperaturas e velocidades estudadas – Modelo de exponencial de dois termos.....	222

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Principais países produtores de frutas em 2010.....	12
Tabela 1.2 - Rendimento industrial de frutas selecionadas.....	13
Tabela 1.3 - Valores médios e desvios padrão do rendimento da casca, polpa com semente, polpa sem semente e semente do fruto do facheiro e do mandacaru em relação ao fruto <i>in natura</i>	29
Tabela 1.4 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa e da casca do fruto do mandacaru.....	30
Tabela 1.5 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa e casca do fruto do facheiro.....	31
Tabela 2.1 - Propriedades de alguns refrigerantes empregados na indústria agroalimentícia.....	58
Tabela 2.2 - Propriedades dos líquidos criogênicos utilizados na indústria de alimentos...	61
Tabela 2.3 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de variação (R^2) das amostra da polpa do fruto do facheiro e de mandacaru <i>in natura</i> na temperatura de $-25\text{ }^\circ\text{C}$	77
Tabela 2.4 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de variação (R^2) das amostras da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru <i>in natura</i> na temperatura de $-60\text{ }^\circ\text{C}$	80
Tabela 2.5 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de variação (R^2) das amostras da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru <i>in natura</i> na temperatura de $-150\text{ }^\circ\text{C}$	83
Tabela 2.6 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de variação (R^2) das amostras da polpa do fruto do facheiro e do mandacaru <i>in natura</i> na temperatura de $-196\text{ }^\circ\text{C}$	86

Tabela 3.1 - Parâmetros dos modelos matemáticos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização da polpa do fruto do mandacaru.....	131
Tabela 3.2 - Parâmetros dos modelos matemáticos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização da polpa do fruto do facheiro.....	132
Tabela 3.3 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa do fruto de mandacaru em pó obtido por liofilizado.....	140
Tabela 3.4 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa do fruto de facheiro em pó obtido por liofilizado.....	141
Tabela 3.5 - Comparação entre as médias, desvio padrão e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os sucos formulados com polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C diluído na proporção de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose..	144
Tabela 3.6 - Comparação entre as médias, desvio padrão e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os sucos formulados com polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C diluído na proporção de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose.....	145
Tabela 4.1 - Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo (2^2)..	190
Tabela 4.2 - Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo ($2^2 +$ “configuração estrela”).....	190
Tabela 4.3 - Matriz do planejamento dos experimentos em sua forma codificada e real ...	191
Tabela 4.4 - Formulação do pão de forma com farinhas das cascas dos frutos das cactáceas facheiro e mandacaru.....	196
Tabela 4.5 - Planejamento Fatorial $2^2 + 3$ no ponto central (DCCR) para a secagem das cascas do fruto de facheiro.....	199
Tabela 4.6 - Planejamento Fatorial $2^2 + 3$ no ponto central (DCCR) para a secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	200

Tabela 4.7 - Modelos de segunda ordem para as variáveis respostas na secagem das cascas do fruto de facheiro.....	202
Tabela 4.8 - Modelos de segunda ordem para as variáveis respostas na secagem das cascas do fruto de mandacaru.....	202
Tabela 4.9 - Análise de Variância do modelo ajustado para o teor de água na secagem da casca do fruto de facheiro para os modelos de primeira e segunda ordem..	204
Tabela 4.10 - Análise de Variância do modelo ajustado para o teor de água na secagem da casca do fruto de mandacaru para o modelo de primeira e segunda ordem.....	204
Tabela 4.11 - Análise de Variância do modelo ajustado para o rendimento da secagem da casca do fruto de facheiro para o modelo de primeira e segunda ordem.....	207
Tabela 4.12 - Análise de Variância do modelo ajustado para o rendimento da secagem da casca do fruto de mandacaru para o modelo de primeira e segunda ordem.....	208
Tabela 4.13 - Análise de Variância do modelo ajustado para o tempo na secagem da casca do fruto de facheiro para o modelo de segunda ordem.....	211
Tabela 4.14 - Análise de Variância do modelo ajustado para o tempo na secagem da casca do fruto de mandacaru para o modelo de segunda ordem.....	211
Tabela 4.15 - Parâmetros do modelo matemático de Cavalcanti Mata e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro.....	213
Tabela 4.16 - Parâmetros do modelo matemático de Midilli, Kucuk & Yapar e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro.....	214
Tabela 4.17 - Parâmetros do modelo matemático de Page e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro.....	214
Tabela 4.18 - Parâmetros do modelo matemático de exponencial de dois termos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro.....	215

Tabela 4.19 - Parâmetros do modelo matemático de Cavalcanti Mata e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru.....	215
Tabela 4.20 - Parâmetros do modelo matemático de Midilli, Kucuk & Yapar e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru.....	216
Tabela 4.21 - Parâmetros do modelo matemático de Page e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru.....	216
Tabela 4.22 - Parâmetros do modelo matemático de exponencial de dois termos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru.....	217
Tabela 4.23 - Valores médios e desvios padrão do teor de água (%b.s.) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.....	224
Tabela 4.24 - Valores médios e desvios padrão de cinzas (%) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.....	225
Tabela 4.25 - Valores médios e desvios padrão de acidez graxa (ml de KOH/100 g de PS) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.....	226
Tabela 4.26 - Valores médios e desvios padrão de proteína (%) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.....	227
Tabela 4.27 - Valores médios e desvios padrão de amido (%) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.....	228
Tabela 4.28 - Valores médios e desvios padrão da granulometria (%) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva.....	229
Tabela 4.29 - Valores médios e desvios padrão da granulometria (%) das cascas dos frutos de mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.....	230
Tabela 4.30 - Comparação entre as médias e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os pães de forma formulados com a casca do fruto de facheiro nas temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C.....	232

Tabela 4.31 - Comparação entre as médias, desvio padrão e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os pães de forma formulados com a casca do fruto de mandacaru nas temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C..... 233

LISTA DE SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa
IBRAF	Instituto Brasileiro de Frutas
LAPPA	Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas
UAEA	Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola
CTRN	Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
IFPE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
PIQ	Padrão de Identidade e Qualidade
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional

NOMENCLATURA

A	-	Taxa de aquecimento	$^{\circ}\text{C s}^{-1}$
A_n	-	Constante que depende do produto	Adimensional
A,b,c,n,k	-	Constantes do modelo	Adimensional
AG	-	Acidez graxa	ml de KOH 100^{-1} g de PS
dA	-	Elemento de área	m^2
D_{ef}	-	Difusividade efetiva,	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
dQ	-	Quantidade de calor que passa pela área dA	J
dQ/dt	-	Taxa com que o energia é fornecida	W
dx	-	Variação do espaço	M
dT	-	Intervalo de tempo	S
dT/dx	-	Gradiente de temperatura	$^{\circ}\text{C m}^{-1}$
E_a	-	Energia de ativação	Kcal
F_0	-	Número de Fourier	Adimensional
i	-	Número de termos na série	Adimensional
K	-	Condutividade térmica	$\text{W m}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$
L	-	Espessura da altura da camada da amostra	m
l	-	Espessura da altura da camada da amostra	m
M	-	Massa por unidade de pão	kg
m	-	Massa	kg
m_p	-	massa do produto	kg
p	-	Pressão	N m^{-2}
PS	-	Peso da amostra seca	g
Q	-	Quantidade de calor	Kj
Q_p	-	Quantidade de pães	Unidade
q	-	Fluxo de calor	kJ s^{-1}
R	-	constante universal dos gases	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
R^2	-	coeficiente de determinação	Adimensional
R_c	-	Raio do cilindro	m
RT	-	Razão de temperatura	Adimensional

Rx	-	Razão do teor de água	Adimensional
T	-	Temperatura absoluta	K
T _e	-	Temperatura de equilíbrio	°C
T _i	-	Temperatura a cada instante	°C
T _∞	-	Temperatura no equilíbrio do congelamento	°C
T ₀	-	Temperatura inicial	°C
t	-	Tempo	S
v	-	Volume	m ³
V	-	Volume gasto de KOH	ml
x	-	Teor de água no instante	%
x _i	-	Teor de água inicial	%
x _e	-	Teor de água de equilíbrio	%
x _m	-	Teor de água médio no instante t	%
x _o	-	Teor de água médio no inicial	%
x _{bu}	-	Teor de água na base úmida	%
x _{bs}	-	Teor de água na base seca	%
y _i	-	Ingredientes	%
z	-	Direção da transferência de calor	Adimensional
α	-	Difusividade térmica	mm ² s ⁻¹
ρ	-	Massa específica	g cm ⁻³
σ	-	Raiz transcendental	Adimensional

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver produtos alimentícios: suco e pão de forma com a incorporação dos frutos de facheiro e mandacaru. O estudo foi dividido em quatro capítulos. No Capítulo 1, realizou-se o processamento das frutas e quantificou o rendimento industrial da polpa, casca e semente. Determinaram-se as características químicas e físico-químicas das polpas e cascas dos frutos de facheiro e mandacaru. No Capítulo 2, as polpas dos frutos de facheiro e mandacaru foram congelados, com o objetivo de determinar a cinética, nas temperaturas de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, em freezer, a -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ em balcão criogênico e por imersão em nitrogênio líquido $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. No Capítulo 3 obteve-se o pó da polpa dos frutos de facheiro e mandacaru pelo processo de liofilização, onde estudou-se o efeito do congelamento submetidas a polpa a três temperaturas de congelamento $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante a liofilização foram determinadas as cinéticas de secagem, onde os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page e exponencial de dois termos foram utilizados para prever o comportamento da curva de secagem. O material liofilizado obtido em forma de pó foi submetido a análise químicas e físico-químicas. Utilizou-se a polpa do fruto do facheiro e mandacaru em pó, liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25 , -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, para análise sensorial. No Capítulo 4 realizou-se a otimização da secagem convectiva das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru aplicando o planejamento experimental fatorial estudando a influência da temperatura (T) e a velocidade do ar (v_{ar}) durante a secagem. Os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page e exponencial de dois termos foram utilizados para prever o comportamento da curva de secagem. O material seco obtido em forma de pó foi submetido a análise químicas e físico-químicas. Utilizou-se de pão de forma, substituindo-se 10% da farinha de trigo pelas farinhas das cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru nas diferentes temperaturas de secagem (50 , 60 e $70\text{ }^{\circ}\text{C}$) para análise sensorial. Com base nos resultados obtidos verificou-se que a polpa de facheiro apresentou menor rendimento do a que polpa do mandacaru. A polpa de facheiro e mandacaru apresentou os teores de sólidos solúveis, ácido ascórbico, açúcares redutores, açúcares totais e valor calórico maiores que a casca dos respectivos frutos. O tempo de congelamento foi menor na polpa do fruto do mandacaru do que na polpa do fruto do facheiro, para as temperaturas de -25 , -60 , -150 e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. As curvas de congelamento da polpa do fruto do facheiro e mandacaru -25 , -60 , -150 e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ocorrem em menor tempo à medida que a temperatura do congelamento diminui. A difusividade térmica efetiva da polpa do fruto de mandacaru e facheiro é diretamente proporcional ao aumento do gradiente da temperatura e inverso ao teor de água, nas temperaturas de -25 , -60 , -150 , e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. O modelo matemático de Cavalcanti Mata, de maneira geral é o que melhor prediz a cinética de secagem por liofilização. Verificou-se que a diminuição da temperatura de congelamento acarreta maior tempo de liofilização, tanto para as polpas de facheiro como a de mandacaru. Constatou-se pela análise sensorial que não existiu diferença significativas entre as amostras de sucos estudadas e que não houve influência da temperatura de congelamento. As variáveis de entrada: temperatura e velocidade do ar de secagem influenciaram significativamente sobre as variáveis de resposta. O modelo empírico de segunda ordem foi o que obteve os valores de maior significância estatística. O modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata é o modelo que melhor prediz o comportamento da secagem das cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru.

Palavras-chave: cactáceas, facheiro, mandacaru, cinética de congelamento, liofilização, secagem convectiva.

ABSTRACT

The present work had as an objective to develop alimentary products: juice and sliced bread with the incorporation of “facheiro’s” fruits and “mandacaru”. The study was divided in four chapters. In the First Chapter, the processing of fruits and the quantifying of the industrial yielding of the pulp, rind, and seed took place. The chemical and physical-chemical characteristics of the pulps and rinds of the fruits of “facheiro” and “mandacaru” were determined. In Chapter 2, the pulps of the fruits of “facheiro” and “mandacaru” were frozen with the objective of determining the kinetic, at the temperatures of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, in a freezer, then at -60 and $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ on cryogenic counter and by their immersion in liquid nitrogen $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. In Chapter 3 it was obtained the powder of the pulp of the fruits of “facheiro” and “mandacaru” through the process of freeze-drying, where it was studied the effect of the freezing subjugated to the pulp at three freezing temperatures $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, -60 , and $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. During the freeze-drying process it were determined the kinetics of the drying, where the mathematics models of Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page and the exponential of two terms were utilized to predict the behavior of the drying curve. The freeze-drying material got in powder form was subject to chemical and physical-chemical analysis. The powdered pulp of the fruits of “facheiro” and “mandacaru”, frozen-dried at the freezing temperatures of -25 , -60 , and $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ were subject of sensorial analysis. In Chapter 4, the optimization of the convective drying of the fruit’s rind took place by applying the experimental factorial planning studying the influence of the temperature (T) and the velocity of air (v_{ar}) during the drying. The mathematics models of Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page and the exponential of two terms were utilized to predict the behavior of the drying curve. The dried material obtained in powder form was submitted to chemical and physical-chemical analysis. Sliced bread was utilized by substituting 10% of the wheat flour for flour made out of the rind of the fruits of “facheiro” and “mandacaru” in the different drying temperatures (50, 60 and $70\text{ }^{\circ}\text{C}$) for sensorial analysis. Based on the results obtained it was verified that the “facheiro’s” pulp yielded less than the pulp of “mandacaru”. Their pulps demonstrated contents of soluble solids, ascorbic acid, reducing sugars, total sugars, and higher caloric values than the rinds of the fruits. The freezing time was less in the fruit of “mandacaru” rather than the pulp of the fruit of “facheiro”, for the temperatures of -25 , -60 , -150 , and $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. The freezing curves of the pulp of the fruits were -25 , -60 , -150 , and $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ happen in less time as the freezing temperature decreases. The effective thermal diffusivity of the pulps of the fruits of “mandacaru” and “facheiro” is directly proportional to the increase of the gradient of the temperature and the inverse to the tenor of the water at the temperatures of -25 , -60 , -150 , and $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. The mathematical model of Cavalcanti Mata, in a general way is the one who best predicts the kinetic of the drying by the freeze-drying process. It was verified that the decrease of the freezing temperature gathered a higher freeze-drying time, both to the pulps of “facheiro” and “mandacaru”. It was found through sensorial analysis that there were no significant differences between the samples of juices studied and that there was no influence of the freezing temperature. The entering variables: temperature and the velocity of the air on the drying significantly influenced under the response variables. The empiric model of the second order was the one who obtained the highest statistical significance values. The mathematic method proposed by Cavalcanti Mata is the model that best predicts the drying behavior of the rinds of the fruits of “facheiro” and “mandacaru”.

Keywords: cacti, facheiro, mandacaru, freezing kinetics, freeze-drying, connective drying.

APRESENTAÇÃO

As frutas tropicais por seu aroma e sabor característicos são apreciadas no mundo inteiro e o consumo de sucos dessas frutas vem aumentando significativamente devido ao desenvolvimento de processos tecnológicos de conservação dos atributos sensoriais desses produtos.

O Nordeste brasileiro produz frutos tropicais nativos e cultivados, em virtude de suas condições climáticas. A fruticultura, nesta região, constitui-se em atividade econômica bastante promissora, devido ao sabor e aroma exótico de seus frutos e à sua enorme diversificação.

No Brasil e em alguns países da América Latina, vêm-se utilizando como alternativa alimentar as cactáceas. Na região semiárida brasileira, ocorrem diversas cactáceas de grande importância para fauna e flora regional, entre estas, destaca-se o facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter) e o mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.).

Poucos são os estudos com os frutos desta cactácea, que apesar de serem encontrados em grandes quantidades no período de safra, não são explorados comercialmente, ocorrendo assim seu desperdício, que são decorrentes principalmente pelo desconhecimento de suas características químicas e físico-químicas. O não aproveitamento dos frutos das cactáceas como alternativa alimentar na indústria de alimentos, poderiam gerar emprego, renda e melhoria nos níveis da dieta regional, além da oferta de novos produtos alimentícios e preservação ambiental.

No desenvolvimento de novos produtos agroindustriais gera-se subprodutos, que em muitos casos são considerados custo operacional para as empresas ou fonte de contaminação ambiental que poderá ser reduzido com pesquisas que venham otimizar o processo.

O aproveitamento dos subprodutos da agroindústria diminui os custos da produção, aumenta o aproveitamento total do alimento e reduz o impacto que esses resíduos podem causar ao serem descartados no ambiente. Dessa forma, alguns subprodutos do processamento de frutas devem ser aproveitados e transformados em ingredientes alimentícios, como exemplo as cascas.

Os frutos de facheiro e mandacaru possuem um alto valor nutritivo e com rendimento industrial semelhante as frutas selecionadas, tendo um elevado potencial de aproveitamento tecnológico, podendo assim ser aproveitadas na alimentação humana, uma vez que as frutas são ricas em vitaminas, carotenoides, compostos fenólicos e outros componentes importantes e por serem exóticos.

Acredita-se que a otimização dos processamentos dos frutos das cactáceas de facheiro e mandacaru, deverá aumentar a sua participação na produção de alimentos, tais como polpas e sucos, néctares, doces, bolos, bolachas, pães, farinhas, sorvetes, na composição de alimentos tornando-os um produto mais atrativo ao mercado consumidor.

O objetivo deste trabalho foi elaborar alimentos como suco e pão de forma com a incorporação dos frutos de facheiro e de mandacaru em formulados alimentícios onde será estudada a caracterização físico-química, cinética de congelamento, cinética de secagem por liofilização da polpa dos frutos do facheiro e mandacaru, a cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru e a análise sensorial dos produtos formulados.

Para melhor estudar e organizar esta pesquisa, este trabalho é composto pelos seguintes capítulos: **Capítulo 1**, foi realizado o processamento das frutas e quantificado o rendimento industrial da polpa, casca e semente. Determinaram-se as características químicas e físico-químicas das polpas e cascas dos frutos de facheiro e mandacaru. **Capítulo 2**, as polpas dos frutos de facheiro e mandacaru foram congelados por quatro métodos, com o objetivo de determinar a cinética, no primeiro método de congelamento consistiu em congelar o produto da temperatura ambiente até $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, em freezer, no segundo e terceiro o congelamento foi realizado em balcão criogênico até as temperaturas de -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ e no quarto método a polpa foi congelada por imersão em nitrogênio líquido $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. **Capítulo 3**, foi obtido o pó da polpa dos frutos de facheiro e mandacaru pelo processo de liofilização que foi realizado em quatro etapas: congelamento, secagem primária, remoção da água livre e secagem secundária, remoção da água fortemente ligada. O congelamento foi realizado submetidas a polpa a três temperaturas de congelamento $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ no freezer e -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ em balcão criogênico. A secagem primária e secundária foi realizada no Liofilizador Marca Terroni, modelo LS 6000 A, onde a polpa congelada foi submetida a um vácuo parcial inferior a $50\text{ }\mu\text{m}$ de Hg. Durante a secagem foram determinadas as cinéticas de secagem, os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page e exponencial de dois termos foram utilizados para predizer o comportamento da curva de secagem. O material liofilizado obtido em forma de pó foi submetido a análise químicas e físico-químicas, quanto ao teor de água, sólidos totais, cinzas, sólidos solúveis, massa específica, pH, acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, lipídios, proteína e valor calórico. Utilizou-se a polpa do fruto do facheiro e mandacaru em pó, liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25 , -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, diluído na proporção de 1:0,5 (água:produto

liofilizado) com adição de 10% de sacarose para análise sensorial, quanto aos aspectos de aroma, aparência, cor e sabor e um teste de intenção de compra, utilizando uma escala hedônica. **Capítulo 4**, foi realizado a otimização da secagem convectiva das cascas dos frutos de facheiro e do mandacaru aplicando o planejamento experimental fatorial estudando a influência da temperatura (T) e a velocidade do ar (v_{ar}) durante a secagem sobre as variáveis teor de água na base seca (% Xbs), rendimento do processo (% RP) e tempo de secagem (t). Através de regressão não linear foi estabelecido o modelo matemático para relação entre temperatura e velocidade do ar de secagem e as variáveis respostas (teor de água na base seca (% Xbs), rendimento do processo (% RP) e tempo de secagem (t) na secagem considerando apenas os parâmetros estatisticamente significativos a 95% de confiança e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os valores do teste F. Durante a secagem foram determinadas as cinéticas de secagem. Os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page e exponencial de dois termos foram utilizados para prever o comportamento da curva de secagem. O material seco obtido em forma de pó (farinhas) foi submetido a análise químicas e físico-químicas. Utilizou-se da formulação básica para pão de forma que foi modificada, substituindo-se 10% da farinha de trigo pelas farinhas das cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) para análise sensorial, quanto aos aspectos de aroma, aparência, cor e sabor e um teste de intenção de compra, utilizando a escala hedônica de 5 pontos.

**APROVEITAMENTO AGROINDUSTRIAL DE CACTÁCEAS
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

CAPÍTULO 1

**PROCESSAMENTO E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS
FRUTOS DE FACHEIRO (*Pilosocereus pachycladus* Ritter) E MANDACARU (*Cereus
jamacaru* P. DC.)**

1.1 - INTRODUÇÃO

O consumo mundial de frutas tem crescido nos últimos anos a uma taxa média anual de 5,6%. Parte deste crescimento pode ser explicado pela mudança de hábito dos consumidores, os quais cada vez mais procuram nas frutas, a garantia de um alimento saudável e funcional. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o consumo per capita recomendado por ano é de 146 kg de frutas. No Brasil, este consumo é de apenas 57 kg (LEAL, REIS & LUZ, 2013).

O Brasil é grande produtor e consumidor de polpas de frutas, sendo que este crescimento da produção industrial está ocorrendo principalmente devido ao surgimento de produtos que têm o suco como ingrediente secundário, ou seja, sorvetes, iogurtes, alimentos infantis etc. (PRATI, MORETTI & CARDELLO, 2005)

O processamento de frutas para obtenção de polpas é uma atividade agroindustrial importante, na medida em que agrega valor econômico à fruta, evitando desperdícios e minimizando perdas que podem ocorrer durante a comercialização do produto *in natura* (SANTOS & BARROS, 2012).

De acordo com FARAONI & RAMOS (2013), a preocupação das pessoas com a saúde tem elevado o consumo de frutas e de seus derivados nos últimos anos, pois cada vez mais, estudos têm demonstrado que o consumo regular de frutas é um grande aliado na redução do risco de desenvolvimento de diversas doenças, uma vez que são ricas em vitaminas, carotenóides, compostos fenólicos e outros componentes importantes. Uma dieta preventiva de doenças crônicas deve conter quantidades generosas de frutas e hortaliças, sendo indicado o consumo de no mínimo 400g por dia ou 5 porções de hortaliças e frutas (SABRY, SÁ & SAMPAIO, 2010). Estudos epidemiológicos têm mostrado que dietas ricas em frutas e verduras estão associadas a uma menor incidência de doenças crônicas e degenerativas (OLIVEIRA, VALENTIM & GOULART, 2009; FINCO, SILVA & OLIVEIRA, 2012).

O Brasil, por possuir um extenso território, tem-se destacado com um percentual significativo, na produção mundial de frutas, no entanto são insignificantes as quantidades de frutas exóticas nativas da região nordeste que são exportadas, como o cajá (*Spondias lutea* L.), umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara), ceriguela (*Spondias purpúrea* L.), mangaba (*Hancornia speciosa* Muell), pitanga (*Eugenia uniflora* L.), Jaca (*Artocarpus integrifolia* L.), carambola (*Averrhoa carambola* L.), caju (*Anacardium occidentale* L.), graviola (*Annona muricata* L.), fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.), embora já se tenha detectado e quantificado o possível mercado consumidor para esses produtos (CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA, 2005). Além dessas frutas, destacam-se também os frutos das cactáceas,

tais como, o facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter), o mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), o xiquexique (*Pilosocereus gounellei*), a coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis* Britton & Rose) e além das *Opuntias* e a *Pereskia aculeata* (Ora-pronobis) mesmos não sendo produtos de exportação, mas apresentam potencial para o mesmo, uma vez que as frutas são ricas em vitaminas, carotenóides, compostos fenólicos e outros componentes importantes e por serem frutas exóticas apresentando excelentes sabores.

As frutas e hortaliças não convencionais geralmente apresentam teores de minerais e proteínas significativamente maiores do que as plantas domesticadas, além de serem mais ricas em fibras e compostos com funções antioxidantes (ALMEIDA & CORRÊA, 2012).

SACRAMENTO & BARRETO (2012) ao relatar sobre a atual situação de cultivo e entraves apresentados por algumas frutíferas nativas e exóticas de clima tropical, afirma que, o Brasil possui condições edafoclimáticas favoráveis para a produção comercial de diversas frutas tropicais nativas e exóticas, entretanto há necessidade de identificação dos entraves inerentes a cada espécie e a partir daí proporcionar tecnologias que viabilizem o cultivo racional incluindo melhoramento, propagação, manejo, aspectos fitossanitários, pós-colheita e conhecimento do potencial industrial alimentar, medicinal e cosmético.

Os frutos dos cactos desempenham um papel importante na dieta humana em seus países de origem, como México ou o Chile, onde frutas frescas são comumente consumidos em casa, em restaurantes vegetariano, ou em lojas de produtos naturais locais, segundo SÁENZ & SEPÚLVEDA (2001).

As cactáceas do gênero *Opuntia*, *Cereus* e *Pilosocereus*, produzem frutas suculentas com polpa de cores atraentes (GARCÍA-CRUZ, SALINAS-MORENO & VALLE-GUADARRAMA, 2012), comumente são consumidas frescas, no entanto, há um interesse crescente na transformação em produtos industrializados, tais como suco, compotas, geleia, doces, marmelada e outros (CARDADOR-MARTINEZ, JIMENEZ-MARTINEZ, & SANDOVAL 2011).

A necessidade de diretrizes para a elaboração de Padrões de Identidade e Qualidade (P.I.Q.) para polpa de frutas tropicais congeladas se faz presente em função da, atual situação de comercialização do produto, uma vez que se observa uma grande variabilidade no que concerne às características físico-químicas, organolépticas, que são atributos mais facilmente detectáveis pelo consumidor, além da qualidade sanitária, menos notória ao público e que, em algumas indústrias, deixa muito a desejar.

Quando se trabalha com processamento de polpa, é imprescindível que se realize a sua caracterização químicas, físico-químicas para que o produto obtido chegue ao consumidor apresentando ótima qualidade e maior vida de prateleira (GADELHA et al., 2009).

PAGLARINI et al. (2011) sugere a obtenção dos frutos das cactáceas como polpa de fruta pode minimizar perdas, desperdícios, agregar valor ao produto, aumentando a renda do pequeno produtor rural e permitindo estar disponível ao consumidor na época de entressafra.

1.1.1 – Objetivos

- Determinar o rendimento da polpa e da casca do fruto de facheiro e mandacaru em relação ao fruto.

- Determinar os constituintes químicos e físico-químicos da polpa e casca do fruto do facheiro e mandacaru.

1.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 – Semiárido brasileiro

As regiões áridas e semiáridas representam 55% das terras do mundo, perfazendo 2/3 da superfície total de 150 países e abrangendo ao redor de 700 milhões de pessoas. As regiões com características de aridez e semiaridez na América Latina e Caribe estão localizadas na Argentina, Brasil, Bolívia, Colômbia, Venezuela, Equador, Chile e México. Todas estas áreas abrangem 313 milhões de hectares e compreendem 80% das áreas tropical e subtropical (CÂNDIDO, ARAÚJO & CAVALCANTE, 2005).

De acordo com FERREIRA et al. (2009) a região semiárida é caracterizada por ter solos rasos e assentados sobre o substrato cristalino, cobertos predominantemente pela vegetação caducifólia das caatingas, típica da região. O tipo climático é Bsh, segundo a classificação de Köppen, caracterizando-se por temperaturas elevadas, médias em torno de 28°C, sem significativas variações estacionais. Esta região apresenta baixa umidade do ar, alta insolação e elevadas taxas de evaporação, mas especialmente pela escassez e irregularidade acentuada na distribuição de chuvas, tanto no tempo quanto no espaço, com a ocorrência de longos períodos de estiagem, caracterizando-se por clima quente e seco, com duas estações, a seca e a úmida.

Segundo MARENGO (2006), essa região sempre foi acometida de grandes eventos extremos de secas, contudo, não é rara a ocorrência de grandes enchentes. Esses eventos estão diretamente associados à produção agropecuária, sendo os principais responsáveis pelo sucesso, ou não, dessa importante atividade na região. A precipitação pluviométrica do semiárido brasileiro é marcada pela variabilidade espaço-temporal com médias históricas anuais no intervalo de 300-800 mm, que, associada aos baixos totais anuais sobre a região, resulta na frequente ocorrência de dias sem chuva, ou seja, veranicos, e conseqüentemente, em eventos de “seca”.

A Caatinga é o ecossistema predominante na região, cuja flora é composta por árvores e arbustos caracterizados pela rusticidade, tolerância e adaptação às condições climáticas da região. A origem do termo caatinga vem do tupi-guarani, CAA= mata e TINGA= branca, mata branca, o que caracteriza a paisagem no período de estiagem quando a vegetação perde as folhas e fica com um aspecto seco e sem vida (ALVES, 2007).

Destacam-se as cactáceas forrageiras, facheiro (*Pilosocereus Pachycladus* Ritter) e o mandacaru (*Cereus Jamacaru* P. DC.), relatado por DRUMOND, SANTANA & ANTONIOLI

(2004). Vale ressaltar que essas espécies se destacam também pelo seu potencial madeireiro, frutífero e medicinal.

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de 969.589 km e inclui os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia e uma faixa que se estende em Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha (BRASIL, 2005b), esta região ocupa cerca de 10% do território nacional e abriga mais de 23 milhões de pessoas segundo BRASIL (2009).

1.2.2 – Cactáceas

Os cactos são nativos das Américas, onde são distribuídos extensamente. Mais de 70% das espécies ocorrem em regiões áridas e semiáridas da América Tropical e distribuídas em países como Costa Rica, México, Colômbia, Peru, Argentina, Panamá, Venezuela, Chile, Uruguai e Brasil (GUTIERREZ & ESCOBAR, 2008). Dentre as plantas com maior distribuição nos ecossistemas áridos e semiáridos do novo mundo, destacam-se os representantes da família Cactaceae (ANDERSON, 2001). As cactáceas constituem um importante elemento desta paisagem, apresentando caules suculentos, áfilos, cobertos por espinhos de diversas formas, tamanhos e dimensões (SOUZA & LORENZI, 2005).

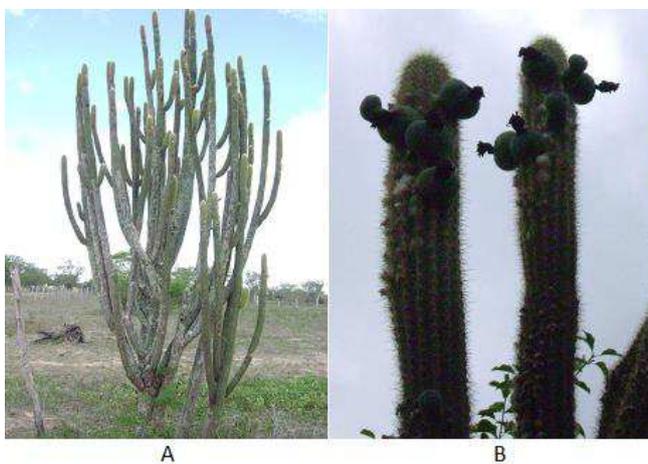
De todas as cactáceas encontrada na caatinga, quatro se destacam com indispensáveis fontes de nutrientes e de água para os rebanhos, sobretudo durante as secas – o mandacaru ou cardeiro (*Cereus jamacaru* P. DC.), o xiquexique ou sodoro (*Pilosocereus gounellei*), a coroa-de-frade (*Melocactus depressus*) e o facheiro ou mandacaru de facho (*Pilosocereus piauensis*) de acordo com PINHEIRO et al. (2008).

Da família Cactaceae, o gênero com maior importância econômica do mundo atualmente é a *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Segundo RERYES-AGUERO, AGUIRRE-RIVERA & HERNÁNDEZ (2005). a palma forrageira é pertencente à família Cactaceae, subfamília Opuntioideae e gênero *Opuntia*, do qual foram catalogadas aproximadamente 300 espécies, desde o Canadá até a Patagônia (BARBERA, 2001; NOBEL, 2001; SCHEINVAR, 2001). Este gênero é nativo da América do Sul e Central, sendo o México considerado como centro de origem genético (PIMIENTA-BARRIOS et al., 1995 e NOBEL, 2001). No início do século XX, foram introduzidas na Austrália e nos Estados Unidos da América, com fins ornamentais e agrônômicos, tornando-se invasoras nesses países (ZIMMERMANN et al.,

2000). Mais recentemente a sua distribuição no mundo inclui ambientes distintos e uma ampla faixa de espécies, o que deve a sua alta variabilidade genética, que se origina da grande diversidade ecológica das áreas de onde são nativas (NOBEL, 2001).

1.2.2.1 – Planta de facheiro

É uma cactácea que ocorre nas caatingas do Nordeste muito utilizada pelos agricultores para alimentação dos animais. (CAVALCANTI & KILL, 2002; ADUB et al., 2010; CAVALCANTI, 2004) afirmam que o *Pilosocereus pachycladus* Ritter, conhecido como “Facheiro” ou “facheiro azul” ou “mandacaru de facho”, nesta tese, será denominado de facheiro. É um cactus colunar endêmico que cresce naturalmente na Caatinga, atinge até 10 metros de altura, considerado por isso, como cacto de grande porte, o tronco e as ramificações tem coloração verde-escuro, espinhos agudos e amarelados, conforme a Figura 1.1, as flores são grandes, isoladas e alvas com a base arroxeadada ocorrendo nas caatingas dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, são uma das plantas que caracterizam o Nordeste Brasileiro.



Fonte: Autor

Figura 1.1 – Planta de facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter) (A); Planta de facheiro com o fruto (B)

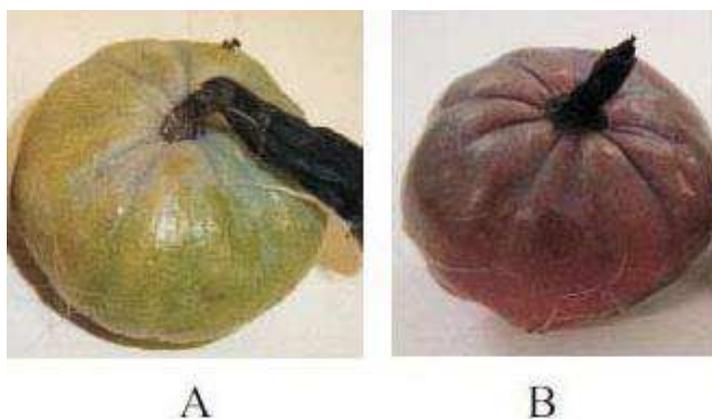
O facheiro é importante economicamente na região devido ao valor ornamental e forrageiro (SILVA et al., 2005b; FRANCISCO et al., 2008; ROCHA & AGRA, 2002) e conforme ABUD et al. (2010) destacam-se com indispensáveis fontes de nutrientes e de água para os rebanhos, sobretudo durante as secas. De acordo com a análise bromatológica da parte

área apresenta 15,66% de proteína bruta, 1,50% de extrato etéreo, 5,32% de fibra bruta, 2,04% de tanino e 35,97% de amido relatado por CAVALCANTI (2004).

1.2.2.1.1 – Fruto de facheiro

Os frutos de todos cactos colunar são comestíveis, no entanto, algumas espécies têm frutos de boa qualidade, suculento de sabor doce ou agridoce, enquanto outros têm frutos de qualidade regular, que são colhidas apenas ocasionalmente devido eles terem espinhos longos e/ou abundante, e/ou ter sabor não muito agradável (insípido) e/ou são difíceis de obter devido às populações ou indivíduos serem escassos ou de difícil colheita. Outros têm "frutas de má qualidade", porque eles não têm uma polpa suculenta e raramente são consumidos. As frutas em geral são consumidas frescas, mas algumas são utilizadas na fabricação de doces e compotas, segundo CASAS (2002). CAVALCANTI & RESENDE (2007) e LIMA et al. (2007) relatam que no Brasil e em alguns países da América Latina, vêm-se utilizando como alternativa alimentar cactáceas do *Pilosocereus* (facheiro).

ABUD et al. (2010) concluiu que o fruto de facheiro apresenta em média comprimento de 38,13 mm, diâmetro de 50,53 mm e 3.786 sementes, sendo o fruto uma baga com formato oblongo, a coloração varia de totalmente verde a vermelho-púrpura durante maturação, sem espinhos na casca. Observa-se que os frutos de facheiro apresentam epicarpo de coloração verde durante a sua maturação e após atingir a maturidade fisiológica apresentam coloração lilás conforme a Figura 1.2. São do tipo baga, polispérmicos, deiscentes, carnosos, apresentando pericarpo espesso e suculento.



Fonte: (ALMEIDA et al., 2009)

Figura 1.2 – Aspectos externos do fruto de facheiro verde (A) e maduro (B)

A floração do facheiro ocorre entre os meses de setembro e outubro, a frutificação é registrada em dezembro e janeiro, e sua reprodução pode ser feita por sementes ou por estacas do caule (CAVALCANTI, 2004).

1.2.2.2 – Planta de mandacaru

Cereus jamacaru P. DC., Cactaceae, é conhecido popularmente como mandacaru, mandacaru-de-boi, mandacaru-facheiro, mandacaru-de-faixa, cardeiro, jamacaru, jamaracurú, jumucurú, jumarucú, cumbeba e urumbeba (ZAPPI & AONA, 2013), nesta tese, será denominado de mandacaru. É um cacto colunar abundantemente ramificado e com flores brancas característico da região semiárida do Brasil, conforme a Figura 1.3 (DAVET, 2009; OLIVEIRA et al. 2011a).



Fonte: (OLIVEIRA et al., 2007)

Figura 1.3 – Planta de mandacaru

O mandacaru é uma cactácea, que ocorre nas caatingas nordestinas, de grande importância para a sustentabilidade e conservação da biodiversidade do bioma caatinga. Seus frutos alimentos para pássaros e animais silvestres da caatinga. Em períodos de seca, esta cactácea é largamente utilizada pelos agricultores para alimentação dos animais (CAVACANTI & RESENDE, 2006; CORREIA et al., 2011).

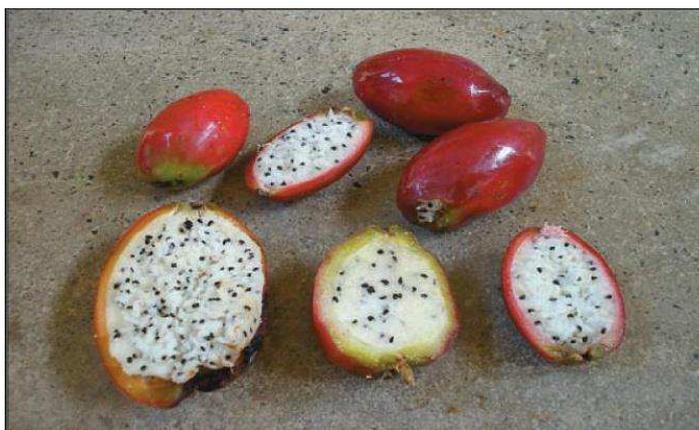
ALMEIDA et al. (2009) afirmam que o mandacaru é uma espécie nativa da vegetação da caatinga, pertencendo à família das cactáceas, que está adaptada às condições de intenso xerofitismo e caracterizam a paisagem vegetal das regiões mais secas da América Intertropical. Cresce em solos pedregosos, vegeta nos piores tipos solos, até mesmo nas rochas onde existe

um pouco de areia, e resiste há vários meses de secas (OLIVEIRA et al., 2007), junto a outras espécies de cactáceas, forma a paisagem típica da região semiárida do Nordeste, é encontrado nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais (ZAPPI & AONA, 2007; SILVA & ALVES, 2009; ALMEIDA et al., 2011a).

Segundo ROCHA & AGRA (2002) esta planta atinge de 3 a 7 m de altura e possui caule cheio de espinhos rígidos, com grande quantidade de água, cerca de 15%. (DAVET, 2009) é utilizada como planta ornamental e ainda serve para alimentação de bovinos, caprinos e ovinos, principalmente na época de estiagem.

1.2.2.2.1 – Fruto de mandacaru

Os frutos quando maduros apresentam coloração da casca vermelho-vívido, a polpa esbranquiçada apresenta grande número de pequenas sementes e tem aroma e flavor peculiar e delicado. O conteúdo de ácido ascórbico ($126,14 \text{ mg}100 \text{ g}^{-1}$) é relativamente alto (DAVET et al., 2009). Segundo ROCHA & AGRA (2002), o fruto de mandacaru como demonstra a Figura 1.4 é uma baga, elipsóide (esferóide prolato), com aproximadamente 12 cm de comprimento, vermelho, carnoso, de polpa branca, com inúmeras sementes pretas e bem pequenas. O tamanho do fruto de mandacaru varia de 10-13 x 5-9 cm, sucosa; epicarpos glabros, róseos a vermelho; polpa funicular, mucilagínosa, branca; sementes pretas variando de 1,5 – 2,5 mm de comprimento (ALMEIDA, 2011).



Fonte: (SILVA & ALVES, 2009)

Figura 1.4 – Frutos de mandacaru provenientes do vale do Curu

Esta fruta apresenta grande potencial de aproveitamento industrial, por apresentar teores relativamente elevados de sólidos solúveis totais (SST) e açúcares totais (AT), constituintes importantes em processos biotecnológicos, características adequadas para o consumo *in natura* de acordo com as conclusões de ALMEIDA et al. (2009); SILVA, SILVA & SILVA (2012), sendo inclusive uma alternativa para a fabricação de vinho (ALMEIDA et al., 2006). A sua polpa, de acordo com PIMENTEL (2007) é doce e comestível, e a semelhança de outras cactáceas pode ser utilizada na alimentação humana (ALBUQUERQUE & ANDRADE, 2002; SILVA et al., 2005a).

No entanto, poucos são os estudos encontrados na literatura sobre os frutos desta planta que, apesar de serem encontrados em grandes quantidades entre os meses de fevereiro a setembro, não são explorados comercialmente, ocorrendo seu desperdício ou, então, sendo utilizados, quando muito, na elaboração de doces e geleias (SILVA & ALVES, 2009).

1.2.3 – Frutas tropicais

1.2.3.1 – Produção e importância econômica

A produção mundial de frutas tropicais atingirá 82 milhões de toneladas em 2014, de acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação de acordo com os dados da FAO (2013). Isso representa um aumento anual de 1,7% em relação ao período-base (2004). Em torno de 78 % refere-se às frutas principais (banana, manga, abacaxi, abacate e mamão) e 22 % são secundárias (lichia, rambotã, goiaba, etc...).

A produção brasileira de frutas aumentou 19% entre 2001 e 2009, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2013). O consumo também cresceu de 113 kg/hab/ano, em 2001, para 125 kg/hab/ano, em 2009.

Com uma extensão territorial de 8.511.965 km² o Brasil produz frutas tropicais, subtropicais e de clima temperado, proporcionando ao país uma grande diversidade de frutas o ano inteiro. Devido a estas características naturais o Brasil se destaca internacionalmente como grande supridor de frutas frescas e processadas, ocupando atualmente a terceira posição no ranking mundial de produção de frutas, com uma produção de aproximadamente 40 milhões de toneladas anuais e uma área plantada em torno de 2,5 milhões de hectares (IBRAF, 2013). O Brasil destaca-se, apesar de sua produção está concentrada em poucas espécies frutíferas, as quais são cultivadas e processadas em larga escala segundo BRUNINI et al. (2003).

Os três maiores produtores de frutas são: a China, a Índia e o Brasil que, juntos, respondem por 43,6% do total mundial e têm suas produções destinadas principalmente aos seus mercados internos (FAO, 2013). De acordo com a Tabela 1.1, no ano de 2010 os dez países maiores produtores respondem por 61,7% de toda a fruticultura mundial.

TABELA 1.1 – Principais países produtores de frutas em 2010

PAÍS	ÁREA(ha)	PRODUÇÃO (t)	%PRODUÇÃO
China	13.2999.094	190.161.340	26,1
Índia	6.948.950	86.038.600	11,8
Brasil	2.548.730	41.522.181	5,7
Estado Unidos	1.235.325	28.250.377	3,9
Turquia	1.337.623	19.240.404	2,6
Itália	1.317.653	18.052.136	2,5
Irã	1.293.834	16.910.521	2,3
Espanha	1.609.160	16.893.520	2,3
México	1.277.841	16.854.079	2,3
Felipinas	1.163.632	16.302.821	2,2
Demais países	27.762.043	278.216.372	38,3

Fonte: FAO (2013)

1.2.3.2 – Polpa de frutas

De acordo com (BRASIL 2000; BRASIL 2005c), O produto é designado por "polpa", seguido do nome da fruta. O produto deve ser preparado com frutas sãs, limpas e isentas de parasitos e de detritos animais ou vegetais. Não deve conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem substâncias estranhas à sua composição normal, exceto as previstas nestas Normas. Polpa de fruta é o produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, através de processo tecnológico adequado, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto. Será tolerada a adição de sacarose em proporção a ser declarada no rótulo.

A produção de polpas de frutas congeladas se tornou um meio favorável para o aproveitamento integral das frutas na época evitando assim, os problemas ligados à sazonalidade.

Por outro lado, o crescimento da produção vem alertando várias instituições a respeito da qualidade da fabricação e do produto final. Têm sido encontradas polpas com alterações de suas características organolépticas, evidenciando modificações de característica química e bioquímica do produto, em virtude, provavelmente de problemas associados à deficiência nas técnicas de processamento e/ou armazenamento do produto (GADELHA et al., 2009).

O rendimento industrial, influência no controle da produção, custos e faturamento que depende do tipo fruta. Na Tabela 1.2, encontra-se o rendimento de médio das principais frutas industrializadas no Brasil.

TABELA 1.2 – Rendimento industrial de frutas selecionadas

Frutas	Rendimento médio %	Frutas	Rendimento médio %
Abacate	50	Mamão	75
Abacaxi	50	Manga	50
Acerola	70	Maracujá	45
Banana Maça	60	Melancia	60
Banana Nanica	60	Melão	60
Caju	80	Morango	90
Caqui	80	Pera	80
Cupuaçu	40	Pêssego	70
Goiaba	90	Tamarindo	25
Graviola	65		

Fonte: FAO (2013)

De acordo com PINTO et al. (2003), na produção de frutos destinados à indústria de suco, deve-se dar ênfase a tecnologias que obtenha maior rendimento industrial, boa consistência, maior teor de açúcar e acidez elevada.

O rendimento da casca dos frutos maduros de *Opuntia* comercialmente varia de 33 a 55%, enquanto a polpa de 45 a 67% e a sementes, contido na polpa, é responsável por 2 a 10% segundo (ARRIZON; CALDERÓN; SANDOVAL, 2006; PIGA, 2004), o sucesso desse empreendimento está ligado, entre outros fatores, como a simplicidade dos processos de produção, aliada aos aspectos de praticidade que o produto oferece para o preparo, principalmente, de sucos, o que é representada pela forte demanda do mercado (GADELHA et al., 2009).

1.2.4 – Estado da arte

O sucesso no desenvolvimento de novos produtos e melhoria da qualidade pode levar ao crescimento na demanda de frutas e também o aumento no valor agregado aos seus derivados. O processamento e a caracterização química e físico-químicas dos frutos das cactáceas com potencialidade de utilização para consumo *in natura* e processamento agroindustrial, considerando a possibilidade tanto de uso na indústria de alimentos, como a elaboração de novos produtos visam melhorar formas de aproveitamento, tornando-se objeto de estudos por alguns pesquisadores.

SILVA et al. (2005) avaliaram a composição química e físico-química da Cora de frade. Foram estudadas amostras de polpa e casca de coroas-de-frade. Caracterizadas quanto ao pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais (S.S.T.), cinzas, teor de água, sólidos totais, ácido ascórbico, proteínas e insolúveis. A análise estatística dos dados físico-químicos foi realizada utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado. A casca de coroa-de-frade apresentou valores de acidez, °Brix, cinzas, sólidos totais, ácido ascórbico e proteínas superiores aos da polpa. A polpa e a casca apresentaram pH, cinzas e teor de água em níveis aproximados aos de algumas hortaliças e frutas. Os teores de ácido ascórbico para a polpa e casca foram pequenos quando comparados com as fontes tradicionais.

BARBOSA et al. (2007) avaliaram a composição química e físico-química do fruto de mandacaru advindo da caatinga semiárida paraibana. O fruto foi avaliado no estágio de maturação maduro. Após processamento em centrífuga doméstica, as polpas foram envasadas, codificadas e mantidas sob refrigeração (- 40°C) até as determinações físico-químicas. Os dados das análises evidenciam o teor de acidez de 3,0%, o teor de proteína de 5% e os teores de pectina e cálcio no fruto do mandacaru foi 0,07 % e 9,00 mg/%, respectivamente. A determinação da composição nutricional do fruto do mandacaru aponta o seu consumo como uma alternativa alimentar humana saudável, concluíram os autores.

CANUTO et al. (2007) avaliaram a composição química e físico-química do fruto da palma advindo da caatinga semiárida paraibana. O fruto foi avaliado no estágio de maturação maduro. Após processamento em centrífuga doméstica, as polpas foram envasadas, codificadas e mantidas sob refrigeração (- 40°C) até as determinações físico-químicas. A partir dos resultados obtidos observou-se que a fruta da palma tem um valor nutritivo semelhante ao de outras frutas, apresentando teor de sólidos solúveis maior do que o da ameixa, damasco, cereja, pêssigo, maçã e melão. A maioria dos açúcares é do tipo redutor, com cerca de 53% de glicose e 47% de frutose. Os seus valores nutricionais são semelhantes aos demais frutos da região.

Pode ser recomendada como forma de enriquecimento nutricional e diversificação do paladar, agregando, assim valor financeiro ao seu cultivo.

ALVES et al. (2008) realizou uma revisão sobre as características morfológicas, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita dos frutos de palma (*Opuntia ficus-indica miller*) de espécies cultivadas no Brasil. Frutos não climatérico, com baixa atividade metabólica, cujo ciclo de desenvolvimento ocorre entre 70 e 100 dias após a floração. A sua porção comestível, 45% do total, apresenta características organolépticas suaves e agradáveis e valor nutricional similar ao da maioria dos frutos, sendo também considerado uma boa fonte de Ca, P, Mg e K. Os danos físicos, por causa do manejo pós-colheita, são apontados como principal causa da deterioração, principalmente os decorrentes da remoção dos gloquídeos. Na dependência da variedade, apresenta excepcional tolerância a baixas temperaturas. É, portanto, viável o cultivo desses frutos exóticos, no país, para consumo no mercado interno e para exportação. Contudo, há necessidade de implementar pesquisas com as variedades mais cultivadas no país, para aprofundar os conhecimentos e possibilitar que seu consumo se torne habitual para a população.

ALMEIDA et al. (2009) obtiveram o rendimento e a caracterização física e físico-química de frutos do mandacaru de dois municípios do estado da Paraíba. Os frutos de Queimadas apresentaram maior rendimento em casca (55,65 % p/p) e em semente (8,96 % p/p) e os de Lagoa Seca, o maior rendimento em polpa (37,23 % p/p), concluindo que, os frutos provenientes das duas cidades são adequados para o consumo de fruta fresca, no entanto, os frutos oriundos de Queimadas, por apresentarem maior tamanho e peso, são mais adequados para indústria de processamento.

BARBOSA et al. (2009) Compararam a composição química da polpa dos frutos do umbuzeiro e palma com frutos regionais com objetivo de caracterizar a polpa do fruto do umbu e da palma no estado de maturação maduro através de determinações física e físico-química. Determinaram-se o pH e a acidez titulável e os teores de umidade, cinza, fibra, pectina, cálcio e fósforo nas polpas dos frutos proveniente de regiões secas do interior Semiárido da Paraíba. Os resultados das análises evidenciaram que a polpa da Palma se apresenta mais rica em pectina que a do Mandacaru. O teor de minerais (cinzas) na polpa do fruto do Umbu é semelhante ao da laranja e o mesmo é mais rico em fibra total do que a laranja e acerola. A determinação da composição nutricional da polpa dos frutos do Umbuzeiro e da Palma aponta o seu consumo como uma alternativa alimentar humana saudável.

BAHIA et al. (2010) estudaram as características físico-químicas do fruto de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.) cultivado no sertão Pernambucano. Foi analisado os teores de água, ferro, minerais totais (solúveis e insolúveis), pectina, fibras, gordura, açúcares redutores em glicose e não-redutores em sacarose, proteína e também realizadas medidas físicas (pesagem, densidade, diâmetro, largura e teor de sólidos solúveis). A polpa apresentou peso médio de 89,45g, comprimento e largura média de 72,62 e 47,71 mm, respectivamente, 14,32°Brix, 4,6 de pH, 83,29% de umidade, 0,6375% de ferro, 0,4814% de cinzas totais, sendo 0,4605% de cinzas solúveis e 0,0209% de cinzas insolúveis, 43,6% de pectina, 0,88% de fibra, 12,433% de gordura, 2,866% de açúcares redutores em glicose e 2,935% de açúcares não-redutores em sacarose. Por apresentar alto teor de pectina e sólidos solúveis, a polpa do mesmo pode ser utilizada como matéria-prima na fabricação de doces e geleias.

SILVA et al. (2012) caracterizaram físico – química a polpa e casca de frutos do mandacaru (*Cereus jamacaru*) com objetivo obter dados de características físico – químicas de frutos de mandacaru, no intuito de incentivar seu aproveitamento, como potencial nutricional e tecnológico. Foram realizadas as determinações: pH, sólidos solúveis, teor de água, cinzas e acidez total titulável. Os frutos avaliados apresentaram valores médios de 10,13 °brix para polpa e 1,96 °brix para casca. Os valores médios de pH foram de 4,09 para polpa e 4,54 para casca. os valores médios de acidez de 0,05 para polpa e 0,33 para casca. Para teor de água, os valores médios encontrados foram de 82,3% para polpa e 94,2% para casca. Os valores médios de cinzas foram de 0,37 para polpa e 0,44 para casca. a polpa do mandacaru apresenta características adequadas para o consumo *in natura* e para o processamento e elaboração de novos produtos, porém a grande quantidade de água na casca e na polpa indica a necessidade de armazenamento sob refrigeração.

LIMA et al. (2013) caracterizaram os frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do cerrado química e físico-químicas, foram realizadas as análises de sólidos solúveis, pH e acidez total titulável. Houve diferença significativa entre o pH, com valores variando de 4,84 a 5,67, classificando-se como alimentos pouco ácidos. A acidez variou de 0,10 % a 0,15 % de ácido cítrico.

1.2.5 – Características química e físico-químicas

A qualidade interna das polpas, em geral, e suas características, são conferidas por um conjunto de constituintes físico-químicos e químicos, responsáveis pelo sabor e aroma próprios,

sendo importantes na sua aceitação final; além de caracterizar a matéria-prima, também são utilizados no controle de qualidade do produto final (BRASIL, 2000).

A crescente quantidade de produtos derivados de frutas que vem sendo desenvolvidos e lançados no mercado nacional e para exportação exige do setor de polpas de frutas a adequação dos padrões de qualidade e segurança de seus produtos aos níveis exigidos pelos consumidores cada vez mais conscientes e por legislações cada vez mais rigorosas (EMBRAPA, 2013).

No controle de qualidade os parâmetros como acidez titulável, sólidos solúveis totais e pH são importantes para a padronização do produto e análise de alterações ocorridas durante processamento e armazenamento (DANTAS et al., 2010; CANUTO et al., 2010; AUGUSTA et al., 2010).

Para a industrialização na forma de polpa, é preferível o fruto com excelente *flavor* e elevado teor de ácidos orgânicos. Do ponto de vista industrial, o teor elevado de Acidez Total Titulável (ATT) diminui a necessidade de adição de acidificantes e propicia melhoria nutricional, segurança alimentar e qualidade organoléptica (ROCHA et al., 2001). A acidez total titulável e a medida do pH em determinados alimentos, fornece uma indicação do seu grau de degradação, confirmada pela acidez ou basicidade desenvolvida.

No controle de qualidade os parâmetros como acidez titulável, sólidos solúveis totais e pH são importantes para a padronização do produto e análise de alterações ocorridas durante processamento e armazenamento (DANTAS et al., 2010).

Quando se trabalha com processamento de polpa, é imprescindível que se realize a sua caracterização para que o produto obtido chegue ao consumidor apresentando ótima qualidade e maior vida de prateleira. Outro objetivo da caracterização é identificar a composição nutricional do produto e auxiliar no desenvolvimento de novos produtos (BRASIL, 2000).

1.2.5.1 – Teor de água

A deterioração de alimentos por microrganismos pode acontecer rapidamente, ao passo que as reações enzimáticas e químicas ocorrem de modo mais lento durante o armazenamento. Em ambos os casos, o teor de água é um fator muito importante no controle da taxa de deterioração (FELLOWS, 2006; VICENZI, 2008; GOMES e OLIVEIRA, 2011)

Apenas o conhecimento do teor de água não é suficiente para prever a estabilidade de um alimento. Alguns alimentos são instáveis com um baixo teor de água, o óleo de amendoim deteriora-se caso a umidade exceda a 0,6%, enquanto outros alimentos são estáveis com teores

de água relativamente altos, o amido de batata a 20% de umidade (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

1.2.5.2 – Cinzas

GRANJA (2001) denomina cinzas ou fração mineral ou resíduos mineral fixo ou, ainda, matéria mineral, ao resíduo inorgânico da queima da matéria orgânica de uma amostra sob condições preestabelecida. A cinza contém, em geral, cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, sódio e outros componentes minerais.

As cinzas em alimentos se referem ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão. As cinzas são consideradas como medida geral de qualidade e frequentemente são utilizadas como critério na identificação dos alimentos (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

Os minerais desempenham uma função vital no desenvolvimento e boa saúde do corpo humano e as frutas são consideradas as principais fontes de minerais necessários na dieta humana (GONDIM et al., 2005; HARDISSON et al., 2001).

1.2.5.2 – Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais (SST), correspondem a todas as substâncias que se encontram dissolvidas em um determinado solvente, o qual, no caso de alimentos, é a água. São comumente designados de grau Brix, constituídos principalmente por açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas (CHITARRA & CHITARRA, 2005). Os sólidos solúveis totais são a representação da porcentagem em gramas dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco da polpa. Nas frutas, esses sólidos são constituídos por açúcares e ácidos orgânicos (GOUVEIA et al., 2004).

O teor de sólidos solúveis totais é um importante fator de qualidade quanto ao sabor dos produtos, segundo CHITARRA E CHITARRA (2005), ele é usado como medida indireta do teor de açúcares, pois à medida que os teores de açúcares vão se acumulando na fruta, os teores sólidos solúveis totais aumentam.

1.2.5.3 – pH

De acordo com HOFFMAM (2001) o pH mede a concentração do íon cátion H^+ de um alimento ou solução, sendo um fator de fundamental importância na limitação dos tipos de microrganismos capazes de se desenvolver e na maior ou menor facilidade de conservação que depende da faixa de pH que os alimentos se encontram.

Vários fatores tornam importante a determinação do pH de um alimento, tais como: influência na palatabilidade, desenvolvimento de microrganismos, escolha de temperatura de esterilização, escolha da embalagem que será utilizada para o alimento, escolha do tipo de material de limpeza e desinfecção, escolha do equipamento com o qual se vai trabalhar na indústria, escolha de aditivos e vários outros (GOUVEIA et al., 2007).

De acordo com o pH, os alimentos são classificados como de baixa acidez (pH > 4,50), ácidos (pH de 4,00 a 4,50) e muito ácidos (pH < 4,00). Essa classificação se baseia no pH mínimo para a multiplicação e produção de toxina do *Clostridium botulinum* (pH = 4,5) e no pH mínimo para a multiplicação da grande maioria das bactérias (pH = 4,00) (SANTOS et al., 2008).

1.2.5.4 – Acidez total titulável

A determinação da acidez total em alimentos é bastante importante, pois através dela podem-se obter dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação dos alimentos segundo GOUVEIA et al. (2004). A acidez é resultante dos ácidos orgânicos existentes no alimento, dos adicionados propositadamente e também daqueles provenientes das alterações químicas dos mesmos (MADRUGA & ALDRIGUE, 2002).

1.2.5.5 – Ácido ascórbico

O ácido ascórbico, incluindo a vitamina C e ácido dehidroascórbicos, é um dos mais importantes fatores de qualidade nutricionais em muitas horticulturas. Ela tem múltiplas funções no organismo. É necessária para a produção e manutenção do colágeno; responsável pela cicatrização de feridas, fraturas, contusões e sangramentos gengivais; reduz suscetibilidade à infecção, desempenha papel na formação de dentes e ossos, aumenta a absorção de ferro e previne o escorbuto. Desse modo, a vitamina C é importante no desenvolvimento e manutenção do organismo humano (MAIA et al., 2007).

As frutas tropicais são alimentos ricos principalmente em vitaminas C, E, carotenoides, compostos fenólicos e fibra alimentar (GONZALEZ-AGUIAR et al., 2008).

Por ser uma substância que apresenta alta instabilidade, o ácido ascórbico é frequentemente utilizado como um índice da qualidade global de nutrientes dos alimentos durante o processamento e armazenamento. Além disso, as perdas de ácido ascórbico estão relacionadas às reações deteriorantes que resultam em alterações indesejáveis de cor e sabor (MAIA et al., 2007).

1.2.5.6 – Proteína

De acordo com MOLINA et al. (2001) a proteína é um componente básico de toda célula viva e funciona como enzima, componente estrutural e material de reserva. O valor nutricional de uma proteína está intimamente relacionado a sua composição em aminoácidos.

As propriedades funcionais de proteínas são definidas como as propriedades físico-químicas que afetam seu comportamento em sistemas alimentares durante o preparo, processo, armazenamento, consumo, e contribuem para a qualidade e para atributos sensoriais dos alimentos. O valor funcional é uma característica de funcionalidade de um produto ou ingrediente alimentício que aumente sua aceitação e utilização. As principais propriedades funcionais das proteínas são aquelas que tornam, as proteínas capazes de contribuir para as características desejáveis de alimento (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

1.2.5.7 – Carboidrato

Os carboidratos abrangem um dos maiores grupos de compostos orgânicos encontrados na natureza, e juntamente com as proteínas formam os constituintes principais do organismo vivo, além de serem a mais abundante e econômica fonte de energia para o homem (BOBBIO & BOBBIO, 2003). A natureza, através do processo da fotossíntese, a partir de dióxido de carbono e água, sintetiza carboidratos, principalmente amido, celulose e sacarose, dos quais, por hidrólise, são obtidas a glicose e a frutose.

FERREIRA et al. (2009) relatam que o teor de açúcar no fruto é um fator intrinsecamente relacionado com o genótipo, ambiente e manejo de cultivo. É um parâmetro significativo na produção de frutos destinados à indústria de sucos, já que permite melhor rendimento no processamento.

1.2.5.8 – Lipídio

As principais fontes de energia utilizada pelo homem se encontram entre os lipídios: as gorduras fornecem em peso 2,3 vezes mais calorias do que os carboidratos e as proteínas, e apesar desses dois últimos grupos de compostos se transformarem em gorduras no organismo humano, alguns lipídios têm funções biológicas específicas (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

Os alimentos de origem vegetal como frutas e hortaliças desempenham um importante papel na alimentação humana por serem fontes de calorias, gorduras conforme GAVA, SILVA & FRIAS (2008). As gorduras também afetam as propriedades físicas e químicas do produto e, conseqüentemente, apresenta várias implicações práticas, sendo as mais importantes o comportamento do produto alimentício durante o processamento (estabilidade ao calor, viscosidade, cristalização e propriedades de aeração), as características de pós-processamento (migração e dispersão) e a estabilidade de armazenamento física e química.

No caso de alimentos, nem sempre é possível extrair diretamente a gordura. Se a amostra for úmida é necessário proceder uma secagem pois a água impede a penetração total do solvente. Quando os lipídeos se encontram ligados a proteínas ou açúcares, faz-se necessário uma hidrólise prévia, como no método de Gerber. Em alguns casos, em vez de combinação de hidrólise e extração, é suficiente tratar a amostra com uma mistura de clorofórmio e metanol (Método de Bligh-Dyer) de acordo com INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

O método de Bligh & Dyer pode ser usado para alimentos secos ou para produtos com altos teores de água (como peixes, vegetais verdes, por exemplo). Devido ao uso de solventes polares, há extração de todas as classes de lipídeos segundo BRUM, ARRUDA & REGITANO-D´ARCE (2009).

1.2.5.9 – Valor calórico

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

A necessidade nutricional pode ser definida como as quantidades de nutrientes e de energia disponíveis nos alimentos que os indivíduos sadios devem ingerir para satisfazer as necessidades fisiológicas normais e prevenir sintomas de deficiência como relatam

EISENSTEIN et al., (2000); CUPPARI (2002); BOSCO & CONDE (2013). Para a população consumir equilibradamente os nutrientes de acordo com as necessidades nutricionais, são necessários dados sobre composições de alimentos. A partir daí, calcula-se a quantidade de energia fornecida pelo alimento para adequar o planejamento alimentar de acordo com as necessidades individuais.

Entretanto, deve-se levar em consideração que existem perdas no processo de digestão, cerca de 98% de carboidrato, 95% de gordura e 92% de proteínas são absorvidos, além disso, no caso das proteínas, o grupamento amino de seus aminoácidos é excretado na urina principalmente na forma de ureia, onde em média 1g de proteína fornece 4kcal, 1g de carboidratos fornece, 4kcal e 1g gordura fornece 9kcal, portanto, aceitam-se os valores de 4 kcal/g de carboidrato e de proteína, 9 kcal de lipídio segundo TORRES et al., (2000).

O valor calórico total calculado a partir da soma das calorias correspondentes para proteínas, lipídeos e carboidratos foi realizado por RAMOS et al., (2008) na análise da qualidade nutricional da polpa do furto de bocaiúva, por MENEZES, TORRES & SRUR (2008) obtendo o valor nutricional da polpa de açaí, por GONDIM et al., (2005) analisando cascas de frutas, por CÓRDOVA et al., (2005) na análise das características físico-químicas da casca do maracujá amarelo obtida por secagem, por GUTKOSKI et al., (2007) no desenvolvimento de barras de cereais e por TORRES et al., (2000) analisando alimentos de origem animal.

1.3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande, Paraíba, no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia (CT) do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, e na Unidade de Ensino e Produção de Frutas e Hortaliças (UEPFH), do Setor de Curso Técnico em Agroindústria (SCTA) pertencente (SCTA) ao Campus Belo Jardim do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Belo Jardim, PE e no Laboratório de Análise Físico-química de Alimentos (LAFQA), do Setor de Curso Técnico em Agroindústria (SCTA) pertencente ao Campus Belo Jardim do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Belo Jardim, PE.

1.3.1 – Matéria-prima

Utilizou-se a polpa de frutas das cactáceas facheiro e mandacaru *in natura* como matéria-prima adquiridos na região semiárida do Estado da Paraíba e Pernambuco.

1.3.2 – Processamento para obtenção da polpa e casca do fruto de facheiro e mandacaru

O fluxograma das fases utilizados no processo de obtenção da polpa e cascas do fruto de facheiro e de mandacaru encontra-se na Figura 1.5. As cactáceas foram adequadamente acondicionadas em caixas plásticas, com peso aproximadamente entre 20 e 25 kg do fruto e transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, onde foram processados.

O fluxograma do processo de obtenção das polpas dos frutos de facheiro e de mandacaru, encontra-se na Figura 1.5.

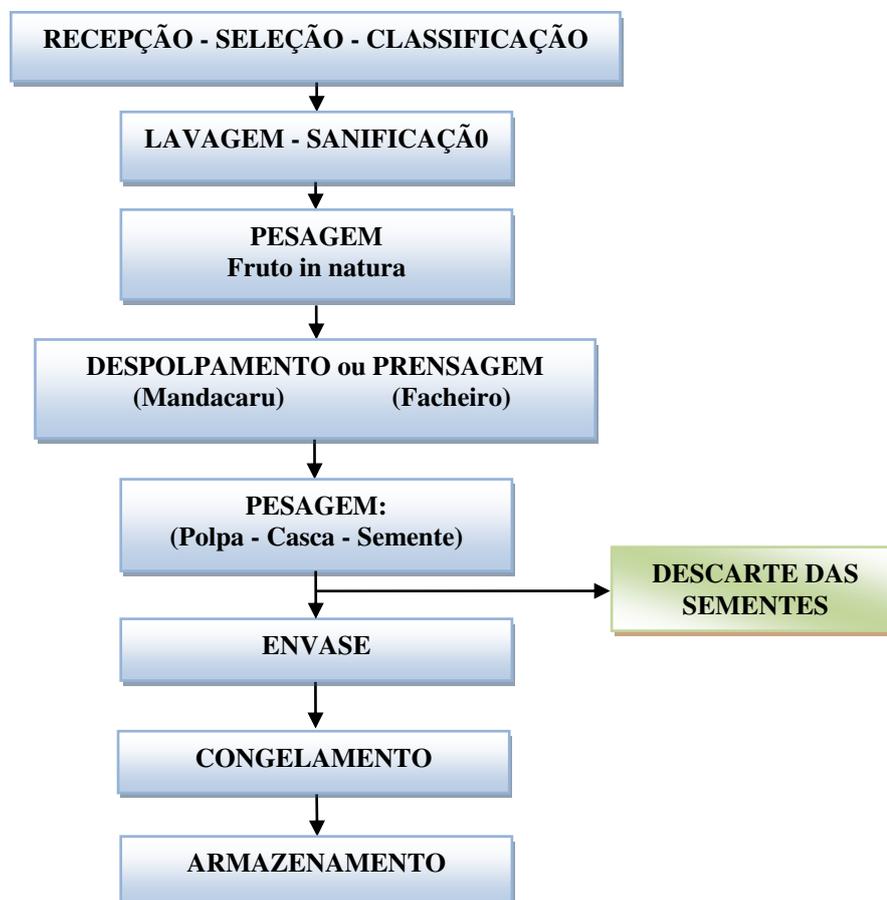


Figura 1.5 – Fluxograma do processamento de obtenção das polpas dos frutos de facheiro e de mandacaru

1.3.2.1 – Descrição do processo

Iniciou-se o processamento com a seleção das frutas, de maneira manual, com o objetivo de eliminar os frutos verdes e os estragados por insetos, animais silvestres ou choques mecânicos; em seguida, foram lavadas em água corrente e depois imersas durante 10 minutos em uma solução de hipoclorito de sódio, em concentração de 50 ppm, seguido de um enxágue em água corrente e secadas em ambiente natural. Após a seleção e lavagem, os frutos foram pesados para então se obter o rendimento da polpa a partir da diferença entre o peso do fruto e o somatório dos pesos da casca e sementes. Os frutos foram abertos com faca de aço inoxidável de 6 polegadas e a sua polpa com a semente foi separada da casca com auxílio de um colher

inoxidável. Todos os utensílios utilizado nestas operações foram higienizada em solução de hipoclorito de sódio, em concentração de 20ppm.

A separação da polpa dos frutos de facheiro da semente, foi realizado em prensa manual de capacidade de 16 toneladas, utilizando uma tela de nylon com malha de 1 mm. A separação da polpa dos frutos de mandacaru da semente foi realizada em despoldadeira mecânica, construída em aço inoxidável, de motor elétrico de 2,0 CV, com capacidade aproximada de 500 kg por hora, com peneira de malha de 1,0 mm. A polpa dos frutos foram desintegrados separando-se a polpa das sementes; as polpa das cactácea foram acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa densidade, com capacidade aproximada para 500 g, congeladas e armazenadas a temperatura de -20 °C (congelamento convencional) em freezer doméstico durante o período de armazenamento e utilização nos experimentos.

1.3.2.2 – Rendimento da polpa e casca do fruto de facheiro e mandacaru em relação ao fruto

Os frutos integrais de facheiro e mandacaru foram pesados com o objetivo de verificar o rendimento industrial da produção. Com a utilização de uma balança eletrônica Marca C & F Balanças modelo C15 carga máxima de 15 kg e mínima de 100 g. Os percentuais de rendimentos da polpa, casca e resíduo (semente, espinhos e restos da fruta) do fruto das cactáceas, calculados pela Equação 1.1, em função da quantidade destes com relação ao fruto.

$$\eta = \left(\frac{m}{M_f} \right) 100 \quad (1.1)$$

em que:

η - Rendimento, percentagem

m - massa (polpa, casca ou resíduo), kg

M_f - massa do fruto, kg

1.3.3 – Caracterização química e físico-química

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, segundo os procedimentos a seguir.

1.3.3.1 – Teor de água

O teor de água foi determinado através do método gravimétrico com a utilização de estufa a 105 ± 3 °C, que se baseia no peso da água removida das amostras durante a sua permanência na estufa por 24 h. Os testes foram realizados com amostras de aproximadamente 10 g cada, expressas em base úmida (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

1.3.3.2 – Teor de sólidos totais

O teor de sólidos totais foi calculado pela Equação 1.2, utilizando os resultados do teor de água, segundo a metodologia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

$$ST = 100 - X \quad (1.2)$$

em que:

ST - Teor de sólidos totais, percentagem

X - Teor de água, percentagem

1.3.3.3 – Cinzas

A determinação do conteúdo de cinzas foi conduzida, por meio da calcinação das amostras em forno mufla de fabricação da Fornitec modelo 10x18x15 à temperatura de 550 °C, durante 24 horas, segundo a metodologia descrita (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

1.3.3.4 – Sólidos solúveis totais

A determinação do sólidos solúveis totais foi realizada, por leitura direta, através de um refratômetro manual da marca ATAGO, através do índice de refração da amostra, onde a presença de sólidos solúveis resulta numa alteração do índice de refração da solução, sendo possível determinar a quantidade de soluto pelo conhecimento do índice de refração da solução aquosa, segundo a metodologia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

1.3.3.5 – pH

O pH foi medido diretamente na amostra, após calibração do phmetro de bancada modelo Marte MB 10, versão 2.3 com as soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, segundo a metodologia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

1.3.3.6 – Acidez titulável

Foi obtida titulando determinado volume da amostra pela solução de hidróxido de sódio 0,1M fatorada utilizando-se como indicador, a fenolftaleína, conforme metodologia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

1.3.3.7 – Ácido ascórbico

A metodologia realizada segundo a AOAC (1987), onde o corante 2,6 diclorofenol indofenol (DCFI) é reduzido pelo o ácido ascórbico. O ponto final da titulação foi definido no momento em que a solução titulada apresentou coloração rosa.

1.3.3.8 – Proteína totais

A determinação de prótidos totais foi realizada segundo o método de Kjeldahl descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008), com base na transformação do nitrogênio da amostra em sulfato de amônio, através da digestão com ácido sulfúrico p.a. e posterior destilação com liberação da amônia, fixada em solução ácida e titulada com ácido clorídrico padronizado.

1.3.3.9 – Glicídios totais, redutores e não redutores

O teor de glicídios redutores em glicose foi determinado pelo método de redução alcalina (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), o qual se fundamenta na redução dos íons cúpricos e cuprosos pelo açúcar redutor em meio alcalino.

1.3.3.10 – Lipídeos

O teor de lipídios foi determinado utilizando-se a metodologia descrita por BLIGH & DYER (1959) de acordo com INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008), que a partir da extração da gordura da amostra por clorofórmio e metanol, secá-la em estufa e pesar em balança analítica.

1.3.3.11 – Valor calórico

O valor calórico foi obtido pela somatória dos teores de carboidratos e proteínas, multiplicados por quatro, e de lipídeos, multiplicados por nove, de acordo com os coeficientes de Atwater (TAGLE, 1981), sendo o valor calórico calculado pela Equação 1.3.

$$\text{Valor calórico} = \text{Carboidratos} \times 4,0 + \text{Proteína} \times 4,0 + \text{Lipídios} \times 9,0 \quad (1.3)$$

1.3.3.12 – Massa específica

A massa específica da polpa do fruto de facheiro e mandacaru foram determinadas na temperatura 25 °C, com o teor de sólidos solúveis de 5 e 10 °BRIX respectivamente.

Foram utilizado o picnômetro de vidro de 25 ml, previamente tarado. O picnômetro com a amostra foi colocado em banho termostático até atingir a temperatura desejada. Em seguida, pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g para a determinação do volume do picnômetro, utilizou-se água destilada. A massa específica experimental foi obtida através da razão entre a massa da amostra e o volume do picnômetro de acordo com INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008)

1.3.4 – Análise estatística

As análises estatísticas dos dados das análises química e físico-químicas da polpa e casca do fruto de facheiro e do fruto de mandacaru, foram realizadas através do delineamento inteiramente casualizado com 2 tratamentos (polpa e casca) e 3 repetições, com o auxílio do software ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009).

1.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 – Rendimento do processamento do fruto de facheiro e mandacaru

Na Tabela 1.3 encontram-se os valores médios e desvios padrão do rendimento da casca, polpa com semente, polpa sem semente e semente do fruto de facheiro e mandacaru em relação ao fruto *in natura*.

Tabela 1.3 - Valores médios e desvios padrão do rendimento da casca, polpa com semente, polpa sem semente e semente do fruto de facheiro e mandacaru em relação ao fruto *in natura*

Componentes	Facheiro	Mandacaru
Polpa com semente	16,81 ± 1,13	37,94 ± 2,36
Polpa sem semente	12,99 ± 1,43	29,44 ± 2,14
Casca	83,19 ± 1,18	62,06 ± 1,48
Semente	3,82 ± 0,88	8,50 ± 2,02

Rendimento (%)

Observa-se, na Tabela 1.3, que os valores do rendimento da polpa com e sem semente de facheiro foram inferiores aos valores encontrados para o mandacaru. Comparando-se com outros frutos nativos da região norte e nordeste, tais como, fruto da palma forrageira (48 %) obtido por LOPES (2005); O figo da Índia por ALMEIDA et al. (2011) que encontraram o rendimento médio da polpa com semente, polpa sem semente, casca e da semente respectivamente iguais a 42,80, 57,19, 43,00 e 14,19%; A quixaba, que foi estudada por GARRIDO et al. (2007), cujo o valor do rendimento da polpa do fruto foi igual a 20,89%; O bacurizeiro que foi caracterizado física e físico-química por AGUIAR et al. (2008) encontraram o rendimento da polpa do fruto de 12 a 22%; A quipá por SOUZA et al. (2007), cujo o rendimento da polpa obtido variou de 20,88 a 24,62%, conclui que o rendimento obtido para o fruto de facheiro e mandacaru esta dentro da média esperada para frutos nativos. Comparado com o rendimento industrial de frutas selecionadas cujos os rendimentos variam de 25 a 90% de acordo FAO (2013), observa-se que os valores encontrados neste trabalho tanto para os frutos de facheiro e como para o mandacaru evidenciam o seu potencial de polpas destinados à indústria de frutas e seus derivados, cujo o rendimento industrial apresentou-se dentro do percentual citado ou muito próximo. Observa-se também, na Tabela 1.3, que valores

muito próximos aos obtidos neste trabalho em relação ao fruto de mandacaru foram observados por ALMEIDA et al. (2006), que encontraram rendimento da polpa com semente igual a 38,70 %, trabalhando com o fruto de mandacaru e por ALMEIDA et al. (2009) encontraram valores do rendimento médio para a casca de 56,44 e 53,76%, para a polpa com semente na ordem de 43,51 e 46,00% e da polpa sem semente de 35,27 e 37,23%, respectivamente. A diferença entre os valores de rendimento observados podem ser oriundos do tipo de fruto, condições climáticas, fertilidade do solo, época de produção, estágio de desenvolvimento e maturação dos frutos.

1.4.2 - Caracterização química e físico-química da polpa e casca dos frutos de facheiro e mandacaru

Na Tabela 1.4 encontram-se os valores médios e desvios padrão da caracterização química e físico-química da polpa e casca dos frutos de facheiro.

Tabela 1.4 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa e casca do fruto de facheiro

Parâmetro	Polpa	Casca
Teor de água (%)	95,89 ± 0,14 a	92,45 ± 0,06 b
Sólidos totais (%)	4,11 ± 0,14 b	7,55 ± 0,06 a
Cinzas (%)	0,12 ± 0,01 b	0,70 ± 0,08 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	3,98 ± 0,07 b	6,53 ± 0,26 a
Massa específica (kg m ⁻³)	1018,29 ± 0,19 b	1029,27 ± 0,87 a
PH	5,16 ± 0,02 a	4,80 ± 0,01 b
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,30 ± 0,04 b	0,61 ± 0,03 a
Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)	0,15 ± 0,05 b	1,24 ± 0,3 a
Açúcares redutores (% glicose)	3,16 ± 0,04 a	2,90 ± 0,05 b
Açúcares não redutores (% sacarose)	0,53 ± 0,02 a	0,42 ± 0,03 b
Açúcares totais (%)	3,69 ± 0,03 a	3,32 ± 0,04 b
Lipídios (%)	0,11 ± 0,03 b	0,71 ± 0,13 a
Proteína (%)	0,32 ± 0,08 b	0,88 ± 0,08 a
Valor calórico (kcal/100g)	17,13 ± 0,35 b	23,15 ± 1,13 a

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 1.5 encontram-se os valores médios e desvios padrão da caracterização química e físico-química da polpa e casca dos frutos de mandacaru.

Tabela 1.5 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa e da casca do fruto de mandacaru

Parâmetro	Polpa	Casca
Teor de água (%)	90,16 ± 0,05 a	90,84 ± 1,58 a
Sólidos totais (%)	9,85 ± 0,04 a	9,16 ± 1,58 a
Cinzas (%)	0,67 ± 0,04 a	0,70 ± 0,08 a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	9,73 ± 0,09 a	7,13 ± 0,09 b
Massa específica (kg m ⁻³)	1031,56 ± 0,52 b	1039,43 ± 0,66 a
PH	4,23 ± 0,02 a	4,17 ± 0,01 b
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,36 ± 0,02 b	0,76 ± 0,05 a
Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)	1,77 ± 0,61 b	3,87 ± 0,61 a
Açúcares redutores (% glicose)	8,57 ± 0,04 a	3,30 ± 0,02 b
Açúcares não redutores (%' sacarose)	0,72 ± 0,01 b	1,17 ± 0,04 a
Açúcares totais (%)	9,29 ± 0,05 a	4,46 ± 0,07 b
Lipídios (%)	0,08 ± 0,01 b	1,03 ± 0,10 a
Proteína (%)	0,18 ± 0,05 b	1,41 ± 0,05 a
Valor calórico (kcal/100g)	38,85 ± 0,16a	32,74 ± 0,36b

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

De acordo com os resultados obtidos das análises químicas e físico-químicas do frutos de facheiro e mandacaru que encontram-se nas Tabelas 1.4 e 1.5, observa-se que houve variação significativas na composição dos frutos entre a polpa e a casca. Isso pode ser justificado pelo fato que as análises mostraram que as cascas das frutas apresentam, em geral, teores de nutrientes maiores do que os das suas respectivas partes comestíveis (GONDIN et al., 2005), devido o teor de água ser maior na polpa do que nas cascas, fato este apresentou-se com maior intensidade no fruto de facheiro por ter a maior diferença entre o teor de água da polpa em relação a casca.

O teor de água alto resulta em grandes perdas na estabilidade química, na deterioração microbiológica, nas alterações fisiológicas e na qualidade geral dos alimentos. Segundo as recomendações técnicas, o teor de água de um alimento está relacionada com sua estabilidade

e qualidade, e pode afetar os itens como estocagem, processamento e embalagem (VICENZI, 2008; GOMES e OLIVEIRA, 2011). O teor de água de um alimento é considerada uma das mais importantes características em alimentos, sendo de grande importância econômica por refletir o grau de perecibilidade de um produto.

Observa-se, também nas Tabelas 1.4 e 1,5, que os valores médios obtidos do teor de água de 95,89 e 92,45% para a polpa e casca de facheiro e de 90,16 e 90,84% para a polpa e casca de mandacaru respectivamente, apresentando teores de água bastantes altos, quando comparados com a tabela de composição química de alimentos (TACO, 2011) cujos os valores variam de 41,5; 51,3 e 68,2% para as frutas de macaúba, tucumã e banana ouro respectivamente a 91,8; 92,4 e 94,2% para o suco de limão galego, polpa de cajá e suco de limão cravo respectivamente. De acordo com BORTOLATTO & LORA (2008), as hortaliças e frutas possuem valores do teor de água maiores que 70 % e, frequentemente, superam 85%. Valores próximos ao fruto de facheiro foram obtidos por SILVA et al. (2005) com o fruto da coroa-de-frade com teor de água médio de 94,97 e 91,67% para a polpa e casca respectivamente e por ALMEIDA et al. (2009) com percentuais entre 90,24 a 90,58% para o fruto de mandacaru, próximos aos obtidos neste trabalho.

Os sólidos solúveis totais são compostos por vitaminas, ácidos, açúcares, entre outros, sendo mais de 90% de sua composição representada pelos açúcares, portanto, é uma medida indireta do teor de açúcares (CHITARRA & CHITARRA, 2005), que pode ser usado para indicar o ponto ideal de maturação fisiológica e, conseqüentemente, o ponto de colheita. Não existe o valor determinado na legislação vigente, que defina qual o padrão do sólidos solúveis totais (°Brix) para a polpa de facheiro e mandacaru.

Observa-se em relação aos sólidos totais, que os valores obtidos para a polpa de mandacaru não se mostraram diferentes daqueles obtidos por SILVA et al. (2012), 10,13% para a polpa de mandacaru e por ALMEIDA et al. (2009) que foram de 10,50 a 11,50% para o fruto de mandacaru, por FERNANDES et al. (2010) para o fruto da pitaya teores que variaram de 11,00 a 11,66% e por SOUZA et al. (2007) para o fruto de quipá cujo o teor foi de 9,00 e 10,00% para a polpa e casca respectivamente. Próximo aos valores do fruto de facheiro, foram obtidos por SILVA et al. (2005) que encontrou no fruto da coroa-de-frade valores de 2,25 e 4,75% para a polpa e casca respectivamente.

Para os valores de pH 4,80 e 5,16 e de 4,17 a 4,23 e acidez 0,30 e 0,61 e de 0,36 e 0,76 referentes as amostras dos frutos de facheiro e mandacaru polpa e cascas respectivamente.

Segundo Almeida (2005), o menor índice de acidez e maior pH acontece devido a um processo de maturação mais avançada que ocorre no fruto, ou seja, na parte mais interna do mesocarpo.

No fruto da coroa-de-frade os valores do pH foram de 4,79 e 4,49 para a polpa e casca respectivamente, determinados por SILVA et al. (2005) e FERNANDES et al. (2010) encontrou para a polpa do fruto da pitaya valores entre 4,68 a 4,91, próximos aos obtidos com o fruto de facheiro deste trabalho. ALMEIDA et al. (2009) encontraram valores de pH para a polpa de mandacaru analisado de 4,38 a 4,50 e SILVA et al. (2012) encontraram valores de 4,09 e 4,54 para a polpa e casca respectivamente de mandacaru, próximos aos obtidos com o fruto de mandacaru, neste trabalho.

Baseado na classificação do pH segundo SANTOS et al. (2008) a polpa e a casca do fruto de facheiro são classificados como alimentos de baixa acidez e a polpa e a casca do fruto de mandacaru são ácidos. Ainda, segundo esses pesquisadores o valor do pH interfere de maneira significativa no desenvolvimento de microrganismos, nos alimentos de baixa acidez e ácidos são susceptíveis ao crescimento de bactérias e Segundo LIMA et al. (2007), para a utilização industrial, valores de pH inferiores a 4,3 é desejável, pois confere ao produto maior resistência a contaminações microbianas, fato este ocorrido com a polpa e a casca do fruto de mandacaru.

Nota-se que o teor de ácido ascórbico foi de 0,15 e 1,24 mg 100 g⁻¹ e de 1,77 a 3,87 mg 100 g⁻¹ para a polpa e a casca de facheiro e mandacaru, respectivamente, apresentando o mandacaru maiores valores, tanto para a polpa como para a casca do que o facheiro e tendo a casca maior percentagem do que na polpa para ambas as frutas. SILVA et al. (2005) encontrou valores de 0,16 e 0,65 mg 100 g⁻¹ de ácido ascórbico para a polpa e a casca, respectivamente da coroa-de-frade, apresentando-se com percentagem maior na casca, como foi encontrado neste trabalho. OLIVEIRA et al. (2004) encontrou valor de 1,48 mg 100 g⁻¹ de ácido ascórbico próximo ao encontrado para a polpa de mandacaru, porém quando se compara estes valores com os determinados por YAMASHITA et al. (2003) para a polpa de acerola e por LIMA et al. (2002) para a polpa de goiaba cv., Paluma que foram 1,51 e de 89,78 mg 100 g⁻¹, respectivamente, frutas consideradas excelentes fontes de vitamina C, verifique que a polpa e as cascas dos frutos de facheiro e mandacaru não contém quantidades de vitamina C consideradas, além de que, no Brasil a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C é de 30, 35 e 45 mg para crianças de 1 a 7 anos, para crianças de 7 a 10 anos e para adultos respectivamente (BRASIL, 2005), muito acima do que estes frutos podem fornecer.

Os açúcares estão presentes nos frutos na forma livre ou combinada e são responsáveis pela doçura e pelo sabor dos alimentos. A maioria dos açúcares encontrado nos frutos de facheiro e mandacaru é do tipo redutor. Sob esse aspecto, cabe mencionar que a glicose é a única substância de metabolismo energético das células do cérebro e nervosas, e que na fruta de facheiro e mandacaru está presente como açúcar livre que é absorvido diretamente pelo corpo. Os teores de açúcares redutores e totais encontrados para a polpa e casca de facheiro foram respectivamente de 3,16 e 3,63% e de 2,90 e 3,32% e para a polpa e casca de mandacaru foram respectivamente de 8,57 e 9,29% e de 3,30 e 4,46%.

Os valores de açúcares redutores e totais neste trabalho para a polpa de facheiro são inferiores aos encontrados por CANUTO et al. (2007) para o fruto do xique-xique que foram de 3,50 e 3,82%, respectivamente. Para a polpa de mandacaru estão abaixo do descrito por BAHIA et al. (2010) de 10,43 e de 13,36% e por CANUTO et al. (2007) de 11,43 e de 13,45%; estando acima do descrito por BARBOSA de 5,64 e de 5,90%, respectivamente. Essas variações na composição da polpa e da casca do fruto de facheiro e mandacaru se encontram dentro do esperado pois, de acordo com CHITARRA e CHITARRA (2005), as frutas podem sofrer pequenas variações em seus constituintes, de acordo com a variedade, tipo de solo, pluviosidade, tratos culturais, manejo e solo.

1.5 - CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que:

Quanto ao rendimento da polpa, casca e resíduos do fruto das cactáceas em relação ao fruto in natura

- O rendimento obtido da polpa e da casca do fruto de facheiro foram iguais a $12,99\% \pm 2,14$ e $83,19\% \pm 0,48$, respectivamente.
- O rendimento obtido da polpa e da casca do fruto de mandacaru foram iguais a $29,44\% \pm 2,14$ e $62,06\% \pm 0,48$, respectivamente.

Quanto à caracterização dos parâmetros químico e físico-químicos do fruto de facheiro e mandacaru

- Para a polpa de facheiro os teores de água, pH, açúcares redutores, açúcares não redutores e açúcares totais, são superiores a casca do fruto, no entanto os teores de sólidos totais, cinzas, sólidos solúveis, massa específica, acidez total titulável, ácido ascórbico, lipídios, proteína e valor calórico foram menores na polpa do que na casca do fruto.
- Para a polpa de mandacaru teores de sólidos solúveis, pH, açúcares redutores, açúcares totais e valor calórico, superiores a casca do fruto, no entanto os teores de massa específica, acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares não redutores, lipídios e proteína foram menores na polpa do que na casca do fruto e os teores de água, sólidos totais, cinzas não diferenciaram estatisticamente.
- A polpa e a casca do facheiro e do mandacaru obtiveram altos valores médios do teor de água de 95,89, 92,45%, 90,16 e 90,84%, respectivamente,
- A polpa e casca do fruto de facheiro são classificados como alimentos de baixa acidez e a polpa e casca do fruto de mandacaru são ácidos.

- A polpa e as cascas dos frutos de facheiro e mandacaru contém quantidades baixas de vitamina C, apresentando valores em torno de $0,15 \pm 0,05$ e $1,24 \pm 0,30$ mg 100g^{-1} para a polpa e casca do fruto de facheiro, respectivamente e de $1,77 \pm 0,61$ e $3,87 \pm 0,61$ mg 100g^{-1} para a polpa e na casca do fruto de mandacaru, respectivamente.

- Os teores de açúcares redutores e não redutores encontrados para a polpa e casca de facheiro foram, respectivamente de 3,16 e 0,53% e de 2,90 e 0,42% e para a polpa e casca de mandacaru foram, respectivamente de 8,57 e 0,72% e de 3,30 e 1,17%, contém quantidades maiores de açúcares redutores e estes açúcares encontra-se em maior quantidade na polpa do que na casca do fruto.

1.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUD, H. F.; GONÇALVES, N.R.; REIS, R. G.E.; PEREIRA, D.S.; BEZERRA, A. M.E. Germinação e expressão morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Pilosocereus pachycgtiladus* Ritter. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.3, p.468-474, jul.-set., 2010. ISSN 1806-6690.

AGUIAR, L.P.; FIGUEIREDO, R. W.; ALVES, R.E.; MAIA, G.A.; SOUZA, V.A.B. Physical and physico-chemical characterization of fruits from different genotypes of bacuri (*Platonia insignis* Mart.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p.423-428, abr.-jun., 2008. ISSN 0101-2061

ALBUQUERQUE, U.P.; ANDRADE, L.H.C. Uso de recursos vegetais da caatinga: o caso do agreste do estado de Pernambuco. **Revista Nordeste do Brasil**, v.27, p.336-346, 2002.

ALMEIDA, M.M.; TAVARES, D.P.S.A.; ROCHA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.C.; SILVA F.L.H.; MOTA, J.C. Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8, n.1, p.35-42, 2006.

ALMEIDA, M.M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L.S.; FREIRE, R. M. M., VALENÇA, A. R. Caracterização física e físico-química de frutos do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.1, p.15-20, 2009.

ALMEIDA, M.M.; SILVA, F.L.H.; CONRADO, L.S.; MOTA, J.C.; FREIRE, R.M.M. Kinetics and characterization of cereus cereus jamacaru P. Dc. Wine. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.2, p.176-183, abr.-jun., 2011.

ALVES, J. J.A. Geoecologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p.58-71, 2007.

ALVES, M.A.; SOUZA, A.C.M.; GAMARRA-ROJAS, G; GUERRA, N.B. Fruto de palma [opuntia fícus-indica (l) miller, cactaceae]: morfologia, composição química, fisiologia, índices de colheita e fisiologia pós-colheita. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. México. v.9, n.1, p.16-25, 2008. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81311226004>.

ANDERSON, E.F. **The cactus family**. Portland: Timber Press, 2001.Inc.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the AOAC**. Washington, v.2, p.16-17, 1997.

ARRIZON, J.; CALDERÓN, C.; SANDOVAL, G. Effect of different fermentation conditions on the kinetic parameters and production of volatile compounds during the elaboration of a prickly pear distilled beverage. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v.33, n.11, p.921-928, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10295-006-0153-9>.

AUGUSTA, I.M.; RESENDE, J.M.; BORGES, S.V.; MAIA, M.C.A.; COUTO, M.A.P.G. Caracterização física e química da casca e polpa de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry). **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], v.30, n.4, p.928-93, 2010. ISSN 0101-2061. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000400014>.

BARBERA, G. História e importância econômica e agroecológica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E.P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e uso de palma forrageira**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sebrae/PB, p.1-11, 2001.

BARBOSA, A.S.; ARAÚJO, A.P.; CANUTO, T.M.; BARBOSA, A.S.; CAVALCANTI M.B.A. DANTAS J.P. Avaliação da composição química do mandacaru advindo da caatinga semi-árida paraíba. In: CONGRESSO NORTE E NORDESTE DE QUÍMICA, 1. 2007, Natal, RN. **Anais...**Natal: UFRN, 2007. CD Rom

BARBOSA, A.S.; BARBOSA, A.S.; PIRES, V.C.F.; LIMA, L.A.; SANTOS, E.R.F. Comparação da composição química da polpa dos frutos do umbuzeiro e palma com frutos regionais. In: CONGRESSO NORTE E NORDESTE DE QUÍMICA, 3. 2009, São Luis, MA. **Anais...**São Luis: UFMA, 2009. CD Rom.

BAHIA, E. V.A.; MORAIS, L.R.V.; SILVA, M.P.); LIMA, O.B.V.; SANTOS, S.F. Estudo das características físico-químicas do fruto de mandacaru(*cereus jamacaru p.dc.*) cultivado no sertão pernambucano. In CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010, Macéio, AL. **Anais...** Macéio: IFAL, 2010. CD Rom. ISSN 978-85-64320-00-0.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Bioch.** v.37, p.911-917, 1959.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos.** 2. ed. São Paulo: Vereda, 2003. 223 p.

BORTOLATTO, J.; LORA J. Avaliação da composição centesimal do abacaxi (*Ananas comosus* (L.) merril) liofilizado e *in natura*. **Revista de Pesquisa e Extensão em Saúde**, Florianópolis, v.4, p.40-55, 2008.

BOSCO, S.M.D.; CONDE, S.R. **Nutrição e saúde.** Lajeado: Ed. Univates, 2013. 231 p.: ISBN 978-85-8167-049-2.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 1 de 7 de janeiro de 2000;** Regulamento técnico geral para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2000, Seção 1, p.54-58.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, DF, 26 Set. 2005.

BRASIL. MMA- Ministério do Meio Ambiente. **Brazilian forests at a glance: Reference period: 2005-2009**. Brasília: MMA, 2009.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido brasileiro**. Brasília, DF, 2005b. 32 p.

BRASIL. Resolução ANVISA/MS nº. 272 de 22 de agosto de 2005. Regulamento Técnico que aprova o uso de produtos de vegetais, produtos de Frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 set. 2005c. Seção 1.

BRUM, A.A.S.; ARRUDA, L.F.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B. Extraction methods and quality of the lipid fraction of vegetable and animal samples. **Química Nova**, v.32, n.4, p.849-854, 2009.

BRUNINI, M.A.; OLIVEIRA, A.L.; VARANDA, D.B. Avaliação qualidade de polpa de goiaba "Paluma" armazenada a -20 °C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.394-396, 2003.

CÂNDIDO, M.J.D.; ARAÚJO, G.G.L.; CAVALCANTE, M.A.B. Pastagens no ecossistema semi-árido brasileiro: Atualização e perspectivas futuras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiania: UFG, p. 85-94, 2005.

CANUTO, G.A.B.; XAVIER, A.A.O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Physical and chemical characterization of fruit pulps from Amazonia and their correlation to free radical scavenger activity. **Revista Brasileira de Fruticultura**. [online], v.32, n.4, p.1196-1205, 2010. ISSN 0100-2945. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452010005000122>.

CANUTO, T.M.; PIRES, V.C.F.; ARAÚJO, A.P.; BARBOSA, A.S.; BARBOSA, A.S. Avaliação da composição físico-química da polpa do fruto da palma. In: CONGRESSO NORTE E NORDESTE DE QUÍMICA, 1. 2007, Natal, RN. **Anais...** Natal: UFRN, 2007.

CARDADOR-MARTINEZ, A.; JIMENEZ-MARTINEZ, C.; SANDOVAL, G. Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], v.31, n.3, p.782-788, 2011. ISSN 0101-2061. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612011000300036>.

CASAS, A. Uso e manejo de cactáceas colunares mesoamericanas. **Biodiversitas**. Canabio. v.40, p.18-23, 2002.

CAVACANTI MATA, M. E. R.M.; BRAGA, M.E.D.; SILVA, M. Cajá (*Spondias lutea* L.) Fruits freezing curves at semi-cryogenic temperatures. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.55-62, 2003.

CAVALCANTI, N. B. Índice de sobrevivência e crescimento do facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter.) na caatinga. In: Reunião nordestina de botânica, 27., 2004, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: SBB; Embrapa Semi-Árido; UNEB, 2004. 1 CD-ROM.

CAVALCANTI, N.B.; KIILL, L.H.P. Ocorrência e utilização do facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter-Cactaceae) nas Caatingas de Pernambuco, Bahia e Paraíba. In: Congresso nacional de botânica, 53.; reunião nordestina de botânica, 25., 2002, Recife. Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora brasileira: **Resumos**. Recife: Sociedade Botânica do Brasil: Universidade Federal Rural de Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, 2002. 2002.

CAVACANTI, N. B.; RESENDE, G.M. Effect of different substrates in the development of mandacaru without thorns (*Cereus hildemannianus* k. schum). **Revista Caatinga**. Mossoró, v.19, n.3, p.255-260, julho/setembro 2006. ISSN 0100-316X.

CAVACANTI, N. B.; RESENDE, G.M. Effects of substrata growth the mandacaru (*Cereus jamacaru* p. Dc.), facheiro (*Pilosocereus pachycladus* ritter), xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (a. Webwr ex k. Schum.) Bly. Ex rowl.) e coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis* britton & rose). **Revista Caatinga**. Mossoró, v.20, n.1, p.28-35, jan./mar., 2007.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CÓRDOVA, K.R.V.; GAMA, T.M.M.T.B.; WINTER, C.M.G.; KASKANTZIS NETO G.; FREITAS, R.J.S. Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa* degener) obtida por secagem. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.23, n.2, p.221-230, jan./jun. 2005. ISSN:19839774.

CORREIA, D.; NASCIMENTO, E. H. S.; ARAÚJO, J. D. M.; OLIVEIRA, A.E.R. **Propagação de mandacaru sem espinhos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.18 p.; (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa. Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 55).

CUPPARI, L. **Nutrição Clínica no Adulto**, 2. ed. São Paulo: Manole, 2002.

DANTAS, R. L.; ROCHA, A. P. T.; ARAÚJO, A. S.; RODRIGUES, M. S. A.; MARANHÃO, T. L. Perfil da qualidade de polpas de frutas comercializadas na cidade de Campina Grande/PB. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.5 (Numero Especial), p.61-66, 2010.

DAVET, A.; VIRTUOSO, S.; DIAS, J.F.G.; MIGUEL, M.D.; OLIVEIRA A.B.; MIGUEL, O.G.. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v.19(2B), p.561-564, Abr./Jun., 2009. ISSN 0102-695X.

DRUMOND, M.A., SANTANA, A.C., ANTONIOLI, A. et al. Recomendações para o uso sustentável da biodiversidade no bioma da Caatinga. In: **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: MMA-UFPE, p.47-90, 2004.

EISENSTEIN, E.; COELHO, K.S.C.; COELHO, S.C.; COELHO, M.A.S.C. Nutrition in adolescence. **Jornal de Pediatria**, v.76, Supl.3, 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Embrapa pesquisa melhoria na qualidade da produção de polpas de fruta congeladas**. Disponível em <http://www.cnpmf.embrapa.br/ultimas_noticias/r71-polpa_frutas.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Current situation and medium-term outlook for tropical fruits (Report)**. 2011. Disponível em:< http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/218/en/Sit_web_e.pdf>. Acesso em: 03 outubro 2013.

FARAONI, A.S.; RAMOS, A.M. Rheological properties of mixed juices of mango, guava and acerola with added phytochemicals. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v.16, n.1, p.21-28, jan./mar., 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000002>>. Acesso em: 22 novembro 2013.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FERNANDES, L.M.S.; VIEITES, R.L.; CERQUEIRA, R.C.; BRAGA, C.L.; SIRTOLI, L.F.; AMARAL, J.L. Características pós-colheita em frutos de pitaya orgânica submetida a diferentes doses de irradiação. **Revista Biodiversidade** v. 9, n.1, p.15-22, 2010.

FERREIRA, R. M. A.; AROUCHA, E. M. M.; SOUZA, P. A.; QUEIROZ, R. F.; FILHO, F. S. T. P. Ponto de colheita da acerola visando à produção industrial de polpa. **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n.2, p.13–16, 2009.

FINCO F.D.B.A.; SILVA, I.G.; OLIVEIRA, R.B. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of three native fruits from brazilian savannah (cerrado). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.23, n.2, p.179-185, abr./jun. 2012. ISSN 0103-4235.

FRANCISCO, M.S.; SOUSA, J. M.B.; MEDEIROS, F. C.J.; OLIVEIRA, M.C.; MOREIRA, R.T.; Lima, E.E. Avaliação sensorial de biscoito a base de farinha de facheiro (*Cereus squamosus*) In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 3, 2008, Bananeiras, UFPB. **Anais...**, 2008. CDROM.

GADELHA, A. J. F.; ROCHA, C.O. ; VIEIRA, F. F.; RIBEIRO, G. N. Evaluation of quality parameters of physical-chemical frozen pulps of abacaxi, acerola, cajá e caju. **Revista Catinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.115-118, jan./mar., 2009. ISSN 0100-316X.

GARCÍA-CRUZ, L.; SALINAS-MORENO, Y.; VALLE-GUADARRAMA, S. Betalains, phenolic compounds and antioxidant activity in pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* h.). **Revista Fitotecnia**, México. v.35 (n. Especial 5), p.1-5, 2012.

GARRIDO, M.S.; SOARES, A.C. F.; SOUSA, C.S.; CALAFANTE, P.L.P. Physical and chemical characteristics of quixaba fruits (*Sideroxylon obtusifolium* penn.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.34-37, out./dez., 2007. ISSN 0100-316X.

GAVA, A.J.; SILVA, C.A.B.; FRIAS, J.R.G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**, São Paulo, Editora Nobel, 2008, 522 p. ISBN 978-85-213-1382-3.

GONDIM, J.A.M. ; MOURA, M.F.V.; DANTAS, A.S.; MEDEIROS, R.L.S.; SANTOS, K.M.. Centesimal composition and minerals in peels of fruits. **Food Science and Technology** [online], v.25, n.4, p.825-827, 2005. ISSN1678-457X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000400032>>. Acesso em: 02 novembro 2013.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. O. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa/MG, Editora UFV, 2011. 303p.

GONZALEZ-AGUILAR, G.; ROBLES-SANCHEZ, R.; MARTINEZ-TELLEZ, M.; OLIVAS, G.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; DE LA ROSA, L. Bioactive compounds in fruits: Health benefits and effect of storage conditions. **Stewart Postharvest Review**, v.4, n.3, p.1-10, 2008.

GOUVEIA, D.S.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M.; UGULINO, S.M.P. Avaliação físico-química e aceitação sensorial do suco de pinha e do blend pinha-leite. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.9, n.1, p. 29-36, 2007.

GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; MEDEIROS, B.G.S.; RIBEIRO, C. F. A.; DUARTE, S.M.A. Determination of the guava physical and chemical characteristics: fertilized guava tree in the semi-arid region of Paraíba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.6, n.1, p.35-38, 2004. ISSN 1517-8595.

GRANJA, R.N.N.M. **Análise da composição de alimentos: parte 2** – João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2001. 52 p.

GUTKOSKI, L.C.; BONAMIGO, J.M.A.; TEIXEIRA, D.M.F. ; PEDÓ, I. Development of oat based cereal bars with high dietary fiber content. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.2, p.355-363, abr.-jun., 2007.

GUTIERREZ, R.; ESCOBAR, H. 2008. Micropropagación in vitro de *Cereus triangularis* (Pitahaya amarilla). (en línea). Tatapacá, CL. Consultado 20 de dez. 2012. Disponível em: <http://www.unap.cl/~agrodes/publicaciones/ornamentales/micropagacion.pdf>. Acesso em: 11 dezembro 2013.

HARDISSON, A.; RUBI, C.; BÁEZ, A.; MARTIN, M.; ALVAREZ R.; DIAZ, E. Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife. **Food Chemistry**, v.73, p.153-161, 2001.

HOFFMANN, F.L. Higiene: Fatores limitantes à proliferação de microrganismos em alimentos. **Brasil Alimentos**, n.9, p.23-30, Jul./Ago., 2001.

YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T.; TONZAR, A. C.; MORIYA, S.; FERNANDES, J. G. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.1, p. 92-94, 2003.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, v.26, n.8, p.1-84, 2013. ISSN 0103-443X. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>, no sistema SIDRA>. Acesso em: 04 outubro 2013.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. **Frutas brasileiras em ascensão**. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/imprensa/0901_FrutasBrasileirasAscensao.asp> Acesso em: 04 outubro 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. 1.ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em:<http://www.crq4.org.br/sms/files/file/analisedealimentosial_2008.pdf> . Acesso em: 01 fevereiro 2011.

LEAL, R.C.; REIS, V.B.; LUZ, D.A. Physical and chemical parameters evaluation of graviola frozen pulp marketed in supermarkets of São Luis - MA. **Cad. Pesq.**, São Luís, v.20, n.2, p.76-80, maio./ago., 2013.

LIMA, E.E.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Cinética de secagem de polpa de facheiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.9, n.1, p.17-28, 2007. ISSN 1517-8595.

LIMA, L. C.; DIAS, M. S.C.; CASTRO, M. V.; RIBEIRO JUNIOR, P.M.; SILVA, E. B. Controle da antracnose e qualidade de mangas (*Mangifera indica* L.) cv. haden, após tratamento hidrotérmico e armazenamento refrigerado em atmosfera modificada. **Ciência Agrotécnica**. [online]. Lavras, v.31, n.2, p.298-304, 2007. ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000200005>.

LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S.; GONZAGA, NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares. **Revista Brasileira de Cultivares**. Jaboticabal, v.24, n.1, p.273-276, 2002.

LIMA, C.A.; FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; COHEN, K.O.; GUIMARÃES, T.G. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v.35, n.2, p.565-570, Junho 2013.

- LOPES, R. V. V. **Estudo cinético da produção de vinho do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill)**. 2005. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2005.
- MADRUGA, M.S.; ALDRIGUE, M.L. Análise químicas, físico-química e físico e físicas de alimentos. In. ALDRIGUE, M.L.; MADRUGA, M.S.; FIOREZE, R.; LIMA, A.W.O.; SOUZA, C.P. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. João Pessoa: Editora Universitária/Idéia, p.11-58, 2002.
- MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; SANTOS, G. M.; SILVA, D. S.; FERNANDES, A. G. E.; PRADO, G. M. Effect of the processing on some components of acerola juice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.1, p.130-134, jan.-mar., 2007.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006. 202 p. il. (Biodiversidade, v. 26).
- MENEZES, E.M.S.; TORRES, A.T.; SRUR, A.U.S. Lyophilized açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.) nutritional value. **Revista Acta Amazônia**, v.38, n.2, p.311–316, 2008.
- MOLINA, S. M. G.; GAZIOLA, S. A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Manipulação de cereais para acúmulo de lisina em sementes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.205-208, 2001.
- NOBEL, P. S. Biologia Ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E.P. (Ed.). Agroecologia, cultivo e uso de palma forrageira. **Journal of Arid Environments Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Sebrae/PB, p.36-48, 2001.
- OLIVEIRA, L. C.; VALENTIM, I.B.; GOULART, M.O.F. Vegetals as natural sources of antioxidants. **Química Nova**, v.32, n.3, p.689-702, 2009.

OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, D.C.; OLIVEIRA, E.N.A.; SILVA, F.L.H.; FLORENTINO, E.R. Production of alcoholic fermentation from the mandacaru fruit without thorns (*Cereus jamacaru*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.271-277, 2011. ISSN 1517-8595.

OLIVEIRA, F.M.N.; FIGUEIRÊDO, R. M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; ALMEIDA, C. A. Caracterização físico-química das polpas dos ramos do mandacaru. **Revista Caatinga**. Mossoró, v.20, n.4, p.89-92, out./dez. 2007.

OLIVEIRA, F. M. N.; ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, A. R. Características físicoquímicas da polpa e casca do fruto do mandacaru. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 19. 2004, Recife. **Anais...** Recife: Centro de Convenções de Pernambuco, 2004. CDROM.

PAGLARINI, C.S.; SILVA, F. S.; PORTO, A.G.; SANTOS, P.; LEITE, A. L.M. P.. Avaliação físico-química de polpas de frutas congeladas comercializadas na região do médio norte Matogrossense. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.13, p.1391-1398, 2011.

PIGA, A. Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional Importance. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v.6, p.9-22, 2004.

PIMIENTA-BARRIOS, E.; NOBEL, P.S. Reproductive characteristics of pitaya (*Stenocereus queretaroensis*) and their relationship with soluble sugars and irrigation. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.120, p.1082-1086, 1995.

PIMENTEL, G. R. **Fruticultura brasileira**, 13. ed. São Paulo: Nobel, 2007.

PINHEIRO, K. P.; BEZERRA, K. C.; AGUIAR, E.M.; SILVA, M.M.; SILVA, J.G.M.; NOBRE, F.V. **Análises química e bromatológicas da farinha de feno de facheiro (*Pilocereus piauensis*)**. João Pessoa. Universidade Federal de Paraíba, 2008.

PINTO, W.S.; DANTAS, A.C.V. L.; FONSECA, A.A.O.; LEDO, C. A.S.; JESUS, S. C.; CALAFANGE, P.L.P.; ANDRADE, E.M. Physical, physico-chemical and chemical characterization of fruits of true yellow mombin. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p. 1059-1066, set. 2003.

PRATI, P.; MORETTI, R. H.; CARDELLO, H. M. A. B.. Elaboração de bebida composta por mistura de garapa parcialmente clarificada-estabilizada e sucos de frutas ácidas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. [online], v.25, n.1, p.147-152, 2005. ISSN1678-457X. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000100024>>.

RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; HIANE, P. A.; BRAGA NETO, J. A.; SIQUEIRA, E. M. A. Nutritional quality of the pulp of bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. Campinas, v.28(Supl.), p.90-94, dez., 2008. ISSN 0101-2061.

RERYES-AGUERO, J. A.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; HERNÁNDEZ, H. M. Systematic Notes and a detailed description of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill.(Cactaceae). **Agrociencia**, v.39, p.395–408, 2005.

RIBEIRO, E. P; SERAVALLI, E. A. G; **Química de Alimentos**, São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

ROCHA, E. A.; AGRA, M. F. Flora do Pico do Jabre, Paraíba, Brasil: Cactaceae Juss. **Acta Botanica Brasilica**, v.16, n.1, p.15-21, 2002.

ROCHA, M. C.; SILVA, A. L. B.; ALMEIDA, A.; COLLAD, F. H. Efeito do uso de biofertilizante agrobio sobre as características físico-químicas na pós-colheita do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg.) no município de Taubaté. **Revista Biociências**, Taubaté, v.7, n.2, p.7-13, 2001.

SABRY, M. O. D.; SÁ, M. L. B.; SAMPAIO, H. A. C. Paleolithic diet in the prevention of chronic diseases. *Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.* **Journal of the Brazilian Society of Food and Nutrition**, São Paulo, v.35, n.1, p.111-127, abr., 2010.

SACRAMENTO, C. K.; BARRETTO, W. S. Frutas tropicais não tradicionais para o cultivo no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 12, 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Sociedade Brasileira de Fruticultura, v.1, p. 492-496, 2012.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E. Cactus-pear juices. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v.4, p.3-10, 2001.

SANTOS, D. P.; BARROS, B. C. V. Hygienic health profile of pulp fruit produced in rural community and offered a school lunch. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v.6, n.2, p.747-756, 2012. ISSN:1981-3686.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea Mart*). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Ceará, v.58, n.2, 2008.

SCHEINVAR, L. Taxonomia das opuntias utilizadas. In: BARBERA, Guiseppe; INGLESE, Paolo (Eds.). **Agroecologia, cultivos e usos da palmaforrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, p.20-27, 2001.

SILVA, A. O.; ADEMAR FILHO, M.; SILVA, J. A. S; GORGONIO, B. C. R.; SILVA, C. M. Caracterização físico – química da polpa e casca de frutos do mandacará (*Cereus jamacaru*). In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ENECT, UEPB, v.01, n.1, 2012. ISSN 2317-0050.

SILVA, A. S.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; LIMA, E. E. Pulp and skin composition of *Melocactus bahiensis* were studied. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, 2005a. ISSN 1519-5228. <http://www.redalyc.org/pdf/500/50050213.pdf>.

SILVA, F. S. A.; AZEVEDO, C. A.V.. Principas components anlysis in the software assistat-statistical attendance. In: WORD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, 2009. Reno-USA. **Anais...** Reno-USA: American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2009. Beta.

SILVA, J. G. M.; SILVA, D. S.; FERREIRA, M. A.; LIMA, G. F. C.; MELO, A. A. S.; DINIZ, M. C. N. M. Xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.) Bly. Ex Rowl.) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1408-1417, 2005b.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. A. Evaluation of the physical-chemical composition of the fruits of Mandacaru. **Acta Agronômica**, Bogotá, v.58, n.4, p 245-250, 2009.

SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJAS, G.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Physical chemical and chemical characteristics of 'quipá' (*Tacinga inamoena*, cactaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.292-295, ago., 2007.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 639 p.

TACO- **Tabela brasileira de composição de alimentos** / NEPA-UNICAMP.- Versão II. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011, 164p.

TAGLE, M. A. **Nutrição**. São Paulo: Artes Médicas, 1981.

TORRES, E. A. F. S; CAMPOS, N. C.; DUARTE, M.; GARBELOTTI, M. L.; PHILIPPI, S. T.; MINAZZI-RODRIGUES, R. S. Proximate food composition and caloric value of foods from animal origin. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.2, maio/ago., 2000. ISSN 0101-2061.

VICENZI, R. **Apostila tecnologia de alimentos**. DCSA – UNIJUÍ. 107p. 2008. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/7164422/Apostila-de-Analise-de-Alimentos>>. Acesso em 14 julho 2013.

ZAPPI, D.; AONA, L. Cactaceae in flora brasiliensis revisitada, 2007. Disponível em: <<http://flora.cria.org.br>>. Acesso em: 7 de setembro de 2013.

**APROVEITAMENTO AGROINDUSTRIAL DE CACTÁCEAS
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

CAPÍTULO 2

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E CINÉTICA DE CONGELAMENTO DAS
POLPAS DOS FRUTOS DO FACHEIRO (*Pilosocereus pachycladus* Ritter) E DO
MANDACARU (*Cereus jamacaru* P. DC.)**

2.1 - INTRODUÇÃO

As frutas tropicais são altamente perecíveis, deteriorando-se em poucos dias. Esse fato dificulta sua comercialização, na forma *in natura*, a grandes distâncias. Estima-se que, nas áreas tropicais e subtropicais, as perdas pós-colheita de frutas e hortaliças variam entre 15 e 50%, principalmente por manuseio e preservação inadequados (CHITARRA e CHITARRA, 2005). A transformação de frutas em produtos possibilita absorver grande parte da colheita, favorecendo o consumo de frutas durante o ano todo e a redução do desperdício de alimentos (CAETANO, DAIUTO & VIEITES, 2012).

A produção de frutas para a obtenção de sucos, polpas, doces, geleias, etc., consiste em uma alternativa de reconhecida importância alimentar e econômica, por proporcionar a conservação e a manutenção da qualidade, mantendo a disponibilidade de produtos no mercado nos períodos de entressafra, com características nutricionais e organolépticas de alto nível. Estes produtos, quando utilizadas técnicas e procedimentos adequados, podem ser mantidos sob armazenamento por semanas ou até mesmo meses (GADELHA, ROCHA & VIEIRA, 2009).

Polpas de frutas são alimentos muito apreciados pelos consumidores, por serem ricos em fibras, carboidratos, vitaminas e minerais. Esses produtos tornam a dieta alimentar da população mais saudável, uma vez que, as polpas congeladas substituem as frutas *in natura* permitindo o consumo do produto mesmo em período de entressafra (SILVA, OLIVEIRA & JALES, 2006).

O crescimento da indústria frutícola brasileira tem se baseado, em grande parte, na produção de polpas de frutas congeladas em fábricas de pequeno porte, conforme PERREIRA et al. (2006), criadas inicialmente com a finalidade de melhorar a renda familiar de pequenos produtores rurais, ou até mesmo para aproveitar parte da matéria-prima não utilizada e, às vezes, totalmente desperdiçada.

O congelamento é um dos métodos mais eficientes para a manutenção da qualidade de produtos elaborados com polpa de frutas, diminuindo os efeitos de deterioração quando expostos à temperatura abaixo do ponto de congelamento. O congelamento, embora eficiente, se não for rigorosamente controlado pode produzir efeitos prejudiciais, comprometendo a qualidade dos produtos que depende da velocidade do meio de resfriamento e das condições de armazenamento posterior (FERNÁNDEZ et al., 2007).

O congelamento é um dos melhores métodos de armazenar um produto, com transformações mínimas, preservando seu valor nutritivo, sensorial, além de outros fatores

responsáveis pela qualidade do produto. Nos alimentos congelados, a qualidade final está relacionada com as condições empregadas durante o processo de congelamento e com as condições de armazenamento (CIABOTTI,2000).

A indústria de polpas congeladas de frutas tem se expandido bastante nos últimos anos, notadamente no Nordeste brasileiro. As unidades fabris se compõem, em sua maioria, de pequenos produtores, onde grande parte deles utilizam processos artesanais, sem a devida observância das técnicas adequadas de processamento. A polpa congelada, por apresentar características de praticidade, vem ganhando grande popularidade, não só entre as donas de casa, mas também em restaurantes, hotéis, lanchonetes, hospitais, etc., onde é utilizada, principalmente, na elaboração de sucos.

A deficiência de tecnologias na produção de fruteiras tropicais consiste no principal obstáculo à exploração comercial, tanto para o mercado interno quanto para o externo (PINTO et al., 2003).

Durante seu processamento e armazenamento, a polpa de fruta passa por várias etapas, em que sua temperatura e teor de água podem sofrer alterações. Conhecer como essas alterações ocorrem e saber controlá-las, é fundamental para garantir maior eficiência nos processos e melhor qualidade no produto final.

2.1.2 – Objetivos

Estudar a cinética de congelamento, bem como determinar a difusividade térmica nas temperaturas de -25, -60, -150, -196 °C da polpa do fruto de facheiro e do mandacaru.

2.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 – Conservação por congelamento

O congelamento é um dos processos mais indicados para a preservação das propriedades químicas, nutricionais e sensoriais de polpas de frutas, no entanto, apresenta custos de produção, transporte e armazenamento relativamente elevados. Os microrganismos não são considerados um grande problema em alimentos congelados, pois estes não crescem em temperaturas usuais de congelamento (-18 °C) (LOPES, 2005).

O congelamento é uma operação unitária que visa à extensão da vida de prateleira de um alimento perecível (WELTY-CHAVES, VERGARA-BALDERAS & BERNUDEZ-AGUIRRE, 2005). Nos alimentos congelados, a qualidade final está relacionada com as condições empregadas durante o processo de congelamento e com as condições de armazenamento (CIABOTTI, 2000).

O congelamento retarda, mas não para as reações físico-químicas e bioquímicas que levam a deterioração dos alimentos, e durante o armazenamento congelado ocorre uma mudança lenta e progressiva na qualidade sensorial dos produtos alimentícios (RAHMAN & RUIZ, 2007).

Métodos de congelamento têm sido estudados a fim de minimizar as alterações químicas e físicas que deles decorrem. O principal fator de estudo é como a velocidade de congelamento influencia nas características do produto final. Variações nas temperaturas das câmaras são problemas observados nas indústrias, e levam à depreciação da qualidade do produto (COLLA & PRENTICE-HERNANDEZ, 2003).

De acordo com EVANGELISTA (2005), o congelamento está condicionado, principalmente, ao teor aquoso do alimento e aos compostos neles dissolvidos, por isso, o tempo de congelamento de um líquido puro como água, não poderá ser o mesmo para aquele em que se acham dissolvidas substâncias orgânicas e inorgânicas, como ocorre em alimentos.

De acordo com FELLOWS (2006), o alimento é resfriado até abaixo de seu ponto de congelamento que, com exceção da água pura, é sempre abaixo de 0 °C. Segundo o mesmo autor, o ponto de congelamento para a fruta com teor de água em torno de 87-95%, pode variar entre -0,90 a -2,70 °C. Esse fenômeno, conhecido como super-resfriamento pode chegar a até 10 °C abaixo do ponto de congelamento do alimento e varia de acordo com a sua composição e taxa de resfriamento (FELLOWS, 2006; ZARITZKI, 2000).

SING & HELDMAN (1998) citam que para congelar um alimento, o produto deve expor-se a média e baixa temperatura durante um tempo suficiente para eliminar os calores sensível e latente de fusão do produto. A eliminação do calor latente e sensível produz uma diminuição da temperatura do produto assim como a transformação da água da fase líquida para a fase sólida. Na maioria dos casos, aproximadamente 20% da água permanece no estado líquido no alimento congelado.

Em geral, nas condições usuais de congelamento (-18 °C), a atividade microbiana é praticamente impedida, tendo em vista que a maioria dos microrganismos não se desenvolve em temperaturas inferiores a -10 °C. Em temperaturas de refrigeração ocorre apenas diminuição da velocidade de multiplicação dos microrganismos. Quanto mais baixas forem as temperaturas empregadas nesse método de conservação de alimentos, mais lentas serão as reações químicas, a atividade enzimática e o crescimento microbiano (FREITAS & FIGUEIREDO, 2000).

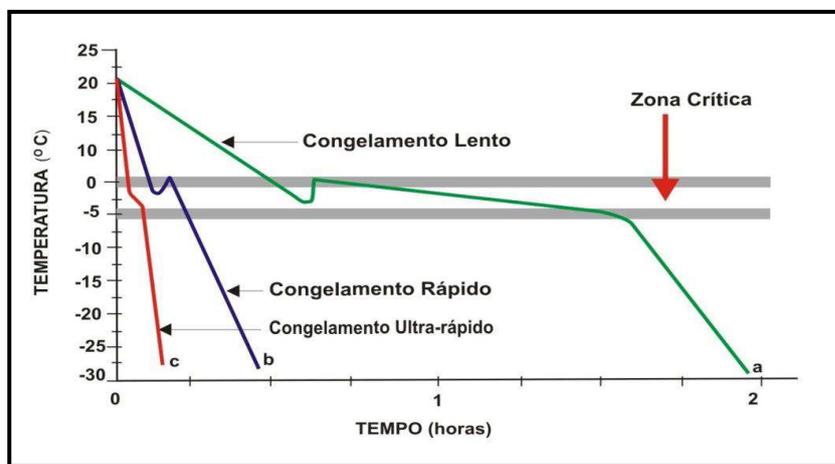
Durante o congelamento o calor sensível é removido para diminuir a temperatura de um alimento até o ponto de congelamento. Em alimentos frescos, o calor produzido pela respiração também é removido. Este é chamado de carga calorífica. A maioria dos alimentos contém uma grande proporção de água, que tem um alto calor específico ($4.200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e um alto calor latente de cristalização (335 kJ kg^{-1}). Uma quantidade substancial de energia é, portanto necessária para remover o calor latente, formar os cristais de gelo e congelar os alimentos (FELLOWS, 2006).

Para CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003) o tempo de congelamento é o fator mais crítico associado com a escolha de um sistema de congelamento para assegurar uma excelente qualidade do produto. Os requerimentos para o tempo de congelamento estabelecem a capacidade do sistema, enquanto os mesmos parâmetros têm influência direta na qualidade do produto. Para garantir uma escolha eficiente nos sistemas de congelamentos, métodos para prever o tempo de congelamento são muito importantes.

2.2.1.1 – Classificação do congelamento

GAVA (2008) classifica o congelamento em lento e rápido e COX (1987) em lento, rápido e ultra-rápido como demonstra a Figura 2.1, mas ambas as classificações estão de acordo com a velocidade de congelamento que depende do quociente entre a temperatura do produto e

do líquido refrigerante e fatores de resistência, tais como: velocidade do ar, embalagem, tamanho do produto, geometria do sistema e composição do produto FENEMMA, (1996).



Fonte: (FENEMMA, 1996)

Figura 2.1 – Evolução da temperatura durante o congelamento de um produto biológico com resfriamento lento (a), rápido (b) e ultrarrápido (c)

2.2.1.1.1 – Congelamento lento

No congelamento lento a temperatura diminui gradativamente até atingir a temperatura de equilíbrio com a câmara de congelamento, realizada por sistemas mecânicos que utilizam substâncias refrigerantes (Tabela 2.1), a velocidade de congelação está em torno de $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ minuto}^{-1}$ (FOREST, 1979). Apresenta, ainda, como características, os cristais que têm formas hexagonais (Figura 2.2a); são cristais de maior tamanho comparados com cristais no congelamento rápido e ultrarrápido, localizando-se no interior das células, principalmente nos espaços intercelulares, ocasionando a ruptura das membranas celulares devido aos cristais formados no espaço intercelular. Outras causas da ruptura de membranas são as injúrias celulares ocasionadas pelo aumento da pressão osmótica e a precipitação irreversível ou desnaturação dos constituintes coloidais da célula. Este fato traz, em consequência, forte exsudação no descongelamento, com perda de elementos nutritivos (PARDI et al., 1995).

No congelamento se utilizam temperaturas mais baixas que na refrigeração e, por isto, se inibe o crescimento microbiano e se retarda praticamente todo o processo metabólico. Este processo é aplicado aos alimentos que necessitam de maior período de conservação e tem, como vantagem, principalmente manter os caracteres organolépticos e nutritivos e dificultar as ações desfavoráveis de micro-organismo e enzimas. Quanto menor a temperatura de

armazenamento mais lenta será a atividade enzimática, até determinado ponto, em que ocorre uma posição de paralisação; este fato é alcançado parcialmente mesmo em temperaturas extremas porque, a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou temperaturas inferiores existirão, no alimento, zonas com alta concentração de solutos não congelados devido a velocidade ser lenta durante o congelamento, de acordo GAVA (2008).

Tabela 2.1 – Propriedades de alguns fluidos refrigerantes empregados na indústria agroalimentícia

Refrigerante (fórmula; número de identificação)	Ponto de ebulição ($^{\circ}\text{C}$) a 100 kPa	Calor latente de vaporização (kJ kg^{-1})	Toxicidade	Inflamabilidade
Diclorodifluorometano (CCL_2F_2 ; R-12)	-29,8	163,54	Baixa	Baixa
Clorodifluorometano (CHCLF_2 ; R-22)	-40,8	220,94	Baixa	Baixa
Tetrafluorometano (CHCLF_2 ; R-134a)	-27	-	Baixa	Baixa
Amoníaco (NH_3 ; R-717)	-33,3	1328,48	Alta	Alta

Fonte: ORDÓÑEZ PEREDA (2005)

2.2.1.1.2 – Congelamento rápido

A era moderna do alimento congelado teve início com o desenvolvimento de técnicas de congelamento rápido, através da qual, o congelamento pode ser realizado em horas, ao invés de dias, evitando-se assim a formação de macro cristais no interior do produto. No congelamento rápido as temperaturas diminuem com velocidade média e alta, A velocidade de congelação está em torno de $0,5^{\circ}\text{C. minuto}^{-1}$ (FOREST, 1979), até atingir a temperatura de equilíbrio com a câmara de congelamento, durante o congelamento rápido o tipo de cristal de gelo formado é em sua maioria os diedros irregulares Figura 2.2b com tamanho menor daqueles formados pelo congelamento lento. Nestas condições a formação de cristais médios a pequenos no centro das células tem-se uma redução significativa nos efeitos comparados com o congelamento lento (VICENTE et al., 1994). O congelamento rápido é realizado com líquido criogênico ou gases liquefeitos sem contato direto com o alimento (COX, 1987).

O congelamento rápido pode ser realizado de diversas formas e com diferentes métodos, entre eles, congelamento a vácuo, congelamento com água gelada, câmara de resfriamento, congelamento com ar forçado (BROSNAN & SUN, 2001; TERUEL, 2000).

O congelamento rápido corresponde à operação que congela um produto à razão de 1 a 3 cm³.h⁻¹. O processo de congelamento se dá, neste caso, na faixa de temperatura de -0,5 a -5 °C, considerada faixa crítica, pois é nela que se cristaliza a maioria da água livre presente nos alimentos (OETTERER, REGITANO-D`ARCE & SPOTO, 2006)

Para FELLOWS (2006), o ponto de congelamento de um alimento pode ser descrito como a temperatura na qual um cristal de gelo minúsculo existe em equilíbrio com a água ao seu redor. Contudo, antes que um cristal de gelo possa forma-se, um núcleo de moléculas de água deve estar presente, portanto a nucleação precede a formação de cristais. Existem dois tipos de nucleação: a nucleação homogênea, na qual a orientação e a combinação de moléculas de água são casuais, e na nucleação heterogênea, formação de um núcleo ao redor de partículas suspensas ou em uma parede celular. A nucleação heterogênea é mais provável de acontecer em alimentos e ocorre durante o super-resfriamento. A duração do período de super-resfriamento depende do tipo de alimento e da taxa na qual o calor é removido.

A cristalização é a formação de uma fase sólida organizada em uma solução. O processo de cristalização envolve a nucleação, e o crescimento de cristais. O crescimento de cristais é simplesmente o alargamento dos núcleos formados na fase de nucleação, promovido pela adição de moléculas de água ao núcleo de cristalização, portanto nucleação e cristalização ocorrem simultaneamente (FENNEMA, 1996).

Segundo NEVES FILHO (1991) as soluções, constituídas de soluto e solvente (normalmente água), têm sido utilizadas em experimentos para o esclarecimento do processo de congelamento. Na presença do soluto tem-se menos água disponível, diminuindo a mobilidade das moléculas de água devido a maior viscosidade da solução. O ponto de congelamento é menor, pois o soluto reduz a pressão do vapor de água, além de alterar as coligativas.

A segunda fase da cristalização consiste no crescimento do núcleo pela adição de moléculas individuais de água sobre a superfície destes núcleos, o que não ocorre ao acaso. Durante uma cristalização lenta, cada molécula, após um primeiro contato com a superfície do cristal, difunde-se ao longo desta superfície até encontrar um estado de energia suficientemente baixo para tornar-se estável. Moléculas de solutos podem se difundir das imediações da interface para o interior da fase líquida, e o calor latente de cristalização precisam ser

removidas (FENNEMA, 1996). Os cristais de gelo, depois de formados, não são estáveis e podem experimentar certas mudanças físicas e químicas, como a recristalização e sublimação.

2.2.1.1.3 – Congelamento ultrarrápido

VICENTE et al. (1994), define criogenia como a ciência dedicada à produção de baixas temperaturas (em geral abaixo de -100°C). Atualmente quando falamos de criogenia nos referimos ao frio originado por aplicação de gases liquefeitos (sobre tudo o nitrogênio).

O congelamento ultrarrápido de produtos alimentícios se conhece na atualidade como “ultracongelamento”, e se realiza em só alguns minutos (máximo de 120). Quando o ultracongelamento é feito por aplicação de gases criogênicos (nitrogênio líquido principalmente a baixas temperaturas, o processo se realiza de 1 a 15 minutos) (VICENTE et al., 1994).

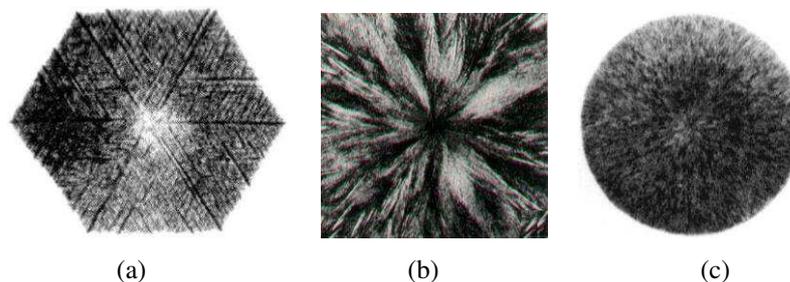
Um congelamento criogênico normalmente se refere a um fluido cujo ponto de ebulição está bastante abaixo do ponto de congelação normal do alimento. Quando o alimento é imerso no fluido, tem lugar uma evaporação do congelante sobre a superfície do alimento, melhorando, portanto o coeficiente de película térmica (LEWIS, 1993). Entre os líquidos criogênicos se destacam o dióxido de carbono e o nitrogênio; este último é o agente ideal para execução do processo, por ser inerte, de baixo ponto de ebulição e destituído de toxidez (EVANGELISTA, 2005).

Segundo COX (1987), a velocidade de congelamento afeta não só o tamanho dos cristais de gelo, como também sua localização, no congelamento ultrarrápido se forma cristais pequenos no interior das células, quando o congelamento é lento, os cristais se formam nos espaços intracelulares.

Quanto à taxa de congelamento, é aceito que através do congelamento ultrarrápido obtêm-se produtos finais congelados de melhor qualidade, devido à formação de pequenos cristais de gelo de forma esférica Figura 2.2c entre as estruturas das células, nos espaços intercelulares e intracelulares, sendo que o tamanho dos cristais é tão pequeno que não ocorrem danos às células (MARTIN et al., 1982).

No congelamento ultrarrápido as substâncias mais usadas são líquidos criogênicos ou gases liquefeitos, compostos que possuem ponto de ebulição muito baixo e calor latente de vaporização bastante elevado, sendo as mais usadas na criogenia incluem nitrogênio líquido (N_2) com uma temperatura de -196°C e dióxido de carbono (CO_2) cuja temperatura é de -79°C

de acordo com MÉNDEZ-LAGUNAS et al. (2008), cujas propriedades mais relevantes são indicadas na Tabela 2.2.



Fonte: COLLA & PRENTICE-HERNÁNDEZ (2003)

Figura 2.2 – Unidades principais de cristalização. (a) Hexágonos regulares; (b) Dendrito (diedros) irregulares; (c) Unidades esféricas

Tabela 2.2 – Propriedades dos líquidos criogênicos utilizados na indústria de alimentos

Propriedades	Nitrogênio	CO ₂
Ponto de ebulição normal, °C	-195,8	-78,5
Capacidade refrigerante total, kj kg ⁻¹	-195,8	-78,5
Densidade do líquido em ponto de ebulição normal, kg m ⁻³	809,7	1,562
Calor específico do gás a 21°C, kj kg ⁻¹ K ⁻¹	1,024	0,832
Calor latente de vaporização, kj kg ⁻¹	199,8	347,97
Consumo (kg) por kg de produto congelado	1,3	1,2 a 3,75

Fonte: ORDÓÑEZ PEREDA (2005)

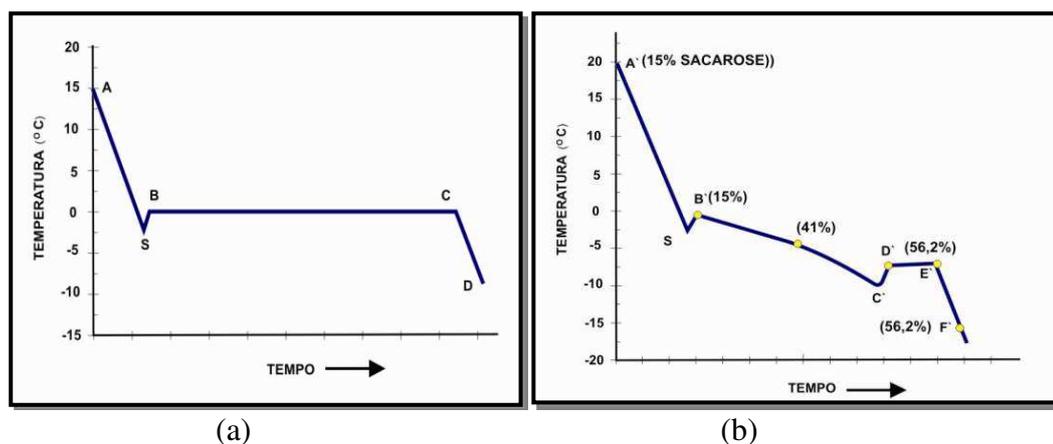
O congelamento ultrarrápido com nitrogênio líquido apresenta como vantagens: menor desidratação do alimento durante o processo de congelamento, menor perda de peso do produto ao proceder o descongelamento, melhores características organolépticas cor, aroma, sabor, melhor qualidade microbiológica (detenção do desenvolvimento microbiano e enzimático) e detenção dos processos de oxidação e ranço provocado por oxigênio e desenvolvimento bacteriano segundo ORDÓÑEZ PEREDA (2005).

2.2.1.2 – Cinética de congelamento

Métodos de congelamento têm sido estudados a fim de minimizar as alterações químicas e físicas que deles decorrem. O principal fator de estudo é como a velocidade de congelamento influencia as características do produto final (COLLA & HERNÁNDEZ, 2003).

Anteriormente ao congelamento, o calor sensível deve ser removido do alimento para reduzir a temperatura inicial até a temperatura de início do congelamento. Depois ocorre a transformação da água em gelo, com a retirada do calor latente, quando quase não ocorre variação da temperatura do produto e o posterior resfriamento até a temperatura final de equilíbrio, próximo a temperatura do meio de resfriamento (BARDIN, 2007)

Para KASAHARA et al. (1986), uma forma prática de conhecer a evolução de um processo de congelamento é através da variação de temperatura do alimento em função do tempo durante o processo, esse conhecimento do comportamento do congelamento gera uma dependência que representa graficamente (Figura 2.3) e denomina-se curva de congelamento. Segundo CAVALCANTI MATA (2008) essa é uma ferramenta importante para determinar os tempos de congelamento dos alimentos em conjunto com a velocidade de congelamento podendo-se dimensionar novos equipamentos, para tais fins. NEVES FILHO (1991), no caso de sistemas biológicos ou de alimentos o processo torna-se extremamente complexo em função de um grande número de variáveis.



Fonte: NEVES FILHO (1991)

Figura 2.3 – Curvas de congelamento de: (a) água pura e (b) uma solução diluída de sacarose

NEVES FILHO (1991) ao descrever o processo de congelamento demonstra que o produto passará por vários estágios com diferentes períodos de tempo e se inicia com a redução da temperatura durante o congelamento observado na Figura 2.3 tem-se início com o resfriamento de **A** a **B** e **A'** a **B'** que é o período decorrido entre o início do processo onde as moléculas de água tendem a se agregar diminuindo as suas atividades, até formar os primeiros cristais de gelo no ponto **S**. Água permanece líquida, abaixo de 0 °C e do ponto de congelamento, esse fenômeno é chamado de super-resfriamento. Com o início da cristalização

há liberação de calor que aumenta a temperatura do ponto **S** ao ponto **B** e **S** a **B'** respectivamente.

No período de **B** a **C** na Figura 2.3a que representa a curva de congelamento da água pura o gelo começa a se formar com a passagem de um arranjo aleatório na fase líquida para o ordenado na fase sólida, processo que consiste de uma nucleação e crescimento de cristais (cristalização), período no qual a temperatura sofre pequena variação e maior parte da água líquida transforma-se em gelo. Na Figura 2.3b que demonstra a curva de congelamento de uma solução diluída de sacarose que simula o congelamento de um alimento no período de **B'** a **C'**, a temperatura diminui gradativamente pelo aumento na concentração de solutos não congelados tornando-se supersaturada até atingir a temperatura estática do soluto até o ponto **D'**, a partir daí continua a cristalização da água em conjunto com a cristalização do soluto até o ponto **E'**. No período de **C** a **D** e de **E'** a **F'** tem-se a redução da temperatura na qual a maior parte da água já se encontra na fase sólida até atingira a temperatura desejada.

O tempo de congelamento efetivo é normalmente definido como o tempo total necessário para baixar a temperatura de um produto desde um valor de temperatura inicial até uma temperatura a baixo do ponto de congelamento. Ele deve ser determinado em relação a uma posição no alimento, usualmente no centro térmico, no qual a mudança de temperatura é mais lenta (BELCHIOR, 2012).

Os alimentos e os sistemas complexos em geral, geram curvas de congelamento típicas, por isso não se congela a uma temperatura definida, a não ser que o produza através de um alimento. A existência de mais de um soluto, e a presença de diversas estruturas celulares, explica em grande parte este fenômeno (KASAHARA et al.,1986).

Segundo KASAHARA et al. (1986), a progressiva variação da temperatura do alimento em função do tempo de congelamento, tem diversas conotações e implicações em relação ao seu comportamento térmico. Durante o congelamento, a fração de água congelada muda continuamente com a temperatura, o qual explica a permanente mudança que se percebe nas propriedades térmicas. Segundo o mesmo autor, quando um processo de transferência calórica toma lugar em uma condição transiente, a propriedade térmica que tem especial importância é a difusividade térmica α , por quanto este parâmetro nos permite estabelecer a rapidez com que o calor se difunde no produto que se congela, e conhecer o grau de dependência que existe, para uma localização dada ao produto, entre a temperatura e o tempo.

As propriedades termofísicas dependem em certo grau da temperatura, sendo importante conhecer estas propriedades para estimar os fenômenos de altas e baixas temperaturas. As

propriedades termofísicas necessárias de conhecer são: densidade, calor específico e difusividade térmica. Estas propriedades têm grandes mudanças durante o congelamento como consequência da diminuição da temperatura e da mudança de estado da água presente no produto, sendo necessárias conhecê-las por serem parâmetros que influem na velocidade e no tempo de congelamento (KASAHARA et al., 1986).

Segundo NEVES FILHO (1991), além da equação de difusão, desenvolvida por Crank em 1956 com base no estudo de Fourier em 1978, a difusividade pode ser definida em termos de outras propriedades térmicas de acordo com a Equação 2.6.

Se a temperatura for monitorada no centro térmico do alimento (ponto que resfria mais lentamente), obtém-se uma curva característica quando o calor é removido, Figura 2.4.

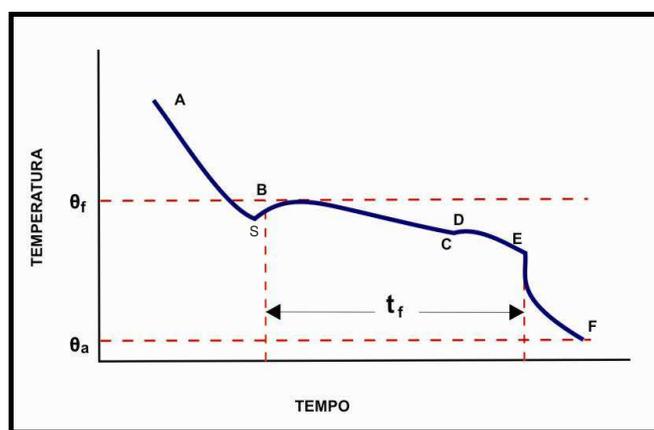


Figura 2.4 – Curva tempo-temperatura durante o congelamento

A-S – O alimento é resfriado até abaixo do seu ponto de congelamento θ_f que, com exceção da água pura, é sempre abaixo de 0°C . No ponto **S**, a água permanece líquida, apesar de a temperatura estar abaixo do ponto de congelamento. Esse fenômeno é conhecido como super-resfriamento e pode ser de até 10°C abaixo do ponto de congelamento.

S-B – A temperatura aumenta rapidamente até o ponto de congelamento à medida que os cristais de gelo começam a se formar e o calor latente de cristalização é liberado.

B-C – O alimento é resfriado até abaixo do seu ponto de congelamento θ_f que, com exceção da água pura, é sempre abaixo de 0°C .

C-D – Um dos solutos torna-se supersaturados e cristaliza. O calor latente de cristalização é liberado, e a temperatura aumenta até a temperatura eutética daquele soluto.

D-E – Continua a cristalização da água e dos solutos. O tempo total t_f necessário, é determinado pela taxa na qual o calor é removido.

E-F – A temperatura da mistura gelo-água cai até a do congelador. Uma proporção da água permanece líquida nas temperaturas utilizadas no congelamento comercial, a quantidade depende do tipo e da composição do alimento e da temperatura de estocagem.

Na primeira fase, que corresponde ao tempo decorrido de **a** a **b**, se produz o resfriamento do produto a congelar desde a temperatura inicial t_0 até a temperatura crioscópica t_{cr} ., Figura 2.5.

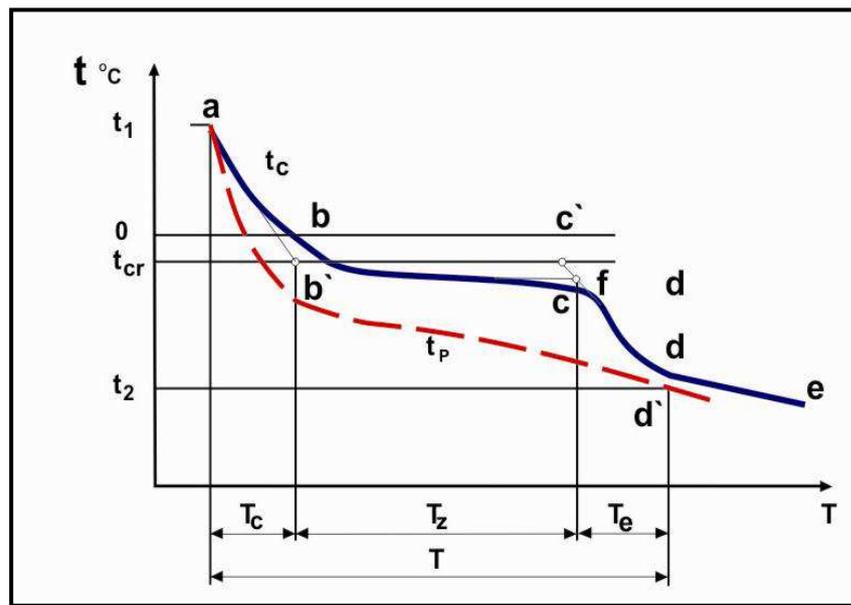


Figura 2.5 – Curva de congelamento de um produto alimentício; t_c – Temperatura do centro do produto; t_p – Temperatura da superfície do produto; t_1 e t_2 – Temperatura inicial e final, respectivamente do produto; **a-b'-c'-d'** – curva teórica de congelamento; **a-b-c-d-e** – curva real de congelamento

O tempo decorrido de **b** a **c** corresponde ao congelamento, esse estágio tende a decorrer horizontalmente, o suco celular aumenta como também aumenta a quantidade de água congelada, reduzindo constantemente o ponto crioscópico. Gerando assim uma curva diferente da horizontal, é o ponto que a curva começa bruscamente a cair (ponto **c**) onde se inicia uma nova fase, que é o pós-congelamento. Nesta fase de **c** a **d**, é o período de redução da temperatura, que corresponde na maioria dos alimentos a um congelamento de aproximadamente de 73% da quantidade total de água. Como o congelamento prossegue em ambas as fases do processo, de congelamento e pós-congelamento, decorre de maneira simultânea entre o estágio de **c** a **d**.

Para descrever o resfriamento de um produto, diversos pesquisadores entre eles (KASAHARA, et al., 1986) têm recorrido às questões tradicionais de transferência de calor.

O modelo matemático utilizado para descrever o resfriamento cuja forma se assemelha a uma placa plana é.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.9)$$

De acordo com CRANK (1975), a solução da equação (2.9) para calcular a transferência de calor m regime transiente da polpa, cuja forma se assemelha a uma placa plana de espessura $2L$, no instante $F_0 = \alpha t/L^2$ (tempo adimensional denominado número de Fourier) é dado por:

$$RT = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \quad (2.10)$$

$$RT = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(\sigma_n^2 - F_0) \quad (2.11)$$

$$A_n = \frac{2 \sin \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cos \sigma_1} \quad (2.12)$$

$$F_0 = \frac{\alpha t}{L^2} \quad (2.13)$$

em que:

RT- razão de temperatura, adimensional

T - temperatura no instante t, °C

T_∞ - temperatura no meio de congelamento, °C

T_0 - temperatura inicial do ponto, °C

A_n - constante que depende do produto, adimensional

F_0 - número de Fourier, adimensional

σ_n - Raiz transcendental, adimensional

α - Difusividade térmica, $m^2 s^{-1}$

L - Espessura da amostra/2

t - Tempo, s.

2.2.2 – Estado da arte

Para o processo de congelamento de alimentos, são essenciais a simulação da variação de temperatura no interior dos alimentos, a estimativas de tempo de congelamento e a carga térmica do produto. O ponto inicial de congelamento constitui importante propriedade

termodinâmica nos processos de congelamento, não apenas para determinação das melhores condições de estocagem, mas também para a avaliação das alterações provocadas pelo processo no produto. A qualidade de um produto congelado depende da velocidade em que é congelado, se acredita que os melhores resultados se obtêm com os alimentos que são submetidos ao “congelamento rápido”, entretanto a cinética de congelamento deve ser estudada devido a sua complexidade em função de um grande número de variáveis. Desta forma, alguns destes trabalhos serão descritos, enfatizando os métodos e os resultados obtidos por diversos pesquisadores.

ARAÚJO, BRAGA & CAVALCANTI MATA (2000) estudaram a curva de resfriamento e congelamento da polpa de acerola às temperaturas de $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, bem como determinaram a difusividade térmica efetiva. Para essa finalidade, dividiu-se a curva de congelamento em três estágios, onde o primeiro estágio correspondia ao resfriamento do produto; o segundo, ao congelamento ou cristalização e o terceiro estágio era o de pós congelamento. A curva de congelamento da polpa de acerola, a $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi obtida, utilizando-se um freezer horizontal, para a temperatura de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$; utilizou-se um aparelho Kryostat modelo N-180 e a temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi obtida por imersão em nitrogênio líquido. A equação utilizada neste trabalho foi a de resfriamento unidirecional, considerando a polpa de acerola, sob embalagem, como uma placa plana infinita. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que: a) para a temperatura de $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, o período de resfriamento durou 1.800 segundos, o de cristalização 6.000 segundos e o período de pós-congelamento 6.000 segundos. Para a temperatura de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, o período de resfriamento da polpa de acerola, foi de 360 segundos; o período de cristalização foi de 1.140 segundos e o período de pós-congelamento durou 3.240 segundos. Para a temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, o período de resfriamento durou 60 segundos, o de cristalização 30 segundos e o período de pós-congelamento 140 segundos, b) a difusividade térmica efetiva da polpa de acerola a $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi de $1,23\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, a $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi de $10,77\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ e a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ de $39,32\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003) estudaram a cinética de congelamento dos frutos de cajá às temperaturas de -30 , -60 e $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. As curvas de congelamento foram obtidas por meio de um aparelho Kryostat N-180 a uma velocidade do ar de congelamento de $35\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Nesta pesquisa concluiu-se o cajá levou 75 minutos, na fase de cristalização, para se congelar à temperatura de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 44 minutos à temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 40 minutos à temperatura de $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. No que diz respeito à cinética de congelamento do cajá pode-se verificar que a difusividade térmica na primeira fase do congelamento (resfriamento)

variou de $2,8 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $3,452 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, e que na terceira fase do congelamento de $3,1082 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $3,2539 \cdot 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (pós-congelamento).

CAVALCANTI MATA et al. (2005) obtiveram a graviola em pó pelo processo de liofilização. A polpa de graviola foi congelada a uma temperatura de -50°C , tendo-se estabelecido nesta temperatura, sua cinética de congelamento. A polpa de graviola por ter 89% de água tem suas características fortemente influenciadas por este constituinte químico, constatando-se, uma correspondência da curva de congelamento da polpa de graviola com a curva de congelamento da água com relação às três fases existentes; resfriamento, congelamento e pós-congelamento. No congelamento da polpa de graviola a -50°C , a difusividade térmica efetiva na fase de resfriamento foi de $1,0862 \times 10^{-4} \text{mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ e na fase de pós-congelamento de $1,8568 \times 10^{-4} \text{mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$.

AMARAL et al. (2010) determinaram curvas de congelamento em camada fina para grão de bico variedade IAC Marrocos Deshi. Visou-se, também, à determinação da difusividade efetiva da água no interior do produto, bem como a energia de ativação. Para tal, foram utilizadas amostras com teor inicial de água de 10 e 20% (b.u), nas temperaturas de -23 , -45 , -170 , -196°C . A curva do congelamento dos grãos a temperatura de -196°C , foi obtida utilizando-se a imersão direta dos grãos ao nitrogênio líquido, a temperatura -170°C , esta determinação foi feita com o vapor de nitrogênio, a temperatura de -45°C foi utilizado um balcão criogênico e a temperatura de -23°C em um freezer doméstico. O modelo matemático utilizado para o ajuste dos dados foi o de Fourier, considerando o grão com formato semelhante a uma esfera e a expressão para a difusividade efetiva da água em função da temperatura foi determinada por meio do ajuste da equação de Arrhenius aos dados obtidos. A análise dos resultados possibilita concluir que a Equação de Fourier descreve, de forma satisfatória, o processo de cinética de congelamento para todas as temperaturas examinadas. Quanto maior o gradiente térmico a que os grãos são expostas, maior a velocidade de congelamento e a difusividade térmica, o modelo esférico estabelecido para cada grão resulta em uma difusividade efetiva que variou de 0,11 até $95,66 \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, e em uma energia de ativação de 18,79 e $16,36 \text{kJ mol}^{-1}$, para os dois teores de água estudados.

BARDIN, DÁVILA & SILVEIRA JÚNIOR (2010) avaliaram a estabilidade de soluções modelo pela determinação da temperatura de início de congelamento depois de repetidos processos de congelamento. As soluções utilizadas eram compostas por água, sacarose e Carboxi-Metil-Celulose (CMC). Foram avaliadas as concentrações de sacarose de 15

e 31,1% (m/m total da amostra) e do espessante de 0,5, 1 e 1,5% (m/m total da amostra). Buscou-se determinar a possibilidade de reutilização de soluções modelo em ensaios de congelamento. Com os resultados obtidos pode-se concluir que para a concentração de espessante de 0,5% não houve alteração da capacidade de retenção de água. A variação da concentração de sacarose não influenciou a estabilidade das soluções durante o estudo.

CAVALCANTI MATA, DUARTE & NASCIMENTO (2011) estudaram a cinética de congelamento nas temperaturas de -20, -30°C do leite de cabra modificado com diferentes concentrações da polpa de cajá (0, 10, 20 e 30%). A cinética foi determinada por meio da equação de transferência de calor em regime transiente, considerando a amostra como uma placa plana, de espessura 2L. Para representar o fenômeno físico foi utilizado o modelo de Fourier levando-se em consideração apenas o primeiro termo da série. A curva de congelamento foi dividida em 3 fases. A fase de resfriamento, cristalização (congelamentos) e pós-congelamento. Conclui-se nesta pesquisa que o modelo de Fourier pode ser utilizado para representar o fenômeno de congelamento em suas 3 fases, contudo um modelo melhor pode ser desenvolvido uma vez que o modelo de Fourier não prevê o comportamento das 3 fases.

FERNANDES et al. (2010) obtiveram a relação entre o comportamento reológico e a dinâmica do congelamento e descongelamento de polpa de morango adicionada de sacarose e pectina. Polpas de morango (*Fragaria ananassa*) adicionadas de sacarose (0; 2,91; 10,0; 17,09; 20% peso/peso) e pectina (0; 0,15; 0,50; 0,85 e 1,0% peso/peso) foram caracterizadas quanto às propriedades físico-químicas e reológicas. O congelamento foi realizado em banho ultratermostático a -20 °C em cilindro de aço inoxidável com isolamento térmico no fundo, assegurando congelamento unidimensional. O descongelamento foi avaliado a 19 °C pela relação tempo x aumento de área sendo estas obtidas por edição de fotografias e quantificadas em *software* analisador de imagens. As polpas apresentaram comportamento de fluido pseudoplástico e foi verificado um efeito sinérgico da sacarose e pectina em meio ácido observado pela variação da viscosidade. Os descongelamentos foram mais rápidos nas amostras mais concentradas de sacarose e pectina. Análises microestruturais mostraram que a adição de sacarose e pectina aumenta a velocidade da frente de congelamento nas amostras mais concentradas.

SOARES et al. (2012) avaliaram o tempo de congelamento da mangaba (*hancornia speciosa* gomes) em ultrafreezer através dos modelos matemáticos de Planck e Pham determinar a cinética de congelamento da polpa de mangaba em ultrafreezer através de modelos matemáticos propostos por Planck e Pham, e comparar os resultados destes com os

dados obtidos experimentalmente, além de propor o modelo mais adequado para a cinética de congelamento. as propriedades termofísicas da polpa foram determinadas pelo modelo de Choi e Ckos. Verificou-se que a temperatura inicial de congelamento da polpa foi de aproximadamente -1°C com um tempo de congelamento em torno de 11 minutos. Notou-se que o modelo de Planck e Pham é o mais apropriado para prever o tempo de congelamento da polpa de mangaba, pois apresentou um erro relativo de 1,45% em relação aos dados experimentais devido à inclusão dos termos entálpicos. já o modelo proposto por Planck e Pham não se mostrou adequado com um erro relativo de 52,64%.

2.3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, Paraíba, no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia (CT) do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, e no Laboratório de análise físico-química de alimentos, do setor de Agroindústria pertencente ao Campus Belo Jardim do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Belo Jardim, PE.

2.3.1 – Matéria-prima

Utilizou-se a polpa das cactáceas como matéria-prima obtida a partir do fruto de facheiro e do fruto de mandacaru adquiridos na região semiárida do Estado da Paraíba e Pernambuco, após o processo de obtenção da polpa e cascas de cactáceas, como descrito no Capítulo 1, e foram congeladas a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (freezer) a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, (balcão criogênico) e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (balcão criogênico).

2.3.2 – Cinética de congelamento

Na cinética de congelamento foram utilizadas as polpas de cactáceas armazenadas a temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ no congelamento convencional em freezer doméstico, a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ no congelamento em balcão criogênico e a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ por imersão no nitrogênio líquido em embalagens de polietileno de baixa densidade, no formato de lâmina com 10 mm de espessura e 100g de peso, como demonstra a Figura 2.9. O monitoramento da temperatura de estudo foi feito com dois termopares, tipo K, um no centro do produto e o outro na câmara de congelamento. As leituras dos termopares foram realizadas em intervalos de 1 minuto até que se obtivesse o ponto de equilíbrio, para o congelamento feito em freezer convencional tanto na temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ como para o congelamento na temperatura de -60 e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ em balcão criogênicos, sendo no congelamento a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi utilizados em intervalos de 5 segundos.

Foram colocados 100g da amostra da polpa do fruto das cactáceas (facheiro ou mandacaru) em cada embalagem, selando-se em seguida. As curvas da cinética de congelamento das polpas de cactáceas foram obtidas introduzindo-se um termopar no centro da embalagem com polpa. O termopar foi fixado na cesta que serve de suporte para a amostra com o objetivo de evitar que o mesmo fique em contato com as paredes da embalagem, mantendo-se na posição central, o orifício na embalagem aberto para introdução do termopar foi vedado com cola de silicone. Em todos os métodos de congelamento a embalagem com o produto foi mantida na posição horizontal, considerando a posição de uma placa plana, Figura 2.9.

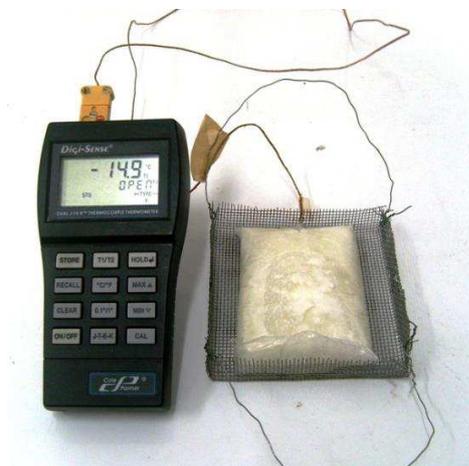


Figura 2.6 – Esquema com os termopares utilizados para a determinação da cinética de congelamento

Após o acondicionamento da polpa do facheiro e mandacaru em sacos de polietileno de baixa densidade contendo 100g, colocou-se essas em uma cesta de arame com dimensões: 12,5 cm de comprimento, 12,0 cm de largura e 1,5 cm de altura, que foram para o congelamento de acordo com a temperatura desejada: -25 °C em freezer doméstico horizontal da Marca FRICON – FHD 427 L; -60 °C e -150 °C em balcão criogênico horizontal; -196 °C foram submetidas ao congelamento por imersão em nitrogênio líquido, emergindo a cesta de arame com a amostra no nitrogênio líquido contido no interior de uma caixa metálica de base cilíndrica de 26,0 cm de diâmetro e altura de 20,0 cm, revestida com poliestireno expandido de 4,0 cm de espessura e mais uma camada de chapa de alumínio de 3,0 mm de espessura. A temperatura da polpa das cactáceas foi monitorada pelo termopar colocado no centro da embalagem. As leituras foram realizadas a cada 1 minuto, para as temperaturas de -25, -60 e

-150 °C e a cada 5 segundos para a temperatura de -196 °C até a estabilização da temperatura.

Os gráficos da cinética de congelamento foram realizados utilizando-se a razão de temperatura com o tempo de acordo com a Equação 2.10.

Os cálculos de transferência de calor em regime transiente, considerando-se a amostra como placa plana, de espessura $2L$, no instante $F_0 = (\alpha/L^2).t$ (tempo adimensional, denominado número de Fourier), foram realizados utilizando-se as Equações 2.11, 2.12 e 2.13, segundo CRANK (1975).

2.3.3 – Análise estatística

Para os dados obtidos da cinética de congelamento foram calculados os coeficientes da Equação 2.10 utilizando-se o método Quase-Newton, do programa computacional Statistica, versão 7.0 (STATIST, 2005), por meio de regressão não-linear da razão de temperatura em função do tempo. As curvas obtidas durante o congelamento foram divididas em três partes correspondentes às três fases do congelamento (resfriamento, cristalização, congelamento e pós-congelamento).

2.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 – Cinética de congelamento

Os valores experimentais e calculados da Razão de Temperatura (RT) e do tempo de congelamento das amostras da polpa do fruto de facheiro e do mandacaru, nas temperaturas de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Freezer convencional), $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Balcão frigorífico), $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Balcão frigorífico) e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (imersão em nitrogênio) se encontram no Apêndice B-C2.

2.4.1.1 – Cinética de congelamento da polpa do fruto de facheiro e do mandacaru na temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tem-se, na Figura 2.10 as curvas de congelamento da polpa do fruto de facheiro e mandacaru *in natura* na temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Percebe-se que todas as curvas das amostras submetidas ao congelamento lento ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) possuem as três fases do congelamento bem definidas, ou seja, resfriamento (fase I), congelamento ou cristalização (fase II) e pós-congelamento (fase III), se assemelhando-se à curva de congelamento da água pura devido ao fato das amostras apresentarem altos percentuais de água, correspondentes a 95,89% para a polpa do fruto de facheiro e 90,16% para a polpa do fruto do mandacaru.

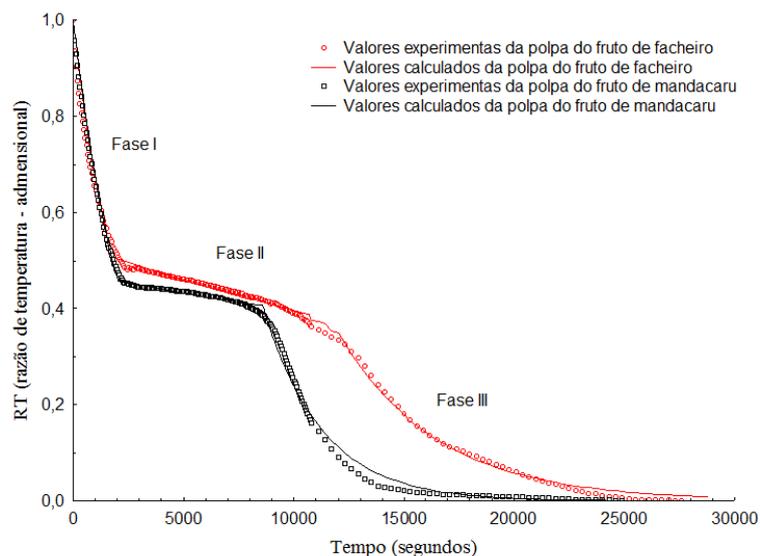


Figura 2.7 – Cinética de congelamento a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura*

ARAÚJO, BRAGA & CAVALCANTI MATA (2000), ao realizar a cinética de congelamento da polpa de acerola a baixas temperaturas (-22,6 °C) encontraram resultado similar ao descrito neste trabalho. Os autores afirmaram que a curva de congelamento da polpa de acerola se assemelha à curva de congelamento da água pura submetida a congelamento. Fenômeno similar foi observado por FERNANDES et al. (2010) na relação entre o comportamento reológico e a dinâmica do congelamento e descongelamento de polpa de morango adicionada de sacarose e pectina.

BARBIN, DÁVILA & SILVEIRA JÚNIOR (2010) na avaliação da estabilidade de soluções modelo em recongelamentos afirma que os alimentos apresentam temperatura menor que a água pura durante a fase de nucleação e congelamento, devido à presença de sólidos solúveis, isto explica o porquê da diferença da curva de congelamento do facheiro em relação ao mandacaru, uma vez que o mandacaru possui maior teor deste parâmetro. Verificam-se, nas curvas de congelamento da Figura 2.10, na fase de resfriamento (Fase I), a qual é responsável pela diminuição da temperatura da amostra até o ponto de congelamento, que a amostra da polpa de mandacaru resfriou mais rapidamente em relação à amostras da polpa de facheiro, com o tempo aproximadamente igual a 2280 segundos, decaindo a temperatura adimensional de 1,0 (24,93 °C) a aproximadamente 0,46 (-2,23 °C) enquanto a amostra da polpa do facheiro baixou a temperatura de 1,0 (24,30 °C) para 0,49 (-1,00 °C), no período de 2340 segundos. Pode-se, desta forma, observar que os valores do ponto de congelamento das amostras se encontram próximos dos valores relatados pela literatura, pois os valores dos pontos de congelamento, foram -1,00 e -2,23 °C para a polpa do fruto de facheiro e para polpa do fruto do mandacaru, respectivamente.

Na fase de cristalização ou congelamento (Fase II), período no qual a temperatura sofre pequena variação e a maior parte da água muda de fase, a amostra da polpa de mandacaru também apresentou o menor tempo com 6000 segundos para atingir o completo congelamento; já a amostra da polpa do fruto de facheiro apresentou o tempo de 9060 segundos.

Tem no período de pós-congelamento (Fase III), observa-se que a amostra da polpa do fruto de mandacaru apresentou o menor tempo de congelamento igual a 13620 segundos, com a temperatura adimensional decaindo de 0,40 (-5,33 °C) até 0,0 (-24,90 °C) enquanto a amostra da polpa do fruto de facheiro, o tempo de congelamento foi de 13800 segundos, com a temperatura adimensional baixando de 0,35 (-7,87 °C) até 0,0 (-24,87 °C). ARAÚJO, BRAGA & CAVALCANTI MATA (2000), estudando a cinética de congelamento da polpa

de acerola a $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, observaram que na fase de resfriamento (fase I), o tempo foi de 1800 segundos, onde a temperatura baixou rapidamente de $24,4$ até $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; já na Fase II, a mudança de fase ocorre lentamente, compreendendo um período de 6000 segundos, em que a temperatura foi baixando de $-0,5$ até $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$; enquanto na fase de pós-congelamento (fase III), a duração foi de 6000 segundos com a temperatura baixando de $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $-22,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Comparando as curvas de congelamento das amostras com relação ao tempo necessário para as amostras atingirem a temperatura adimensional de 0,0, observa-se que a amostra da polpa do fruto de mandacaru foi a que alcançou o congelamento final em menor tempo (21900 segundos) enquanto as amostras da polpa do fruto de facheiro, necessitou de um tempo igual a 25200 segundos. Verifica-se, desta forma, o menor tempo de congelamento da polpa do fruto de mandacaru por possuir uma quantidade de sólidos superior à da polpa do facheiro, conseqüentemente, o tempo de congelamento da amostra diminui. LIMA et al. (2003) estudando a difusividade efetiva da polpa de umbu, constataram que o aumento na concentração da polpa de umbu proporciona aumento da difusividade efetiva da polpa, igual fato foi encontrado por CAVALCANTI MATA, DUARTE & NASCIMENTO (2011) na cinética de congelamento de leite de cabra modificado com polpa de cajá.

Verifica-se, na Tabela 2.3, os valores das espessuras (L); dos fatores de atraso (a_1), dos coeficientes de difusão (a_2), das difusividades efetivas (α), das difusividades efetivas médias (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2), das amostras da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru congeladas a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nota-se que os valores de difusividade efetiva média das polpas do fruto de facheiro e de mandacaru, congeladas a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, são iguais a $1,804 \times 10^{-7}$ e $2,220 \times 10^{-7}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente, com tendência de aumento da difusividade efetiva média (α_m) com o aumento do teor de sólidos totais nas amostras. MARQUEZ & FREIRE (2008) determinaram a difusividade do abacaxi encontrando valores entre $1,44 \times 10^{-7}$ a $1,66 \times 10^{-7}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$ e da goiaba entre $1,12 \times 10^{-7}$ a $1,99 \times 10^{-7}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$, valores próximos ao encontrado neste trabalho. A difusividade térmica do suco de laranja com 36 e 45 °Brix na temperatura de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, foram de $1,19 \times 10^{-5}$ e de $7,32 \times 10^{-6}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$ respectivamente, obtidas por TRES et al.(2011), aumentando com o teor de sólidos solúveis.

Tabela 2.3 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2) da amostra da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura* na temperatura de $-25\text{ }^\circ\text{C}$

Polpa do Fruto	Fase	L/2 (m)	a_1	a_2	α ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)	α_m ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)	R^2
Facheiro	I	$0,83 \times 10^{-2}$	1,00	$4,11 \times 10^{-4}$	$2,862 \times 10^{-6}$		95,65
	II	$0,83 \times 10^{-2}$	0,54	$3,10 \times 10^{-5}$	$3,279 \times 10^{-10}$	$1,804 \times 10^{-7}$	97,74
	III	$0,83 \times 10^{-2}$	5,11	$2,24 \times 10^{-4}$	$2,357 \times 10^{-9}$		99,58
Mandacaru	I	$0,89 \times 10^{-2}$	1,00	$3,92 \times 10^{-4}$	$3,150 \times 10^{-6}$		99,03
	II	$0,89 \times 10^{-2}$	0,48	$1,90 \times 10^{-5}$	$2,280 \times 10^{-10}$	$2,220 \times 10^{-7}$	96,91
	III	$0,89 \times 10^{-2}$	10,33	$3,77 \times 10^{-4}$	$6,880 \times 10^{-9}$		99,46

Fases: I – resfriamento, II- congelamento, III - pós-congelamento; L - espessura; a_1 – fator de atraso; a_2 - Coeficiente de difusão; α - Difusividade efetiva; α_m - Difusividade efetiva média; R^2 – coeficiente de determinação

Como se pode observar na Tabela 2.3, a soma dos coeficiente de difusão (a_2) nas fases do processo de congelamento (resfriamento, congelamento e pós congelamento), é maior na polpa do fruto de mandacaru ($7,88 \times 10^{-4}$) do que na polpa do fruto de facheiro ($6,66 \times 10^{-4}$), fazendo com que a difusividade efetiva média da polpa do fruto mandacaru fosse maior, devido a polpa do mandacaru apresentar maior teor de sólidos totais. O fator de atraso (a_1), este encontra-se um valor acima do ciclo logarítmico nas fases I e II, onde se verifica, que a difusividade efetiva média é determinada por estas fases, já na fase II (congelamento) o valor é menor do ciclo logarítmico e pouco acrescenta a difusividade média efetiva.

2.4.1.2 – Cinética de congelamento da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru na temperatura de $-60\text{ }^\circ\text{C}$

Observa-se na Figura 2.11, as curvas de congelamento da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru *in natura* na temperatura de $-60\text{ }^\circ\text{C}$. Nota-se que todas as curvas de congelamento a $-60\text{ }^\circ\text{C}$ se assemelham à curva de congelamento da água pura submetida a congelamento lento. Fato similar foi observado por CAVALCANTI MATA et al. (2005), na curva de congelamento a $-50\text{ }^\circ\text{C}$ da polpa de graviola, que possui as três fases de congelamento bem definidas, em razão da polpa de graviola apresentar 89% de água, a qual é responsável pela semelhança da curva de congelamento da polpa com a curva de congelamento da água; CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003) nas curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas; por SOARES et al. (2012) na avaliação do tempo de congelamento da mangaba (*Hancornia Speciosa* Gomes) em ultrafreezer através dos modelos matemáticos de Planck e Pham.

Percebe-se que todas as curvas das amostras submetidas ao congelamento rápido (-60 °C) possuem as três fases do congelamento bem definidas, ou seja, resfriamento (fase I), congelamento ou cristalização (fase II) e pós-congelamento (fase III), assemelhando-se à curva de congelamento da água pura devido ao fato das amostras apresentarem altos percentuais de água, correspondentes a 95,89% para a polpa do fruto de facheiro e 90,16% para a polpa do fruto do mandacaru.

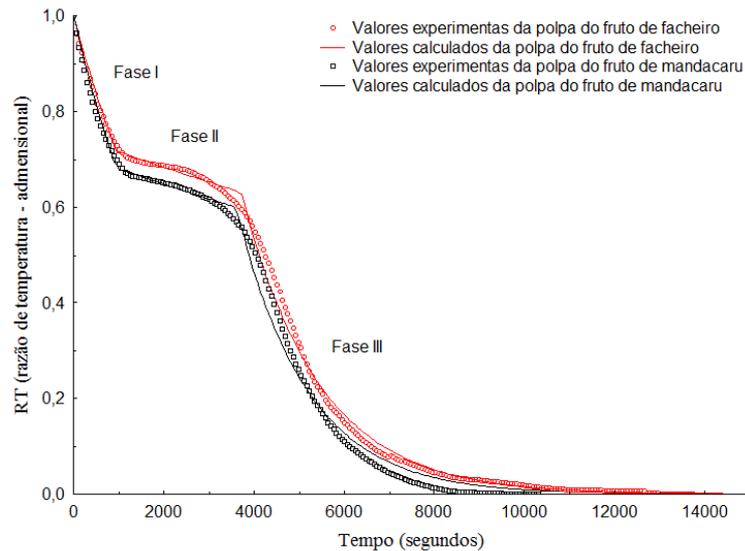


Figura 2.8 – Cinética de congelamento a -60 °C da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura*

Verifica-se, nas curvas de congelamento da Figura 2.11, na fase de resfriamento (Fase I), a qual é responsável pela diminuição da temperatura da amostra até o ponto de congelamento, que a amostra da polpa do fruto de mandacaru resfriou mais rapidamente em relação à amostra da polpa do fruto de facheiro, com o tempo aproximadamente igual a 1080 segundos, decaindo a temperatura adimensional de 1,0 ($25,37\text{ °C}$) a aproximadamente 0,68 ($-2,10\text{ °C}$) enquanto a amostra da polpa do facheiro baixou a temperatura de 1,0 ($24,73\text{ °C}$) para 0,70 ($-0,37\text{ °C}$), no período de 1200 segundos. Pode-se, desta forma, observar que os valores do ponto de congelamento das amostras se encontram próximos dos valores relatados pela literatura, pois os valores dos pontos de congelamento, foram $-0,37$ e $-2,10\text{ °C}$ para a polpa do fruto de facheiro e para polpa do fruto do mandacaru, respectivamente.

Na Fase II, que corresponde ao congelamento da polpa, observa-se que a polpa do fruto de mandacaru a temperatura de -60 °C , apresentou o menor tempo com 2280 segundos para atingir o completo congelamento; já a amostra da polpa do fruto de facheiro apresentou o

tempo de 2340 segundos. Nesta fase de congelamento tanto na polpa do fruto de mandacaru e da polpa do fruto de facheiro, observa-se nas Figuras 2.10 e 2.11 que existe uma inclinação da curva, maior nas curvas de congelamento da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru in natura na temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, as que se encontram na Figura 2.10, o que teoricamente não deveria existir, se o congelamento fosse lento, pois nessas condições, toda a energia seria utilizada para congelar o produto, ou seja, a energia seria utilizada para formar os cristais de gelo no interior da polpa. Como na temperatura estudada no processo de congelamento se dá mais rapidamente, a inclinação da curva nessa fase nos fornece um indicativo que existem dois processos ocorrendo simultaneamente o congelamento e a abaixamento da temperatura da fração congelada; fenômeno também observado por NASCIMENTO (2009), FRANÇA (2009), FERREIRA (2011) CAVALCANTI MATA et al. (2005) e CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003).

Na fase de pós-congelamento (fase III), o menor tempo também foi verificado para a amostra da polpa do fruto de mandacaru, com tempo igual a 5280 segundos; a temperatura adimensional decaindo de 0,59 ($-9,67\text{ }^{\circ}\text{C}$) a 0,0 ($-60,43\text{ }^{\circ}\text{C}$); seguida, da amostra da polpa do fruto de facheiro com o tempo de 9180 segundos, com a temperatura baixando de 0,61 ($-7,90\text{ }^{\circ}\text{C}$) a 0,0 ($-59,80\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Comparando as curvas de congelamento das amostras com relação ao tempo necessário para as mesmas atingirem a temperatura adimensional de 0,0, observa-se que a amostra da polpa do fruto de mandacaru foi o que alcançou o congelamento no tempo (8640 segundos) menor do que a amostra da polpa do fruto de facheiro cujo o tempo foi igual a 12720 segundos. CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003) estudando a curva de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ obteve o tempo para esta temperatura igual a 7200 segundos. ARAÚJO, BRAGA & CAVALCANTI MATA (2000), estudando a cinética de congelamento da polpa de acerola a $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, cujo o tempo foi de 14400 segundos, os autores obtiveram tempo próximo ao obtido neste trabalho.

Tem-se, na Tabela 2.4, os valores das espessuras (L); dos fatores de atraso (a_1); dos coeficientes de difusão (a_2); das difusividades efetivas (α); das difusividades efetivas médias (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2), das amostras da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru, congeladas a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Observa-se, na Tabela 2.4, que os valores de difusividade efetiva média obtida da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru, congeladas a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, foram iguais a $3,404 \times 10^{-7}$ e $4,719 \times 10^{-7}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente, com tendência de aumento da

difusividade efetiva média (α_m) com o aumento do teor de sólidos totais nas amostras, tal como observado anteriormente para a temperatura de congelamento a $-25\text{ }^\circ\text{C}$, cujo comportamento explica o porquê da amostra da polpa do fruto de facheiro com o teor de 4,11 de sólidos totais apresentar o maior de tempo de congelamento em relação a polpa do fruto de mandacaru. CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003) obtiveram a difusividade térmica efetiva média do fruto de cajá congelado a temperatura $-60\text{ }^\circ\text{C}$ igual $3,2236 \times 10^{-7}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e no estudo do processo de liofilização da graviola CAVALCANTI MATA et al. (2005), encontraram o valor a difusividade térmica efetiva média da polpa do fruto congelado a temperatura de $-50\text{ }^\circ\text{C}$ igual $1,6493 \times 10^{-7}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ próximo ao encontrado neste trabalho.

Tabela 2.4 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2) das amostras da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura* na temperatura de $-60\text{ }^\circ\text{C}$

Polpa do Fruto	Fase	L/2 (m)	a_1	a_2	α (m^2/s)	α_m (m^2/s)	R^2
Facheiro	I	$1,15 \times 10^{-2}$	1,00	$3,51 \times 10^{-4}$	$4,670 \times 10^{-6}$		98,97
	II	$1,15 \times 10^{-2}$	0,75	$4,60 \times 10^{-5}$	$1,108 \times 10^{-9}$	$3,404 \times 10^{-7}$	95,07
	III	$1,15 \times 10^{-2}$	5,57	$5,87 \times 10^{-4}$	$1,238 \times 10^{-8}$		99,57
Mandacaru	I	$1,07 \times 10^{-2}$	1,00	$4,04 \times 10^{-4}$	$4,632 \times 10^{-6}$		97,89
	II	$1,07 \times 10^{-2}$	0,71	$4,80 \times 10^{-5}$	$9,571 \times 10^{-10}$	$4,719 \times 10^{-7}$	97,85
	III	$1,07 \times 10^{-2}$	6,21	$6,49 \times 10^{-4}$	$1,220 \times 10^{-8}$		98,99

Fase: I – resfriamento, II- congelamento, III - pós-congelamento; L - espessura; a_1 – fator de atraso; a_2 - Coeficiente de difusão; α - Difusividade efetiva; α_m - Difusividade efetiva média; R^2 – coeficiente de determinação

A difusividade térmica aumenta com a variação do gradiente de temperatura em que encontra-se a amostra de acordo RESENDE, SILVEIRA & JÚNIOR (2002) ao efetuarem medidas da condutividade térmica efetiva de modelos de polpas de frutas no estado congelado, os valores foram de $2,5 \times 10^{-7}$ a $7,55 \times 10^{-7}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ quando a temperatura da amostra variaram de $-5,6$ a $-15,6\text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Fato similar ocorrido neste experimento para ambas as amostra, no caso do polpa do fruto de facheiro os valores foram de $1,804 \times 10^{-7}$ a $3,404 \times 10^{-7}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e na polpa do fruto de mandacaru os valores foram de $2,220 \times 10^{-7}$ a $4,719 \times 10^{-7}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ nas temperaturas de -25 e $-60\text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente com a aumento nas difusividades térmicas em função da diminuição da temperatura.

O valor do somatório dos coeficiente de difusão (a_2) nas fases do processo de congelamento (resfriamento, congelamento e pós congelamento), é maior na polpa do fruto de mandacaru ($11,01 \times 10^{-4}$) do que na polpa do fruto de facheiro ($9,84 \times 10^{-4}$), fazendo com que a

difusividade efetiva média da polpa do fruto mandacaru fosse maior, devido a polpa do mandacaru apresentar maior teor de sólidos totais. O fator de atraso (a_1), este encontra-se um valor acima do ciclo logarítmico nas fases I e II, onde se verifica, que a difusividade efetiva média é determinada por estas fases, já na fase II (congelamento) o valor é menor do ciclo logarítmico e pouco acrescenta a difusividade média efetiva, fato similar a temperatura de -25 °C para as polpas do fruto de facheiro e do fruto de mandacaru conforme a Tabela 1.7.

2.4.1.3 – Cinética de congelamento da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru na temperatura de -150 °C

Na Figura 2.12 tem-se a curva de congelamento da amostra da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru na temperatura de -150 °C. Constata-se que as curvas de congelamento das amostras da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru in natura, apresentam as fases de resfriamento e congelamento (Fases I e II) diferentes por uma leve inclinação na curva. A justificativa para este comportamento é que o congelamento a -150 °C ocorre muito rápido, a distinção de uma fase da outra é visível na pequena inclinação na curva de congelamento já fase de pós-congelamento (Fase III) está bem definida. Comportamento constatado por FERREIRA (2011) nas curvas de congelamento das formulações da umbuzada com 30, 40 e 50% de polpa de umbu submetida à temperatura de -170 °C com vapor de nitrogênio líquido, o autor afirmou que todas as curvas das amostras possuem as três fases do congelamento, fato observado também por FERREIRA (2000), ao estudar o congelamento da polpa de umbu na temperatura de -110 °C; por CAVALCANTI MATA, BRAGA & SILVA (2003) nas curvas de congelamento do fruto de cajá a temperaturas -90 °C.

Na fase correspondente ao resfriamento (Fases I), a curva de congelamento da polpa do fruto de mandacaru, apresentou o menor tempo, com 480 segundos, baixando a temperatura adimensional de 1,0 ($25,77$ °C) para aproximadamente 0,83 ($-4,87$ °C); seguida da curva de congelamento da amostra da polpa do fruto de facheiro, com 540 segundos e temperatura adimensional decaindo de 1,0 ($25,30$ °C) para acima de 0,84 ($-2,17$ °C).

Na Fase II, que corresponde ao congelamento da polpa, observa-se que os tempos foram iguais, tanto para a polpa do fruto de mandacaru a temperatura de -150 °C, que apresentou o tempo com 960 segundos para atingir o completo congelamento, como a amostra da polpa do fruto de facheiro que apresentou o tempo de 960 segundos. Nesta fase de congelamento tanto na polpa do fruto de mandacaru e como da polpa do fruto de facheiro,

observa-se nas Figuras 2.10, 2.11 e 2.12 que a inclinação da curva, foi maior nas curvas de congelamento da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru temperatura de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, as que se encontram na Figura 2.12, como na temperatura estudada no processo de congelamento se dá mais rapidamente, a inclinação da curva nessa fase nos fornece um indicativo que existem dois processos ocorrendo simultaneamente o congelamento e a abaixamento da temperatura da fração congelada, e foi mais rápido do que nas temperatura de -25 e $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

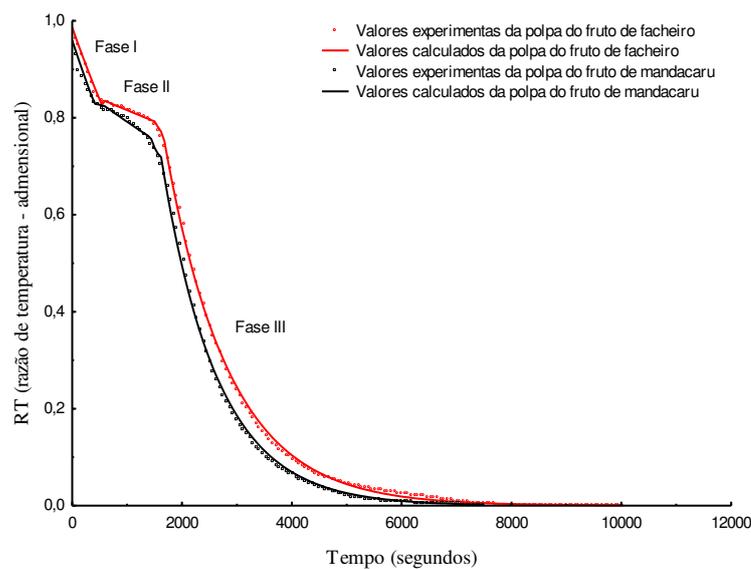


Figura 2.9 – Cinética de congelamento a $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura*

Na fase de pós-congelamento (Fase III), a curva de congelamento da amostra da polpa do fruto de mandacaru com o tempo de 4980 segundos, decaindo a temperatura adimensional, até alcançar 0,0 ($-149,07\text{ }^{\circ}\text{C}$) com o tempo menor do que a amostra da polpa do fruto do facheiro, cujo valor de tempo foi igual a 5880 segundos, com a temperatura adimensional decaindo até 0,0 ($-149,13\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Observa-se, ao se comparar as duas curvas de congelamento da amostra da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru *in natura* na temperatura de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, que o menor tempo de congelamento foi apresentado pela amostra da polpa do fruto do mandacaru, com 6420 segundos, seguida das amostras da polpa do fruto de facheiro com 7380 segundos.

Na Tabela 2.5, encontra-se os valores das espessuras (L); dos fatores de atraso (a_1); dos coeficientes de difusão (a_2); das difusividades efetivas (α); das difusividades efetivas

médias (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2), das amostras da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru, congeladas a $-150\text{ }^\circ\text{C}$.

Observa-se, na Tabela 2.5, que os valores de difusividade efetiva média obtida da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru, congeladas a $-150\text{ }^\circ\text{C}$, foram iguais a $4,401 \times 10^{-7}$ e $5,412 \times 10^{-7}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente, com tendência de aumento da difusividade efetiva média (α_m) com o aumento do teor de sólidos totais nas amostras, tal como observado anteriormente para a temperatura de congelamento a -25 e $-60\text{ }^\circ\text{C}$. esse fato também observado por NASCIMENTO (2009), estudando o congelamento das formulações com leite de cabra em diferentes concentrações de polpa de cajá (10, 20 e 30%), utilizando a temperatura de $-170\text{ }^\circ\text{C}$, pois os valores da difusividade aumentaram com o acréscimo do teor de sólidos totais, tal como constatado por TRES et al.(2011), em que a difusividade térmica do suco de laranja com 36 e 45 °Brix na temperatura de $35\text{ }^\circ\text{C}$, foram de $1,33 \times 10^{-5}$ e $7,74 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$ respectivamente.

Tabela 2.5 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2) das amostras da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura* na temperatura de $-150\text{ }^\circ\text{C}$

Polpa do Fruto	Fase	L/2 (m)	a_1	a_2	α (m^2/s)	α_m (m^2/s)	R^2
Facheiro	I	$1,13 \times 10^{-2}$	1,00	$3,26 \times 10^{-4}$	$4,220 \times 10^{-6}$		99,61
	II	$1,13 \times 10^{-2}$	0,86	$5,80 \times 10^{-5}$	$1,450 \times 10^{-9}$	$4,001 \times 10^{-7}$	98,08
	III	$1,13 \times 10^{-2}$	3,15	$8,52 \times 10^{-4}$	$1,460 \times 10^{-8}$		99,89
Mandacaru	I	$1,18 \times 10^{-2}$	1,00	$4,04 \times 10^{-4}$	$5,034 \times 10^{-6}$		93,56
	II	$1,18 \times 10^{-2}$	0,87	$9,80 \times 10^{-5}$	$2,688 \times 10^{-9}$	$5,412 \times 10^{-7}$	96,66
	III	$1,18 \times 10^{-2}$	3,52	$9,81 \times 10^{-4}$	$1,857 \times 10^{-8}$		99,80

fase I – resfriamento, II- congelamento, III - pós-congelamento; L - espessura; a_1 – fator de atraso; a_2 - Coeficiente de difusão; α - Difusividade efetiva; α_m - Difusividade efetiva média; R^2 – coeficiente de determinação

Constata-se nas Tabelas 2.4 e 2.5 que o valor de difusividade efetiva média das amostras nas temperaturas de -60 e $-150\text{ }^\circ\text{C}$ no caso do polpa do fruto de facheiro foram de $3,404 \times 10^{-7}$ e $4,001 \times 10^{-7}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$ e na polpa do fruto de mandacaru os valores foram de $4,719 \times 10^{-7}$ e $5,412 \times 10^{-7}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente, com aumento na difusividade térmica em função do aumento da temperatura, como ocorreu entre as temperaturas de -25 e $-60\text{ }^\circ\text{C}$, mantendo a mesma tendência, como constatado por RESENDE & SILVEIRA JÚNIOR (2002) ao efetuarem medidas da difusividade térmica efetiva de modelos de polpas de frutas

no estado congelado, os valores foram de $1,33 \times 10^{-7}$ a $7,55 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ quando a temperatura da amostra variou de $-10,4$ a $-20,4$ °C, respectivamente.

Nota-se na Tabela 2.5, que o somatório dos coeficiente de difusão (a_2) nas fases do processo de congelamento (resfriamento, congelamento e pós congelamento), é mais alto na polpa do fruto de mandacaru ($14,83 \times 10^{-4}$) do que na polpa do fruto de facheiro ($12,36 \times 10^{-4}$), fazendo com que a difusividade efetiva média da polpa do fruto de mandacaru seja maior, devido a polpa do mandacaru apresentar maior teor de sólidos totais. O fator de atraso (a_1), este encontra-se um valor acima do ciclo logarítmico nas fases I e III, onde se verifica, que a difusividade efetiva média é determinada por estas fases, porém na fase II (congelamento) o valor deste coeficiente é menor e pouco acrescenta a difusividade média efetiva, fato similar a temperatura de -25 e -60 °C para as polpas do fruto de facheiro e do fruto de mandacaru.

2.4.1.4 – Cinética de congelamento da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru na temperatura de -196 °C

Verifica-se, na Figura 2.13, as curvas de congelamento das amostras da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru, na temperatura de -196 °C. Tem-se que as curvas de congelamento das amostras da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru não apresentam as fases de resfriamento e congelamento (Fases I e II) de forma distinta, tal como constatado para as curvas de congelamento a -25 , -60 , -150 °C, o que ocorre nesta temperatura é que a fase II é muito rápido e posteriormente apresentam a fase de pós-congelamento (Fase III). Este comportamento pode ser justificado em função do congelamento a -196 °C ocorrer a uma velocidade mais alta do que a temperatura de -150 °C e alto gradiente térmico ao qual está exposto o produto. A distinção de uma fase da outra é visível na pequena inclinação na curva de congelamento no final da fase I e início do pós-congelamento (Fase III). Ao estudarem o congelamento da polpa de frutas, FERREIRA (2011) nas curvas de congelamento das formulações da umbuzada com 30, 40 e 50% de polpa de umbu submetida à temperatura de -196 °C; NASCIMENTO (2009), no congelamento das formulações com leite de cabra em diferentes concentrações de polpa de cajá (10, 20 e 30%), na temperatura de -196 °C; FRANÇA (2009) na curva de congelamento a -196 °C do leite de cabra in natura; ARAÚJO, BRAGA & CAVALCANTI MATA (2000), no congelamento de polpa de acerola a -196 °C, encontram comportamento similar a este trabalho.

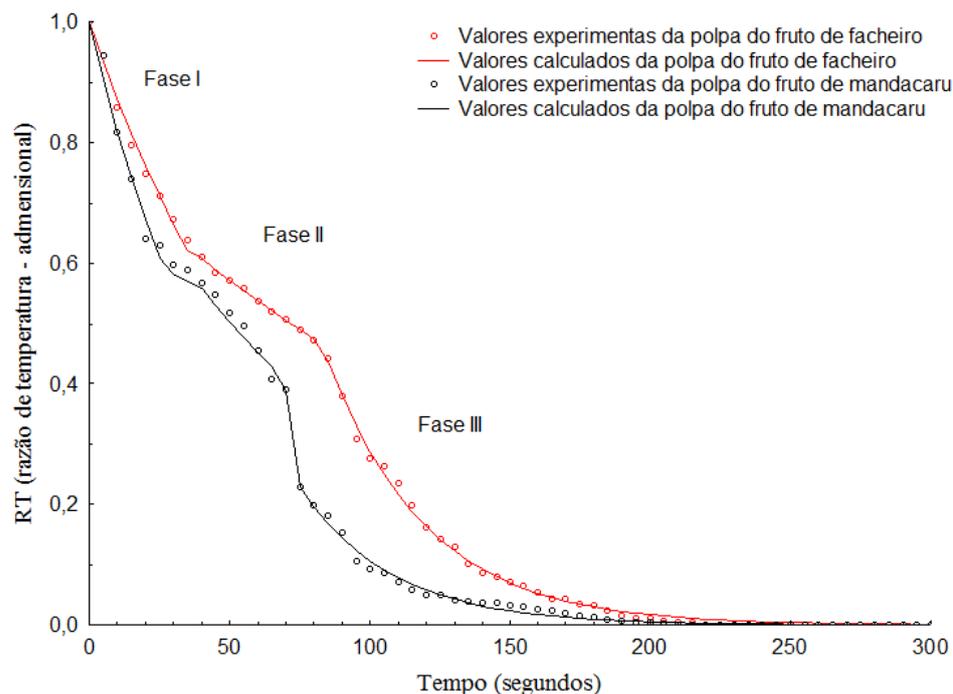


Figura 2.10 – Cinética de congelamento a -196 °C da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura*

Nas fases de resfriamento e congelamento (Fase I) da Figura 2.13, observa-se que a curva de congelamento da amostra da polpa do fruto de mandacaru e da polpa do fruto de facheiro apresentaram o mesmo tempo de resfriamento (25 segundos), com a temperatura adimensional baixando de 1,0 ($26,87\text{ °C}$) para aproximadamente 0,63 ($-55,77\text{ °C}$) e de 1,0 ($24,40\text{ °C}$) para aproximadamente 0,66 ($-51,53\text{ °C}$), respectivamente. Segundo FELLOWS (2006), as frutas e hortaliças submetidas ao método criogênico (nitrogênio líquido) alcançam a temperatura de -18 °C no intervalo de 30 a 360 segundos.

Na fase de pós-congelamento (Fase III), a curva da amostra da polpa do fruto de mandacaru, alcançou a temperatura adimensional de 0,0 ($-195,17\text{ °C}$), com 175 segundos menor do que a curva da polpa do fruto de facheiro, alcançando a temperatura adimensional de 0,0 ($-195,17\text{ °C}$) em 185 segundos. CIABOTTI (2000) ao estudar o comportamento da curva de congelamento -196 °C , do suco de maracujá puro e adoçado, observou que a fase de pós-congelamento foi a mais longa, com duração de 190 segundos para o suco puro e 300 segundos para o suco adoçado em relação às demais fases.

Comparando as curvas de congelamento das amostras com relação ao tempo necessário para as amostras atingirem a temperatura adimensional de 0,0, observa-se que a polpa do fruto de mandacaru foi a que alcançou a temperatura adimensional final em menor

tempo (200 segundos), seguida da amostra da polpa do fruto de facheiro in natura, cujo tempo foi igual a 210 segundos. NASCIMENTO (2009), estudando o congelamento de diferentes formulações com leite de cabra em diferentes concentrações de polpa de cajá (0, 10, 20 e 30%), na temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, observou que a amostra de polpa de cajá alcançaram a temperatura adimensional final, cujos tempos foram, respectivamente, iguais a 340, 305, 295 e 285 segundos. AMARAL et al. (2010) verificou que para a temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ o tempo de congelamento do grão de bico foi de 50 segundos, para teores de água de 10 e 20% (b.u), constatando que o tempo de congelamento do grão não variou em função do teor de sólidos totais nesta temperatura.

Encontra-se, na Tabela 2.6, os valores das espessuras (L); dos fatores de atraso (a_1); dos coeficientes de difusão (a_2); das difusividades efetivas (α); das difusividades efetivas médias (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2), das amostras da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru in natura, congeladas a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabela 2.6 - Valores das espessuras (L); fator de atraso (a_1); coeficiente de difusão (a_2); difusividade efetiva (α); difusividade térmica efetiva média (α_m) e dos coeficientes de determinação (R^2) das amostras da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru *in natura* na temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$

Polpa do Fruto	Fase	L/2 (m)	a_1	a_2	α (m^2/s)	α_m (m^2/s)	R^2
Facheiro	I	$1,21 \times 10^{-2}$	1,00	$1,75 \times 10^{-2}$	$2,588 \times 10^{-4}$		99,74
	II	$1,21 \times 10^{-2}$	0,00	0,00	0,00	$3,021 \times 10^{-5}$	-
	III	$1,21 \times 10^{-2}$	1,24	$1,57 \times 10^{-2}$	$2,998 \times 10^{-6}$		99,89
Mandacaru	I	$1,59 \times 10^{-2}$	1,00	$1,97 \times 10^{-2}$	$5,027 \times 10^{-4}$		98,79
	II	$1,59 \times 10^{-2}$	0,00	0,00	0,00	$5,645 \times 10^{-5}$	-
	III	$1,59 \times 10^{-2}$	1,43	$2,31 \times 10^{-2}$	$6,783 \times 10^{-7}$		97,86

Fase I – resfriamento, II- congelamento, III - pós-congelamento; L - espessura; a_1 – fator de atraso; a_2 - Coeficiente de difusão; α - Difusividade efetiva; α_m - Difusividade efetiva média; R^2 – coeficiente de determinação

Constata-se, na Tabela 2.6, que os valores de difusividade efetiva média obtida da polpa do fruto de facheiro e da polpa do fruto de mandacaru, congeladas a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, foram iguais a $3,021 \times 10^{-5}$ e $5,645 \times 10^{-7}\text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, respectivamente, com tendência de aumento da difusividade efetiva média (α_m) com o aumento do teor de sólidos totais nas amostras, comportamento também observado por NASCIMENTO (2009), estudando o congelamento de diferentes formulações com leite de cabra em diferentes concentrações de polpa de cajá (10, 20 e 30%), a temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, pois os valores da difusividade aumentaram com o acréscimo do teor de sólidos totais, assim como constatado por AMARAL et al. (2010), a

difusividade térmica do grão de bico com teor de água de 10 e 20% (b.u.) a temperatura de -196 °C , foram iguais a $1,256 \times 10^{-5}$ e $9,566 \times 10^{-5}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente.

O valor de difusividade efetiva média das amostras nas temperaturas de -150 e -196 °C no caso do polpa do fruto de facheiro foram de $4,001 \times 10^{-7}$ e $3,021 \times 10^{-5}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e na polpa do fruto de mandacaru os valores foram de $5,412 \times 10^{-7}$ e $5,645 \times 10^{-5}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente, com aumento na difusividades térmica em função da diminuição da temperatura, como ocorreu entre as temperaturas de -25 , -60 e -150 °C , mantendo a mesma tendência, como constatado por FRANÇA (2009), NASCIMENTO (2009), AMARAL et al. (2010) e FERREIRA (2011), ao efetuarem medidas da difusividade térmica em produtos biológicos.

Nota-se na Tabela 2.6, que o somatório dos coeficiente de difusão (a_2) nas fases do processo de congelamento (resfriamento, congelamento e pós congelamento), é maior na polpa do fruto de mandacaru ($4,48 \times 10^{-2}$) do que na polpa do fruto de facheiro ($3,32 \times 10^{-4}$), fazendo com que a difusividade efetiva média da polpa do fruto mandacaru fosse maior, devido a polpa do mandacaru apresentar maior teor de sólidos totais. O fator de atraso (a_1), este encontra-se um valor acima do ciclo logarítmico nas fases I e III, onde se verifica, que a difusividade efetiva média é determinada por estas fases, já na fase II (congelamento) o valor é zero e não acrescenta a difusividade média efetiva, fato similar a temperatura de -25 , -60 e -150 °C para as polpas do fruto de facheiro e mandacaru.

2.5 - CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que:

Referente às cinéticas de congelamento das amostras

- As curvas de congelamento da polpa do fruto de facheiro e mandacaru -25, -60, -150 e -196 °C ocorrem em menor tempo à medida que a temperatura do congelamento diminui.
- O tempo de congelamento foi menor na polpa do fruto de mandacaru do que na polpa do fruto do facheiro, para as temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C.
- As difusividades térmicas efetivas médias das amostras da polpa do fruto de facheiro in natura a -25, -60, -150 e -196 °C, foram iguais a $2,220 \times 10^{-7}$, $4,719 \times 10^{-7}$, $5,412 \times 10^{-7}$ e $3,021 \times 10^{-5} \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente.
- As difusividades térmicas efetivas médias das amostras da polpa do fruto de mandacaru a -25, -60, -150 e -196 °C, foram iguais a $1,804 \times 10^{-7}$, $3,404 \times 10^{-7}$, $4,001 \times 10^{-7}$ e $3,021 \times 10^{-5} \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente.
- A difusividade térmica efetiva da polpa do fruto de mandacaru e da polpa do fruto de facheiro é diretamente proporcional ao aumento do gradiente da temperatura e inversamente proporcional ao teor de água, nas temperaturas de -25, -60, -150, e -196 °C.
- A difusividade térmica foi diretamente proporcional ao coeficiente de difusão, tanto para, a polpa do fruto do mandacaru, quanto para a polpa do fruto do facheiro, nas temperaturas de -25, -60, -150, e -196 °C.
- O fator de atraso, quando se encontrou um valor acima do ciclo logarítmico a difusividade foi significativa, tanto para, a polpa do fruto do mandacaru, quanto para, a polpa do fruto do facheiro, nas temperaturas de -25, -60, -150, e -196 °C.

2.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, D. S.; SARTOR, F. R.; FÉLIX, P. H. D.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; MOURA NETO, L. G. Determinação da difusividade e da energia de ativação para o grão de bico com base na cinética de congelamento. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA-CONNEPI, 5. 2010, Macéio. **Anais...** Macéio: Instituto Federal de Alagoas, 2010. CD-ROM. ISSN 978-85-64320-00-0.

ANDRADE, E. T.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M.; PEIXOTO, A. B. Determination of corn thermal properties. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.3, p.488-498, maio/jun., 2004.

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

ARAÚJO, M. S. O.; BRAGA, M. E. D.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Cinética de congelamento de polpa de acerola a baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, n.1, p.27-34, 2000.

ASSIS, M. M. M.; LANES, S. C. S.; TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Influence of temperature and concentration on thermophysical properties of yellow mombin (*Spondias mombin*, L.). **European Food Research and Technology**, Natal, v.223, n.5, p.585-593, 2006.

AZOUBEL, P.M.; CIPRIANI, D.C.; EL-AOUAR, A.A.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E. Effects of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, Campinas, v.66, p.413-417, 2005.

BARDIN, D. F. **Avaliação do processo de congelamento em túnel “portátil” com convecção forçada por exaustão e insuflação em paletes**. 2007. 158f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

BARBIN, D. F.; DAVILA, L. S. M.; SILVEIRA JUNIOR, V. Avaliação da estabilidade de soluções modelo (cmc-sacarose) em recongelamentos. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.28, n.1, p.125-132, jan./jun. 2010.

BELCHIOR, N. C. **Transferência de calor no congelamento de polpa de maracujá**. 2012. 126f. Dissertação (Mestrado Ciências dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

BORÉM, F, M; RIBEIRO, R. C. M. S; CORREA, P. C; PEREIRA, R. G. F.A. Propriedades térmicas de cinco variedades de café cereja descascado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.475-480, 2002.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. 1020p. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/analisedealimentosial_2008.pdf>. Acesso em: Acesso em: 02 Fevereiro 2013.

BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.3, p.1-7. 2008.

BROSNAN, T.; SUN, D. W. Precooling techniques and applications for horticultural products: a review. **Intercionational Jounal of Refrigeration**, Surrey, v.4, n.2, p.154-170, mar., 2001.

CABRAL, R. A. F.; ORREGO-ALZATE, C. E.; GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J. Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.3, 589-596, jul./set., 2007.

CAETANO, P. K.; DAIUTO, É. R.; VIEITES, R. L. Physicochemical and sensory characteristics of jam produced with acerola pulp and juice. **Brazilian Journal of Food Technology** [online], Campinas, v.15, n.3, p.191-197, June 26, 2012. ISSN 1981-6723. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232012005000011>>.

CAVACANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. Cajá (*Spondias lutea* L.) fruits freezing curves at semi-cryogenic temperatures. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.55-62, 2003.

CAVACANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. D.; ZANINI, H. L. H. T. Cajá pulp (*Spondias lutea* l.) Specific heat and density for different soluble solids concentrations at low temperatures. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.488-498, 2005.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Tecnologia de crioconservação de sementes de urucum. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.2, n.1, p.1-9, mar., 2008.

CAVACANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; NASCIMENTO, M. A. G. Cinética de congelamento de leite de cabra modificado com polpa de cajá. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGRO-ENGENHARIA, 6, 2011, Portugal. **Anais...** Portugal: Universidade de Évora, 2011. CD-ROM.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

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

CIABOTTI, E. D. **Alterações das propriedades físico-químicas do suco de maracujá (*Passiflora edulis. flavicarpa* Deg.) para diferentes técnicas de congelamento inicial ao longo do período da armazenagem frigorificada**. 2000. 107f. Dissertação (Mestrado em Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2000.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento: sua influência sobre os alimentos. **Vetor**, Rio Grande, v.13, p.53-66, 2003.

COX, P. M. **Ultracongelacion de alimentos: guia de la practica**. Zaragoza: Acribia, 1987. 459p.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2th. ed, London: Claredon Press Oxford, 1975.

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

DICKERSON, R. W. **Thermal properties of foods the freezing preservation of foods**. 4th ed. Westpoint: The AVI Publishing Company, 1968. v.2.

DUARTE, M. F. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; GAMA, M. A. A. Propriedades termofísicas de sementes de graviola. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGRO-ENGENHARIA, 6, 2011, PORTUGAL. **Anais...** Portugal: Universidade de Évora, 2011. CD-ROM.

DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; PAIVA, B. R. Thermophysics properties of the mangaba pulp at low and ultra-low temperatures: density and specific heat. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.19-29, 2003.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Ateneu, 2005. 652p. ISBN: 85-7379-075-x.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FENEMMA, O. R. **Food Chemistry**. New York: Marcel Drecker, 1996. 1024 p.

FERNÁNDEZ, P. P. ; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E.; GUIGNON, B.; SANZ, P.D. Effects of locust bean, xanthan and guar gums on the ice crystals of a sucrose solution frozen at hight pressure. **Food Hydrocolloids**, Madrid, v.21, n.4, p. 507-515, 2007.

FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; RENO, M. J. Relationship between the rheologic behavior and freezing and thawing dynamics of strawberry pulp adding sucrose and pectin. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. [online], Campinas, 2010, vol.30, n.1, p. 188-204. ISSN 0101-2061. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000100029>>. Acesso em: 03 outubro 2013.

FERREIRA, J. C., **Efeito do congelamento ultra-rápido sobre as características físico-químicas e sensoriais de polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) durante a armazenagem frigorífica**. 2000. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Campina Grande, Campina Grande, 2000.

FERREIRA, J. C., **Processo para o desenvolvimento da umbuzada em pó liofilizada, composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura**. 2011. 295f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processo) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

FORREST, J. C., ABERLE, E. D., HEDRICK, H. B., JUDGE, M. D., MERKEL, R. A. **Fundamentos de ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1979. 363p.

FRANÇA, J. A. **Cinética de congelamento, análise físico-química e sensorial do leite de cabra armazenado em diferentes temperaturas**. 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

FREITAS, A. C.; FIGUEIREDO, P. Conservação por Utilização de Baixas Temperaturas. In: **Conservação de Alimentos**. Lisboa, [s.n.], p.129-136, 2000.

GADELHA, A. J. F.; ROCHA, C. O. ; VIEIRA, F. F.; RIBEIRO, G. N. Evaluation of quality parameters of physical-chemical frozen pulps of abacaxi, acerola, cajá e caju. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.115-118, jan./mar., 2009. ISSN 0100-316X.

GAMA, M. J. A. **Propriedades termofísicas de sementes de frutas tropicais**. 2011. 248f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

GAMA, M. J. A.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ARAGÃO, R. F.; FARIAS, P. A. Apparent thermal diffusivity of caja seeds in above freezing to ultra low temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.3, p.303–308, 2012. ISSN 1807-1929. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000300011>>. Acesso em: 12 setembro 2013.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, p.522, 2008. ISBN 978-85-213-1382-3

GIRALDO-GÓMEZ G. I.; GABAS, A. L., TELIS, V. R. N.; TELIS-ROMERO, J. Propriedades termofísicas de suco concentrado de lulo em temperaturas acima do ponto de congelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30 (Supl.1), p.90-95, maio, 2010. ISSN 0101-2061.

GRATÃO, A. C. A.; SILVEIRA-Jr., V.; TELIS-ROMERO, J. Laminar Forced Convection to a Pseudoplastic Fluid Food in Circular and Annular Ducts. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, Campinas, v.33, n.4, p.451-457, 2006.

GUMERATO, H. F.; SCHMIDT, F. L.; GOLDONI, J. S. Transferência de calor transiente na agitação linear intermitente de latas. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n. 3, p.649-657, jul./set., 2007.

HWANG, M.; HAYAKAWA, K. A Specific heat Calorimeter for foods. **Journal of Food Science**, New Brunswick, v.44, n.2, p.435-438, 1979.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003. 698p.

INCROPERA, F. P; DEWITT, D. P.; **Fundamentos da transferência de calor e massa**, 6.ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008. ISBN-10: 8521615842.

KASAHARA, G. I.; GARRIDO, B. F.; SIMPSON, R. R.; ALDUNATE, M. M. I.; CORNEJO, F. F. **Refrigeracion y congelacion de alimentos**. Chile: Maval, 1986. 132p.

KUROZAWA, L.E.; PARK, K.J.; HUBINGER, M.B.; MURR, F.E.X. Thermal conductivity and thermal diffusivity of papaya (*Carica papaya* L.) and cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.11, n.1, p.78-85, jan./mar., 2008.

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

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

LOPES, R. V. V. **Estudo da produção do vinho do fruto da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill)**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

MARQUEZ G. L.; FREIRE, J. T. Thermal properties of fresh and freeze-dried pineapple and guava. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 16, 2008, Hyderabad. **Anais...** Hyderabad, 2008. p.9-12.

MARTIN, R. E.; FLICK, G. J.; HEBARD, C. E.; WARD, D.R. **Chemistry and biochemistry of marine food products**. Westport: AVI, 1982.

MENDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRIGUEZ-RAMIREZ, J. y GARCIA-CORTES, M. Y..Variaciones del contenido de humedad por efecto de congelado a temperaturas de criogenia. **Revista Mexicana de Ingeniería Química** [online], v.7, n.2, p.139-144, 2008. ISSN 1665-2738.

MOHSENIN, N. N. **Thermal proprieties of food and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Sci., 1980, 407p.

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DUARTE, M. E. M. Thermophysical characterization of bacuri pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2, p.360-368, abr./jun., 2006.

MUIR, E. W.; CHANDRA, S. Thermal conductivity of spring wheat at low temperatures. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, n.70, p.805, 1970.

MOURA, S. C. S.; VITALL, A. A.; FRANÇA, V. C. L. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a creme de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.2, p.209-215, maio/ago., 2001.

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

NASCIMENTO, M. A. G. **Obtenção do leite de cabra em pó com diferentes concentrações de polpa de cajá**. 2009. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.

NEVES FILHO, L. C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos**. São Paulo: IBF/ABRAVA/SINDRATAR, 1991. 176p.

OETTERER, M.; REGITANO D'ARCE, M. A.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. São Paulo: Manole, 2006. 605p.

OLIVEIRA, S. D.; CAMARGO, D.; MACHADO, P. P.; BORGES, S. V. Thermal conductivity of orange juice. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n.1, p.101-104, 2001.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A.; CAMBERO RODRIGUEZ, M. I.; FERNÁNDEZ ALVAREZ L.; GARCÍA SANZ, M. L.; FERNANDO MINGUILLÓN, G. D. G.; HOZ PERALES, L.; SELGAS CORTECERO, M. D. **Tecnologia de alimentos, componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v.1. 294 p.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Goiânia: UFG, 1995. v.1. (Ciência e higiene da carne: tecnologia da sua obtenção e transformação).

PEREIRA, J. M. A. T. K.; OLIVEIRA, K. A. M.; SOARES, N. F. F.; GONÇALVES, M. P. J. C.; PINTO, C. L. O.; FONTES, E. A. F.. Avaliação da qualidade físico-química, microbiológica e microscópica de polpas de frutas congeladas comercializadas na cidade de Viçosa-MG. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.4, p.437-442, out./dez., 2006. ISSN 0103-4235.

PINTO, W. S.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, A. A. O.; LEDO, C. A. S.; JESUS, S. C.; CALAFANGE, P. L. P.; ANDRADE, E. M. Physical, physico-chemical and chemical characterization of fruits of true yellow mombin. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1059-1066, set., 2003.

POMPEU, D. R.; BARATA, V. C. P.; ROGEEZ, H. Impacto da refrigeração sobre variáveis de qualidade dos frutos do açaizeiro (*Euterpe oleracea*). **Alimentos e Nutrição**. Araraquara. v.20, n.1, p.141-148, jan./mar., 2009. ISSN 0103-4235.

RAHMAN, M. S.; RUIZ, J. F. V.; DATA A.K.. Food Preservation by Freezing. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. Boca Raton: CRC Press, p.635-657, 2007.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.. **Engineering properties of foods**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, p.154, 2005.

REIDY, G. A.; RIPPEN, A. L.. Methods or determining thermal conductivity in foods. **Transaction of the ASAE**, v.14, n.2, p.248-254, 1971.

RESENDE, J. V.; SILVEIRA JR, V.; NEVES FILHO, L.C. Measurements of effective thermal conductivity of fruit pulp models in the frozen state. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.177-183, maio/ago., 2002.

SANTOS, C. T.; MARQUES, G. M. R.; FONTAN, G. C. R.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, R. C. F.; BONOMO, P. Elaboration and characterization of a dairy fermented drink produced with umbu (*Spondias tuberosa* sp.) pulp. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.111-116, 2006. ISSN 1517-8595.

SANTOS, T. A.; GOMES, G. M. S.; PEREIRA, R. G.; MADERI, T. R., BONOMO, R.C. F.; VELOSO, C. M. Determination of thermal diffusivity almond pulp (*Terminalia catappalinn*) *in natura*. **Revista Higiene Alimentar**, Salvador, v.25, Mar./abr., p.194-195, 2011. ISSN 0101-9171.

SARRIA; S. D.; HONÓRIO; S. L. Conductivity and thermal diffusivity of fig fruit (*Ficus carica* L.) “roxo de valinhos”. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.185-194, jan./abr., 2004.

SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I. O.; YAMAN, N. K. M.. Thermophysical properties of thaiseedless guava juice as affected by temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.3, p.395-399, 2005.

SILVA, M.T.M.; OLIVEIRA, J.S. ; JALES, K.A. Avaliação da qualidade físico-química de polpas de frutas congeladas comercializadas no interior do ceará. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, Set./Dez., 2006. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1124/922>>. Acesso em: 16 fevereiro 2014.

SILVA, F. S. A.; AZEVEDO, C. A.V.. Principas components anlysis in the software assistat-statistical attendance. In: Word Congress On Computers In Agriculture, 7, 2009. Reno-USA. **Anais...** Reno-USA: American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2009. Beta.

SING, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduccion a la ingenieria de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1998. 544p.

SOARES, D. S. C.; SANTOS, J. T. S.; CAMPOS, A. F. P.; COSTA, F. S. C.; NUNES, T. P.; JÚNIOR, A. M. O. Avaliação do tempo de congelamento da mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em ultrafreezer através dos modelos matemáticos de Planck e Pham. **Scientia Plena**. v.8, n.4, 2012. ISSN: 1808-2793

SOUZA, M. A. **Determinação das propriedades termofísicas de polpas de frutas tropicais: jaca (*Artocarpus heterophilus Lamk.*) e umbu (*Spondias tuberosa Arr. Câm.*)**. 2008. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Ipatinga, 2008.

STATISTICA. **Statistica. Software.version 7.0**. Tucksá: StatSof, 2005.

TERUEL, M. B. **Estudo teórico-experimental do resfriamento de laranja e banana com ar forçado**. 2000. 300p. Tese (Doutorado em ciências dos alimentos) – Universidade estadual de Campinas, Campinas, 2000.

TRES, M. V.; BORGES, G. R.; CORAZZA, M. L.; ZAKRZEWSKI, C. A. Determination of Thermal Diffusivity of foods: Experimental Measurements and Numerical Simulation. **Perspectiva**, Erechim, v.35, n.131, p.43-56, set., 2011.

VICENTE, A. M.; RUBIO, J. M. G. P.; REGIDOR, F. S.; VICENTE, J. M. M. **Refrigeracion, congelacion e envasado de los alimentos**. Madri: Iragra, 1994. 277p.

WELTY-CHAVES, J.; VERGARA-BALDERAS, F.; BERNUDEZ-AGUIRRE, D. Transport phenomena in food engineering: basic concepts and advances. **Journal of Food Engineering**. Essex, v.67, n.1/2, p.113-128, mar., 2005.

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

ZARITZKI, N. E. Factors affecting the stability of frozen foods. In: KENNEDY, C.J. **Managing frozend foods**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

**APROVEITAMENTO AGROINDUSTRIAL DE CACTÁCEAS
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

CAPÍTULO 3

**POLPA EM PÓ DOS FRUTOS DAS CACTÁCEAS DE FACHEIRO (*Pilosocereus
pachycladus* Ritter) E MANDACARU (*Cereus jamacaru* P. DC.) OBTIDO PELO
PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO**

3.1 - INTRODUÇÃO

As bebidas não alcoólicas têm largo consumo no mundo inteiro. Em todos os países, os levantamentos estatísticos revelam números crescentes de consumo. Esses valores são mais expressivos quando se refere a bebidas obtidas de frutas, pelo fato de as mesmas se constituírem fontes fundamentais de vitaminas e minerais para a dieta humana, além de seus atrativos sabores (SOARES et al., 2001; FARAONI, RAMOS & PINTO, 2013). Atualmente o Brasil encontra-se como o terceiro maior produtor de frutas do mundo e conseqüentemente, a indústria de bebidas se beneficia desse potencial investindo no mercado dos sucos prontos (CARNEIRO et al., 2013). A exportação de sucos de frutas é o terceiro subgrupo na pauta do complexo das frutas (FAVERET FILHO, LIMA & PAULA, 2002). A comercialização de sucos de frutas tem crescido nos últimos quinze anos, sendo o Brasil o maior produtor e exportador dos países em desenvolvimento. Além, das características aromáticas, os sucos de frutas, representam excelentes fontes de provitamina A e Vitamina C (EMBRAPA, 2014). O consumo de sucos de frutas, frescos ou industrializados, já é um hábito consolidado (ZERAİK et al., 2010; CUNHA et al., 2010)

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas (ABIR, 2014), o volume produzido de refrigerantes caiu 1,68% entre 2010 e 2012, o de bebidas de frutas cresceu 32,7%. A indústria de sucos e néctares de frutas arrecadou, em 2010, cerca de R\$ 78 bilhões, com a venda no varejo produziu 24,6 bilhões de litros e gerou 57 mil empregos diretos e 4 milhões indiretos.

O consumo de sucos de frutas tropicais vem aumentando significativamente em todo o mundo devido ao desenvolvimento de processos tecnológicos de conservação dos atributos sensoriais desses produtos (MARCELLINI, DELIZA & BOLINI, 2006).

Na produção de frutos destinados à indústria de sucos, dá-se ênfase a tecnologias que confirmam aos frutos alto rendimento em suco, boa consistência, maior teor de açúcar e acidez elevada, por ser um fator de limitação de desenvolvimento dos microrganismos. A deficiência de tecnologias de produção de fruteiras tropicais consiste no principal obstáculo à exploração comercial, tanto para o mercado interno quanto para o externo (PINTO et. al., 2003).

O processamento industrial de alimentos promove o prolongamento da sua vida útil, tornando-os mais atraentes ao paladar; entretanto, induz mudanças e interações entre os constituintes de alimentos. Assim, o processamento pode ter um impacto positivo (destruição de inibidores ou formação de complexos desejáveis entre os componentes dos alimentos e os íons metálicos) ou um impacto negativo (perdas de nutrientes). Durante o processamento, o

alimento é exposto a diversos fatores que podem interferir na sua estrutura e composição nutricional, sendo que temperatura, luz, oxigênio, teor de água e pH do meio são os fatores que mais contribuem para essa alteração.

As frutas podem ser preservados por diferentes métodos, tendo a secagem pelo uso do calor, um dos métodos mais aplicados, onde a temperatura dos produtos biológicos aumenta com a temperatura do ar de aquecimento. Se esta temperatura é suficientemente elevada, a degradação térmica dos componentes nutricionais e sensoriais dos alimentos ocorre. Como consequência, o nível de qualidade obtido pelos produtos secos é muito mais pobre do que a de matéria fresca segundo DONSI, FERRARI & MATTEO (2001).

O processamento com emprego de calor é o método mais comum para aumentar a vida de prateleira dos produtos, possibilitando a inativação ou inibição do crescimento de microrganismos e enzimas (ELES-MARTÍNEZ & MARTÍN-BELLOSO, 2007). As condições de processamento podem causar perdas de vitaminas, que variam de acordo com o método utilizado e o tipo de alimento. A degradação de vitaminas depende de condições específicas durante o processamento, tais como temperatura, presença de oxigênio, luz, pH, teor de água, e duração do tratamento térmico (SUCUPIRA, XEREZ & SOUSA, 20012). Contudo, uma série de mudanças indesejáveis ocorre nos alimentos tratados pelo calor, como a alteração no flavor, na cor e na textura e a destruição de vitaminas (BUTZ & TAUSCHER, 2002).

Mudanças nos hábitos dos consumidores, que buscam, cada vez mais, alimentos nutritivos e próximos do alimento fresco, têm obrigado as indústrias a buscarem novas formas de tecnologia que agridam menos o alimento, como os tratamentos que não utilizam altas temperaturas e aqueles que utilizam controle de umidade.

A água desempenha um papel fundamental na determinação da estabilidade de alimentos, sendo o meio para o crescimento de bactérias e de outros processos de degradação. Para alcançar a conservação de alimentos pela redução do teor de água, fabricantes de alimentos tem utilizados recentemente de processos físicos para evitar desidratação térmica e a adição de estabilizantes químicos para os produtos, como uma resposta à demanda dos crescentes consumidores de alimentos naturais (DONSI, FERRARI & MATTEO, 2001).

Os produtos em pó, obtidos a partir de polpas de frutas, são cada vez mais utilizados pela indústria nacional de alimentos, uma vez que o processamento desses frutos reduz significativamente os custos com embalagens, transporte, armazenamento, conservação além de manter os seus constituintes nutricionais e ter a disposição uma variedade de aromas e sabores (COSTA et al., 2003).

Dentre as técnicas empregadas para a obtenção de produtos alimentícios em pó, a secagem pela liofilização (*freeze-drying*), é um processo de desidratação em que a água é removida por sublimação do gelo a partir de materiais congelados. Ele é o melhor método para a obtenção de um produto de alta qualidade. O processo preserva as propriedades, tais como a forma, a aparência, sabor e cor (GEORGE E DATTA, 2002).

CHOPDA & BARRETTA (2001) a maneira mais saudável de preservar as frutas é a liofilização (Freeze Drying). A principal característica deste método é que o teor de água do produto congelado é eliminado por sublimação, em uma câmara de vácuo. Como resultado, é um método muito favorável, na indústria alimentar, porque o produto final tem uma excelente qualidade afirma KEREKES et al. (2008). O produto seco por liofilização pode ser armazenado à temperatura ambiente durante alguns anos sem deterioração, e reconstituído mantendo as suas propriedades próxima as iniciais WEI WANG & GUOHUA CHEN (2003).

Frutas do semiárido são também economicamente relevantes, embora sejam exploradas principalmente por pequenos agricultores por atividade extrativista. Essas frutas têm grandes propriedades sensoriais, elas não foram totalmente estudados e não estão disponíveis comercialmente. No entanto, estas características sensoriais fazem os frutos da região semiárida muito adequado para ser um bom alimento natural ou aditivo alimentar natural ao longo de muitas categorias de alimentos. Além disso, muitas plantas utilizadas como alimentos exóticos estão recebendo a atenção do consumidor que busca alimentação natural e saudável.

De acordo com ALMEIDA & CORREIA (2012), está crescendo o mercado dos frutos das cactáceas, que até a poucos anos era totalmente desconhecida pela população em geral. Há poucos relatos de aproveitamento agroindustrial dos frutos de cactáceas, ocorrendo, assim, grande desperdício deles em sua safra segundo OLIVEIRA et al. (2011).

A importância da ingestão de alimentos seguros e saudáveis e o conhecimento relacionado a este assunto, ainda é disperso e insuficiente (CORREIA, FARAONI & PINHEIRO-SANT'ANA, 2008).

Verifica-se a necessidade de estudos na secagem por liofilização das frutas, especialmente das nativas do semiárido, em sua forma de processar e armazenar, os quais possibilitem a comercialização, durante todo o ano, evitando, assim, desperdícios e perdas que ocorrem, normalmente, na comercialização, *in natura*, principalmente, em se tratando de um produto sazonal e explorado de forma extrativista, avaliando as modificações químicas e físico-química imposta pelo método e as alterações sensoriais ocorridas.

3.1.2– Objetivos

Estabelecer a cinética de secagem e estudar dentre os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk e Yapar, Page e exponencial de dois termos, o que melhor represente o processo de liofilização da polpa do facheiro e do mandacaru, nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Determinar os constituintes químicos do produto liofilizado em pó obtido da polpa do fruto do facheiro e mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Avaliar a aceitação dos sucos formulados com o produto liofilizado em pó obtido das polpas dos frutos de facheiro e mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C reconstituído e preparado na proporção (massa:massa) de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose.

3.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1– Suco

Suco ou sumo é a bebida não alcoólica, não fermentada, não concentrada, ressalvados os casos especificados, e não diluída, destinada ao consumo, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo, não poderá conter substâncias estranhas à fruta ou parte do vegetal de sua origem, excetuadas as previstas na legislação específica (BRASIL, 2009).

É proibida a adição, em sucos, de aromas e corantes artificiais. O suco poderá ser adicionado de açúcares na quantidade máxima fixada para cada tipo de suco, observado o percentual máximo de dez por cento em peso, calculado em gramas de açúcar por cem gramas de suco, tendo sua denominação acrescida pela designação adoçado. O suco poderá ser adicionado de dióxido de carbono, podendo ser parcialmente desidratado ou concentrado. Quando adicionado de dióxido de carbono, o suco será denominado "suco de ...", acrescido do nome da fruta ou vegetal, gaseificado (BRASIL, 2009).

3.2.1.1 - Suco tropical

Suco Tropical é o produto obtido pela dissolução, em água potável, da polpa da fruta polposa de origem tropical, por meio de processo tecnológico adequado, não fermentado, de cor, aroma e sabor característicos da fruta, submetido a tratamento que assegure sua conservação e apresentação até o momento do consumo, obtido de fruta fresca, sã e madura, e que mantenham as características físicas, químicas e organolépticas da fruta. Elaborado com água potável, de acordo com os critérios de potabilidade estabelecidos na legislação específica, cuja quantidade mínima de polpa de uma determinada fruta não tenha sido fixada em Regulamento Técnico específico, e deve conter um mínimo de 50% (m/m) da respectiva polpa, ressalvado o caso de fruta com acidez alta ou conteúdo de polpa muito elevado ou sabor muito forte que, neste caso, o conteúdo de polpa não deve ser inferior a 35% (m/m) (BRASIL, 2003c; (CARNEIRO et al., 2013).

As características físicas, químicas e organolépticas devem ser as provenientes da fruta de sua origem, observando se os limites mínimos e máximos dos parâmetros fixados para o

respectivo Suco Tropical, parâmetros estes previstos nos padrões de identidade e qualidade específicos para cada fruta. Deve ser conservado por meios físicos adequados ou por meio de conservadores químicos autorizados para sucos de frutas. Não deve ter as características organolépticas e composição física e química alteradas pelos materiais dos recipientes, dos utensílios e dos equipamentos utilizados no seu processamento e comercialização. Pode ser obtido de suco concentrado de fruta de origem tropical. Ao Suco Tropical podem ser adicionados nutrientes essenciais, previstos em legislação específica (BRASIL, 2003c).

Na fabricação industrial dos sucos, néctares e pronto para beber, é necessário que o fabricante produza sua rotulagem em adequação às normas de rotulagem para bebidas estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2002; 2003a; 2003b).

3.2.2 - Secagem

Segundo MORAES & RODRIGUES (2006) a secagem é uma técnica antiga de conservação de alimentos que consiste em remoção de água ou qualquer outro líquido do alimento na forma de vapor para o ar não saturado. Esta técnica vem sendo constantemente estudada e aperfeiçoada para obtenção de produtos com maior qualidade e menor tempo de processamento. Consiste na redução da disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismos e para reações bioquímicas deteriorativas (ALMEIDA et al., 2005).

A desidratação é utilizada como um método de conservação de alimentos, evitando a sua deterioração e perda de valor comercial e é também utilizado como uma alternativa para a melhoria da qualidade dos alimentos no tratamento de produtos novos, motivos que estimulam o investimento na produção e processamento agrícola (MARQUES & FREIRE, 2005).

A secagem é um processo tradicional na preservação de alimentos, que diminui a disponibilidade da água (atividade de água) para reações de deterioração, aumenta a estabilidade e reduz o volume. Assim, combina a economia de volume e massa no transporte e no armazenamento em razão da compactação e da leveza, com os efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química, permitindo que o produto tenha maior durabilidade (MELO et al., 2013).

Apesar dos aspectos positivos, a secagem pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional dos alimentos, e a intensidade dessas alterações é dependente das condições utilizadas no processo de secagem e das características próprias de cada produto. O processo de

desidratação deve preservar o sabor, o aroma e a cor originais, e devem, preferencialmente, estar isenta de aditivos químicos e apresentar textura semelhante ao do produto fresco (DIONELLO et al., 2007).

Os processos de secagem podem ser divididos em duas classes, segundo GAVA 2008): Secadores adiabáticos e secadores de transferência de calor por superfície sólida. Os secadores adiabáticos, o calor é conduzido por meio de ar quente, predominando a transferência de calor por convecção, em que estão incluídos os secadores de cabine, secador de túnel, secador de aspersão (spray dryer), leiteo fluidizado, fornos secadores, puft-dryer e foam mat dryer; os secadores por transferência de calor por superfície sólida, predominando a transferência de calor por condução, geralmente trabalham a vácuo, tais como secadores de tambor (drum dryer), liofilizadores e outros desidratadores a vácuo.

Vários métodos podem ser utilizados para a produção de alimentos em pó, porém os melhores incluem liofilização, secagem em camada de espuma, secagem por atomização e túnel de secagem. Os pesquisadores têm utilizado com sucesso a liofilização para converter os alimentos em pó, embora a secagem por congelamento seja conhecida como o método mais caro de secagem, no entanto a qualidade final do produto é o diferencial (CHOPDA & BARRETTA, 2001).

3.2.2.1 - Liofilização

Entre as técnicas disponíveis para a secagem de alimentos, congelamento-secagem (Liofilização) é um processo de desidratação em que a água é removida por sublimação do gelo a partir de materiais congelados. Ele é o melhor método para a obtenção de um produto de alta qualidade. O processo preserva as propriedades, tais como a forma, a aparência, sabor e cor da matéria-prima original (GEORGE & DATTA, 2002).

A liofilização consiste em um processo de separação por sublimação, onde a água ou a substância aquosa é retirada como vapor do produto congelado passando da fase sólida para a fase gasosa (BOSS, 2004). A secagem por liofilização é a que menos agride o material, produzindo um produto de melhor qualidade dentre todos os outros métodos. Entretanto, este método é muito caro, pois as taxas de secagem são baixas e usa-se o vácuo (PARK et al., 2007).

Este método de conservação de alimentos, relativamente recente, inicia o seu desenvolvimento a partir da segunda guerra mundial nas áreas da medicina, veterinária e

indústria farmacêutica, aplicada à conservação de tecidos para transplante, leveduras e outros, permitindo que conservem estas substâncias, suas características fisiológicas por períodos prolongados de tempo, que podem ser meses e até anos (RATTI, 2001).

O processo de liofilização ou secagem pelo frio “freeze drying” ou “lyophilization”, apresenta uma série de vantagens quanto à manutenção das características originais dos produtos, pelo fato de não submetê-lo a elevadas temperaturas conforme outros processos de desidratação. Preservação do sabor e aroma, aumento da estabilidade por meio da diminuição da atividade de água, que minimiza a deterioração do alimento durante o armazenamento, são vantagens deste processo. A aplicação da liofilização em produtos alimentícios ainda é cara, sendo empregada com maior frequência, na fabricação de produtos nobres que necessitam de reidratação rápida e completa (OLIVEIRA et al., 2012).

O alimento ou qualquer outra substância submetida aos processos de liofilização, além de perder a água, sofre uma diminuição do seu volume; mas conserva a forma original. Segundo alguns pesquisadores, esta redução do volume não seria muito grande. GAVA (2008) afirma que haveria uma contração pronunciada nos produtos sólidos. Na realidade, as variações do volume vão depender do conteúdo hídrico do alimento, sendo que, em geral, nota-se a mínima redução do volume. Como todos os métodos de conservação, o da liofilização apresenta suas vantagens e desvantagens.

O processo de liofilização de alimentos apresenta como vantagens: alta retenção das características sensoriais e qualidades nutricionais, apresentando uma vida de prateleira maior do que 12 meses quando corretamente embalados. Os compostos aromáticos voláteis não são absorvidos no vapor d'água produzido pela sublimação e ficam presos na matriz do alimento. Como resultado, é possível uma retenção de 80 a 100% do aroma (KAREL, 1975). A textura dos alimentos liofilizados é bem mantida, havendo pouco encolhimento e nenhuma formação de crosta na superfície. A estrutura porosa aberta permite uma rápida e completa reidratação.

Os produtos liofilizados apresentam facilidade de reconstituição devido à estrutura porosa, o que garante a reprodução fiel do produto original. Além disso, ocorre uma redução na tendência que certos produtos de se aglomerarem quando submetidos à secagem, observado em outras técnicas (ROCHA, 2010).

A principal desvantagem do processo de liofilização é o alto custo, que só é compensador ao se tratar de produtos caros, como o café. A onerosidade resulta dos gastos obrigatórios referentes ao preço dos equipamentos, sua manutenção e tempo de processamento exigido (cerca de 10 horas) (EVANGELISTA, 2005).

Qualquer novo melhoramento para liofilização a vácuo a fim de reduzir custos de energia deveria ser direcionado para os seguintes objetivos: (a) melhorar a taxa de transferência de calor a fim de ajudar a sublimação (b) reduzir o tempo de secagem, a fim de reduzir o vácuo (c) reduzir o uso de condensadores (RATTI, 2001).

KROKIDA & PHILIPPOULOUS (2006) avaliaram os efeitos da secagem convencional e da secagem por liofilização no *flavor* de maçãs. Os resultados mostraram que a secagem por liofilização garantiu produtos com qualidade de *flavor* altamente superior àqueles secados por método convencional.

3.2.2.1.1 – Fundamentos físicos da liofilização

Dependendo das condições de temperatura e de pressão, qualquer substância pode se apresentar sob um dos três estados de agregação: sólido, líquido ou gasoso. Em determinadas condições, podem coexistir duas fases. Ainda em condições fixas e características para cada substância, podem coexistir 3 fases. Em um sistema de coordenadas cartesianas, a certa temperatura e pressão (características que possibilitam a coexistência das três fases) poderemos ter o chamado “ponto triplo” Figura 3.1 (GAVA, 2008).

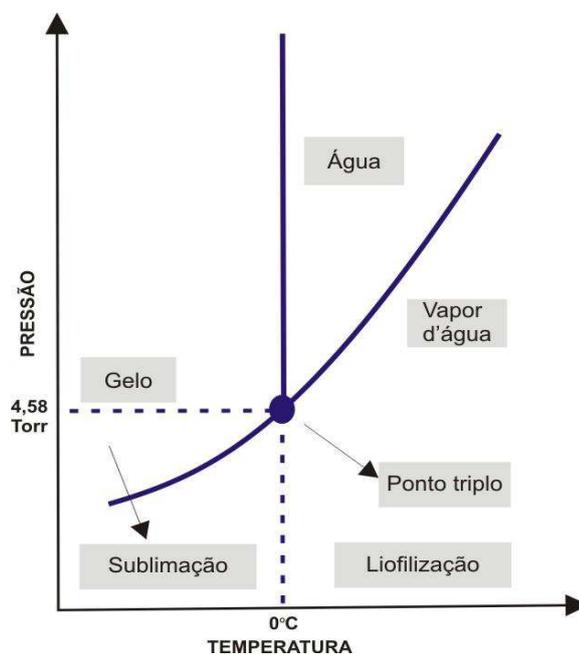


Figura 3.1 – Diagrama de fases da água mostrando a sublimação do gelo

De acordo com BIANCHI, VALDUGA & FINZER (2002) a liofilização consiste em uma operação na qual a água é removida do alimento por transferência do estado sólido (gelo) para o estado gasoso (vapor de água). Essa transformação (sublimação) consiste na secagem

primária com remoção da água congelada, e ocorre quando a pressão e a temperatura da superfície do gelo, onde ocorre a sublimação, é inferior àquela do ponto tríplice (4,58 mmHg e 0°C).

Segundo GEORGE & DATTA (2002), a força motriz da pressão de vapor é muito baixa comparada com processos convencionais de secagem. Isto torna o tempo de secagem mais longo resultando em um custo relativamente alto. O processo de liofilização envolve três etapas (Figura 3.2): congelamento, sublimação (desidratação primária) e desorção (desidratação secundária) conforme BORGOGNONI, BEVILACQUA & PITOMBO (2012).

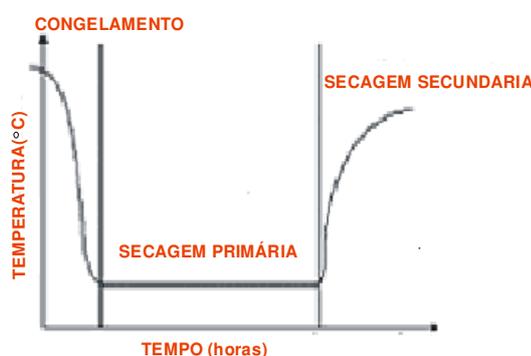


Figura 3.2 - Etapas do processo de liofilização

a` – Estágio de congelamento

O congelamento tem como objetivo transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases: uma constituída por cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. O congelamento pode ser feito em um congelador à parte ou no mesmo recinto do liofilizador. O tipo e a velocidade de congelamento têm grandes influencia na estrutura final do produto, a distribuição dos poros neste depende do tamanho e da localização dos cristais de gelo formado segundo ROCHA (2010).

O primeiro estágio da liofilização é congelar o alimento em equipamentos de congelamento convencional. Pequenos pedaços do alimento são congelados rapidamente para produzir pequenos cristais de gelo e reduzir os danos à estrutura celular do alimento. Em alimentos líquidos, o congelamento lento é usado para formar uma rede de cristais de gelo que originam canais para o movimento do vapor d'água (FELLOWS, 2006).

De acordo com ORDÓÑEZ et al. (2005a) para a liofilização de líquidos, promove-se o congelamento lento de modo que o tamanho dos cristais de gelo seja grande e se forme uma rede cristalina; dessa forma, a estrutura porosa facilitará tanto o escape do vapor d'água durante

a liofilização como sua posterior reidratação. Em alguns líquidos, o movimento do vapor d'água é difícil porque, ao congelar-se, eles adquirem estrutura vítrea, como nos sucos de frutas com elevado conteúdo de açúcares. Neste tipo de produto, é necessário formar canais por onde o vapor d'água possa escapar, seja congelando-os em forma de espuma, misturando-se com sólidos, ou triturando-os após seu congelamento.

Segundo RIBEIRO (2012) o congelamento tem como objetivo transformar as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases; cristais de gelo e uma solução concentrada do soluto e é determinante para a estrutura final do produto, onde o tamanho e a localização dos cristais de gelo formados nesta etapa irão definir a distribuição dos poros, que de acordo com a sua estrutura determina a velocidade de escape do vapor durante a sublimação.

b` – Estágio de secagem primária

A remoção da água se dá por dois mecanismos, sublimação e dessorção: através da sublimação (desidratação primária) predominantemente, ou seja, a água passa diretamente da fase sólida para a gasosa sem passar pela fase líquida; isto se explica devido a pressão ser inferior a 4,7mmHg e a temperatura abaixo de 0°C (ponto tríplice); assim sendo, a temperatura e a pressão de vapor de água devem ser inferiores ao ponto triplo da água; nesta fase, a velocidade de secagem é lenta em torno de 1,5 kg de água por m² h⁻¹, que dura em torno de 6 a 10 horas e a redução de água chega a 15% sobre o teor de água inicial (ORDÓÑEZ et al., 2005b).

O objetivo da secagem primária é encontrar as condições de operação que maximizem a duração deste período, ou seja, a maximização da quantidade de água removida. A forma dos poros e a temperatura em todos os pontos não podem ser medidas durante o estágio primário. Além disso, é extremamente difícil medir, com exatidão, a distribuição de temperatura no espaço multidimensional na camada seca do produto. No entanto modelos teóricos dinâmicos avançados podem fornecer informações quantitativas sobre o comportamento dinâmico dos parâmetros e variáveis que determinam a estrutura e estabilidade química das camadas seca e congelada do produto e duração da taxa de secagem primária (BOSS, 2004).

c` – Estágio de secagem secundária

A dessorção, também denominado desidratação secundária ou secagem secundária, em que após eliminação do gelo por sublimação, resta ainda certa quantidade de água líquida retida e fortemente ligada, tornando-se necessária a sua remoção para que se possa estabilizar o produto; isto é feito com o aquecimento do alimento até que se iguale a temperatura da placa, em torno de 20 a 60 °C, mantendo o vácuo durante 2 a 6 horas, reduzindo a percentagem do teor de água para algo em torno de 2 a 8%, de acordo com ORDÓÑEZ et al. (2005b).

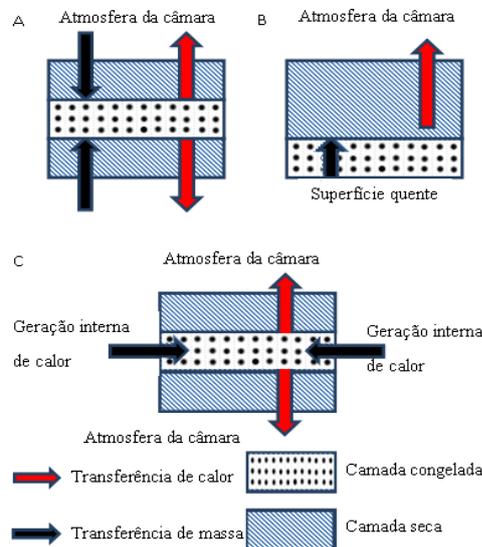
Durante o estágio de secagem secundária, o solvente é removido da câmara e uma pequena quantidade de água absorvida pode ser removida por dessorção (BOSS et al., 2004). Consideram-se como características críticas do processo, durante a secagem secundária, os valores das temperaturas e o teor de água no espaço multidimensional ocupado pelo produto e a duração do estágio secundário.

Os objetivos no estágio de secagem secundária são encontrar as condições de operação do liofilizador que minimizam a duração deste estágio sem perdas da estabilidade estrutural e química do produto durante a secagem, e que estabeleçam no final deste estágio um perfil de concentração desejável da água residual (KOROISHI, 2005).

3.2.2.1.2 – Mecanismo de transferência de calor e massa

A cinética do processo de liofilização é determinada pela transferência simultânea de calor e de massa de acordo com BOZKIR (2006) Figuras 3.3 e 3.4; o transporte interno de calor do material secado e a água sublimada na forma de vapor. A transferência de calor e massa se dá através do mesmo caminho mas em direções opostas (Figura 3.3a), quando o calor latente de sublimação se produz no entorno do alimento, sendo transportado por condução ou radiação, pela camada seca do alimento, na direção da camada congelada e a transferência de massa que ocorre através da camada de secagem. Na Figura 3.3b, a transferência de calor através da camada gelada a partir de uma fonte de calor (superfície quente) e a transferência de massa ocorre através da camada de secagem, o calor necessário para a sublimação é transferido por condução pela camada congelada do alimento, de acordo com KOROISHI (2005) e a velocidade de sua transferência vai depender da espessura do alimento e da condutividade térmica da camada do gelo. Quando a geração de calor ocorre dentro do gelo (por micro-ondas)

e a transferência de massa através da camada de secagem, Figura 3.3c, o calor se produz no interior do alimento congelado.



Fonte: ORDÓÑEZ, 2005b

Figura 3.3 – Fluxo de calor e de massa durante a liofilização unidimensional

Na liofilização, à medida em que vai sendo formado o vapor, uma frente de sublimação se desloca no interior do material congelado e a espessura do material desidratado aumenta gradativamente. A velocidade da secagem vai depender da espessura, da área de exposição da porção seca, de sua permeabilidade e da diferença de pressões parciais do vapor de água entre a superfície da camada seca e a interface, Figura 3.4.

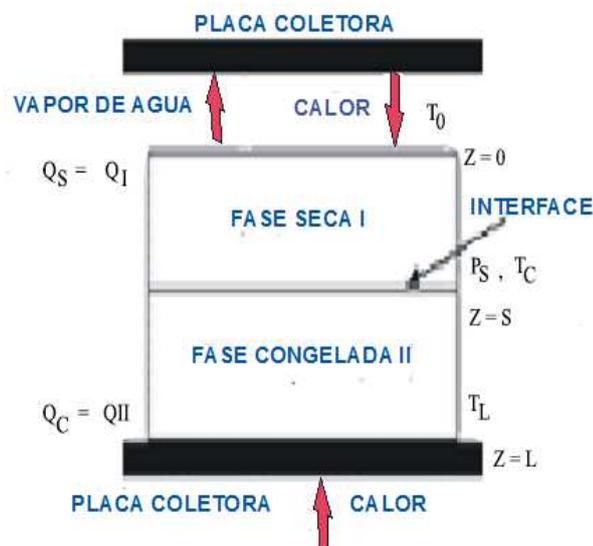


Figura 3.4 – Fluxo de calor e massa durante a liofilização unidimensional

3.2.2.1.3 – Cinética de liofilização

Vários modelos matemáticos são utilizados para representação do comportamento da secagem de produtos agrícola, esses modelos podem ser classificados como: teóricos, empíricos e semi empíricos, dentre estes serão utilizados de Cavalcanti Mata; Page; Midilli, Kucuk e Yapar; Exponencial de Dois Termos para predizer a secagem por liofilização

a` – Modelo de Cavalcanti Mata para liofilização

A equação proposta por Cavalcanti Mata para expressar a cinética de liofilização é uma equação empírica derivada da proposta pelo autor para secagem de grãos (GOUVEIA et al., 2011). MARQUES (2007), concluiu que dentre os modelos matemáticos aplicados, o modelo proposto por Cavalcanti Mata ajusta melhor os dados experimentais de secagem com um valor médio para o coeficiente de determinação de 0,9994, demonstrando, desta forma, uma satisfatória representação do fenômeno de secagem do pseudofruto de caju; Este modelo foi utilizado com êxito por MELO et al. (2013) obtendo coeficientes de determinação iguais a 0,999, no estudo da cinética de secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru; NASCIMENTO (2009) obtendo coeficientes de determinação superiores a 0,99, no estudo da cinética de liofilização do leite de cabra integral pasteurizado com diferentes concentrações de polpa de cajá; por FERREIRA (2011) obtendo coeficientes de determinação superiores a 0,99 e desvio percentual médio variando de 2,1164 a 7,1655%, no estudo da cinética de liofilização da umbuzada com diferentes concentrações (30, 40 e 50%) de polpa de umbu submetido a três diferentes tipos de congelamento (-20, -170, -196 °C). A expressão que define o modelo de Cavalcanti Mata é dado por:

$$RX = a_1 \exp(-a_2 t^{a_3}) + a_4 \exp(-a_2 t^{a_5}) + a_6 \quad (3.1)$$

em que:

$$a_1 + a_4 + a_6 = 1$$

$$a_2 = \sigma_n / L^2$$

RX - razão do teor de água, adimensional

a_2 - constante de secagem, h^{-1}

a_1, a_3, a_4, a_5 e a_6 - constantes do modelo

t - tempo, h

σ_n - raiz transcendental, adimensional

L - espessura da amostra/2, m

b` – Modelo de Midilli, Kucuk e Yapar.

O modelo semi-empírico de MIDILLI, KUCUK & YAPAR (2002) é um modelo bastante utilizado na determinação do comportamento das curvas de secagem. Este modelo é uma simplificação do modelo teórico de Fick, o qual foi obtido experimentalmente no estudo da secagem de cogumelos, pólen e pistache (MIDILLI, KUCUK & YAPAR, 2002). Este modelo foi utilizado com êxito por vários pesquisadores obtendo coeficientes de determinação superiores a 0,99, tais como: TOGRUL (2004) no estudo da secagem em camada fina de cenoura; ERTEKIN & YALDIZ (2004) na secagem de berinjela nas temperaturas entre 30 e 70 °C. A equação matemática que descreve o modelo semi-empírico de MIDILLI, KUCUK & YAPAR, 2002) é dado pela equação:

$$RX = a \exp(-kt^n) + b t \quad (3.2)$$

em que:

RX - razão do teor de água, adimensional

k - constante de secagem, h⁻¹

a, n e b - constantes do modelo

t - tempo, h

c` – Modelo de Page

O modelo de Page é um modelo empírico bastante utilizado para a representação da secagem de produtos agrícolas. DOYMAZ, TUGRUL & PALA (2006) no estudo da secagem de damasco nas temperaturas entre 35 e 50°C encontraram coeficientes de correlação maiores que 0,98; SANTOS et al. (2010) no estudo da cinética e modelagem da secagem de carambola nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, coeficientes de determinação (R²) maior que 0,96; MARQUES (2008) estudando a influência do tipo de congelamento na liofilização de frutas tropicais, onde o R² variou de 0,9942 a 0,9998, tal equação é descrita conforme a equação 3.3:

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (3.3)$$

em que:

RX - razão do teor de água, adimensional

k - constante de secagem, h⁻¹

n - constantes do modelo,

t - tempo, h

d` – Modelo de exponencial de dois termos

A equação de exponencial de dois termos é oriunda de modificações empíricas da equação de Lewis desenvolvida em 1921, sendo k e n parâmetros ajustáveis. Considera-se o parâmetro k o valor do coeficiente de difusão constante ou linearmente dependente da temperatura, podendo essa relação ser expressa por meio do modelo de Arrhenius (PARK, VOHNIKOVA & BROD, 2002) que é descrito por:

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (3.4)$$

em que:

A - fator pré-exponencial, $m^2 s^{-1}$

E - Energia de ativação, $J mol^{-1}$

R - constante universal dos gases, $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$

T - temperatura absoluta, K

(MARQUEZ & FREIRE, 2005) relataram que o modelo matemático de Exponenciais Dois Termos, geralmente aplicado para descrever a cinética de secagem de alimentos por ar forçado e convecção, também pode ser adotado para descrever a cinética de secagem para a liofilização. Levando em conta a praticidade, o modelo Exponencial de Dois Termos merecem destaque na predição dos dados de secagem da fibra residual do abacaxi por apresentarem apenas dois parâmetros, sendo facilmente linearizados e ajustados matematicamente (WAUGHON & PENA, 2008). O parâmetro k, deste modelo denominado constante de secagem varia com a temperatura segundo uma função do tipo Arrhenius (MARQUES, 2008). A expressão que define o modelo matemático de Exponenciais Dois Termos é dado pela equação 3.5:

$$RX = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kat) \quad (3.5)$$

em que:

RX - Razão do teor de água, adimensional

k - constante de secagem, h^{-1}

a - constantes do modelo

t - tempo, h

d` – Critérios para avaliação dos modelos matemáticos

Dentre os critérios utilizados para determinar a qualidade dos ajustes da regressão é utilizado o coeficiente de determinação (R^2), e o desvio percentual médio (P) de acordo com DINIZ, FIGUEIRÊDO & QUEIROZ (2003); ALCÂNTARA et al. (2009).

O coeficiente de determinação, também chamado de R^2 , é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico generalizado, como a regressão, em relação aos valores observados. O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é modelo, melhor ele se ajusta à amostra.

O coeficiente de determinação (R^2) indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Assim, um dos parâmetros da qualidade da regressão é indicada por este coeficiente. É importante notar que R^2 varia entre 0 (zero) e 1 (um). Evidentemente, quanto mais próximo da unidade for o coeficiente de determinação, tanto maior será a validade da regressão (THEODORO et al., 2011).

Quanto menor for o desvio percentual médio, melhor estará ajustado o modelo aos dados experimentais segundo PACHECO & SILVA (2003); OLIVEIRA, AFONSO & COSTA (2013). Considera-se que resultados do desvio percentuais médios (P) abaixo de 10% indicam ajuste adequado dos valores observados em relação aos ajustados pelos modelos em questão, (RADÜNZ et al., 2010). O desvio percentual médio é dado pela Equação 3.6 (DINIZ, FIGUEIRÊDO & QUEIROZ, 2003).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_{\text{exp}} - V_{\text{pre}}|}{V_{\text{exp}}} \quad (3.6)$$

em que:

P - desvio percentual médio

V_{exp} - valores experimentas

V_{pre} - valores preditos pela equação

n - número de dados experimentas

3.2.3 – Características sensoriais

A NBR 12806 define análise sensorial como uma disciplina científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (ABNT, 2014).

A análise sensorial é definida como um método científico usado para analisar, medir e interpretar as reações das características dos alimentos e dos materiais, com o auxílio dos órgãos humanos dos sentidos, são eles os órgãos da visão, tato, olfato, audição e gustação (GULARTE, 2002).

ALVAREZ et al. (2000) argumentam que os alimentos são consumidos não só pelo valor nutricional, mas também pela satisfação e prazer em se alimentar. A análise sensorial enfoca as características sensoriais de um produto e determina qual é o preferido e/ou melhor, aceitável por um determinado público alvo, em função de suas características (SOUZA & MENEZES, 2006), é uma ferramenta chave, não só no desenvolvimento de novos produtos, como na seleção e caracterização de matérias-primas, no estudo de vida de prateleira, na identificação das preferências dos consumidores por um determinado produto, na seleção dos sistemas de embalagem e nas condições de armazenamento para a otimização e melhoria da qualidade (PAULOS, 2012).

A análise sensorial é um campo muito importante na indústria de alimentos, pois contribui direta ou indiretamente para inúmeras atividades, como desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade, reformulação e redução de custos de produtos, relações entre condições de processo, ingredientes, aspectos analíticos e sensoriais (KONKEL et al., 2004). É uma ferramenta importante para a análise de aroma e sabor de alimentos de acordo com OLIVEIRA et al. (2009), onde pode ser utilizado para verificar a preferência dos consumidores por um determinado produto ou formulação.

Segundo STEINLE et al. (2005), a análise sensorial de aceitação pode transformar dados subjetivos em objetivos e fornecer informações importantes sobre o quanto as pessoas gostam ou desgostam de um determinado produto. Entre os métodos sensoriais existentes para medir a aceitação e a preferência por alimentos ou bebidas, a escala hedônica constitui o método mais aplicado pela confiabilidade dos resultados e pela sua simplicidade.

3.2.3.1 – Aparência e cor

A aparência de um alimento é um fator de qualidade primordial, do ponto de vista comercial. Através de diferentes atributos são avaliados o grau de frescor, tamanho, forma, cor, higiene, maturidade e ausência de defeitos (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

De acordo com FARAONI et al. (2008), quando o consumidor entra em contato com o alimento em primeira instância, a sua cor e a aparência são as duas primeiras sensações que o atingem, e é o que o levará à aceitação, indiferença ou rejeição.

O primeiro contato do consumidor com um produto, geralmente, é com a apresentação visual, onde se destacam a cor e a aparência. Todo produto possui uma aparência e uma cor esperada que são associadas as reações pessoais de aceitação, indiferença ou rejeição. A forma geralmente está relacionada á forma natural, ou a uma forma comercial consagrada culturalmente. A cor de um objeto possui três características distintas que são o tom, determinado pelo comprimento de onda da luz refletida pelo objeto; a intensidade, que depende da concentração de substâncias corantes dentro do alimento e o brilho, que é a quantidade de luz refletida pelo corpo em comparação com a quantidade de luz que incide sobre o mesmo (TEIXEIRA, 2009).

3.2.3.2 – Sabor

O sabor é definido, em análise sensorial, como a experiência mista, mas unitária, de sensações gustativas, olfativas e táteis percebidas durante a degustação, influenciadas pelos efeitos táteis, térmicos, dolorosos e/ou sinestésicos (OSAWA et al., 2008). O sabor engloba quatro sensações gustativas fundamentais: ácido (azedo), doce, salgado e amargo, podendo ser influenciado pelos efeitos táteis, térmicos, dolorosos e sinestésicos.

Somente seis sabores são reconhecidos: doce, salgado, ácido, amargo, “umami” e metálico. A percepção do metálico tem sido separada dos outros sabores, visto que o metálico é definido como uma separação olfatória-gustativa. A percepção do sabor ocorre por meio de células receptoras localizadas na parte frontal, lateral e no final da língua, bem como no palato, bochechas e esôfago. O sabor “umami” (do japonês quer dizer agradável, gostoso) foi identificado a partir da pesquisa sobre a atuação dos realçadores de sabor, tais como glutamato, inosinato e guanilato (DUTCOSKY, 2007).

O sabor e o aroma da maioria das frutas tropicais são especialmente prazerosos e fortes, porem tendem a se alterar ou diminuir durante o tratamento a quente e estocagem. Segundo LOPES, OLIVEIRA & FREITAS (2003), a intensidade do sabor das frutas pode depender parcialmente de sua variedade, das condições de produção e de sua maturidade. Algumas substâncias são específicas para cada espécie e variedade; outras são comuns para todas as frutas.

3.2.3.3 – Aroma

A sensação do gosto é atribuída à presença de compostos não voláteis nos alimentos (tais como açúcares, sais, ácidos), determinando os quatro gostos básicos descritos como doce, salgado, ácido e amargo. A sensação do aroma é bem mais complexa, pois o olfato humano pode discriminar milhares de compostos voláteis. Os compostos voláteis são responsáveis pelo sabor característico dos alimentos (THOMAZINI & FRANCO, 2000; BASTOS, et al. 2002)

O aroma dos alimentos é o conjunto das sensações do olfato estimuladas pelas substâncias voláteis que, em conjunto, conferem as características a cada produto CHITARRA & CHITARRA (2005).

Aroma é a sensação percebida pelos sentidos do gosto e olfato, produzida quando se ingere o alimento. O aroma constitui um dos mais importantes atributos dos alimentos e bebidas. A aceitação dos produtos alimentícios no mercado depende de sua qualidade. O aroma, em particular, está entre os principais atributos que determinam a escolha e o consumo (SIMÕES, WASZCZYNSKYJ & WOSIACKI, 2009).

CHITARRA & CHITARRA (2005), afirmam que para a identificação e entendimento do aroma de um fruto ou outro produto é oportuno conhecer a natureza dos constituintes presentes e a intensidade do aroma de cada componente.

3.2.4 – Estado da arte

Na conservação de alimentos, a quantidade de água presente é responsável pela estabilidade do material, podendo a remoção da água ser feita através da concentração, congelamento, secagem, segundo o grau de estabilidade e características do produto final que se queira obter. A secagem e o congelamento são os métodos mais comuns para preservar frutas e legumes. Assim, várias metodologias têm sido estudadas com o objetivo de melhorar as características sensoriais e nutricionais dos alimentos desidratados. Uma das técnicas utilizadas para

tal finalidade é a liofilização, que faz com que a água contida no produto, passe do estado sólido (produto congelado) para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido. Os produtos liofilizados apresentam alta retenção de características sensoriais e qualidades nutricionais, e possuem uma vida útil maior que 12 meses quando corretamente embalados. A liofilização é um processo que requer muito tempo e energia e sua otimização é muito importante, pois permite reduzir custos de processo melhorando a qualidade do produto. O tipo e a velocidade de congelamento têm grande repercussão na estrutura final do produto, pois, nele, a distribuição dos poros depende do tamanho e da localização dos cristais de gelo formados, como também o conhecimento do teor de água inicial e final (equilíbrio) do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície durante a liofilização possibilitam fundamentar a liofilização. Diversos pesquisadores vem otimizando o processo da liofilização e alguns destes trabalhos serão descritos:

CAVALCANTI MATA et al. (2005) obtiveram a graviola em pó, submetendo a polpa de graviola a um processo de liofilização. Para o processo de liofilização, a polpa de graviola foi congelada a uma temperatura de -50°C , tendo-se estabelecido nesta temperatura, sua cinética de congelamento. O material em forma de pó e em forma de polpa foi submetido a análises química para determinação de ácido ascórbico, açúcares totais e redutores, acidez total titulável, determinação dos sólidos solúveis totais e pH. A graviola em pó produzida foi, também, submetida a uma análise sensorial quanto aos aspectos de cor, sabor, aroma e aparência. Para comprovação de manutenção do sabor, o produto em pó foi reconstituído com água sendo elaborado um suco de graviola com os mesmos quantitativos de elaboração de um suco de graviola proveniente de uma fruta *in natura*. Desta forma, neste trabalho pode-se concluir que graviola em pó obtida pelo processo de liofilização conserva em grande parte as suas características organolépticas, no entanto os valores nutricionais foram alterados em virtude do produto ter sofrido uma concentração.

MENEZES, TORRES & SRUR (2008) analisaram alguns nutrientes da polpa de açaí liofilizada. Os resultados de determinações analíticas mostraram que esse produto na forma de pó é um alimento altamente calórico, 489,39 kcal/100 g de polpa liofilizada principalmente em função dos altos conteúdos de lipídeos (40,75%), dos quais 52,70% representado pelo ácido oléico (C18:1) e 25,56% pelo palmítico (C16:0). O teor de carboidratos totais foi de 42,53% \pm 3,56 e o de proteínas foi de 8,13 g \pm 0,63 por 100 g de açaí liofilizado. Na avaliação do perfil de minerais foi demonstrado que o potássio (900 mg/100 g de polpa de açaí liofilizado) e o cálcio (330 mg/100 g de polpa de açaí liofilizada) foram os minerais observados em maior abundância. O magnésio também apresentou concentrações importantes (124,4 mg em 100 g de polpa liofilizada), diferente do ferro (4,5 mg em 100 g de polpa liofilizada). Diante dos resultados obtidos na avaliação da composição nutricional da polpa de açaí liofilizada, é

possível concluir que esse processo pode ser considerado como uma excelente alternativa de conservação dessa polpa devido a presença de importantes componentes nutricionais encontrados na mesma.

FERREIRA et al. (2008) avaliaram o efeito de duas temperaturas de congelamento na crio secagem do extrato de soja acrescido de polpa de cajá. Pesquisou-se ainda, a utilização de modelos matemáticos para a representação do comportamento das curvas de secagem. Para o processo de liofilização utilizou-se duas amostras congeladas a $-129\text{ }^{\circ}\text{C}$, em vapor de nitrogênio líquido, e $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ em freezer comercial. Para a representação das curvas de secagem foram utilizados os modelos matemáticos de Midilli et al., Dois termos, Henderson & Pabis e logarítmico. De acordo com os resultados obtidos o comportamento da cinética de secagem não foi afetado com as diferentes temperaturas aplicadas no congelamento. Dentre os modelos testados, o modelo de Midilli foi a que melhor prediz a cinética de desidratação do extrato de soja-cajá apresentando o maior R^2 e menor DQM.

MARQUES (2008) analisou a liofilização de cinco frutas tropicais: abacaxi, acerola, goiaba, mamão papaya e manga, onde foram realizados estudos específicos do congelamento criogênico e determinação da cinética de liofilização. A influência do processo sobre a qualidade do produto foi avaliada através da temperatura de congelamento. As frutas liofilizadas foram caracterizadas por estruturas altamente porosas, altas taxas de reidratação e elevado preservação de nutrientes.

CHAVES et al. (2009) estudaram a obtenção de mangaba em pó utilizando o processo de liofilização para tanto se determinou a cinética de congelamento de polpa de mangaba às temperaturas de -30 , -50 , -170 e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ e posteriormente a cinética de liofilização para obtenção do produto em pó. Foram também determinadas as caracterizações químicas e físico-química dos produtos *in natura* e produto liofilizado. Na cinética de liofilização para a temperatura do produto congelado a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Verificou-se que após 24 h de processo o produto se mantinha ainda úmido, com um teor de água de 24% b.u., necessitando de um tempo maior para atingir o teor de água ideal para o armazenamento. Verificou-se também que o tempo de congelamento para as amostras de polpa de mangaba, como esperado, foi menor à medida que se utilizaram temperaturas mais baixas. Conclui-se que os modelos utilizados representam satisfatoriamente o fenômeno físico de congelamento e liofilização da mangaba.

NASCIMENTO (2009) estudou os componentes físico-químicos da polpa de cajá, do leite de cabra, das formulações compostas de leite de cabra e diferentes concentrações de polpa de cajá (0, 10, 20 e 30%) e do produto em pó obtido pelo processo de liofilização das

formulações do leite de cabra com diferentes concentrações de polpa de cajá; as cinéticas de liofilização das formulações e a análise sensorial das formulações, quanto ao aroma, sabor, aparência e cor. Os valores dos parâmetros físico-químicos da polpa de cajá e do leite de cabra se encontram de conformidade com a legislação vigente, com exceção dos valores de sólidos não gordurosos e lactose do leite de cabra. Os valores de teor de água, acidez total titulável, açúcares redutores, não redutores e açúcares totais das formulações compostas por leite de cabra e polpa de cajá, aumentam com a adição de polpa de cajá, enquanto os valores de sólidos totais, proteínas, teor de sólidos solúveis totais, lipídios e pH, diminuíram com a adição de polpa de cajá. As formulações em pó se mantiveram de acordo com a legislação, para o leite em pó modificado e a literatura pesquisada. A adição de polpa de cajá ao leite de cabra aumentou o tempo de secagem em que as formulações com 0, 10, 20 e 30% de polpa de cajá apresentaram tempos de secagem de 36, 40, 48 e 52 h, respectivamente. Considerou-se o modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata como o que melhor prediz o comportamento da secagem.

OLIVEIRA, AFONSO & COSTA (2011) caracterizaram o sapoti liofilizado quanto à composição físico-química, mineral e avaliaram seu comportamento higroscópico por isotermas de adsorção. Para efeito de comparação, a caracterização físico-química foi realizada tanto para a polpa do sapoti, quanto para o pó obtido a partir dos cortes do fruto liofilizado. As análises foram: pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores e teor de água. O pó de sapoti sendo um produto mais concentrado apresentou altos teores de açúcares redutores (9,67% - 36,09%), sólidos solúveis totais (15,67 - 65,50 °Brix) e ácido ascórbico (8,45 - 9,84mg/100 g).

FERREIRA (2011) Estudou a cinética de secagem por liofilização das formulações de umbuzadas congeladas nas condições de -20 a -50 °C e avaliou dentre os modelos de Cavalcanti Mata, Page e Midilli, Kucuk e Yapar, qual representa o comportamento das curvas de secagem e quantificou o efeito da temperatura de congelamento e do percentual de polpa de umbu nas características físico-químicas e sensoriais da umbuzada liofilizada. Com base nos resultados obtidos verificou-se que o extrato de soja na proporção soja:água de 1:8 apresentou as melhores características sensoriais. A formulação com 50% de polpa de umbu apresentou a maior taxa de secagem por liofilização e o modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor representou o comportamento das curvas de secagem por liofilização.

VIEIRA, NICOLETI & TELIS (2012) avaliaram a cinética de secagem e os parâmetros de qualidade – conteúdo de vitamina C, reidratação e textura – de fatias de abacaxi

liofilizadas em função da espessura e da temperatura de congelamento. Abacaxis do tipo Havaí, variedade Smooth Cayenne, Os resultados do presente trabalho mostraram que existe uma forte dependência da cinética de secagem e dos atributos de qualidade de fatias de abacaxi liofilizadas em função das condições utilizadas durante a etapa de congelamento, mesmo sendo este classificado como congelamento lento. Por outro lado, a taxa de congelamento não é a única variável que tem influência sobre a cinética de secagem e os atributos de qualidade. A combinação de temperatura e teor de água, tanto durante a liofilização propriamente dita, quanto durante a etapa de reidratação, tem influência sobre a transição vítrea do material que, por sua vez, afeta a extensão do colapso estrutural sofrido pelo produto.

3.3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, Paraíba, no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia (CT) do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, e no Laboratório de análise físico-química de alimentos, do setor de Agroindústria pertencente ao Campus Belo Jardim do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Belo Jardim, PE.

3.3.1 – Matéria-prima

Utilizou-se a polpa das cactáceas como matéria-prima obtida a partir do fruto de facheiro e do fruto de mandacaru adquiridos na região semiárida do Estado da Paraíba e Pernambuco após o processo de obtenção da polpa e cascas de cactáceas, como descrito no Capítulo 1.

3.3.2 - Cinética de liofilização da polpa dos frutos do facheiro e mandacaru

A liofilização da polpa dos frutos do facheiro e mandacaru foi realizado de acordo com o Fluxograma (Figura 3.5). O congelamento a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi realizado em freezer, a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ em balcão criogênico. A liofilização foi realizada no liofilizador Marca Terroni, modelo de Bancada Série LS 6000 A, a temperatura de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e um vácuo parcial de $100\text{ }\mu\text{m Hg}$, de acordo com TERRONI (2008), como observado na Figura 3.6.

Fluxograma do processo de liofilização de obtenção das polpas dos frutos de facheiro e de mandacaru, encontra-se na Figura 3.5.

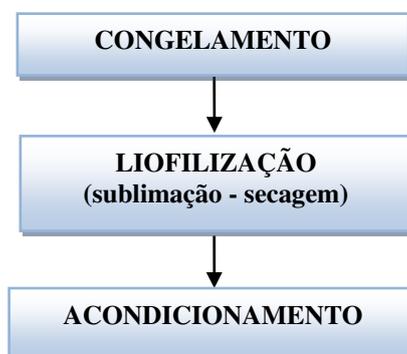


Figura 3.5 – Fluxograma do processo de liofilização

As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio e congelada na forma de placa de 10 mm de espessura e após o congelamento foram colocadas dentro de um tubo de vidro com capacidade de 500 ml com boca de diâmetro de 75 mm e acoplado a válvula (manifolds) do liofilizador conforme a Figura 3.7.

Durante a secagem foram monitorado o tempo de liofilização e o teor de água do produto A cada 2 horas fechava-se a válvula (manifolds), as amostras eram retiradas para pesagem, em balança digital semi-analítica modelo As5500c da marca Marte. Esta operação foi repetida até peso constante, finalizando-se o processo.



Figura 3.6 – Liofilizador Marca Terroni, modelo LS 6000 A

Para prever a cinética de liofilização foram utilizados os modelos matemáticos de CAVALCANTI MATA (2004), Midilli, Kucuk & Yapar (MIDILLI, KUCUK & YAPAR, 2002), PAGE (1949) e Exponencial de Dois Termos (MARQUES, 2008). A partir dos dados da

razão do teor de água expresso na equação 3.7 em função do tempo de liofilização, determinaram-se o rendimento e a cinética de liofilização.

$$RX = \frac{X_i - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.7)$$

em que:

RX - razão do teor de água, adimensional

X_i - teor de água na base seca no instante t , kg

X_e - teor de água na base seca no equilíbrio, kg

X_0 - teor de água na base seca no início da liofilização, kg

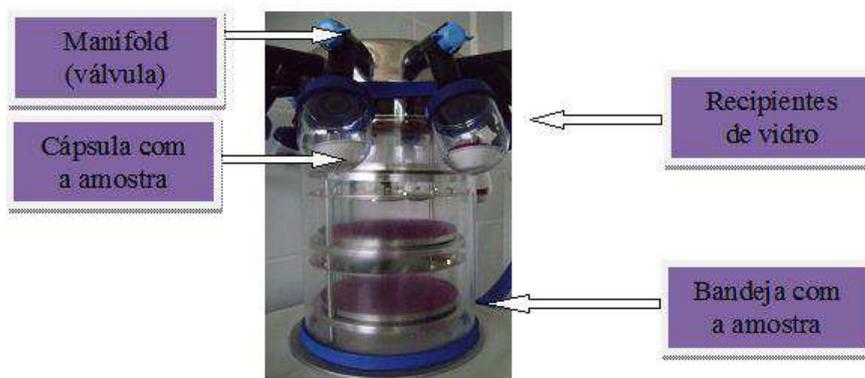


Figura 3.7 – Câmara de secagem do Liofilizador Marca Terroni, modelo LS 6000 A

Ao final, o produto foi acondicionado em embalagens metalizadas de polipropileno, revestidas internamente com polietileno, de densidade de $75,14 \text{ g m}^{-2}$ e as embalagens foram fechadas utilizando-se uma seladora a vácuo, como demonstrado na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Seladora a vácuo e embalagens metalizadas de polipropileno, revestidas internamente com polietileno

Após o fechamento as embalagens foram devidamente rotuladas para identificação do conteúdo, constando a data de fabricação e a temperatura de congelamento em que o produto foi liofilizado. O produto foi armazenado a temperatura ambiente sob ventilação e condições higiênico-sanitárias adequadas, dentro de caixas de isopropileno expandido.

3.3.3 – Determinação das características química e físico-química da polpa dos frutos de cactáceas em pó obtido por liofilização

Os procedimentos para realização das análises físico-química do produto liofilizado em pó obtido da polpa do fruto do facheiro e mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, foram os mesmos como descrito no Capítulo I.

Realizou-se a caracterização do produto liofilizado em pó das polpas de facheiro e mandacaru de acordo com as metodologias recomendadas pela legislação em vigor (BRASIL, 2005; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.3.3.1 – Sólidos solúveis totais

A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada, por leitura direta, através de um refratômetro digital da marca BIOBRIX e modelo 106-D, com intervalo de medição de 58 a 92 °Brix, através do índice de refração da amostra, onde a presença de sólidos solúveis resulta numa alteração do índice de refração da solução, sendo possível determinar a quantidade de soluto pelo conhecimento do índice de refração da solução aquosa, segundo a metodologia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

3.3.4 – Preparação dos sucos formulados com polpas dos frutos do facheiro e de mandacaru liofilizado

Para a formulação do suco utilizou-se a polpa do fruto do facheiro e mandacaru em pó, liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, reconstituído e diluído na proporção (massa:massa) de 1:0,5 (água:polpa) de acordo com BRASIL (2009) com adição de 10% de sacarose.

3.3.5 – Análise sensorial

O suco da polpa do fruto do facheiro e mandacaru liofilizado com diferentes temperaturas de congelamento e preparado de acordo com a metodologia descrita no item 3.3.4, foram submetidos à análise sensorial através do teste de comparação múltipla, nos aspectos cor, aroma, aparência e sabor segundo uma escala hedônica, de acordo com MENESES, MESSIAS & BARROS (2011) e SILVA, DUARTE & CAVALCANTI-MATA (2010). Também foi realizado teste de intenção de compra, cuja escala variou de 1 (Certamente compraria) a 5 (Certamente não compraria) de acordo MAIA et al. (2014); FERREIRA et al. (2011). A análise sensorial foi realizada com 50 provadores de ambos os sexos, idade entre 18 a 65 anos não treinados, recrutados dentre alunos, técnicos administrativos e professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Belo Jardim, PE, receberam as amostras codificadas com números de três dígitos aleatórios, o suco das cactáceas foram homogeneizados em liquidificador doméstico e servida a uma temperatura de 15 °C em copos plásticos descartáveis com capacidade para 50 ml. Os degustadores foram instruídos a fazer uma pausa entre a análise de uma amostra e outra, servindo-se de bolachas, água e sal e de água mineral, que foram servidos juntamente com as amostras, no sentido de minimizar os efeitos do sabor residual deixado pela amostra anterior. Quando avaliaram os produtos, os degustadores responderam à ficha para avaliação sensorial que encontra-se no Apêndice C-C3 (Figura C1.1 e C1.2).

3.3.6 – Análise estatística

Os coeficientes das equações da cinética de secagem do processo de liofilização da polpa do fruto do facheiro e da polpa do fruto do mandacaru foram obtidos por meio da regressão não-linear utilizando-se o método Quase-Newton, do programa computacional Statistica, versão 7.0 (STATIST, 2005). Para a escolha do melhor ajuste foram analisados o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P).

Os resultados das análises química e físico-químicas do produto liofilizado em pó obtido da polpa do fruto do facheiro, e da polpa do fruto do mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C foram analisados utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009), para o delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 3 repetições.

Na análise sensorial do suco formulado com polpas do fruto do facheiro e da polpa do fruto do mandacaru e do produto liofilizado em pó obtido da polpa dos frutos dessas cactáceas nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C preparado na proporção de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose, empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, utilizando-se o programa computacional CONSENSOR 1.1 (SILVA, DUARTE & CAVALCANTI-MATA, 2010).

3.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 - Cinética de liofilização

Encontram-se, na Tabela 3.1 e 3.2, os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk e Yapar, Page e de Exponencial de Dois Termos, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios das curvas de liofilização da polpa do fruto do mandacaru e da polpa do fruto do facheiro nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Tabela 3.1 - Parâmetros dos modelos matemáticos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização da polpa do fruto do mandacaru

T (°C)	Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R^2	P(%)
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆		
-25	0,49196	0,12501	1,33237	0,49196	1,33237	-0,01117	0,99875	6,26
-60	0,49196	0,09830	1,33237	0,49196	1,33237	-0,01117	0,99580	6,03
-150	0,49329	0,07501	1,25849	0,49329	1,25849	-0,01206	0,99675	9,20
T (°C)	Parâmetros do Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar					R^2	P(%)	
	A	K	N	B				
-25	0,98757	0,12499	1,26023	-0,00019	-	-	0,99758	6,41
-60	0,97299	0,09635	1,27814	-0,00033	-	-	0,99566	6,09
-150	0,97122	0,07331	1,35147	-0,00030	-	-	0,99664	9,30
T (°C)	Parâmetros do Modelo de Page					R^2	P(%)	
	K	N						
-25	0,12995	1,24909	-	-	-	-	0,99747	6,53
-60	0,10685	1,24631	-	-	-	-	0,99523	6,15
-150	0,08338	1,30984	-	-	-	-	0,99621	9,70
T (°C)	Parâmetros do Modelo Exponencial de Dois termos					R^2	P(%)	
	A	K						
-25	0,99999	0,20579	-	-	-	-	0,99350	58,57
-60	0,99998	0,17545	-	-	-	-	0,99090	120,11
-150	1,80854	0,21946	-	-	-	-	0,99548	64,86

Tabela 3.2 - Parâmetros dos modelos matemáticos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de liofilização da polpa do fruto do facheiro

T (°C)	Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R^2	P(%)
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆		
-25	0,47006	0,12082	1,06581	0,54686	1,06581	-0,02669	0,99890	5,83
-60	0,50653	0,10768	1,11125	0,51027	1,11125	-0,02070	0,99974	8,40
-150	0,51616	0,10005	1,03579	0,51603	1,03579	-0,03468	0,99953	5,53
T (°C)	Parâmetros do Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar					R^2	P(%)	
	A	K	N	B				
-25	0,98894	0,11993	1,08603	-0,00078	-	-	0,99877	6,19
-60	0,99509	0,09931	1,12652	-0,00060	-	-	0,99947	9,08
-150	0,99661	0,10805	1,05230	-0,00097	-	-	0,99968	6,23
T (°C)	Parâmetros do Modelo de Page					R^2	P(%)	
	K	N						
-25	0,11672	1,11974	-	-	-	-	0,99815	6,79
-60	0,09564	1,15809	-	-	-	-	0,99918	11,16
-150	0,10001	1,10766	-	-	-	-	0,99913	9,80
T (°C)	Parâmetros do Modelo Exponencial de Dois termos					R^2	P(%)	
	A	K						
-25	0,99999	0,15104	-	-	-	-	0,99672	83,20
-60	1,66582	0,17530	-	-	-	-	0,99918	64,77
-150	1,58250	0,15785	-	-	-	-	0,99922	66,77

As análises dos resultados indicam que todos os modelos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk e Yapar, Page e Exponencial de Dois Termos se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, com os coeficiente de determinação (R^2), apresentando próximos a 1. Na Tabela 3.1 e 3.2, o modelo Cavalcanti Mata apresentou o valor de R^2 mais próximo de 1 (um), variando de 0,99953 a 0,99890 para a polpa do fruto do facheiro e para a polpa do fruto do mandacaru de 0,99580 a 0,99875 nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C. Nas mesmas Tabelas nota-se que, o modelo Cavalcanti Mata apresentou o menor valor do desvio percentual médio, considerando-se que o desvio percentual médio (P) deve ser inferior a 10%. Neste trabalho, assim verifica-se que o único modelo que apresentou este erro acima deste percentual foi o modelo de Exponencial de Dois Termos, variando de 58,51 a 120,11% para ambas as polpas.

Constata-se ainda nas Tabelas 3.1 e 3.2, que a constante de secagem, a₂ para o modelo de Cavalcanti Mata e k para os modelos de Midilli, Kucuk e Yapar e Page, apresentaram valores decrescente em função do decréscimo da temperatura de congelamento de -25 para -150 °C, esta variação, demonstra a influência da temperatura de congelamento no processo de liofilização. Comportamento similar foi constatado por MARQUES (2008), estudando a influência do tipo de congelamento na liofilização de frutas tropicais, onde k variou de 0,491

a 0,300 no modelo de Page para o fruto de mamão papaya no congelamento no vapor de nitrogênio líquido e imerso no nitrogênio líquido, respectivamente. FERREIRA (2011) na secagem de diferentes formulações da umbuzada com extrato de soja composta de 30, 40 e 50% de polpa de umbu nas temperaturas de -20, -170 e -196 °C, encontrou variação do coeficiente de secagem (a_2) de 0,0414 a 0,0367 para o modelo de Cavalcanti Mata.

O valor dos coeficientes a_3 e a_5 , que são constante do modelo de Cavalcanti Mata, apresentaram pequenas variações, sem indicar uma tendência em seus valores, o mesmo ocorrendo com o coeficiente n dos modelos de Midilli, Kucuk e Yapar e Page. De acordo KARATHANOS & BELESSIOTIS (1999) este coeficiente é influenciado pela formação de crosta (camada externa) na superfície do material durante a secagem, sendo proporcional com a espessura da mesma. Estes autores obtiveram valor para o coeficiente (n) no intervalo de 1,02 a 1,79 na secagem de frutos frescos e semissecas, no entanto nas temperaturas de congelamentos estudadas neste trabalho não houve formação dessa estrutura, em que resultou nos coeficientes com baixos valores: 1,25849 a 1,35147 e 1,06581 a 1,15809 para a liofilização da polpa do fruto do mandacaru e da polpa do fruto de facheiro, respectivamente, nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C. Comportamento similar obteve MARQUES (2008) em que o valor do coeficiente (n) variou de 0,939 a 1,495, durante o processo de liofilização do fruto da acerola e não houve formação da camada externa. AGRA (2006) liofilizando o fruto da manga fatiada a -24 °C, obteve os coeficiente a_3 e a_5 para o modelo de Cavalcanti Mata igual 1,30557 e 1,23368, respectivamente, próximo aos encontrado neste trabalho. FERREIRA et al. (2008) obtiveram o coeficiente (n) igual a 1,301 a -196 °C e 1,304 para -29 °C para o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar apresentando-se praticamente constante.

Os modelos analisados de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar e Page representam bem a cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru e da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C. Portanto conclui-se que, dentre esses modelos o de Cavalcanti Mata, por apresentar os maiores coeficientes de determinação (R^2), os menores desvios percentuais médios, coeficiente de secagem com a maior representação na tendência influência da temperatura de secagem e os coeficientes do modelo com a variação similar aos demais, conclui-se que, entre os modelos matemáticos estudados Cavalcanti Mata é o que melhor prediz a cinética de secagem. Verifica-se ainda, visualmente, nas Figuras de 3.9 a 3.16, que as curvas geradas a partir do modelo de Cavalcanti Mata se aproximam mais dos pontos experimentais que os demais modelos.

Comportamento similar foi constatado pelos autores: NASCIMENTO (2009), ao estudar a cinética de liofilização do leite de cabra com polpa de cajá, FERREIRA (2011) ao estudar a cinética de liofilização do extrato de soja com polpa de umbu; CHAVES et al. (2008), ao estudarem a cinética de liofilização da polpa de pinha.

Os valores experimentais da razão de teor de água (RX) em função do tempo de secagem pelo processo de liofilização da polpa do fruto de facheiro e de mandacaru se encontram nas Tabelas C1.1 e C1.2 (Apêndice C-C3).

Nas Figuras de 3.9 a 3.16 encontram-se dados experimentais das cinéticas de liofilização da polpa do fruto do facheiro e da polpa do fruto do mandacaru e as curvas representadas pelos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk e Yapar, Page e do modelo Exponencial de Dois Termos.

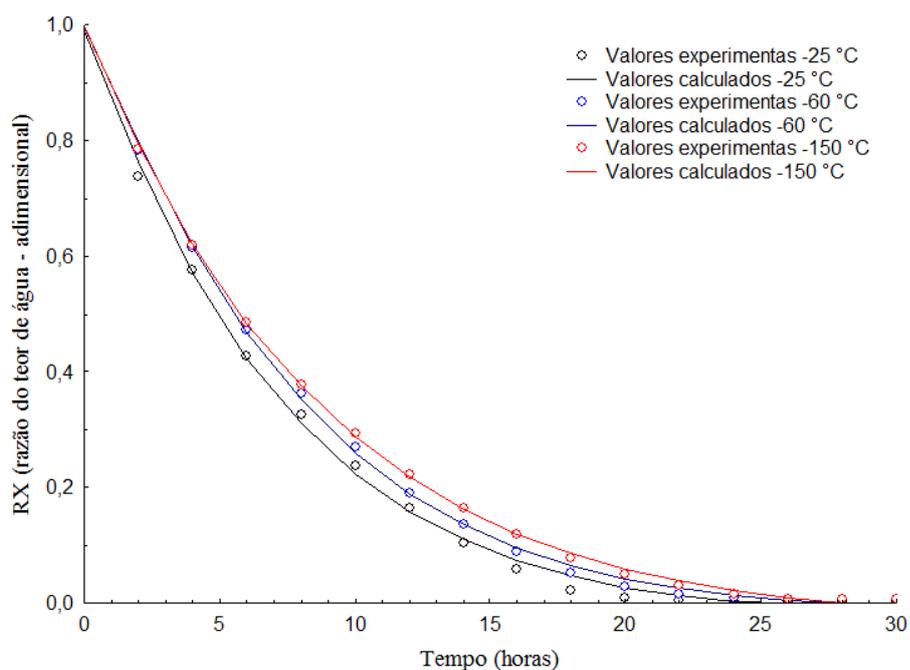


Figura 3.09 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Cavalcanti Mata

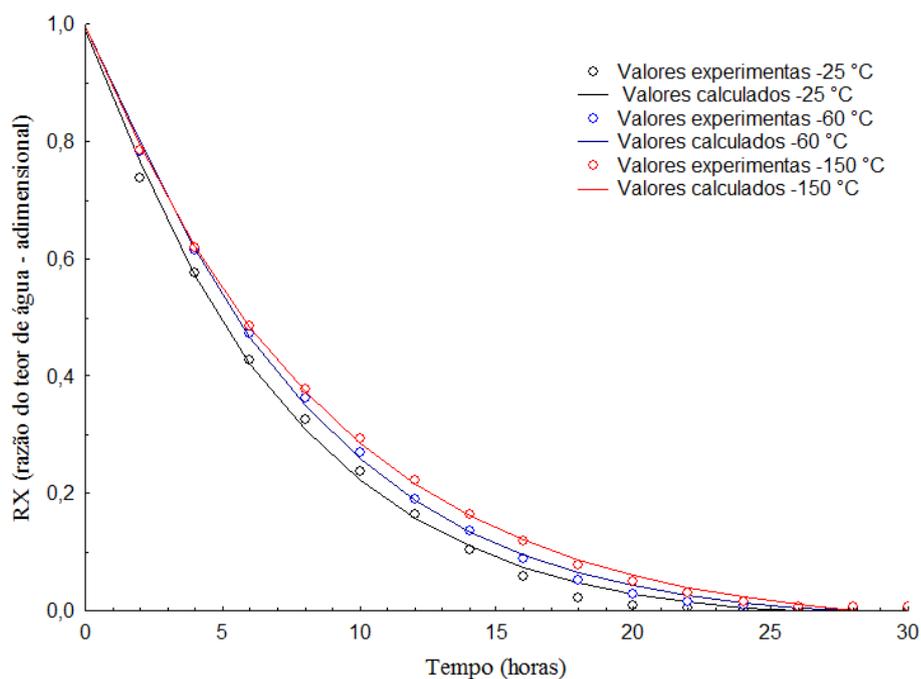


Figura 3.10 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar

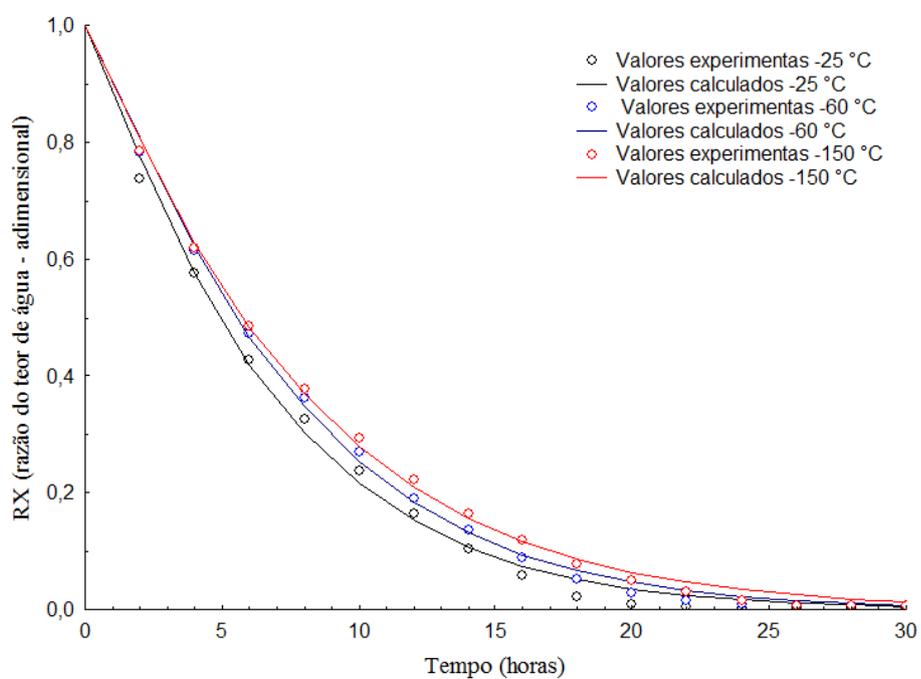


Figura 3.11 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Page

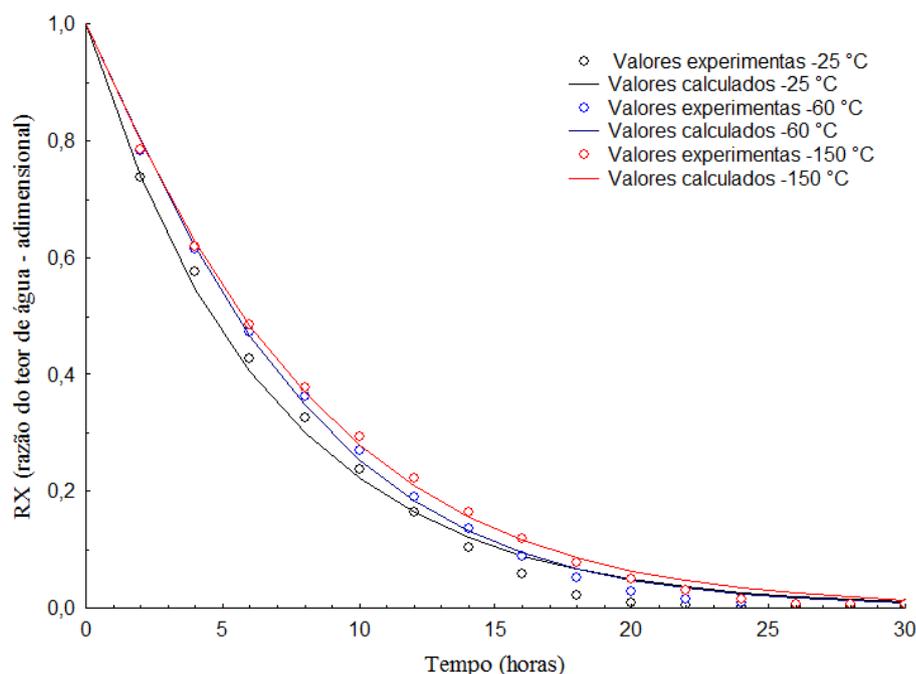


Figura 3.12 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de exponencial de dois termos

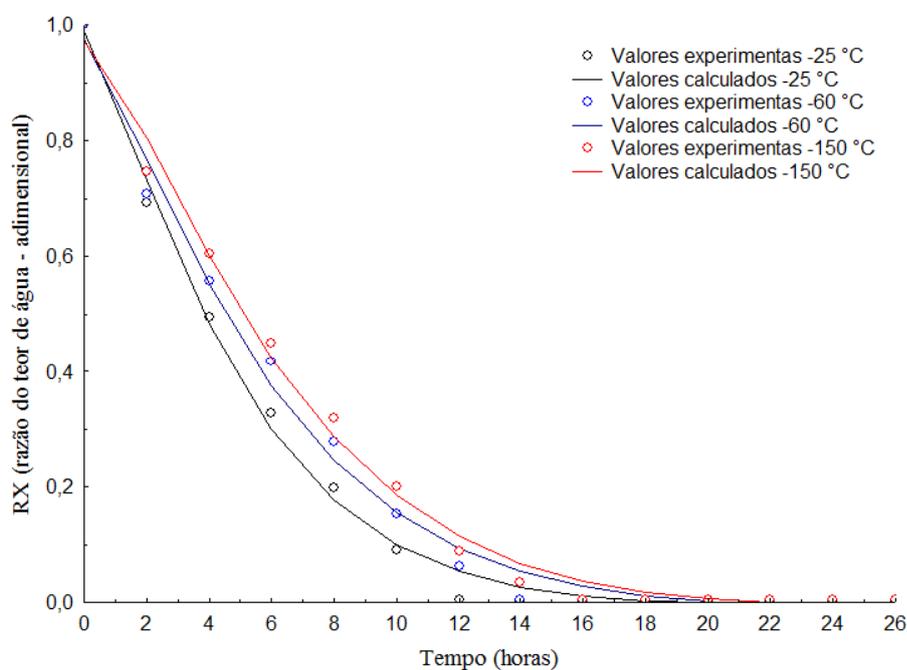


Figura 3.13 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Cavalcanti Mata

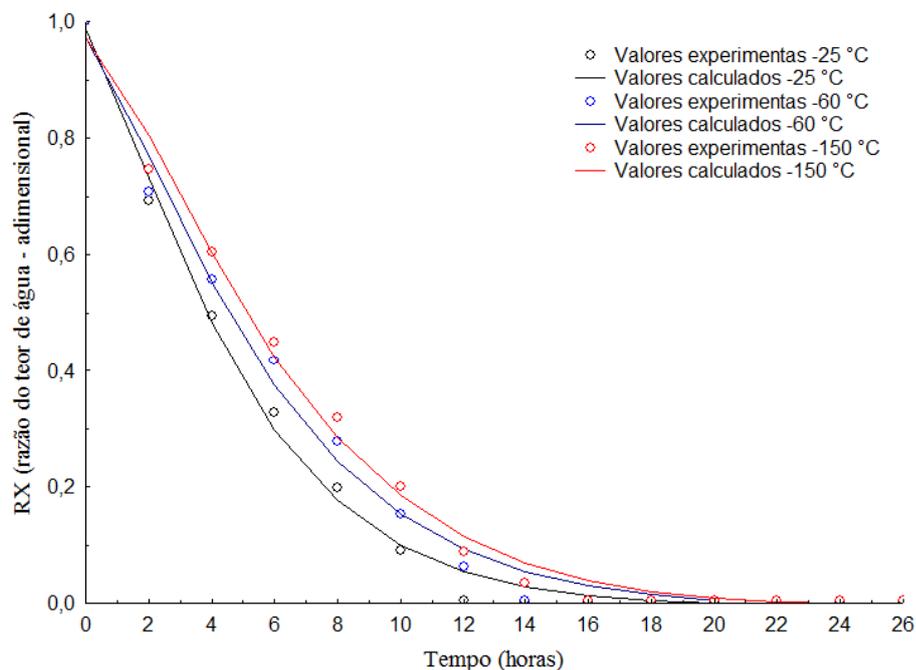


Figura 3.14 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar

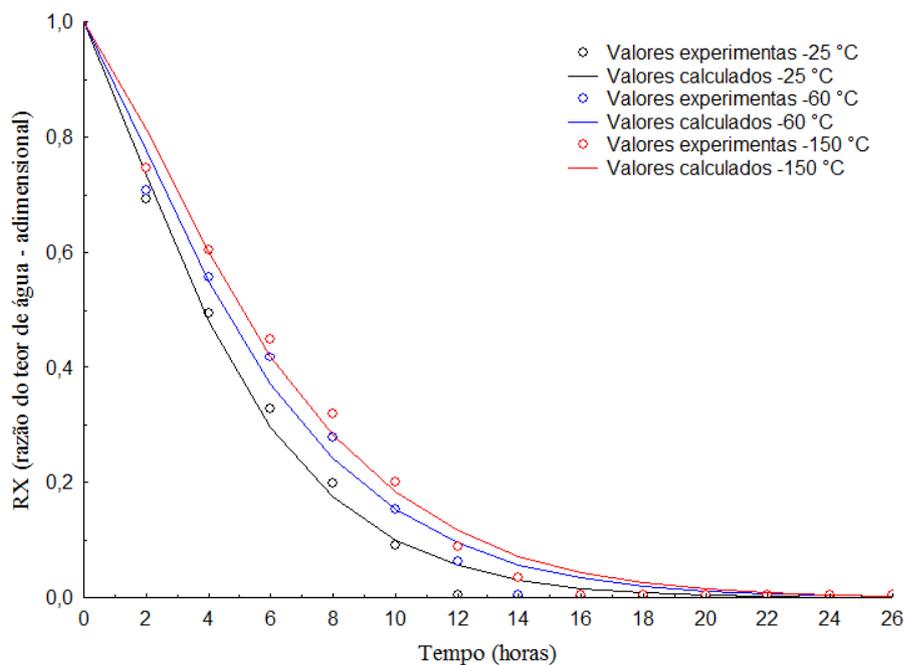


Figura 3.15 - Cinética de liofilização da polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de Page

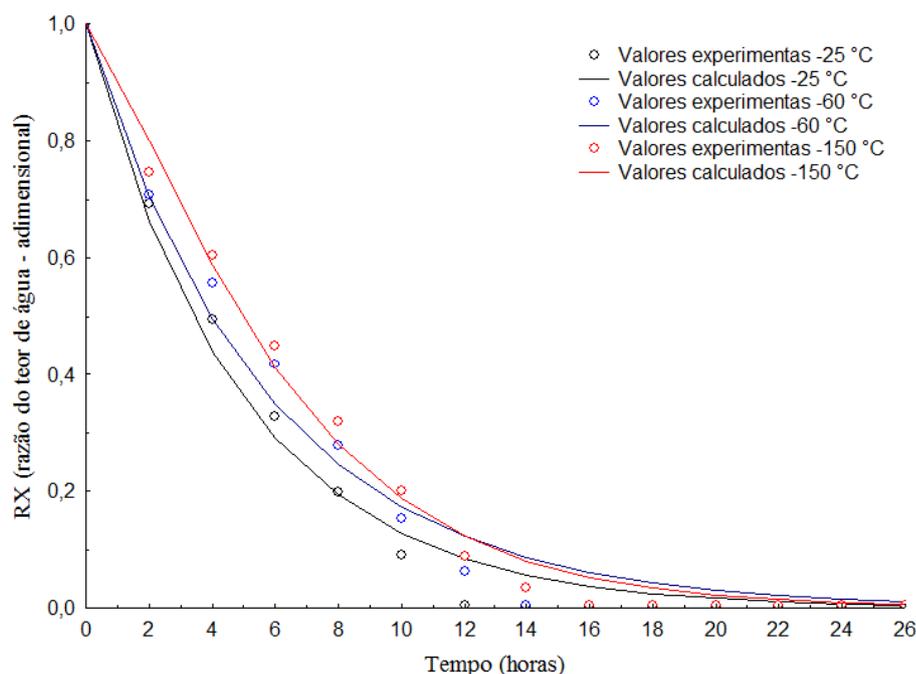


Figura 3.16 - Cinética de liofilização da polpa do fruto do mandacaru nas temperaturas de -25, -60 e -150 °C - Modelo de exponencial de dois termos

Comparando-se as Figuras de 3.9 a 3.16, observa-se que o tempo de secagem aumenta com a diminuição da temperatura de congelamento da polpa, provavelmente devido ao tipo de congelamento. No congelamento lento os cristais de gelo são grandes e diminuem a medida que a temperatura de congelamento diminui, em consequência os poros formados são maiores neste congelamento conforme CHAVES, MARQUES & FREIRE (2009), ou seja nas temperaturas mais altas, resultando em maiores taxas de transferência de vapor d'água e menor tempo de secagem, constatando-se a influência da temperatura de congelamento nas curvas de liofilização. Comportamento similar foi encontrado por FERREIRA (2011) na secagem de umbuzada com extrato de soja composta de 40 e 50% de polpa de umbu nas temperatura de -20, -170 e -196 °C e por MARQUES & FREIRE (2005) estudando a influência do tipo de congelamento na liofilização de polpas das frutas de acerola e mamão. Os autores perceberam que a liofilização ocorre em menor período de tempo no congelamento lento (freezer) e imerso no nitrogênio líquido do que o realizado no congelamento no vapor de nitrogênio líquido. VIEIRA, NICOLETI & TELIS (2012) constataram, com os resultados do seu trabalho que existe uma forte dependência da cinética de secagem e dos atributos de qualidade de fatias de abacaxi liofilizadas em função das condições utilizadas durante a etapa de congelamento.

Para a polpa do fruto de mandacaru com teor de água inicial de 90,16%, o tempo de secagem para as temperaturas de -150, -60, -25 °C foram de 18, 16 e 14 horas respectivamente. Comportamento similar foi observado para a polpa de facheiro com teor de água inicial de 95,89%. A polpa de facheiro congelada a -150, -60, -25 °C utilizaram o tempo de secagem de 24, 22 e 20 horas respectivamente. Observando-se, após a secagem, teores médios de água iguais a 11,32, 13,59, 16,91, 9,69, 11,08, 14,11% b.u., respectivamente. Constata-se, portanto, que o tempo de secagem variou de 14 a 24 horas e que além do aumento do tempo de secagem pela a diminuição da temperatura de congelamento na mesma polpa de mandacaru ou facheiro, ocorre também aumento do tempo de secagem pelo o aumento do teor de água inicial, quando se compara as diferentes polpas de facheiro e de mandacaru pois, segundo FIOREZE (2004), quanto maior for o teor de água inicial de um produto, maior será o tempo de secagem deste produto. FERREIRA (2011) obteve o produto liofilizado no tempo de aproximadamente de 16, 15 e 14h para as formulações, respectivamente de 30% de polpa de umbu com o teor de água de 80,90% b.u.; 40% de polpa de umbu com o teor de água de 80,34% b.u.; 50% de polpa de umbu com o teor de água de 79,73% b.u.), concluindo que o valor do teor de água inicial influencia o tempo da secagem pois, quanto maior o teor de água inicial maior também será o tempo de secagem deste produto. FERREIRA et al. (2008), também estudaram a liofilização do extrato de soja em pó modificado com polpa de cajá, e obtiveram o produto em pó em aproximadamente 25 horas, e CHAVES et al. (2008) ao secarem polpa de pinha pelo processo de liofilização com teor de água inicial de 84,5% b.u. obtiveram o produto em pó com teor de água final de 6,2% b.u em um tempo de aproximadamente 30 h; resultados, estão coerentes com os encontrados neste trabalho.

3.4.2 – Caracterização química e físico-química da polpa dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido pelo o processo de liofilização

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 estão os valores da caracterização química e físico-química da polpa do fruto de facheiro e mandacaru *in natura* e em pó obtido pelo o processo de liofilização nas diferentes temperaturas de congelamento. Nas Tabelas C2.1 a C3.13 (Apêndice C-C3) se tem as análises de variância desses parâmetros químicos e físico-químicos da polpa dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido pelo o processo de liofilização.

Tabela 3.3 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado

Parâmetro	<i>in natura</i>	Temperatura de congelamento °C		
		-25 °C	-60 °C	-150 °C
Teor de água (%)	95,89 ± 0,14a	14,11 ± 1,46b	11,08 ± 0,81b	9,69 ± 0,96b
Sólidos totais (%)	4,11 ± 0,14c	85,88 ± 1,46b	88,92 ± 0,81a	90,30 ± 0,96a
Cinzas (%)	0,12 ± 0,01d	0,79 ± 0,01c	1,63 ± 0,08b	2,55 ± 0,23a
SST (°Brix)	3,98 ± 0,07d	83,27 ± 0,11c	85,63 ± 0,21b	87,33 ± 0,15a
pH	5,16 ± 0,15a	4,83 ± 0,01b	4,82 ± 0,03b	4,86 ± 0,04b
ATT(% ácido cítrico)	0,30 ± 0,04d	2,95 ± 0,04c	3,44 ± 0,07b	4,06 ± 0,07a
AA (mg 100g ⁻¹)	0,15 ± 0,05c	1,31 ± 0,21 b	1,87 ± 0,25ab	2,31 ± 0,51a
AR (% glicose)	3,27 ± 0,04c	69,19 ± 0,44 b	71,57 ± 0,53a	72,96 ± 049a
ANR (% sacarose)	0,53 ± 0,02b	3,49 ± 0,41a	3,74 ± 0,52a	4,74 ± 0,07a
Açúcares totais (%)	3,84 ± 0,03d	72,68 ± 0,84c	75,31 ± 0,90b	77,48 ± 11,14a
Lipídios (%)	0,12 ± 0,03d	1,22 ± 0,03c	1,96 ± 0,25b	2,62 ± 0,38a
Proteína (%)	0,32 ± 0,08d	3,09 ± 0,05c	3,98 ± 0,09b	4,58 ± 0,09a
VC (kcal 100g ⁻¹)	17,70 ± 0,35d	1088,48 ± 45,42c	1255,03 ± 62,12b	1419,04 ± 44,19a

SST - sólidos solúveis totais; ATT - acidez total titulável; AA - ácido ascórbico; AR - açúcares redutores; ANR - açúcares não redutores; VC - valor calórico

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Tabela 3.4 - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos e físico-químicos da polpa do fruto de mandacaru *in natura* e liofilizado

Parâmetro	<i>in natura</i>	Temperatura de congelamento °C		
		-25 °C	-60 °C	-150 °C
Teor de água (%)	90,16 ± 0,05a	16,91 ± 0,95b	13,59 ± 0,19bc	11,32 ± 2,17c
Sólidos totais (%)	10,92 ± 0,05c	83,09 ± 0,95b	86,41 ± 0,19ab	88,62 ± 2,17a
Cinzas (%)	0,68 ± 0,04d	2,85 ± 0,12c	3,63 ± 0,19b	4,75 ± 0,31a
SST (°Brix)	9,73 ± 0,09c	80,90 ± 0,01b	81,10 ± 0,01b	82,47 ± 0,06a
pH	4,23 ± 0,02b	4,21 ± 0,01b	4,23 ± 0,02b	4,33 ± 0,02a
ATT(% ácido cítrico)	0,36 ± 0,02d	3,24 ± 0,07c	3,56 ± 0,04b	4,44 ± 0,04a
AA (mg 100g ⁻¹)	4,05 ± 0,66c	14,92 ± 2,66b	19,79 ± 2,88ab	23,27 ± 3,14a
AR (% glicose)	9,37 ± 0,50d	66,26 ± 0,81c	70,49 ± 0,46b	75,00 ± 0,52a
ANR (% sacarose)	0,72 ± 0,01c	3,19 ± 0,41b	3,62 ± 0,97b	5,47 ± 0,56a
Açúcares totais (%)	10,24 ± 0,06d	69,45 ± 0,77c	74,11 ± 0,50b	80,47 ± 0,60a
Lipídios (%)	0,08 ± 0,01d	0,58 ± 0,04c	0,70 ± 0,02b	0,81 ± 0,01a
Proteína (%)	0,19 ± 0,05c	1,24 ± 0,05b	1,35 ± 0,05b	2,09 ± 0,5a
VC (kcal 100g ⁻¹)	42,39 ± 0,18d	920,04 ± 33,42c	1157,30 ± 30,21b	1665,68 ± 64,33a

SST - sólidos solúveis totais; ATT - acidez total titulável; AA - ácido ascórbico; AR - açúcares redutores; ANR - açúcares não redutores; VC - valor calórico

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Avaliando os dados apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4, constata-se que, em relação às polpas *in natura* e liofilizada nas diferentes temperaturas de congelamento, houve um aumento significativo nos valores de sólidos totais (%), cinzas (%), sólidos solúveis (° BRIX), acidez total titulável (% ácido cítrico), ácido ascórbico (mg 100g⁻¹), açúcares redutores (% glicose), açúcares não redutores (% sacarose), açúcares totais (%), lipídios (%), proteínas (%), e valor calórico (kcal 100g⁻¹), constatação esta já prevista, uma vez que o produto foi concentrado devido à eliminação parcial da água. Fato similar foi encontrado por CHAVES et al. (2009) ao estudar a liofilização da polpa de mangaba para obtenção da fruta em pó; por FERREIRA (2011) na secagem das formulações da umbuzada com extrato de soja composta de 40 e 50% de polpa de umbu nas temperatura de -20, -170 e -196 °C e por MARQUES & FREIRE (2005) estudando a influência do tipo de congelamento na liofilização de polpas das frutas de acerola e mamão.

Os parâmetros encontrados do produto liofilizado (polpa do fruto de facheiro e mandacaru nas temperaturas de congelamento -25, -60, -150 °C) indicaram a tendência de aumentar as concentrações das polpas de facheiro e mandacaru em relação aos teores de sólidos totais, cinzas, sólidos solúveis, acidez, ácido ascórbico, açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, lipídios, proteína e valor calórico. Verifica-se que o teor de água da polpa de facheiro e mandacaru é menor a medida que a temperatura de congelamento diminui, justificando que a liofilização é influenciado pela temperatura do congelamento do produto. Comportamento similar foi constatado por MARQUES (2008) estudando a influência do tipo de congelamento na liofilização de frutas tropicais; VIEIRA, NICOLETI & TELIS (2012) ao realizarem a liofilização de fatias de abacaxi, avaliando da cinética de secagem e da qualidade do produto.

Pode-se observar também nas Tabelas 3.3 e 3.4 que no processo de liofilização do facheiro e mandacaru para as temperaturas de -150, -60, -25 °C, o produto ainda se encontrava com teor de água de 9,69; 11,32; 11,08; 13,59; 14,11; 16,91%, respectivamente, acima do teor fixado pela legislação vigente, BRASIL (2005b) que é, no máximo, 5,0%; implicando que o tempo de processo de secagem para estes tratamentos deveriam ter sido maior para atingir o teor de água ideal para o armazenamento. Fato similar encontrado por CHAVES et al. (2009) ao estudar a liofilização da polpa de mangaba para obtenção da fruta em pó, no congelamento de -50 °C, cujo o teor de água foi em torno de 17% e por NASCIMENTO (2009) no tratamento do leite de cabra com 30% de polpa de cajá liofilizado, apresentou teor de água acima do teor fixado pela legislação.

Na caracterização da polpa de facheiro e mandacaru *in natura* apresentada neste estudo, a média de sólidos solúveis totais foi de 3,98 e 9,73 °Brix, respectivamente, aumentando consideravelmente após o processo de liofilização e alcançando o valor de 83,27; 85,63 e 87,33 °Brix para o facheiro e de 80,90; 81,10 e 82,47 °BRIX para o mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, respectivamente. Valores médios de 89,4 °Brix foram encontrados por CHAVES et al. (2009) para a polpa da mangaba *in natura* e liofilizado, respectivamente e por, OLIVEIRA, AFONSO & COSTA (2011) encontraram os valores para o sapoti de 15,67 °BRIX para o fruto *in natura* e de 65,50 °Brix para o produto liofilizado, fato similar ao relatado no presente estudo.

Nota-se que o teor de ácido ascórbico foi de 0,15; 1,31; 1,87 e 2,31 mg 100 g⁻¹ e de 4,05; 14,92; 19,79 e 23,27 mg 100 g⁻¹ para a polpa *in natura* e o produto liofilizado nas temperatura de congelamento de -25, -60, -150 °C para o facheiro e mandacaru

respectivamente, apresentando o mandacaru os maiores valores na mesma temperatura de congelamento. Verifica-se que teor de ácido ascórbico do facheiro e mandacaru aumenta significativamente a medida que a temperatura de congelamento diminui, o que pode ser atribuído à maior taxa de congelamento, nesse caso, os cristais de gelo formados são menores, levando à menor destruição do tecido celular e favorecendo a preservação do nutriente no interior do produto, justificando que a liofilização é influenciada pela temperatura do congelamento do produto, verifica-se ainda que o calor utilizado no processo de liofilização para a desidratação da amostra não reduziu a quantidade de vitamina C da amostra estudada. GABAS, TELIS-ROMERO & MENEGALLI (2003) afirmaram que em temperaturas mais baixas no mesmo teor de água é menor a degradação da vitamina C. BORTOLATTO & LORA (2008) encontraram valores de 28,10 e 244,61mg 100g⁻¹ de ácido ascórbico para o abacaxi *in natura* e a fruta liofilizada, respectivamente. OLIVEIRA, AFONSO & COSTA (2011) trabalhando com a liofilização de sapoti encontraram valores de 8,45 e 9,84mg 100g⁻¹ de ácido ascórbico para o fruto *in natura* e liofilizado, respectivamente, comportamento similar ao encontrado neste trabalho.

Observa-se que a polpa de facheiro liofilizado não houve um acréscimo significativo neste parâmetro após a liofilização da polpa, cujos valores obtidos estão inferiores ao recomendado (IDR) de acordo com BRASIL (2005), no entanto na polpa de mandacaru liofilizado, os valores obtidos foram próximos, caracterizando o produto com uma fonte de vitamina C.

Observa-se também, nas Tabelas 3.3 e 3.4, que a acidez total titulável aumentou significativamente após o processo de liofilização, tanto para o facheiro quanto para o mandacaru, variando de 2,95 a 4,06% ácido cítrico e de 3,24 a 4,44% ácido cítrico, respectivamente, sendo a acidez um importante parâmetro na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício, entretanto este aumento foi devido a concentração durante a secagem, uma vez que os valores de pH praticamente não se alterou. Os valores da acidez são bem próximos dos encontrados por FERREIRA (2011) ao estudar a cinética de liofilização do extrato de soja com polpa de umbu que variou de 2,84 a 5,86% de ácido cítrico e superior ao encontrado por CHAVES et al. (2009) para a polpa de mangaba que foi 1,5% ácido cítrico.

Os valores para os açúcares totais encontrados são inferiores ao encontrado por OLIVEIRA et al. (2009) que trabalharam liofilizando duas variedades de manga, a Tommy Atkins e a Rosa cujo valor foi de 207,03 e 140,67 %, respectivamente; os valores médios de

proteínas foram inferiores ao encontrado por MENEZES, TORRES & SRUR (2008) para a polpa de açaí liofilizada que foi de 8,13%.

3.4.3 – Análise sensorial

3.4.3.1 – Sucos formulados com polpa do fruto de facheiro

Na Tabela 3.5 se encontram as médias, desvio padrão e os valores dos coeficientes de concordância (CC) das análises sensoriais, atribuídos pelos 50 provadores quanto aos atributos sensoriais: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra, para os sucos formulados com polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, reconstituído e diluído na proporção (massa:massa) de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose.

Tabela 3.5 – Comparação entre as médias, desvio padrão e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os sucos formulados com polpa do fruto de facheiro nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, reconstituído e diluído na proporção de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose

Atributos	<i>In natura</i>	Temperatura de congelamento °C		
		-25 °C	-60 °C	-150 °C
Cor	4,20 ± 0,93	3,40 ± 1,10	3,40 ± 1,20	4,02 ± 0,94
CC%	45,50	26,08	27,02	39,75
Aroma	2,78 ± 1,18	2,96 ± 1,14	2,90 ± 1,13	2,98 ± 1,10
CC%	22,14	20,74	23,02	27,02
Aparência	3,90 ± 1,16	3,40 ± 0,99	3,26 ± 1,14	3,70 ± 0,89
CC%	32,86	34,93	26,65	36,47
Sabor	2,25 ± 1,25	2,90 ± 1,18	2,96 ± 1,18	3,36 ± 1,24
CC%	26,65	19,24	20,74	18,44
Intenção de compra	3,56 ± 1,33	3,10 ± 1,28	3,22 ± 1,17	2,76 ± 1,27
CC%	23,08	19,24	20,25	24,50

Percebe-se na tabela acima, que a maioria das notas atribuídas para os parâmetros de cor, aroma, aparência e sabor as notas ficaram entre 2 a 4, na escala hedônica de 5 pontos utilizada, o que corresponde ao valor do atributo de “desgostei ligeiramente a gostei ligeiramente”, na intenção de compra corresponde o valor de "tenho dúvida se compraria ou não a possivelmente compraria". Verificando a Tabela 3.5, percebe-se que os valores atribuídos pelos provadores aos atributos sensoriais estudados, do suco liofilizado, estão próximos aos valores do suco do fruto de facheiro *in natura*. A preferência dos provadores

pelo suco *in natura* esta nos parâmetros cor e aparência e intenção de compra, que se justifica, devido este suco não ter sido liofilizado, confirmado pelas maiores médias, porém só apresenta o maior coeficientes de concordância para o atributo cor, assim sendo, pode-se confirmar que existiu diferença significativas entre as amostras estudadas e que o houve influência da temperatura de congelamento, no atributo cor. CHOPDA & BARRETT (2001) no estudo da otimização de suco de goiaba e produção em pó, concluíram que não houve diferença significativa entre as amostra sucos de goiaba e o preparado do pó liofilizados. BARBOSA et al. (2013) estudaram o desenvolvimento e análise sensorial de gelatina elaborada com frutas liofilizadas sendo que aparência e cor apresentaram maior aceitação.

3.4.3.2 – Suco formulado com polpa do fruto de mandacaru

Na Tabela 3.6 se encontram as médias, desvio padrão e os valores dos coeficientes de concordância (CC) das análises sensoriais, atribuídos pelos 50 provadores quanto aos atributos sensoriais: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra, para os sucos formulados com polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, reconstituído e diluído na proporção de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose.

Tabela 3.6 – Comparação entre as médias, desvio padrão e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os sucos formulados com polpa do fruto de mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C diluído na proporção de 1:0,5 (água:polpa) com adição de 10% de sacarose

Atributos	<i>In natura</i>	Temperatura de congelamento °C		
		-25 °C	-60 °C	-150 °C
Cor	3,48 ± 1,34	2,95 ± 1,24	3,13 ± 1,07	3,15 ± 1,15
CC%	18,95	14,53	27,72	24,58
Aroma	3,08 ± 1,27	2,64 ± 1,12	2,72 ± 1,20	2,72 ± 1,21
CC%	18,59	19,12	18,89	17,66
Aparência	3,25 ± 1,37	2,93 ± 1,22	3,08 ± 1,19	2,98 ± 1,27
CC%	12,53	16,06	19,63	12,55
Sabor	2,98 ± 1,52	2,61 ± 1,26	2,77 ± 1,36	2,79 ± 1,28
CC%	5,75	26,56	17,97	13,32
Intenção de compra	2,95 ± 1,52	3,36 ± 1,35	2,77 ± 1,36	3,25 ± 1,45
CC%	15,67	14,53	17,97	15,85

Observa-se na Tabela 3.6, que a maioria das notas atribuídas para todos os parâmetros ficaram entre as notas 2 e 3, na escala hedônica de 5 pontos utilizada, o que corresponde ao

valor entre “desgostei ligeiramente e indiferente”, na intenção de compra o que corresponde ao valor entre "possivelmente compraria e tenho dúvida se compraria ou não". Observa-se ainda na Tabela 3.6, que os valores atribuídos pelos provadores aos atributos sensoriais estudados, do suco liofilizado, estão próximos aos valores do suco do fruto de mandacaru *in natura*. A preferência dos provadores pelo suco *in natura* está nos parâmetros cor, aroma, aparência e sabor, que se justifica, devido este suco não ter sido liofilizado, confirmado pelas maiores médias, porém esta tendência não se confirmou nos coeficientes de concordância, assim sendo, pode-se confirmar que não existe diferença significativa entre as amostras estudadas e que não houve influência da temperatura de congelamento. CAVALCANTI MATA et al. (2005), ao analisarem a graviola em pó pelo processo de liofilização, não constataram diferença significativa entre o produto “in natura” e o produto liofilizado.

3.5 - CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que:

Cinéticas de secagem das polpas dos frutos de facheiro e mandacaru pelo o processo de liofilização

- A diminuição da temperatura de congelamento -25, -60 e -150 °C acarreta maior tempo de secagem, para as polpas de facheiro e mandacaru, que apresentaram respectivamente tempos de secagem iguais 20, 22 e 24 horas e 14, 16 e 18 horas respectivamente.
- O modelo matemático exponencial de dois termos, não prediz o comportamento da secagem uma vez que apresenta o desvio percentual médio (P) superior a 10%, mesmo apresentado valores do coeficiente de determinação superior a 0,95.
- Os modelos matemáticos propostos por Cavalcanti Mata e Midilli, Kucuk & Yapar e PAGE predizem o comportamento da secagem uma vez que apresentam o desvio percentual médio (P) inferior a 10% e apresentam valores do coeficiente de determinação superior a 0,95. Sendo o modelo proposto por Cavalcanti Mata o que melhor prediz por apresentar os maiores coeficientes de determinação (R^2), os menores desvios percentuais médios e os coeficiente de secagem (a_2) apresentarem um comportamento claro de diminuição com a diminuição da temperatura de secagem.
- As curvas de secagem das polpas dos frutos de facheiro e mandacaru nas temperaturas de congelamento -25 e -60 °C mostram um comportamento típico do congelamento da água pura, percebendo-se claramente as três fases: resfriamento, cristalização e pós congelamento.

Caracterização química e físico-química do pó obtido pelo o processo de liofilização da polpa do fruto de facheiro e mandacaru

- Com relação à caracterização química e físico-química da polpa liofilizada os valores de sólidos totais, cinzas, sólidos solúveis, acidez total titulável, ácido ascórbico, açúcares

redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, lipídios, proteínas e valor calórico aumentaram com a diminuição da temperatura de congelamento; os teores de água diminuíram; já os valores do pH tiveram pouca influência.

- O pó obtido das polpas do fruto de facheiro e mandacaru liofilizado apresentaram teores de água de 10,74; 12,47; 16,46; 12,81; 15,73; 20,36% b.s., respectivamente, acima do teor fixado pela legislação vigente.
- A polpa liofilizada do fruto de mandacaru contém quantidades de vitamina C próximas a recomendação diária, podendo ser utilizado como fonte deste nutriente, não ocorrendo o mesmo para o produto liofilizado do facheiro.
- O teor de sólidos solúveis aumentaram consideravelmente após o processo de liofilização obtendo o valor de 83,27; 85,63 e 87,33 °Brix para o facheiro e de 80,90; 81,10 e 82,47 °Brix para o mandacaru nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C, respectivamente.

Análise sensorial

- Os sucos formulados com a polpa do fruto de facheiro *in natura* foram que apresentaram os maiores valores quanto à preferência nos atributos cor e aparência porém todas as formulações apresentam tendência para o consumo, onde foram classificadas em desgostei ligeiramente a gostei ligeiramente e na intenção de compra de tenho dúvida se compraria ou não a possivelmente compraria.
- Os sucos formulados com a polpa do fruto de mandacaru *in natura* foram as que apresentaram os maiores valores quanto à preferência nos atributos cor, aroma e aparência porém todas as formulações apresentam menor tendência para o consumo em relação ao suco de facheiro, onde foram classificadas em desgostei ligeiramente a indiferente e na intenção de compra de tenho dúvida se compraria ou não a possivelmente compraria.

- Não houve diferença significativa entre as amostra *in natura* e as amostras liofilizadas, confirmando a não influência da temperatura de congelamento sobre os atributos sensoriais.

3.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 5492**: análise sensorial. Rio de Janeiro, 2014. 25p.

AGRA, N. G. **Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas e sensoriais**. 2006. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J.P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.1, p.81–87, 2009.

ALMEIDA, M. E. F.; CORRÊA, A. D. Utilization of cacti of the genus *Pereskia* in the human diet in a municipality of Minas Gerais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p.751-756, abr., 2012. ISSN 0103-8478.

ALMEIDA, F. A. C.; RIBEIRO, C. F. A.; TOBINAGA, S.; GOMES, J. P. Optimization of the osmotic drying process to obtain dry products of Tommy Atkins mango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.9, n.4, p.576-584, 2005. ISSN 1807-1929. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400022>. Acesso em: 15 março 2014.

ABIR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E BEBIDAS NÃO ALCÓOLICAS. **Pesquisa de mercado**. Disponível em: <http://abir.org.br/>. Acesso em: 24 maio 2014.

ALVAREZ, M. D.; SAUNDERS, D. E. J.; VINCENT, J. F. V.; JERONIMIDIS, G. An reengineering method to evaluate the crisp texture of fruit and vegetables. **Journal of Texture Studies**, Madrid, v.31, n.4, p.457-473, 2000.

BARBOSA, M. I. M. J.; SANTOS, R. B.; CHARÃO, K. S.; SOUTO, R. M.; JÚNIOR, J. L. B. Development and sensory analysis of prepared with freeze-dried fruit gelatin. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.2, p.129-136, 2013. ISSN 1517-8595.

BASTOS, D. H. M.; FRANCO, M. R. B.; DA SILVA, M. A. A. P.; JANZANTTI, N. S.; MARQUES, M. O. M. Composição de voláteis perfil de aroma e sabor de méis de eucalipto e laranja. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.122-129, maio/ago., 2002.

BIANCHI, S. I. P.; VALDUGA, E. E.; FINZER, J. R. D. Secagem de cogumelo por liofilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 14. 2002, Natal. **Anais...** Natal: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2002. CD-ROM

BORGOGNONI, C. F.; BEVILACQUA, J. S.; PITOMBO, R. N. M. Freeze-drying microscopy in mathematical modeling of a biomaterial freeze-drying. **Brazilian Journal Pharmaceutical Sciences [online]**. 2012, vol.48, n.2, pp. 203-209. ISSN 1984-8250. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-82502012000200003>. Acesso em: 16 julho 2014.

BORTOLATTO, J.; LORA J. Avaliação da composição centesimal do abacaxi (*Ananass comosus* (L.) merril) liofilizado e *in natura*. **Revista de Pesquisa e Extensão em Saúde**, Florianópolis, v.4, p.40-55, 2008.

BOSS, E. A. **Modelagem e otimização do processo de liofilização: aplicação para leite desnatado e café solúvel**. 2004. 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12, de 4 de setembro de 2003. Aprovar o Regulamento Técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade gerais para suco tropical; os padrões de identidade e qualidade dos sucos tropicais de abacaxi, acerola, cajá, caju, goiaba, graviola, mamão, manga, mangaba, maracujá e pitanga; e os padrões de identidade e qualidade dos néctares de abacaxi, acerola, cajá, caju, goiaba, graviola, mamão, manga, maracujá, pêssego e pitanga. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 09 set. 2003c. Edição n.174.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 24, de 08 de setembro de 2005. Aprovar o Manual Operacional de Bebidas e Vinagre, onde constam o modelo de manual da qualidade, o protocolo de validação de métodos físico-químicos, o protocolo de cálculo da incerteza associada às medições e os métodos de análise de bebidas fermentadas, destiladas, não alcoólicas e de vinagre, que passam a constituir padrões oficiais para análise físico-química de bebidas e vinagre. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 set. 2005a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto Nº 6.871, de 4 de Junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 04 jun. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem de alimentos embalados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº. 359, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 26 dez. 2003a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC n. 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 26 dez. 2003b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº. 272, de 22 de setembro de 2003. Aprova o regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2005b.

BOZKIR, O. Thin-layer during and mathematical modeling for washer dry apricots. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.77, n.1, p.146-151, 2006.

BUTZ, P.; TAUSCHER, B. Emerging technologies: chemical aspects. **Food Res. Int.**, v.35, p.279-284, 2002.

CARNEIRO, A.P.G.; ABREU, D.A.; SOARES, D.J.; COSTA, E.A.; SILVA, L.M.R.; BARBOSA, L.C.; SOUSA, P.H.M.; FIGUEIREDO, R.W. Rotulagem e característica de néctares de uva. *Alim. Nutr. Braz. J. Food Nutr.*, v.24, n.2, p.241-249, abr./jun. 2013. ISSN0103-4235.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M.; ALSEMO G.C.S.; RODRIGUES, E.; GUEDES, M.A.; CAVALCANTI, A.S.R.R.M.; OLIVEIRA, C.C.A Obtenção de graviola em pó pelo o processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.2, p. 165-172, 2005.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Modelagem e simulação de secagem de feijão macassar considerando-se o encolhimento e os diferentes graus de maturidade fisiológicas**. Projeto de pesquisa, Campina Grande, PB. UFCG, 2004, 60p.

CHAVES, A.S.; CAVALCANTI, M.E.R.M.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M. Obtenção da pinha em pó pelo o processo de liofilização. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 5, 2008, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG/ CNPq, 2008. CD.

CHAVES, A.S.; CAVALCANTI, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M; SOUSA, S.; CAVALCANTI, M.E.R.R.M. CAVALCANTI, A.S.R.R.M.; Pulp lyophilization of mangaba to obtain the powder fruit. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 6, 2009, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG/ CNPq, 2009. CD.

CHAVES, K.C.B.; MARQUES, L.G.; FREIRE, J.T. Determinação das curvas de congelamento em freezer convencional e nitrogênio líquido da pimenta “dedo-demoça”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2009, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

CHOPDA, C.A.; BARRETT, D.M. Optimization of guava juice and powder production. **Journal of Food Processing and Preservation**. v.25, p.411-430, december. 2001.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucuscarota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.34, n.1, p.5-9, 2003.

CORREIA, L.F.M.; FARAONI, A.S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M. Efeitos do processamento industrial de alimentos sobre a estabilidade de vitaminas. **Alim. Nutr.** , Araraquara v.19, n.1, p.83-95, jan./mar. 2008. ISSN 0103-4235.

CUNHA, J.G.S.; OLIVEIRA, P.S.G.; MENDES, T.G.; GINANI, J.S.; ZANDONADI R.P. Efeitos dos diferentes tipos de processadores domésticos na produção de suco de frutas e seu impacto na curva glicêmica. **Alim. Nutr.** , Araraquara v.21, n.1, p.65-70, jan./mar. 2010. ISSN 0103-4235.

DINIZ, E.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de acerola concentradas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1 p9-17, 2003.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Osmotic dehydration of sliced pineapple of two cultivars in inverted sugar syrup. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, SP, v.27, n.4, p.701-709, 2007. ISSN1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000500013>.

DOYMAZ; I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.77, n.3, p.559-565, 2006.

DONSI, G.; FERRARI,G.; MATTEO D.I. Utilization of Combined Processes in Freeze-Drying of Shrimps. **Food and Bioproducts Processing**, v.79, n.3, p.152-159, June 2001.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: Champagnat, 2007. 239 p.

ELES-MARTÍNEZ, P.; MARTÍN-BELLOSO, O. Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. **Food Chem.**, v.102, n.1, p.201-209, 2007.

EMBRAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br>. Acesso: em 2 de mai. 2014.

EVANGELISTA, José. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. 652 p.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model, **Journal of Food Engineering**, Oxford, v.63, n.3, p.349-359, 2004.

FARAONI, A.S.; RAMOS, A.M.; GUEDES, D.B.I; PINTO, M.R.M.R. Rheological properties of mixed juices of mango, guava and acerola with added phytochemicals. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v.16, n.1, p.21-28, jan./mar. 2013 <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000002>.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; LAUREANO, J. Efeito dos métodos de conservação, tipos de embalagens e tempo de estocagem na coloração de polpa de manga "Uba" produzida em sistema orgânico. **Revista Ceres**, v.55, n.6, p.504-511, 2008.

FAVERET FILHO, P.; LIMA, E.T.; PAULA, S.R.L. Exportações de sucos e polpas. **Brasil Alimentos**. n. 12, janeiro/fevereiro. 2002.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERREIRA, J. C., **Processo para o desenvolvimento da umbuzada em pó liofilizada, composta de polpa de umbu, extrato de soja e rapadura**. 2011. 295f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processo) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

FERREIRA, J. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, E. M.; DANTAS, H. J.; SILVA, A. S. **Cinética de secagem do extrato de soja em pó modificado com polpa de cajá (*Spondias lútea* L.) pelo o processo de liofilização.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37, 2008, Foz do Iguaçu, PR. CD.

FIGLIARELLI, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos.** 1ª ed. Editora Universitária. João Pessoa – PB. 2004. 229p.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, n.23, p. 66-70, dez. 2003.

GAVA, A.J.; SILVA, C.A.B.; FRIAS, J.R.G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**, São Paulo, Editora Nobel, p.522, 2008. ISBN 978-85-213-1382-3.

GEORGE, J. P. & DATTA, A. K. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. **Journal of Food Engineering**, n.52, p.89-93. 2002.

GOUVEIA, D.S.; UGULINO, S.M.P.; DUARTE, M.E.M.; CAVALCANTI MATA, M.E. Kinetics of black bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) in tray dryer. **Holos**, a. 27, v.1 p.38-48, 2011. ISSN 1807-1600.

GULARTE, Márcia Arocha. **Manual de análise sensorial de alimentos.** Pelotas, RS: UFPel, 2002.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos.** 1.ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em:<(http://www.crq4.org.br/sms/files/file/analisedealimentosial_2008.pdf-) >. Acesso em: 01 fevereiro 2011.

KARATHANOS, V. T., BELESSIOTIS, V. G. Application of thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, n.74, p.355–361. 1999.

KAREL, M. Freeze dehydration of food, In: **Principles of food science**; Part II. Physical Principles of Food Preservation, 1 ed. Marcel Decker, New York. p.359-395, 1975.

KEREKES, B.; ANTAL,T.; SIKOLYA, L.; DINYA, Z. Different test results of some freeze-dried food products. In: **16th International drying symposium, International drying symposium**. Hyderabad, India, 9-12 November. 2008. p.1377-1381

KONKEL, F.E.; OLIVEIRA, S.M.R.; SIMÕES, D.R.S.; DEMIATE, I.M. Sensory evaluation of doce de leite with different concentrations of starch. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.2, p.249-254, abr.-jun. 2004.

KOROISHI, E.T. **Estudo do processo de liofilização: aplicação para suco de laranja**. 2005. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

KROKIDA, M. K.; PHILIPPOPOULOS, C. Volatility of apples during air and freeze drying. **Journal of Food Engineering**, v.73, n.2, p.135-141, 2006.

LIMA, C.A.; FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; COHEN, K.O.; GUIMARÃES, T.G. Physico-chemical characteristics, polyphenols and yellow flavonoids in fruits of commercial and wild pitaya species from the brazilian savannas. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.35, n.2, p.565-570, Junho 2013.

LOPES, P.R.C.; OLIVEIRA,V.H.; FREITAS. J.A.D. Produção integrada de frutas. In: SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 10, 01 a 04 de setembro de 2003, Fortaleza, Ceará, 2003. CD.

MAIA, J.D.; TRAVÁLIA, B.M.; ANDRADE, T.A.; SILVA, G.K.C.; ANDRADE, J.K.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.M.; MOREIRA, J.J.S. Development, physical-chemical, microbiological and sensory Analises of tamarind jam. **Revista GEINTEC**, São Cristóvão. v.4, n.1, p.632-641, 2014. ISSN: 2237-0722. D.O.I.: 10.7198/S2237-0722201400010017.

MARCELLINI, P.S.; DELIZA, R.; BOLINI, H.M.A. Caracterização sensorial de suco de abacaxi concentrado, reconstituído e adoçado com diferentes edulcorantes e sacarose. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.17, n.2, p.143-150, abr./jun. 2006. ISSN 0103-4235.

MARQUES, L.F. et al. Secagem precedida de desidratação osmotica de pseudofruto de caju: comparação entre modelos matemáticos aplicados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.161-170, 2007 issn 1517-8595.

MARQUES, L. G.; FREIRE, J.T. Lyophilization of barbados cherry and papaya pulps. In: **3rd Inter-American Drying Conference**. Ste-Anne de Bellevue, Québec, Agosto, p.21-23, 2005.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia química) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. 2008.

MELO, K.S.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; ; FERNANDES, T.K.S.; BEZERRA, M.C.T. Foam-mat drying of cereus jamacaru pulp fruit: testing and fitting of mathematical models. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.26, n.2, p.10-17, abr.-jun., 2013. ISSN 1983-2125.

MENESES, F.; MESSIAS, G.M. ; BARROS, N.E F. Análise sensorial de suco de uva orgânico - teste de aceitação. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v.12, n.12, p.01–05, 2011.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, S. Armando Ubirajara. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. [online]. **Acta Amazônica**, v.38, n.2, p. 311-316. 2008. ISSN 0044-5967. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000200014>.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v.20, n.7, p.1503–1513, 2002.

MORAES, S. O.; RODRIGUES, V. C. **Secagem de alimentos**. Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2006. 5 p.

NASCIMENTO, M. A. G. **Obtenção do leite de cabra em pó com diferentes concentrações de polpa de cajá**. 2009. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.

OLIVEIRA, A.L.; CABRAL, F.A.O; EBERLIN, M.N.; CORDELLO, H.M.A.B. Sensory evaluation of black instant coffee beverage with some volatile compounds present in aromatic oil from roasted coffee. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p.76-80, jan.-mar. 2009. ISSN 0101-2061.

OLIVEIRA, A.S.; SANTOS, D.C.; OLIVEIRA, E.N.A.; SILVA, F.L.H.; FLORENTINO, E.R. Production of alcoholic fermentation from the mandacaru fruit without thorns (*cereus jamacaru*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.271-277, 2011. ISSN 1517-8595.

OLIVEIRA, G.R.; SANTOS, J.T.S.; CAMPOS, A.F.P.; NUNES, T.P.; RUSSO, S. L.; JUNIOR, A.M.O. Technological forecasting: lyophilization process in the food industry. **Revista GEINTEC**– ISSN: 2237-0722. São Cristóvão, SE. v.3, n.1, p.92-102, 2012. D.O.I.:10.7198/S2237-0722201300010008.

OLIVEIRA, V.S.; AFONSO, M.R.A.; COSTA, J.M.C. Physico chemical and hygroscopic behavior of sapodilla lyophilized. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.342-348, abr-jun, 2011. ISSN 1806-6690.

ORDÓÑEZ, J.A.P. et al. **Tecnologia de alimentos, componentes dos Alimentos e processos**. 1.ed. Porto Alegre. Artmed Editora S.A, 2005a, v.1, 294 p.

ORDÓÑEZ, J.A.P. et al. **Tecnologia de alimentos, componentes dos Alimentos e processos**. 1.ed. Porto Alegre. Artmed Editora S.A, 2005b, v.2, 279 p.

OSAWA, C.C. et al. Sensory profile evaluation of light peach tea. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28(Supl.), p.102-108, dez. 2008. ISSN 0101-2061.

PACHECO, R.F.; SILVA, A.V.F. Aplicação de modelos quantitativos de previsão em uma empresa de transporte ferroviário. In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 13, Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. Lafayette, Mechanical Engineering Department. Dissertação de mestrado, 1949.

PARK; K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. Conceitos de processo e equipamentos de secagem. Campinas, p.121, 2007.
<http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>.

PARK, K.J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F.P.R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of gardenmint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v.51, p.193-9, 2002.

PAULOS, K.V.F. **Qualidade sensorial de salsichas frescas de carne de ovinos e caprinos**. 2012. 159f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias da Ciência Animal) - Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança. 2012.

PINTO, W.S.; DANTAS, A.C.V. L.; FONSECA, A.A.O.; LEDO, C. A.S.; JESUS, S. C.; CALAFANGE, P.L.P.; ANDRADE, E.M. Physical, physico-chemical and chemical characterization of fruits of true yellow mombin. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1059-1066, set. 2003.

RADÜNZ, L.L.; MOSSI, A.J.; ZAKRZEWSKI, C.A.; AMARAL, A.S.; GRASSMANN, L. Drying kinetics analysis of sage leaves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.9, p.979-986, 2010.

RATTI, C. Hot air and freeze drying of high-value food: a review. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.311-319, 2001.

ROCHA, M.M.R.M. **Liofilização como método de agregar valor ao camarão marinho *litopenaeus vannamei***. 2010. 183f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

RIBEIRO, P.F.F.A.C. **Processo de Liofilização de Produtos Alimentares Perecíveis**. 2012. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa. 2012.

SANTOS, C.T.; BONOMO, R.F.; CHAVES, M.A.; FONTAN, R.C.I.; BONOMO, P. Kinetics and modeling of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) drying in a tray dryer. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v.32, n.3, p.309-313, 2010.

SILVA, F. S. A.; AZEVEDO, C.A.V. Principas components anlysis in the software Assistat-statistical attendance. In WORD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2009. Beta.

SILVA F.S.A.; DUARTE, M.E.; CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. new methodology for data interpretationof food sensorial analysis. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.967-973, set./out. 2010.

SIMÕES, D. R. S.; WASZCZYNSKYJ, N.; WOSIACKI, G. Aromas em maçãs, suco e sidra. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.27, n.1, p.153-172. 2009.

SOARES, L.C.; OLIVEIRA, G.S. F. DE; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C.S.; SILVA JUNIOR A. Obtention of drink from cashew apple juice (*Anacardium occidentale, L.*) AND guarana extract (*Paullinia cupana sorbilis Mart. Ducke*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.23, n.2, p.387-390, agosto 2001.

SOUZA, M.L.; MENEZES, H.C. Sensorial evaluation of matutinal cereals of the brazil nut with extruded cassava. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.26, n.4, p.950-955, out.-dez. 2006.

STATISTICA. **Statistica. Software.version 7.0.** Tucksá: StatSof, 2005.

STEINLE, S.R.; GUERREIRO, N.F.; TOLEDO, F.O.; SHIGUEMOTO, G.E.; BOLINI, H.M.A. Avaliação da aceitação de chá-mate adoçando com aspartame, extrato de estévia [Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni] e sacarose, antes e após exercício físico. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, Curitiba, PR, v.23, n.1, p.85–94, jan./ jun. 2005.

SUCUPIRA, N.R.; XEREZ, A.C.P.; SOUSA, P.H.M. Losses of Vitamins in Heat Treatment of Foods. **Revista Científica e Ciência de Biologia e Saúde**;v.14, n.2, p.21-8. 2012.

TEIXEIRA, L.V. Sensory analysis in the food industry. **Revista Instituto de Laticínio Cândido Tostes**, Jan/Fev, nº 366-64: p.12-21, 2009.

THEODORO, J.D.P.; MADRONA, G.S.; THEODORO, P.S.; VEIT, M.T.; BERGAMASCO, R. Aplicação da cinética de segunda e terceira ordem do cloreto férrico para obtenção de água potável. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2011, Maringá, PR. ISBN 978-85-8084-055-1.

THOMAZINI, M.; FRANCO, M.R.B. Metodologia para análise dos constituintes voláteis do sabor. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.34, n.1, p.52-59, jan./jun. 2000.

TERRONI - **Manual de instruções: Apostila de operação liofilizador de bancada LINHA LS**, 2008. 41p.

TOGRUL, H. Suitable drying model for infrared drying of carrot. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.77, n.3, p.610-619, 2004.

VIEIRA, A.P.; NICOLETI, J.F.; TELIS, V.R.N. Freeze drying of pineapple slices: evaluation of drying kinetics and product quality. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v.15, n.1, p.50-58, jan./mar. 2012.

WAUGHON, T.G.M.; PENA, R.S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, Curitiba v.26, n.2, p.297-306, jul./dez. 2008.

WEI WANG; GUOHUA CHEN. Numerical Investigation on Dielectric Material Assisted Microwave Freeze-Drying of Aqueous Mannitol Solution. **Drying Technology: An International Journal**. v.21, n.6, p.995-1017, 2003. DOI: 10.1081/DRT-120021870.

ZERAIK, M.L.; PEREIRA, C.A. M.; ZUIN, V.G.; YARIWAKE, J.H. Passion fruit: a functional food?. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. v.20, n.3, p.459-471, Jun./Jul. 2010. ISSN 0102-695X.

ZAPATA MAIRENA, M.G. **Desarrollo y evaluación física y química de un refresco a base de Pitahaya (Hylocereus undatus)**. 2007. 29f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia na Agroindústria Alimentícia) – Universidade de Zamorano, Honduras .2007.

**APROVEITAMENTO AGROINDUSTRIAL DE CACTÁCEAS
DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

CAPÍTULO 4

**SECAGEM DAS CASCAS DOS FRUTOS DO FACHEIRO (*Pilosocereus pachycladus*
Ritter) E MANDACARU (*Cereus jamacaru* P. DC.) PELO PROCESSO CONVECTIVO**

4.1 – INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com cerca de 42 milhões de toneladas/ano, ocupando uma área de mais de 2 milhões de hectares. Paralelamente a esse segmento, a produção de polpas de frutas naturais vem se notabilizando pelo forte crescimento do consumo de acordo com FAO (2013).

Aumentar a produção de vegetais e ampliar as exportações destas matérias-primas é uma tendência no agronegócio, bem como a redução das perdas que ocorrem em toda a cadeia produtiva é imprescindível, visto que em países emergentes a estimativa das perdas chega a 50% para alguns produtos. No Brasil essa realidade não é diferente, desde o produtor até o consumidor, a magnitude de perdas é considerável (SOUZA, 2004).

Este cenário se torna mais evidente quando se trata de cadeias produtivas, em que, os produtos são altamente perecíveis, como é o caso das frutas e hortaliças os prejuízos são em torno de 30 a 40 % de acordo MARTINS & FARIAS (2002). A produção de frutas (trinta milhões de toneladas por ano), o desperdício varia entre 20 a 35% afirma VANIN & NOVELLO (2008).

No Brasil em torno de 40% das perdas de alimentos derivados de frutas ocorrem nas etapas de pós-colheita e processamento. Medidas de controle devem ser adotadas da perspectiva do produtor, por meio de técnicas pós-colheita adequadas, programas de conscientização, melhoria das instalações de armazenamento e cadeia do frio. O desperdício de alimentos ocorre desde o plantio até o consumo final. Estima-se que das 40% de perdas de 20 % ocorrem no plantio e colheita, 8 % no transporte e armazenamento, 15 %, no processamento industrial, 1 %, no varejo e 17 % no destino final (GONDIM et al., 2005).

A indústria de alimentos, em especial a de processamento de frutos, produz ao longo de sua cadeia produtiva uma grande quantidade de resíduos agroindustriais, o que gera perda de divisas, além de inúmeros problemas ambientais (SENA & NUNES, 2006).

Os principais resíduos gerados no processamento de polpas de frutas, dependendo do tipo da fruta processada são, casca, caroço ou sementes e bagaço (SOUZA et al., 2011). Entretanto, na produção de polpas para doces e outros derivados, há grande produção de cascas que, segundo as pesquisas de GONDIM et al. (2005) apresentam teores de nutrientes maiores do que os das suas respectivas partes comestíveis, além de serem ricas fontes de fibras.

Aumentar a produção de frutas e hortaliças é uma solução primária para atender a futura demanda global de alimentos, seja aumentando a área plantada ou o rendimento das culturas. Viabilizar a chegada do alimento produzido até a população, através da redução de perdas e desperdícios com a adoção de soluções eficientes ao longo da cadeia produtiva, configura uma das formas de garantir segurança alimentar e nutricional a todo o mundo. Neste sentido, a integração das partes componentes da cadeia produtiva passa a ser ação essencial para o gerenciamento das perdas, uma vez que cada parte isolada tem efeito positivo ou negativo sobre a outra (FAO, 2011).

Um dos principais alvos da indústria de alimentos é encontrar formas de aproveitamento dos resíduos gerados, que possam ser revertidos em benefícios financeiros a fim de minimizar ou até evitar impactos ambientais (CARRENHO, FIGUEIREDO & SABINO, 2012; PENA & MENDONÇA, 2009). Um dos processos alternativos que pode ser utilizado com tal finalidade é a secagem (AKPINAR, 2006; PONTES et al., 2007; SILVA & VIOTTO, 2010) A qualidade dos alimentos conservados, depende do teor de água, a migração desta água, e a absorção de água pelo produto durante o armazenamento afirma (SILVA & VIOTTO, 2010; GOUVEIA et al., 2011).

No entanto, o processamento de frutas pelas indústrias gera grandes quantidades de resíduos, que podem ser perfeitamente utilizados no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, aumentando seu valor agregado. É interessante também lembrar que o aproveitamento destes resíduos, principalmente as cascas, irá contribuir para a melhoria do meio ambiente, tendo em vista os grandes volumes produzidos pela indústria e eliminados em locais inadequados.

Como o homem necessita, de qualquer modo, de uma alimentação sadia, rica em nutrientes, isto pode ser alcançado com partes de alimentos que normalmente são desprezadas. Sendo assim, é importante a utilização de cascas, talos e folhas, pois o aproveitamento integral dos alimentos, além de diminuir os gastos com alimentação e melhorar a qualidade nutricional do cardápio, reduz o desperdício de alimentos e torna possível a criação de novas receitas, como, por exemplo, sucos, doces, geleias, pães e farinhas (GONDIM et al., 2005).

Uma alternativa que vem ganhando corpo desde o início da década de 1970 consiste no aproveitamento de resíduo (principalmente cascas) de certas frutas como matéria-prima para a produção de alguns alimentos perfeitamente passíveis de serem incluídos na alimentação humana, trata-se sem sombra de dúvidas de uma proposta plausível, concreta,

visto que estes resíduos, representam extraordinariamente fontes de materiais considerados estratégicos, para algumas industriais brasileiras (OLIVEIRA et al., 2002). Um dos processos alternativos que pode ser utilizado com tal finalidade é a secagem (AKPINAR, 2006).

Os resíduos compostos por casca e partes das plantas, caule e ramos, das cactáceas seca e transformada em pó apresenta aroma agradável e delicado, podendo ser incorporados ao trigo para a elaboração de produtos de panificação. Por ser uma planta excepcionalmente adaptada às condições do semiárido nordestino, merece ser objeto de trabalhos que estimulem seu aproveitamento como fonte de alimento e renda, visto que pode ser produzida em escala, aproveitando a vantagem comparativa que advém de sua adaptação ao clima e solo, afirma ALMEIDA et al. (2007).

A secagem é uma operação muito utilizada, desempenhando importante papel em quase todos os setores da indústria de consumo, sendo muitas vezes, a etapa final de uma série de operações unitárias. Entre outros, a secagem visa a conservação dos alimentos, o armazenamento por um longo período de tempo, a redução dos custos de transporte (ZIGLIO et al., 2007; PENA & MENDONÇA, 2009).

A utilização de farinhas não convencionais na fabricação de pães, produz alguns efeitos relacionados à adição de fibras sem a redução do volume, aumento da firmeza da casca, alteração de coloração, modificação do sabor, aumento da absorção de água e menor tolerância à fermentação (TACO, 2006). O principal desafio é determinar a quantidade ideal de adição deste produto sem que isso prejudique as características tecnológicas do produto original (OLIVEIRA et al., 2007). Baseado em MOURA et al. (2009) a obtenção das cascas desidratadas (farinha) dos frutos das cactáceas pode minimizar perdas, desperdícios, agregar valor ao produto, aumentar a quantidade e melhorar a qualidade da dieta do pequeno produtor rural, tornando-se uma alternativa sustentável.

As cascas são constituídas basicamente por carboidratos, proteínas e pectinas o que possibilita o aproveitamento das mesmas para a fabricação de farinhas, podendo se tornar uma alternativa viável para resolver o problema da eliminação dos resíduos, além de aumentar o seu valor comercial. Diante do exposto, neste capítulo se teve por objetivo estudar o aproveitamento das cascas do fruto de mandacaru e do fruto de facheiro para a produção de farinha panificável utilizado no pão de forma integral e sua aceitação através da análise sensorial.

4.1.2 – Objetivo

Estudar a cinética de secagem por convecção e determinar o modelo que melhor prediz as curvas de secagem das cascas do facheiro e mandacaru para as temperaturas de 50, 60, 70 °C.

Verificar as influências das variáveis de entrada (temperatura e velocidade do ar de secagem) com influência sobre as respostas teor de água, rendimento do processo e tempo de secagem das cascas do facheiro e mandacaru para as temperaturas de 50, 60, 70 °C.

Avaliar as características químicas e físico-químicas (teor de água, sólidos totais, cinzas, pH carboidratos, lipídios, proteína bruta, e valor calórico) das cascas in natura e das cascas secas (farinha) dos frutos do facheiro e do mandacaru.

Avaliar as características sensoriais (cor, aparência, aroma e sabor) do pão de forma integral formulado com a adição da farinha das cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru, na concentração de 10%, em substituição a farinha de trigo, nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C.

4.2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1 – Resíduos de produtos biológicos

O Brasil é um importante produtor mundial de produtos agrícolas, porém apresenta altos índices de desperdício, durante toda a cadeia produtiva, principalmente na industrialização e comercialização, por se tratar de matéria-prima facilmente suscetível à degradação. (TESARO et al., 2010).

Diversos estudos relatam o aproveitamento de resíduos de produtos biológicos compostos por casca e partes das plantas, caule e ramos, gerados durante o beneficiamento de frutas e vegetais, para obtenção de produtos com maior valor agregado. Da casca do melão foram desenvolvidos três produtos, compota, doce e doce glaceado (MIGUEL et al., 2008). As cacas de maracujá são consideradas adequadas para a produção de doce em calda (OLIVEIRA et al., 2002). Do resíduo da batata cozida a vapor, fornecido pela indústria, obteve-se uma farinha para a elaboração de biscoitos (PERREIRA et al., 2005). Aproveitamento de resíduos vegetais para produção de farofa temperada (DAMIANI et al. 2011). Atualmente, tem-se dado atenção ao enriquecimento de alimentos e, também, ao não desperdício dos mesmos (LAROSA et al., 2006).

Vários estudos sobre o processo de secagem de cascas de frutas foram recentemente realizados. FERREIRA & PENA (2010) estudaram a viabilidade de aproveitamento da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), resíduo da industrialização do suco na secagem em estufa de bandeja, com recirculação de ar, a 60, 70 e 80°C. CARSKY (2007) projetou um secador de leite fluidizado para a escala industrial. LANGRISH (2007) investigou o comportamento de secagem de fibras alimentares em um túnel de secagem. SILVA & VIOTTO (2010) estudaram a secagem do resíduo de limão siciliano.

Na substituição de parte da farinha de trigo por outras fontes, tem-se estudo visando minimizar o desperdício de alimentos e incrementar valor nutricional, como, por exemplo, farinha de casca de batata (FERNANDEZ et al., 2008), farinha de linhaça (OLIVEIRA et al., 2007), Elaboração de Pães com Adição de Farinha de Sabugo de Milho (ZIGLIO et al., 2007), biscoitos tipo cookie adicionados de farelo de trigo e arroz (FEDDERN et al., 2011), elaboração de pão de forma a partir da farinha de soja e farelo de aveia (VASCONCELOS et al., 2006).

4.2.2 – Secagem convectiva

A secagem por convecção é um dos métodos mais utilizados para a conservação de frutas por meio da redução do seu teor de água até níveis entre 10 e 25% base úmida (b.u.) (DIONELLO et al., 2009), com as vantagens de aumentar o prazo de conservação do produto, preservar a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteger contra a degradação enzimática e oxidativa, reduzir o peso e volume, proporcionar economia de energia por não necessitar de refrigeração e promover a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (MARQUES et al., 2007).

A secagem é a eliminação da água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. É necessário o fornecimento de calor para retirar a umidade do produto e um agente que absorve o vapor d'água formado na superfície do produto. O resultado é a separação entre a parte líquida (em geral água) e a parte sólida. (MARCHESE & FIGUEIRA, 2005).

Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento e a artificial, que necessita de fornecimento de energia para evaporar a água do material e também de um sorvedor de água para remover o vapor de água, formado na superfície do alimento (PARK et al., 2001b).

Entre as principais vantagens oferecidas pela secagem de frutas está a concentração dos nutrientes e o maior tempo de vida de prateleira. Além disso, o sabor permanece quase inalterado por longo tempo, uma vez que é minimizada a proliferação de micro-organismos devido a redução da atividade de água do produto (MACHADO et al., 2010).

A remoção parcial ou total de água de um alimento implicará na inibição do crescimento microbiano, na prevenção de reações bioquímicas responsáveis pela deterioração e em menores custos de transporte, embalagem e estocagem, constituindo um método importante para prolongar a vida útil de diversos produtos (PARK, VOHNIKOVA & BROD, 2002).

A desidratação ou secagem é um processo de transferência de energia e massa entre o produto e o ar, em que um fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto evaporando a água existente. Esse processo pode envolver três meios de transferências de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado em grande escala na secagem comercial que consiste na migração da água do interior para a superfície do produto de onde se evapora para o ambiente (AKYILDIZ et al., 2004).

O calor é fornecido ao material por convecção através do ar, ou por condução através do contato com uma superfície quente. O calor é utilizado para vaporizar o líquido na superfície do

sólido ou próximo da superfície. Se a mudança de estado ocorrer dentro do produto esse vapor é retirado pelo fluxo de ar, seja em convecção natural ou forçada. Ocorrendo uma retirada da água da superfície e das camadas externas, cria-se um gradiente de concentração internamente ao produto, causando um processo migratório da água do centro para a superfície do produto. Segundo FIOREZE (2004) dois dos principais fatores que governam a secagem são:

Retirada da água livre da superfície do produto. A taxa de retirada da água da superfície é função tanto da área do produto em exposição ao ar, como da capacidade do ar de retirar a água da superfície. Maior área superficial do produto significa maior área de troca de calor e massa com o fluxo de ar (em regime turbulento), facilitando a remoção de água. A força motriz relacionada com a retirada de água nessa etapa é diretamente proporcional à diferença entre a pressão de vapor na saturação (P_{vs}), uma vez que, na superfície do produto, o ar em contato com o líquido está praticamente saturado, e a pressão de vapor (P_v) do fluxo de ar passando através do secador (FIOREZE, 2004).

Migração da água livre do interior à superfície do produto. Esse fator depende do tamanho da partícula, de sua estrutura interna e da força motriz dessa migração, que é o gradiente de concentração. Quanto maior a partícula, maior a distância a ser percorrida pelo calor, da superfície para o centro, e da água, do centro para a superfície do produto para ser evaporada. Diferentes produtos possuem diferentes estruturas internas, facilitando ou dificultando a migração de umidade, de acordo com a sua porosidade e das cargas positivas e negativas das cadeias carbônicas do produto. O aumento da força motriz da migração através do aumento da temperatura e/ou diminuição do teor de água do fluxo de ar, geralmente aumenta a rapidez da secagem, pois aumentam as diferenças de concentrações entre as camadas internas e externas; alguns produtos, entretanto, como a amêndoa de cacau, por exemplo, têm sua estrutura interna modificada com a secagem rápida, ocorrendo um fechamento dos poros mais externos durante a secagem, dificultando a migração da água do centro para a superfície, apesar do gradiente de concentração (FIOREZE, 2004).

A secagem é uma operação unitária que consiste da transferência simultânea de calor e massa tendo como objetivo diminuir a atividade de água da matéria-prima e, conseqüentemente, prolongar a sua vida útil, minimizando o crescimento de micro-organismos e retardando reações de ordem bioquímica. O processo de secagem pode ser dividido em três fases, porém para a maioria dos materiais biológicos, tem-se observado apenas o período de taxa decrescente o qual vem sendo descrito comumente através da Segunda Lei de Fick. Tal lei relaciona o teor de água do material com o tempo através de um parâmetro de processo

conhecido como difusividade efetiva (D_{ef}). Esta, por sua vez, representa a velocidade com que a água se difunde do interior do material até a sua superfície (OLIVEIRA, OLIVEIRA & PARK, 2006).

A teoria difusional apoia-se exclusivamente sobre a lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Utilizando a lei de Fick na equação de balanço de massa de água no interior do produto, obtém-se a Equação 4.2.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef}\nabla X) \quad (4.1)$$

em que:

D_{ef} - difusividade efetiva, $m^2 s^{-1}$

X - teor de água, $kg_{H_2O} kg_{ms}^{-1}$

t - tempo, s.

Esta forma de Fick é simplificada, já que ela despreza a interdifusão, mas esta hipótese é justificada, uma vez que a água migra dentro de uma matriz fixa.

Independentemente dos trabalhos sobre secagem, CRANK (1975) calculou um grande número de soluções da equação de difusão para condições iniciais e de contorno variadas. Entretanto, estas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples (corpos semi-infinitos; placas, cilindros e esferas) e quando a difusividade é constante ou varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de água.

Para o caso de secagem em sistemas de coordenadas cartesianas, com direção unidirecional em uma placa de espessura $2L$ é expressa pela equação 4.2.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (4.2)$$

Desenvolvendo a equação 4.2 com as seguintes condições inicial e de contorno:

teor de água inicial uniforme: $X(z, t) = X(z, 0) = X_0$

teor de água máxima no centro: $\frac{\partial X}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0$

teor de água constante na superfície: $X(z, t) = X(L, t) = X_{eq}$

e aplicando:

$$X_m = \frac{1}{L} \int_0^L X(z, t) dz \quad (4.3)$$

tem-se:

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \text{Exp} \left[-(2i+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot \text{Def.} \cdot \frac{t}{4L^2} \right] \quad (4.4)$$

em que:

D_{ef} - difusividade efetiva, $m^2 s^{-1}$

RX - razão do teor de água, adimensional

x - teor de água no instante t , %

X_m - teor médio de água no instante t , %

x_e - teor de água de equilíbrio, %

x_0 - teor de água no instante inicial, %

i - número de termos na série

t - tempo, s

L - espessura da altura da camada da amostra, metro

z - direção da transferência de calor

Apesar de inúmeros esforços no sentido de se obter um modelo teórico para o processo de secagem, os dados experimentais ainda têm um papel importante no estudo da desidratação de alimentos (PARK et al., 2007). Uma equação empírica é usada com frequência na análise de secagem de produtos agrícolas, análoga à lei do resfriamento (BROOKER, BAKKER-ARKEMA & HALL, 2004). Nesta equação considera-se que toda consistência do fluxo de água está concentrada na camada superior dos produtos agrícolas e que a taxa de perda do teor de água do produto para o ambiente a uma temperatura constante, é proporcional à diferença do teor de água do produto e do seu teor de água de equilíbrio. Segundo esta teoria, o fenômeno da secagem pode ser demonstrado pela equação diferencial 4.5.

$$\frac{dx}{dt} = -k(x - x_e) \quad (4.5)$$

em que:

x - teor de água no tempo t , %

x_e - teor de água de equilíbrio, %

k - constante de secagem

Por interpretação entre os limites X_0 no início da secagem e X_t com o tempo t qualquer de secagem, tem-se a Equação 4.6.

$$RX = \frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} = e^{-kt} \quad (4.6)$$

em que:

RX - Razão do teor de água (adimensional),

x - teor de água no tempo t , %

x_0 - teor de água inicial, %

x_e - teor de água de equilíbrio, %

t - tempo de secagem, s

4.2.2.1 – Cinética de secagem

A obtenção da cinética de secagem é de fundamental importância para a modelagem matemática da operação e projeto de secadores. É através deste estudo que se estabelecem as equações do teor de água em função do tempo de secagem para os diferentes períodos de taxas de secagem (GOUVEIA et al., 2011).

No decorrer do período de secagem, a taxa decrescente corresponde à migração interna da água que fixa a cinética de secagem. Os diferentes mecanismos que descrevem o movimento da água são: o movimento de água líquida sob efeito das forças de gravidade (desprezível na secagem de produtos biológicos); a migração capilar da água líquida sob a ação da tensão superficial; a difusão de água líquida sob o efeito de gradiente do teor de água segundo a Lei de Fick; a difusão de água líquida adsorvida sobre as superfícies internas dos poros vazios (somente para teores de água muito baixos); a difusão de vapor sob o efeito de gradiente de pressão parcial de vapor de água; o escoamento de água sob o efeito de uma diferença de pressão total entre o interior e o exterior de produtos alimentícios, e a migração de água líquida ou vapor sob o efeito de gradiente de temperatura (OLIVEIRA, OLIVEIRA & PARK, 2006).

4.2.2.1.1 – Variáveis envolvidas na secagem

Na secagem de produtos biológicos, diversas variáveis devem ser levadas em consideração, durante o processo, para ser efetuado com sucesso, as principais variáveis são mostradas na Fig. 4.1, tanto para a matéria prima como para o ar de secagem (FIOREZE, 2004). DEMIREL & TURHAN, 2003 e OLIVEIRA & PETROVICK (2010) afirmam que caso a temperatura de secagem não for devidamente controlada pode provocar alterações indesejáveis na aparência, cor e textura e no conteúdo de nutrientes do produto final. Uma vez que o produto é colocado em contato com ar quente, ocorre a transferência de calor do ar quente para o produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor entre o ar e a superfície do produto determina a transferência de massa para o ar. Esta última se faz na forma de vapor de água e uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água (ALMEIDA et al., 2002).

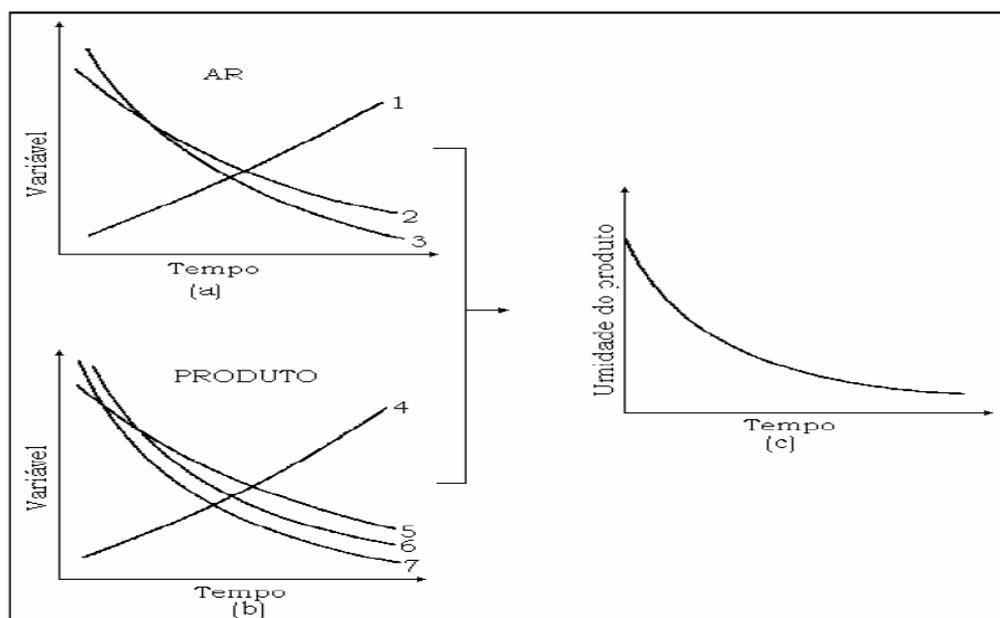


Figura 4.1 - Variáveis de um processo de secagem (1- Umidade relativa do ar; 2- Temperatura do ar; 3- Vazão do ar; 4- Umidade inicial do produto; 5- Umidade final do produto; 6- Coeficiente de difusão de massa; 7- Área relativa). Fonte: FIOREZE (2004).

Na Figura 4.1 (a) apresenta-se para o ar, a influência da temperatura, umidade relativa e vazão, individualmente para o produto, apresenta-se em (b) da umidade inicial e final, do coeficiente de difusão de massa e da área relativa de troca de calor e massa. Em (c) é mostrado uma curva típica de secagem, que é o resultado da influência de todas essas variáveis

simultaneamente. Deve ser observado que, além dessas variáveis aqui demonstradas, há um grande número delas que também influenciam no processo, tais como o calor latente de vaporização da água do produto, calor específico, variação de volume, alteração das propriedades termofísicas e umidade de equilíbrio (FIOREZE, 2004).

4.2.2.1.2 – Curvas típicas de secagem

A transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é um fenômeno comum a qualquer condição de secagem. O processo de secagem, baseado na transferência de calor e massa, pode ser dividido em três fases (Figura 4.2): as curvas de evolução do teor de água do produto (a), cinética de secagem (b) e evolução da temperatura do produto (c) descrevem fases do processo de secagem, que são divididas em zero, um e dois (PARK, YADO & BROD (2001).

O período zero (0) representa o início da secagem, quando o produto está mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é mínima, não havendo transferência de massa. Com a elevação da temperatura do produto e da pressão da água, atinge-se o ponto em que há transferência de massa (PARK, YADO & BROD (2001).

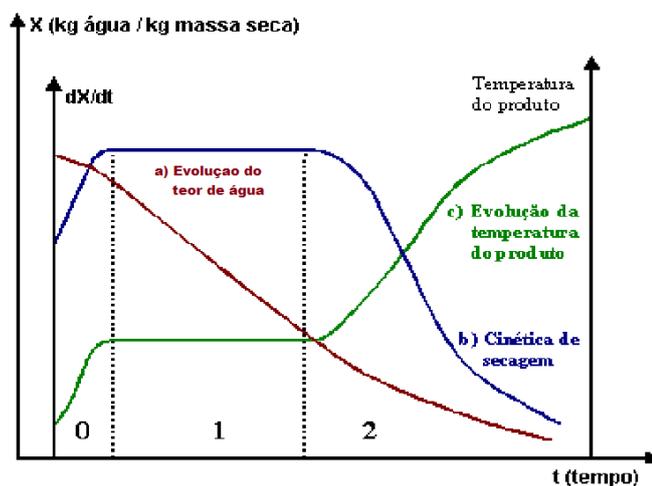


Figura 4.2 - Curvas típicas de secagem. Fonte: PARK, YADO & BROD (2001)

No período um (1), a taxa e a velocidade de secagem são constantes. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a taxa de secagem é constante. Neste período a quantidade de água livre a ser removida é grande, e enquanto a migração de água do interior até

a superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação as curvas permanecem constantes, ou seja, enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. Dependendo do material biológico muitas vezes existe uma resistência para a transferência de massa do interior do produto fazendo com que a taxa de evaporação seja superior a taxa migração de umidade do interior para a superfície (PARK, YADO & BROD (2001).

O período dois (2) é quando se observa uma taxa decrescente na velocidade de secagem. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração da água do interior para a superfície do produto. Nesta fase há uma redução significativa na velocidade de migração da água do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aproxima-se da temperatura do ar de secagem e quando o produto atinge o ponto do teor de água de equilíbrio o processo é encerrado (PARK, YADO & BROD (2001).

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, teor de água do produto em base seca (X), em relação à evolução do tempo de secagem (t), isto é, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem numa determinada condição de secagem (PARK et al., 2007).

A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do teor de água do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo (t), isto é, é a curva obtida diferente da curva (a) (PARK et al., 2007).

A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo t) isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (PARK et al., 2007).

4.2.2.2 – Modelos Matemáticos para ajuste das curvas de secagem em camada fina

Os modelos empíricos consistem em formar grupos físicos adimensionais que podem ser facilmente investigados por experimentos de laboratório e baseia-se nas condições externas, como temperatura e velocidade do ar de secagem. Entretanto, apesar de poder descrever a curva de secagem para as condições do experimento, não fornece indicação sobre o transporte de energia e de água no interior dos produtos. Os modelos teóricos utilizam os fundamentos da matemática da difusão e da transferência de calor e massa e podem descrever de forma

aceitável o perfil da distribuição de água no interior de determinado produto agrícola desde que seja possível correlacionar sua forma à geometria de um sólido perfeito (CARLESSO et al., 2007). Embora diversas teorias tenham sido propostas e várias equações tenham sido elaboradas para prever a variação do teor de água durante a secagem de produtos agrícolas no período à taxa decrescente, é possível afirmar que apenas relações empíricas ou semi-teóricas têm sido utilizadas nos projetos de secadores, pois elas representam com maior precisão o processo de secagem que qualquer das equações teóricas desenvolvidas posteriormente (BROOKER, BAKKER-ARKEMA & HALL, 2004).

A complexidade dos fenômenos envolvidos no processo durante a secagem leva os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem (BROD, 2003). Em algumas situações, a teoria difusional não é adequada para ajustar o comportamento da taxa de secagem devido a interferências no efeito de resistência interna do material e a não precisão na correlação de sua forma à geometria de um sólido perfeito, além da exigência do estabelecimento de uma relação funcional entre o coeficiente de difusão, o teor de água e a temperatura segundo CARLESSO et al., (2007).

Predizer teoricamente a taxa de secagem decrescente é mais complexo que a taxa constante, visto que devem ser levados em conta não somente os mecanismos externos de transferência de calor e massa, mas também os internos do produto (BROOKER, BAKKER-ARKEMA & HALL, 2004). O período de taxa decrescente de secagem é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos de secagem conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para predizerem a taxa de secagem (OLIVEIRA, OLIVEIRA & PARK, 2006). Os modelos matemáticos além de permitir uma avaliação dos mecanismos e das propriedades físicas de transporte de massa durante o processo são importantes na seleção e desenvolvimento de equipamentos, e no cálculo dos custos operacionais (DIONELLO *et al.*, 2009). Para essas situações e razões, podem-se aplicar alguns modelos empíricos. Na literatura são citados vários modelos matemáticos os quais são utilizados para estimar as curvas de secagem de produtos agrícolas, entre eles serão usados os modelos de: Page; Cavalcanti Mata; Henderson; Midilli, Kucuk e Yapar.

4.2.2.2.1 – Modelo de Page

O modelo de Page (PAGE, 1949), mostrado na (Equação 3.3), dentre os modelos sugeridos, é uma simplificação do modelo de Fick, é muito utilizado para descrever o comportamento de secagem de uma ampla variedade de materiais biológicos; RADÜNZI et al. (2011), na cinética de secagem de carqueja utilizou o modelo de Page o qual apresentou ajuste adequado aos dados experimentais; SANTOS et al. (2010) na secagem da carambola, obteve representação com modelos semi-teóricos dos dados experimentais, sendo o modelo de Page o mais adequado por apresentar maior coeficiente de determinação (R^2) e menores valores de qui-quadrado (X^2) e estimativa de erros; O modelo de Page estudado por LIMA, FIGUEIRÊDO & QUEIROZ (2007) na cinética de secagem das diferentes polpas de facheiro representou satisfatoriamente os dados experimentais com coeficientes de determinação superiores a 0,96; A Equação de Page descreve de forma satisfatória, o processo de secagem para todas as temperaturas examinadas na determinação da difusividade e da energia de ativação para feijão macassar, com base no comportamento da secagem (SILVA et al., 2008b).

4.2.2.2.2 – Modelo de Cavalcanti Mata

O modelo de CAVALCANTI MATA (1997) (Equação 3.1) foi proposto pelo autor no seu estudo intitulado “Efeitos da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária sobre a armazenabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade “carioca: Avaliação experimental e simulação”. O autor menciona que o modelo empírico pode ser utilizado para expressar a cinética de secagem. Neste caso, o coeficiente de secagem é dado pelo coeficiente a_2 e os coeficientes a_1 , a_4 e a_6 devem satisfazer a igualdade. (SILVA et al., 2012), afirma que a cinética de secagem das sementes de algaroba, pode ser representada pelo modelo matemático de Cavalcanti-Mata, uma vez que os coeficientes de determinação foram iguais ou superiores a 99,8%. MELO et al. (2013) ao estudar os modelos de Page, Henderson & Pabis e Cavalcanti Mata e verificaram que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem da espuma elaborada com a polpa do fruto do mandacaru e aditivos, sendo o modelo de Cavalcanti Mata o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições.

4.2.2.2.3 – Modelo de Midilli, Kucuk e Yapar

O modelo semi-empírico de MIDILLI, KUCUK & YAPAR (2002) (Equação 3.2), uma simplificação do modelo de Fick. Este modelo foi utilizado com êxito por vários pesquisadores, tais como, LIMA, FIGUEIREDO & QUEIROZ (2007), para descrever a cinética de secagem da polpa de facheiro com ajuste satisfatório; MENEGHETTI et al. (2012) concluiu que a equação de camada delgada proposta por Midilli é a que melhor representa a secagem intermitente de arroz em casca; GOYALDE et al. (2008) utilizando modelos matemáticos tradicionais que são usados para prever o comportamento de secagem de produtos agrícolas, obtiveram o melhor ajuste com o modelo Midilli, Kucuk e Yapar para descrever o processo de secagem da cana fatiada.

4.2.2.2.4 – Modelo exponencial de dois termos

Este modelo foi criado na tentativa de melhorar a precisão dos modelos já existentes, especialmente no período final de secagem, o modelo da difusão de Dois Termos mostra os primeiros dois termos da solução em série da segunda Lei de Fick, (Equação 4.1). Segundo DANDAMRONGRAK, YOUNG & MASON (2002), pode ser aplicado a qualquer tipo de geometria de partícula e condições de contorno, considerando-se que a difusividade é constante. O modelo de Dois Termos (Equação 3.5) é recomendado para prever o comportamento dos dados de secagem de produtos agrícolas (DOYMAZ, 2006). De acordo com SANTOS et al. (2013) dentre os modelos de secagem estudados o modelo de Dois Termos apresentou os maiores valores dos coeficientes de determinação e alguns dos menores valores de DQM, para cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum.

4.2.2.3 – Secador de leito fixo

Segundo AKPINAR & BICER (2005), a condução adequada da operação de secagem dos produtos biológicos e boas características de qualidade do produto final, está ligada diretamente ao equipamento utilizado e aspectos como custo inicial, alta eficiência energética, versatilidade na operação dentre outros fatores.

No secador de leito fixo, o produto permanece estático durante a secagem e o ar aquecido é forçado a passar pela massa do produto. Este tipo de secador é constituído de uma câmara de secagem, na qual o ar é insuflado por um ventilador (MELO, 2008). Eles possuem diversas vantagens por serem de configuração bastante simples, resultando num baixo custo de

implantação, e são muito versáteis, uma vez que podem ser utilizados para a secagem de diferentes produtos. No secador de leito fixo, o ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície de massa do produto, formando uma região denominada zona de secagem, onde ocorre a troca do teor de água entre o produto e o ar de secagem. Forma-se também um gradiente de água que não pode ser elevado para não comprometer a qualidade do produto.

4.2.2.4 – Planejamento experimental

Segundo RODRIGUES E IEMMA (2009), a busca por técnicas sistemáticas de planejamento de experimentos vem crescendo gradativamente; visto o interesse dos profissionais de cada vez mais aperfeiçoar os produtos, minimizar custos e tempo, maximizar rendimento, produtividade e qualidade de produtos, dentre outras finalidades. O planejamento consciente nos experimentos quantificar a influência das variáveis sobre as respostas desejadas, sendo este indispensável para que se obtenham resultados confiáveis e para que análises estatísticas consistentes possam ser realizadas.

O planejamento experimental é um método que permite a verificação dos efeitos individuais e de interação de todas as variáveis mais importantes para o processo, como também a avaliação dos erros experimentais e de regressão e a modelagem empírica dos resultados, em função das variáveis escolhidas, usando-se programas estatísticos de regressão (CUNICO et al., 2008; GOUVEIA et al., 2002;).

Para realizar um planejamento fatorial, escolhem-se as variáveis a serem estudadas e efetuam-se experimentos em diferentes valores destes fatores, em seguida são realizados experimentos para todas as combinações possíveis dos níveis selecionados (CUNICO et al., 2008).

A partir das equações de regressões geradas utilizando-se o planejamento experimental, pode-se representar geometricamente essas equações denominando-as curvas de resposta ou superfícies de resposta, nas quais geralmente são usados para estudar a relação entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) e um número de fatores (variáveis independentes) (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002; PARK et al., 2004).

O planejamento experimental, pode ser utilizado para otimizar o processo de secagem convectiva, uma vez que de acordo com RODRIGUES E IEMMA (2009), o planejamento experimental, baseado na estatística, é sem dúvidas, uma ferramenta poderosa na otimização e

desenvolvimento de processos e formulações ou, simplesmente, para avaliar impactos que certos fatores têm sobre determinadas respostas.

Vários autores utilizaram planejamento experimental em seus trabalhos de pesquisa: RODRIGUES et al. (2002) avaliando a temperatura e velocidade do ar de secagem para a goiaba estabeleceu as melhores condições na operação utilizando um planejamento experimental fatorial 2^2 mais configurações estrela, sendo avaliados o efeito da temperatura e velocidade do ar de secagem sobre a taxa de secagem e a perda de água. VILHALVA et al. (2012) objetivou estudar a cinética e modelagem da secagem de cascas de mandioca, utilizando-se planejamento experimental central composto rotacional. Foram realizados 11 testes, empregando-se diferentes temperaturas e fluxos de ar, sendo determinados os tempos de secagem, parâmetros instrumentais de cor, acidez titulável e pH das amostras de farinha obtidas após moagem das cascas desidratadas de cada ensaio de secagem. ALEXANDRE et al. (2013) utilizaram um planejamento experimental fatorial 2^2 com duas variáveis independentes: temperatura (T) e velocidade do ar de secagem (v) e como variáveis respostas os parâmetros: proteína, teor de água de equilíbrio e teor de água no tempo 120 minutos, afim de otimizar o processo de secagem de resíduo de abacaxi enriquecido.

4.2.2.5 – Estado da arte

Diversos autores em todo o mundo buscam formas de ajustar algum tipo de modelo ao processo, bem como novas metodologias de secagem. Estes autores analisam o fator econômico, como também fatores ambientais e nutricionais, sendo que esta combinação responderá pelo sucesso ou fracasso do ajuste de um modelo matemático. O conhecimento do teor de água inicial e final (equilíbrio) do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície possibilitam fundamentar o fenômeno de secagem. Evidencia-se que, dentre as variáveis mais importantes, estão a temperatura e o fluxo e/ou velocidade do ar utilizados. Diversos autores estudaram a cinética usando ou não planejamento experimental, em temperaturas variadas e diferentes velocidades do ar. Desta forma, alguns destes trabalhos serão descritos, enfatizando os métodos e os resultados obtidos:

EL-AQUAR, AZOUBEL & MURR (2002) avaliaram a cinética da secagem de mamão formosa utilizando o modelo difusional (Segunda Lei de Fick) adaptando uma geometria cúbica. O processo de secagem foi realizado nas temperaturas (40 e 60°C) e velocidades do ar

(1,25 e 3,25 m/s). O aumento da temperatura favoreceu a diminuição do tempo de secagem do produto final. A velocidade do ar não exerceu praticamente influência alguma na cinética de secagem.

PARK, YADO E BROD (2001) trabalharam com pêra bartlett (*Pyrus sp.*) usando o secador convectivo de bandejas obtiveram as curvas de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e velocidades do ar de 0,5, 1,0 e 1,5 m/s. Através destas curvas o estudo da secagem foi conduzido avaliando as difusividades efetivas e as energias de ativação. Os valores da difusividade aumentam com o aumento da temperatura do ar de secagem (estes valores variam de $5,564 \times 10^{-9}$ até $1,370 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$), mostrando a diminuição das resistências internas de secagem com o aumento da temperatura.

GOUVEIA et al. (2002) estudaram a cinética de secagem de caju em um secador de leito fixo, utilizando um planejamento experimental. As temperaturas utilizadas foram de 35 a 65°C e as velocidades do ar de 0,9 a 1,9 m/s, formavam as variáveis do processo. Os pseudofrutos foram fatiados em pedaços circulares de aproximadamente 0,5 cm de espessura. Mediante análise de regressão, verificou-se efeito significativo da temperatura sobre a redução da razão de umidade do caju e, ainda, que o modelo quadrático foi o que melhor representou os dados experimentais, sendo a temperatura o fator controlador do processo.

RODRIGUES et al. (2002) estudaram a cinética de secagem da goiaba (*Psidium guajava L.*), variedade *vermelha*, em leito estático sob camada fina para as temperaturas e velocidade do ar de secagem variando de 76 a 100 °C e 0,8 a 2,2 m s⁻¹, respectivamente, conforme planejamento experimental (2² + configuração estrela). Visando a otimização do processo analisou-se a influência da temperatura e velocidade do ar de secagem com o intuito de obter modelos empíricos que representasse esse processo. Observaram que através das curvas que, quanto maior a temperatura, maior a taxa de secagem e a perda de água tende a estabilizar num período de aproximadamente 90 minutos, concluindo-se que a temperatura é o fator de maior influência na secagem deste produto, a taxa de secagem foi influenciada pela velocidade do ar de secagem em temperaturas na faixa de 100 °C e velocidade do ar maior que 2 m s⁻¹, o modelo de segunda ordem foi o que obteve os valores de maior significância estatística, revelando-se amplamente satisfatório para fins preditivos.

LIMA, FIGUEIRÊDO & QUIEROZ (2007) estudaram a secagem em camada fina de três tipos de polpa de facheiro nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em estufa com circulação forçada de ar. Empregaram os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Midilli, Kucuk e Yapar, para representar a cinética de secagem e como critério de avaliação destes

utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM). Mediante os resultados obtidos observaram que o aumento da temperatura diminuiu o tempo de secagem das amostras e que a polpa da base apresentou menor tempo de secagem. Dentre os modelos aplicados o de Midilli, Kucuk e Yapar apresentou os maiores valores de R^2 e os menores valores de DQM para a faixa de temperatura estudada. FERREIRA & PENA (2010) estudaram a viabilidade de aproveitamento da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), resíduo da industrialização do suco, onde foi submetido à secagem em estufa de bandeja, com recirculação de ar, a 60, 70 e 80°C. O produto obtido foi classificado como farinha; caracterizada como rica em fibras alimentares e microbiologicamente apropriada para consumo.

VILHALVA et al. (2012) estudaram a cinética e modelagem da secagem de cascas de mandioca, utilizando-se planejamento experimental central composto rotacional. Foram realizados 11 testes, empregando-se diferentes temperaturas (53°C, 55°C, 60°C, 65°C e 67°C) e fluxos de ar (0,0159 m³ kg⁻¹ s⁻¹; 0,0166 m³ kg⁻¹ s⁻¹; 0,0183 m³ kg⁻¹ s⁻¹; 0,0199 m³ kg⁻¹ s⁻¹; e 0,0206 m³ kg⁻¹ s⁻¹). A secagem foi realizada em secador convencional de bandejas, sendo determinados os tempos de secagem, parâmetros instrumentais de cor (luminosidade e coordenadas), acidez titulável e pH das amostras de farinha obtidas após moagem das cascas desidratadas de cada ensaio de secagem. Observou-se tendência ao clareamento do material, com o aumento da temperatura. Ocorreu pequena variação nos valores de acidez titulável e pH das amostras analisadas. A temperatura e a velocidade do ar influenciaram na cinética de secagem, pois, com o aumento de ambas, o tempo de secagem das cascas foi reduzido. O tempo mínimo de secagem (420 minutos) foi obtido quando a temperatura do secador foi ajustada para 67°C e o fluxo de ar para 0,0183 m³ kg⁻¹ s⁻¹.

ALEXANDRE et al. (2013) avaliou a cinética de secagem do resíduo (casca) de abacaxi (*Ananas comosus* L.) enriquecido utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* em leite estático, em camada fina de secagem, utilizando-se de planejamento experimental fatorial. A temperatura (40 a 60 °C) e a velocidade do ar de secagem (0,8 a 1,3 m s⁻¹) foram as variáveis do processo. A cinética de secagem ocorreu no período de taxa decrescente. Os modelos Page, Henderson & Pabis e Lewis, ajustaram os dados experimentais satisfatoriamente, sendo Page discretamente superior aos demais. Verificou-se influência da variável temperatura apenas para a variável resposta teor de água, não sendo observada influência estatisticamente significativa da velocidade do ar de secagem.

MELO et al. (2013) estudaram a secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru, com a adição de 2% de albumina e 2% de Super Liga Neutra, com tempo de batimento de 5 minutos, desidratada em estufa com circulação de ar forçada, a 70, 80 e 90 °C, com três diferentes espessuras de camada de espuma (0,5; 1,0 e 1,5 cm). Com os dados obtidos durante o processo de secagem foram traçadas as curvas de secagem e ajustados os modelos de Page, Henderson e Pabis e Cavalcanti Mata. Verificou-se que a espessura da camada da espuma e a temperatura de secagem influenciaram no tempo de secagem da espuma, sendo o processo mais rápido para a menor espessura e temperatura mais elevada. O modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou as curvas de cinética de secagem da amostra.

4.2.3 – Farinha

Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 BRASIL (2005d); BRASIL (2005a); BRASIL (2005b); BRASIL (2011), definem farinhas como os produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos. O produto é designado “farinha”, seguido do nome do vegetal de origem (ex: “farinha de mandioca”, “farinha de arroz”, “farinha de banana”) e são classificadas de acordo com as suas características em farinha simples (produto obtido da moagem ou raladura dos grãos, rizomas, frutos ou tubérculos de uma só espécie vegetal) e farinha mista (produto obtido pela mistura de farinhas de diferentes espécies vegetais).

4.2.3.1 – Características química e físico-químicas

As características físicas e físico-químicas de um produto, deve atender ao regulamento técnico específico que tem por objetivo definir o padrão oficial, considerando seus requisitos de identidade e qualidade (BRASIL, 2005b; BRASIL, 2011). As caracterizações de alimentos, em geral, são conferidas por um conjunto de constituintes químico e físico-químico, responsável pelas características sensoriais própria, sendo importantes na aceitação do produto final, além de caracterizar a matéria-prima, também são utilizados no controle do processo de fabricação (BRASIL, 2000).

As citações sobre as características químicas e físico-químicas e, para o teor de água, cinzas e proteína são as mesmas para as polpas do fruto de mandacaru e facheiro, como descritas no Capítulo 1.

4.2.3.1.1 – Acidez graxa

O lipídeo encontra-se presentes nas farinhas e sofrem alterações dependendo das condições adversas de processamento e armazenamento, segundo BRASIL (2005d) uma das primeiras reações que ocorrem é a formação de ácidos graxos livres proveniente da degradação dos lipídeos (MARQUES et al., 2008).

A análise de acidez graxa mede os ácidos graxos livres, ou seja, fornece dados sobre o grau de degradação dos lipídeos presentes nos alimentos. Isto pode ocorrer dependendo das condições do produto e do armazenamento. A acidez na gordura aumenta rapidamente quando há deterioração de uma amostra de farinha durante a armazenagem (AOAC, 2005). Os lipídios são os constituintes mais suscetíveis à degradação química e influenciam diretamente a secagem e conservabilidade do produto armazenado (RUPOLLO et al., 2004). A velocidade das alterações dos lipídios depende do teor de água, da temperatura e do tempo de armazenamento (MARINI et al., 2005).

A decomposição das gorduras através da lipase é acelerada pela luz e calor, com formação de ácidos graxos livres que alteram as propriedades sensoriais dos alimentos. Porém, em gorduras com ácidos graxos não-voláteis, o sabor e o odor desagradáveis não aparecem juntamente com a deterioração, nesse caso a medida dos ácidos graxos livres é muito importante para a verificação do grau de deterioração do alimento (CECCHI, 2003).

O teste de acidez graxa, como método para avaliar a deterioração em farinhas armazenadas, tem na sua sensibilidade a principal vantagem. Como a formação de ácidos graxos livres nos grãos é resultante da hidrólise das gorduras, esta análise permite, além da quantificação do processo deteriorativo, acusá-lo ainda nos estágios iniciais. O bom poder de resposta deste método, associado à sua rapidez e baixo custo na execução tem suscitado investigações de caráter mais aplicado, visando um melhor aproveitamento do teste na área de colheita e processamento de grãos e sementes, com possibilidades de integrar, de forma efetiva, um conjunto de análises de rotina segundo (BIAGGIONI & BARROS, 2006).

4.2.3.1.2 – Amido

O amido está disponível em abundância na natureza, sendo encontrado em todas as plantas e extraído de folhas, raízes, caules, sementes e frutos. A planta serve, assim como os animais, como alimento, funcionando como componente de reserva energética. Entretanto, o homem encontrou aplicações diversificadas para o amido, que vai além da sua função original como fonte de energia, sendo utilizado, assim como seus derivados, em quase todas as indústrias (MUCCILLO, 2009).

O amido é composto por unidades de glucose, organizadas em dois homopolissacarídeos, a amilose e a amilopectina. A amilose praticamente não apresenta ramificações, sendo que as unidades de glucose são conectadas por ligações glicosídicas do tipo α (1,4) e a porcentagem de ramificações α (1,6) é menor do que 1%. A amilopectina, uma das maiores biomoléculas conhecidas, é altamente ramificada e possui cadeias de resíduos de glucose ligados entre si por ligações glicosídicas do tipo α (1,4) com aproximadamente 5% de ramificações α (1,6) (AMARAL et al., 2007). Dependendo da origem, o amido possui diferentes proporções de amilose e de amilopectina. Normalmente as proporções variam em torno de 1:3 e 1:4 (RIBEIRO, 2012), mas há extremos encontrados em mutantes, como nos mutantes “waxy” de milho, cujo amido não possui amilose (AMARAL et al., 2007).

De forma geral as farinhas panificáveis apresentam o amido como o componente de maior teor; a farinha de trigo é composta sobretudo de amido (70 a 75%) (SCHEUER et al., 2011; PEREZ & GERMANI, 2004), a farinha de mandioca tem o seu teor de amido mínimo 80% (BRASIL, 2011; DIAS & LEONEL, 2006), na farinha da banana verde 72,72% \pm 0,47 (BORGES, PEREIRA & LUCENA, 2009), farinha da casca de batata 41,35% (FERNANDES et al., 2008).

4.2.3.1.3 – Granulometria

É um método que se baseia na distribuição e no diâmetro das partículas (grânulos) que constituem o produto através de um peneiramento cujas peneiras possuem número de malhas definidas.

A característica granulométrica da matéria-prima processada é um aspecto importante na formulação de massas alimentícias e produtos de panificação, pois uma distribuição

adequada de partículas permite maior uniformidade do produto final. A absorção de água é uma característica tecnológica altamente influenciada pela granulometria da matéria-prima, com influência direta sobre as características sensoriais como aparência, sabor, textura e o tempo de cozimento das massas alimentícias (BORGES et al., 2013).

As técnicas atuais possibilitam estimar, não somente o tamanho das partículas, mas estimativas da área superficial e o número de partículas (ASAE, 2004). Estas informações podem ser utilizadas para correlacionar o efeito da moagem sobre a digestibilidade do alimento ou a eficiência do aporte energético na ampliação da área de exposição do alimento moído.

4.2.4 – Pão de forma

Pães são os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005d). O pão é um alimento que resulta do cozimento de uma massa feita com farinha de certos cereais, principalmente, trigo, água e sal (ZIGLIO et al., 2007).

A qualidade de pães pode ser determinada por análises físico-químicas específicas, microbiológicas e sensoriais, além de avaliação das características externas (dimensões, volume específico, cor de crosta, quebra e simetria), e internas do produto (espessura de crosta; cor do miolo; tamanho; número de alvéolos e textura do miolo; além de aroma e sabor) (LOPES et al., 2007; CAUVAIN & YOUNG, 2009).

No Brasil, o pão passou de um complemento para uma refeição propriamente dita devido aos costumes da grande massa da população de baixa renda, tornando-se elemento principal, por ser constituído de nutrientes básicos, fornecedores de energia, como os carboidratos, complementados por outros como lipídios e proteínas, podendo tornar-se cada vez mais rico, de acordo com a adição de substâncias nutritivas ou durante o seu processamento (VASCONSELOS et al., 2006).

Nas formulações de pães pode ser utilizado vegetais como mostram diversos estudos como PEREZ & GERMANI (2004) com farinha Mista de Trigo e Berinjela; COUTO (2007) na utilização da farinha de Casca de Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na Elaboração de pão de Forma; LIMA (2007) estudou a aplicação das farinhas de linhaça (*Linum Usitatissimum* L.) e maracujá (*Passiflora Edulis* Sims F. *Flavicarpa* Deg.) no Processamento de pães com

propriedades funcionais; BORGES et al. (2013) realizaram a análise físico-química e a sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinoa; ZIGLIO et al. (2007) Elaboraram de pães com adição de farinha de sabugo de milho; CAVALCANTI (2011), elaborou de pães de forma enriquecidos com as sementes da faveleira; VASCONSELOS et al. (2006) estudou o processamento e aceitabilidade de pães de forma a partir de ingredientes funcionais: farinha de soja e fibra alimentar.

4.3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEAg), do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) e no Laboratório de Meios Porosos e Sistema Particulares Localizado na Unidade Acadêmica de Engenharia Química (CCT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, Paraíba, no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia (CT) do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, no Laboratório de análise físico-química de alimentos e na Unidade Educativa de Produção de Massas Alimentícias do curso Técnico em Agroindústria pertencente aos Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) – Campus Belo Jardim, Pernambuco.

4.3.1 – Matéria-prima

Utilizou-se as cascas dos frutos das cactáceas como matéria-prima obtida a partir dos frutos de facheiro e dos frutos de mandacaru adquiridos na região semiárida do Estado da Paraíba e Pernambuco, após o processo de obtenção da polpa e cascas de cactáceas, como descrito no Capítulo 1.

4.3.2 – Secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru

A secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru foi realizada utilizando-se do planejamento fatorial 2^2 com três pontos centrais (nível 0), e configuração estrela (DCCR) (Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3) com o objetivo de se estudar a influência das variáveis de entrada (temperatura e velocidade do ar de secagem) sobre a secagem das cascas, foram definidas como as variáveis nos dois níveis (-1 e +1). As temperaturas de secagem foram fixadas em 50, 60 e 70 °C e a velocidade em 1,0, 1,5, e 2,0 m s⁻¹, variando-se o tempo, conforme o decorrer da secagem, em intervalos regulares, com influência sobre as respostas teor de água, rendimento do processo e tempo de secagem.

Na Tabela 4.1, encontram-se os valores reais e codificados para o planejamento fatorial.

Tabela 4.1 - Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo (2^2)

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Temperatura (°C)	50	60	70
Velocidade do ar de secagem (m s ⁻¹)	1	1,5	2

Este planejamento fatorial inicial foi ampliado para um planejamento fatorial $2^2 +$ “configuração estrela”, com deslocamento axial (níveis $-\alpha$, -1, 0, +1, $+\alpha$) para ajuste dos modelos quadráticos. O cálculo de α foi feito usando a equação determinada por BOX & WILSON (1951) Equação 4.7.

$$\alpha = [2^k]^{1/4} \quad (4.7)$$

em que:

k - número de variáveis independentes

α - variáveis do nível axial

para k=2, logo $\alpha = 1,4142$

A Tabela 4.2 contém os valores reais e codificados para todos os níveis dos fatores experimentais do planejamento fatorial completo ($2^2 +$ com “configuração estrela”).

Tabela 4.2 - Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo ($2^2 +$ “configuração estrela”)

Variáveis	Níveis				
	-1,4142	-1	0	+1	+1,4142
Temperatura (°C)	46	50	60	70	75
Velocidade do ar de secagem (m s ⁻¹)	0,8	1,0	1,5	2,0	2,2

Encontram-se na Tabela 4.3 a matriz do planejamento de experimentos em sua forma codificada e real.

Tabela 4.3 - Matriz do planejamento dos experimentos em sua forma codificada e real

Ensaio	Temperatura		Velocidade do ar de secagem (m s^{-1})	
	Codificada	Real ($^{\circ}\text{C}$)	Codificada	Real (m s^{-1})
01	-1	50	-1	1
02	+1	70	-1	1
03	-1	50	+1	2
04	+1	70	+1	2
05	0	60	0	1,5
06	0	60	0	1,5
07	0	60	0	1,5
08	-1,4142	46	0	1,5
09	0	60	+1,4142	2,2
10	+1,4142	75	0	1,5
11	0	60	-1,4142	0,8

O fluxograma do processo de secagem utilizado na obtenção da farinha das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru, encontra-se na Figura 4.3.

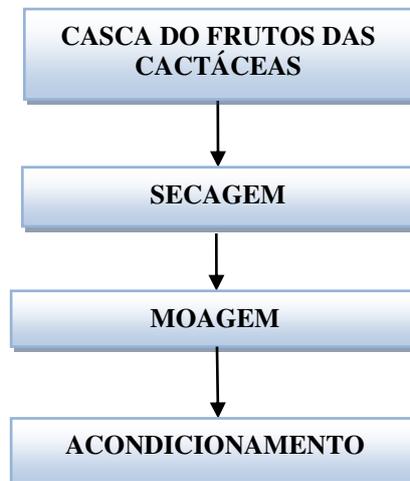
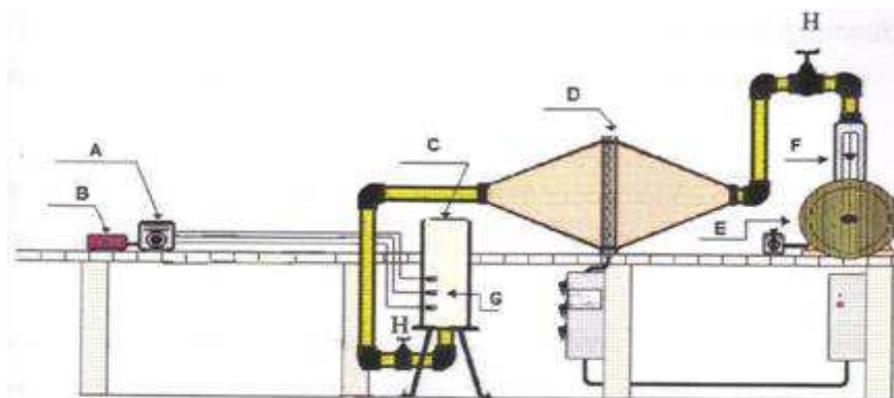


Figura 4.3 – Fluxograma do processo de obtenção da farinha das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru

A secagem foi realizada em camada fina, onde foram utilizadas triplicatas de cada amostra, em um secador de leito fixo, conforme a Figura 4.4, em que as cascas do fruto do facheiro e mandacaru foram cortadas no formato quadrangular com aproximadamente 1,0 cm de lado (l) onde as amostras foram colocadas em cestas (Figura 4.5) de material metálico com

formato de uma seção de uma coluna cilíndrica com uma malha de um diâmetro de 0,0393 mm por polegada para impedir a passagem das partículas, coberta com tampa de malha do mesmo diâmetro. Durante a secagem foram monitorado o tempo e o teor de água do produto, a cada 15 minutos o conjunto (cesta + amostra) foram retirado do secador para pesagem, em balança digital semi-analítica modelo As5500c da marca Marte, esta operação foi repetida até peso constante, finalizando-se o processo. Após este procedimento as amostras foram colocadas em estufa, a uma temperatura de 105 °C por 4 h, para determinação da matéria seca. A partir dos dados de variação do teor de água com o tempo de secagem, determinaram-se o rendimento e a cinética de secagem (Equação 3.6). Para prever a cinética de secagem foram utilizados os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata (CAVALCANTI MATA, 2004) (Equação 3.1), Midilli, Kucuk & Yapar (AKPINAR & BICER, 2005) (Equação 3.2), Page (PAGE, 1949) (Equação 3.3) e Exponencial de Dois Termos (MARQUES, 2008) (Equação 3.5).



Fonte: GOUVEIA et al. (2002)

Figura 4.4 – Secador de leito fixo

A – Controlador de temperatura; B – Milivoltímetro; C – Câmara de secagem; D – Aquecedor; E – Compressor radial; F – Rotâmetro; G - Termopares; H – válvula



Fonte: Autor

Figura 4.5 – Cesta metálica: (a) Fechada (b) Aberta

A câmara de secagem do secador de leito fixo é formada por uma coluna cilíndrica de 17,8 cm de diâmetro e 60,0 cm de altura. Possui uma seção inferior troncônica que funciona como distribuidor de ar, onde são colocadas esferas de vidro para permitir que o escoamento do ar seja uniforme em todo o leito. A coluna é isolada termicamente com uma camada de lã de vidro com espessura de 1,5 cm. Nas suas laterais existem furos, onde são colocados os termopares para medição da temperatura do ar de secagem. Existe, também, um outro termopar colocado na parte inferior, na seção cônica, que serve para enviar sinal para o controlador de temperatura.

Antes do início de cada ensaio, o equipamento foi colocado em funcionamento, nas condições experimentais de secagem definidas pelo planejamento experimental, anteriormente referenciado (Tabela 3.3). Com o compressor radial ligado, a vazão do ar foi regulada através da válvula reguladora, e aferido com um anemômetro de hélices, Marca Lutron e Modelo AM 4201, colocado na parte superior da câmara de secagem do secador, por onde o ar de secagem é liberado. O sistema de aquecimento foi ligado a partir da chave do sistema de controle, e, com as resistências ligadas, pôde-se ajustar as temperaturas de secagem através do controlador de temperatura, que emitia para o milivoltímetro a leitura referente a cada temperatura desejada.

Após a secagem, o material seco foi triturado em um moinho para fabricação de farinha de rosca, Marca MetVisa Modelo MP200BNMF60NS, obtendo a farinha da casca do fruto das cactáceas acondicionado em embalagens metalizadas de polipropileno, revestidas internamente com polietileno, de densidade de $75,14 \text{ gm}^{-2}$ e as embalagens foram fechadas utilizando-se uma embaladora a vácuo.

Após o fechamento as embalagens foram devidamente rotuladas para identificação do conteúdo, constando a origem da farinha (cascas dos frutos das cactáceas facheiro ou mandacaru), a data de fabricação, a temperatura e a velocidade do ar de secagem, e armazenado a temperatura ambiente sob ventilação e condições higiênico-sanitárias adequadas, dentro de caixas de isopropileno expandido. Após este procedimento foi feita a análise físico-química e química (teores de água, teor de cinza, acidez graxa, proteína bruta, fibra alimentar, amido e granulometria).

4.3.3 – Caracterização química e físico-química da farinha das cascas dos frutos do facheiro e mandacaru

Os procedimentos para realização das análises físico-química do produto da farinha da cascas do fruto de facheiro e mandacaru nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, foram os mesmos como descrito no Capítulo I, para as análises de teor de água, teor de cinzas, teor de proteína, para as análises de acidez graxa, amido e granulometria segundo os procedimentos a seguir. As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata.

Foi realizada a caracterização do produto da farinha das cascas do fruto de facheiro e mandacaru (de acordo com as metodologias recomendadas pela legislação em vigor (BRASIL, 2005c; AOAC, 2005; AOAC, 2007; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.3.3.1 – Determinação do teor de acidez graxa

A acidez graxa foi determinada por titulação, de acordo com o método descrito pela (AOAC, 2005). Foram pesados 40g da amostra da farinha de cactácea e adicionados 100 mL de tolueno, colocando-se para agitar durante 1 hora e 30 minutos. Em seguida, realizou-se a filtragem com papel de filtro. Misturaram-se, em um béquer, 25 mL da solução filtrada com 25 mL de álcool mais fenolftaleína e, depois, titulou-se a solução com KOH até atingir-se o ponto de viragem. O resultado da acidez graxa foi expresso em mL de KOH por 100g de PS, calculado de acordo com as Equações 4.10 e 4.11.

$$PS = ((1 - X_{bu}) \times 40g) \quad (4.10)$$

em que:

PS - peso da amostra seca (g);

X_{bu} - teor de água na base úmida %

$$AG = (V \times 100)/PS \quad (4.11)$$

em que:

V - volume gasto de KOH na titulação da mistura (extrato +indicador) em mL;

AG - acidez graxa (ml de KOH 100⁻¹ g de PS).

4.3.3.2 – Teor de amido

Os métodos de determinação de amido estão baseados nas propriedades físicas das suas soluções ou no poder redutor dos glicídios mais simples (aos quais se pode chegar por hidrólise, no caso dos mais complexos). Os métodos de redução resumem-se em pesar ou titular a quantidade de óxido de Cu I precipitado de uma solução de íons de Cu II por um volume conhecido da solução de glicídios ou medir o volume da solução de glicídios necessário para reduzir completamente um volume conhecido da solução de cobre II. A determinação do teor de amido foi conduzida, por método hidrolítico, em que o amido é hidrolizado por ácido, segundo a metodologia descrita por INSTITUTO ADOLFO LUTZ, (2008).

4.3.3.3– Distribuição granulométrica

Com vistas à legislação do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2005b; BRASIL, 2011) tomou-se como base a classificação granulométrica da farinha de trigo e de mandioca para a análise granulométrica da farinha da casca do fruto de facheiro e mandacaru e tendo vista que terá a mesma finalidade alimentar.

Para esta análise, utilizou-se o conjunto de quatro peneiras redondas com diferentes aberturas e números 9 mesh tyler (10 ASTM USS ou 2,000 mm), 16 mesh tyler (18 ASTM USS ou 1,000 mm), 32 mesh tyler (35 ASTM USS ou 0,500 mm) e 60 mesh tyler (60 ASTM USS ou 0,250 mm). A quantidade de amostra da farinha das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru (50, 60 e 70 °C) utilizada foi de 100 g, e as peneiras com a amostra foram levadas ao equipamento Granutest (agitador eletromagnético) Marca BERTEL e Modelo AGMAG 8, com o reostato na posição 10, por um período de 10 min. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira foram pesadas, em uma balança semi-analítica com precisão de $\pm 0,01$ g. Os resultados apresentados são a média de três determinações e expressos em percentagens.

4.3.4 – Preparação do pão de forma formulados com a farinha das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru

As formulações do pão de forma foram desenvolvidas, partindo-se de uma formulação padrão (VASCONCELOS et al., 2006), apresentada na Tabela 4.4. A formulação básica para pão de forma foi modificada, substituindo-se 10% da farinha de trigo pelas farinhas das cascas

dos frutos de facheiro e das cascas dos frutos de mandacaru nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) e os demais ingredientes foram calculados pela a Equação 4.12 do cálculo da massas dos ingredientes.

$$y_i = \left(\frac{M Q_P}{\sum_{i=0}^n x} \right) 100 \quad (4.12)$$

em que:

y_i - ingredientes

M - massa por unidade de pão, kg

Q_P - quantidade de pães, unidade

$\sum_{i=0}^n x$ - somatório do percentual dos ingredientes na formulação

i - Número de termos na série

Tabela 4.4 - Formulação do pão de forma com farinhas das cascas dos frutos de facheiro e das cascas dos frutos de mandacaru

Ingredientes	Percentuais no pão de forma		
	Padrão	Facheiro	Mandacaru
Farinha de trigo	100,00	90,00	90,00
Farinha da casca do fruto de facheiro	0,00	10,00	0,00
Farinha da casca do fruto de mandacaru	0,00	0,00	10,00
Água	52,00	52,00	52,00
Sal	2,00	2,00	2,00
Fermento seco	2,50	2,50	2,50
Açúcar	5,00	5,00	5,00
Gordura	4,00	4,00	4,00
Leite em pó	3,00	3,00	3,00
Melhorador de pão	1,00	1,00	1,00

Após o cálculo e pesagem dos ingredientes o processamento do pão de forma, iniciou-se com a adição dos ingredientes na ordem: açúcar, fermento seco, leite em pó, sal, melhora dor, gordura e as farinhas misturado-se, adicionando água lentamente, levou-se a massa que foi formada pelos ingredientes à masseira para a batição até formar o ponto de véu, cilindrou-se a massa, modelou-se, colocou-se em fôrma própria (pão de forma), fermentou por duas (2:00)

horas e assou-se o pão de forma à temperatura de 180 °C por aproximadamente 25 a 30 minutos, deixou-se esfriar a temperatura ambiente por 8 horas, para depois ser fatiado.

4.3.5 – Análise sensorial

O pão de forma da farinha das cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru em diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) de acordo com o item 3.3.4, foram submetidos à análise sensorial através do teste de comparação múltipla, nos aspectos aroma, aparência, cor e sabor, segundo a escala hedônica de 5 pontos, de acordo com MENESES, MESSIAS & BARROS (2011) e SILVA, DUARTE & CAVALCANTI-MATA (2010) em que 50 degustadores de ambos os sexos, de idade entre 18 a 65 anos e não treinados, recrutados dentre alunos, técnicos administrativos e professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Belo Jardim, PE, receberam as amostras codificadas com números de três dígitos aleatórios, o pão de forma fatiados e colocados em bandejas de isopor (20x20 cm), quando avaliaram os produtos respondendo à ficha de avaliação em anexo (Apêndice C-C3). Os degustadores foram instruídos a fazer uma pausa entre a análise de uma amostra e outra, servindo-se de bolachas, água e sal e de água mineral, que foram servidos juntamente com as amostras, no sentido de minimizar os efeitos do sabor residual deixado pela amostra anterior.

4.3.6 – Análise estatística

Os resultados obtidos durante os experimentos foram avaliados estatisticamente pelo programa STATISTICA 7.0 (STATIST, 2005), utilizando ANOVA sendo consideradas diferenças ao nível de significância de $p < 0,05$, para comprovar a significância estatística do modelo matemático obtido para as variáveis dependentes e resultado do Teste F, o qual representa a razão entre o F calculado e o F tabelado. Sempre que esta relação for maior que 1 a regressão será estatisticamente significativa havendo relação entre as variáveis independentes e as dependentes. De acordo com RODRIGUES & IEMMA (2009) para que uma regressão seja não apenas significativa, mas também útil para fins preditivos, o valor da razão entre o F calculado e F tabelado, deve ser no mínimo maior que 4.

Os coeficientes das equações da cinética de secagem da casca do fruto de facheiro e da polpa da casca do fruto de mandacaru foram obtidos através da regressão não-linear utilizando-se o método Quase-Newton, do programa computacional Statistica, versão 7.0 (STATIST, 2005). Para a escolha do melhor ajuste foram analisados o coeficiente de determinação (R^2), que deve ser superior a 0,95 considerado desejável por SOUZA et al.(2011) e o desvio percentual médio (P) que deve ser inferior a 10% (PEREZ et al., 2013; VILHALVA et al., 2012).

Os resultados das análises química e físico-químicas da farinha obtido da casca do fruto de facheiro e de mandacaru nas temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) foram analisados utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2009), para o delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos (Temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C) e 3 repetições.

Na análise sensorial do pão de forma formulados com a farinha da casca do fruto de facheiro e da casca do fruto de mandacaru nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C), empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, utilizando-se o programa computacional CONSENSOR 1.1 (SILVA, DUARTE & CAVALCANTI-MATA, 2010).

4.4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 – Otimização da secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru

No planejamento experimental fatorial foi estudado a influência da temperatura (T) e a velocidade do ar (v_{ar}) durante a secagem convectiva.

Na Tabela 4.5 estão apresentados os valores codificados e reais das variáveis de estudo em relação ao teor de água na base seca (% Xbs), rendimento do processo (% RP) e tempo de secagem (t) obtida durante a secagem convectiva das cascas dos frutos de facheiro, de acordo com o planejamento experimental.

Tabela 4.5 - Planejamento Fatorial $2^2 + 3$ no ponto central (DCCR) para a secagem das cascas do fruto de facheiro

Ensaio	T (°C)	V_{ar} (m s ⁻¹)	%Xbs	%RP	t(minutos)
01	-1 (50)	-1(1)	9,37	8,03	630
02	+1(70)	-1(1)	5,46	7,81	255
03	-1 (50)	+1(2)	7,32	7,84	510
04	+1(70)	+1(2)	5,13	7,38	210
05	0 (60)	0(1,5)	6,81	7,88	405
06	0 (60)	0(1,5)	6,71	7,71	450
07	0 (60)	0(1,5)	6,62	7,81	390
08	-1,4142 (46)	0(1,5)	9,48	8,04	660
09	0 (60)	+1,4142 (2,2)	6,59	7,65	330
10	+1,4142 (75)	0 (1,5)	5,13	7,31	195
11	0 (60)	-1,4142 (0,8)	7,45	7,89	525

Teor de água – Xbs, Rendimento do processo – RP, Tempo de secagem – t

Na Tabela 4.6 estão apresentados os valores codificados e reais das variáveis de estudo em relação ao teor de água na base seca (% Xbs), rendimento do processo (% RP) e tempo de secagem (t) obtida durante a secagem convectiva das cascas dos frutos do mandacaru respectivamente, de acordo com o planejamento experimental.

Tabela 4.6 - Planejamento Fatorial $2^2 + 3$ no ponto central (DCCR) para a secagem das cascas do fruto de mandacaru

Ensaio	T (°C)	V _{ar} (m s ⁻¹)	%Xbs	%RP	t(minutos)
01	-1 (50)	-1(1)	7,53	8,23	510
02	+1(70)	-1(1)	5,15	7,55	195
03	-1 (50)	+1(2)	7,10	8,10	435
04	+1(70)	+1(2)	4,98	7,25	180
05	0 (60)	0(1,5)	5,92	7,99	315
06	0 (60)	0(1,5)	6,17	7,80	375
07	0 (60)	0(1,5)	6,10	7,93	360
08	-1,4142 (46)	0(1,5)	7,94	8,25	540
09	0 (60)	+1,4142 (2,2)	5,09	7,51	195
10	+1,4142 (75)	0 (1,50)	4,82	7,23	165
11	0 (60)	-1,4142 (0,8)	7,37	8,17	450

Teor de água – Xbs, Rendimento do processo – RP, Tempo de secagem – t

Os valores obtidos do teor de água variaram de 5,13% a 9,48%; rendimento do processo de 7,31% a 8,04%; tempo de 195 minutos a 660 minutos na secagem das cascas do fruto de facheiro; os valores obtidos de rendimento do processo na secagem das cascas do fruto de mandacaru variaram de 7,23% a 8,25%; o teor de água de 4,82% a 7,84%; tempo de 165 minutos a 540 minutos.

Os valores obtidos do teor de água ao final do processo variaram de 5,13% (ensaios 04 e 10) a 9,48% (ensaio 08); rendimento do processo na secagem das cascas do fruto de facheiro variou de 7,31% (ensaio 10) a 8,04% (ensaio 08); o tempo de secagem variou de 195 minutos (ensaio 10) a 660 minutos (ensaio 08); os valores obtidos de rendimento do processo na secagem das cascas do fruto de mandacaru variaram do teor de água ao final do processo variaram de 4,82% (ensaios 10) a 7,84% (ensaio 08); 7,23% (ensaio 10) a 8,25% (ensaio 08); o tempo de secagem variou de 165 minutos (ensaio 10) a 540 minutos (ensaio 08). Verifica-se diminuição no tempo gasto para a secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru, em função da elevação da temperatura, ou seja, o menor tempo de secagem é obtido na temperatura mais alta. Observa-se, também, que o tempo gasto para secar as cascas do fruto de facheiro e

mandacaru, a temperatura mais baixa (46 °C) é mais que o triplo do tempo despendido para secá-la a temperatura mais elevada (75 °C). Comportamento similar foi obtido com teor de água na base seca e o rendimento do processo em função da elevação da temperatura porém em menores proporções. OLIVEIRA, OLIVEIRA & PARK (2006) trabalharam com a raiz de chicória usando o secador convectivo, obtiveram a curva de secagem nas temperaturas de 60 e 80°C e velocidades do ar de 0,5, 1,0 m s⁻¹, com base em um planejamento fatorial, concluíram que o aumento da temperatura favoreceu a diminuição do tempo de secagem do produto final, onde o tempo de secagem foi de aproximadamente de 300 minutos para a temperatura de 42,5 °C, decaindo para 150 minutos na temperatura de 112,8 °C.

Nota-se que o tempo gasto diminuiu também em função do aumento da velocidade do ar, porém não foi a variável determinante para o processo, uma vez que, o menor tempo de secagem foi de 195 e 165 minutos na velocidade de 1,5 m s⁻¹, entretanto na velocidade mais alta (2,2 m s⁻¹) obteve o tempo de 330 e 195 minutos para a secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru, respectivamente. Comportamento similar foi obtido para o teor de água na base seca e para o rendimento do processo em função do aumento da velocidade do ar. ALMEIDA et al. (2006) estudando a cinética de secagem do fruto de acerola em um secador convectivo, obtiveram a curva de secagem nas temperaturas de 60, 70 e 80°C e velocidades do ar de 1,0, e 1,5 m s⁻¹, onde o tempo de secagem foi de aproximadamente de 1000 e 950 minutos para a temperatura de 60 °C, decaindo para 400 e 450 minutos na temperatura de 80 °C, nas velocidades do ar de 1,0 e 1,5 m s⁻¹, respectivamente. Concluíram que a cinética foi pouco influenciada pela velocidade do ar de secagem e fortemente influenciada pelas temperaturas.

Verifica-se também nas Tabelas 4.5 e 4.6 que os pontos centrais apresentaram pequena variação para as variáveis independentes teor de água, rendimento do processo e tempo de secagem, indicando repetibilidade significativa para estes parâmetros avaliados. Através da metodologia de planejamento de experimentos e análise de superfície de resposta, os efeitos principais (temperatura e velocidade do ar de secagem) e as interações entre os dois fatores que influenciaram significativamente o teor de água na base seca, rendimento do processo e tempo de secagem, no processo de secagem convectiva das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru, foram analisados.

Nas Tabelas 4.7 e 4.8 encontram-se os modelos de regressão não linear considerando apenas os parâmetros estatisticamente significativos a 95% de confiança e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e os valores do teste F.

Tabela 4.7 - Modelos de segunda ordem para as variáveis respostas na secagem das cascas do fruto de facheiro

Variáveis dependentes	Modelo de regressão	R^2	Teste F
% RP = 6,507 – 0,056T – 0,56V – 0,012TxV – 0,001T ² – 0,028V ²		0,88	6,99
% Xbs = 33,948 – 0,563T – 6,802V + 0,086TxV + 0,002T ² + 0,246V ²		0,96	16,21
t = 2014,691 – 26,131T – 320,016V – 3,750TxV + 0,034T ² – 5,197V ²		0,98	27,83

T - Temperatura ; V - Velocidade do ar;

Obs: Valores em negrito são estatisticamente significativos

Tabela 4.8 - Modelos de segunda ordem para as variáveis respostas na secagem das cascas do fruto de mandacaru

Variáveis dependentes	Modelo de regressão	R^2	Teste F
% RP = 6,830 – 0,065T – 0,632V – 0,008TxV – 0,001T ² – 0,155V ²		0,93	12,51
% Xbs = 21,072 – 0,307T – 2,342V + 0,013TxV + 0,002T ² + 0,202V ²		0,91	10,44
t = 1545,021 – 21,101T – 93,902V + 3,000TxV + 0,025T ² – 66,326V ²		0,93	14,80

T - Temperatura ; V - Velocidade do ar;

Obs: Valores em negrito são estatisticamente significativos

De acordo com as equações apresentadas nas Tabelas 4.7 e 4.8 constata-se que os modelos são estatisticamente significativos e preditivo para o teor de água na base seca, rendimento do processo e tempo de secagem por apresentarem a o coeficiente de determinação próximo de um (01) (THEODORO et al., 2011) e a razão Fcalculado/Ftabelado maior que 4 (Teste F) (RODRIGUES & IEMMA, 2009).

4.1.1.1 - Teor de água

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam o gráfico de Pareto com nível de significância de 95% para estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de água no processo de secagem das cascas do fruto de facheiro e mandacaru respectivamente. O diagrama de Pareto apresenta graficamente os efeitos significativos a nível de confiança utilizado. Os valores que ultrapassam o valor de p são considerados estatisticamente significativos.

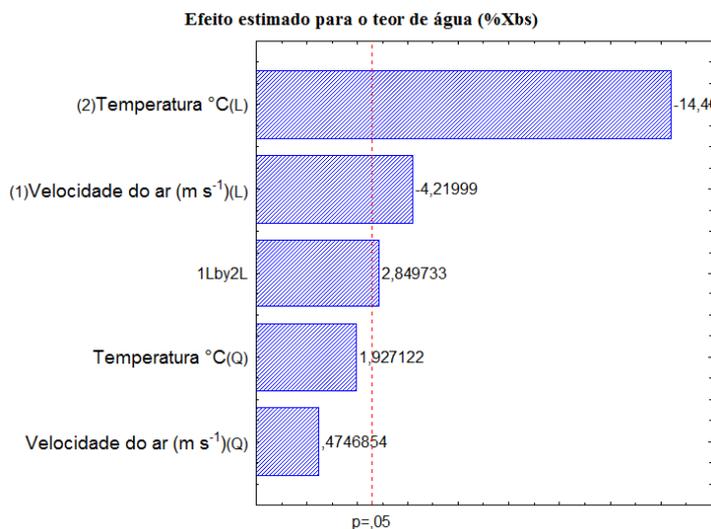


Figura 4.6 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de água no processo de secagem das cascas do fruto de facheiro

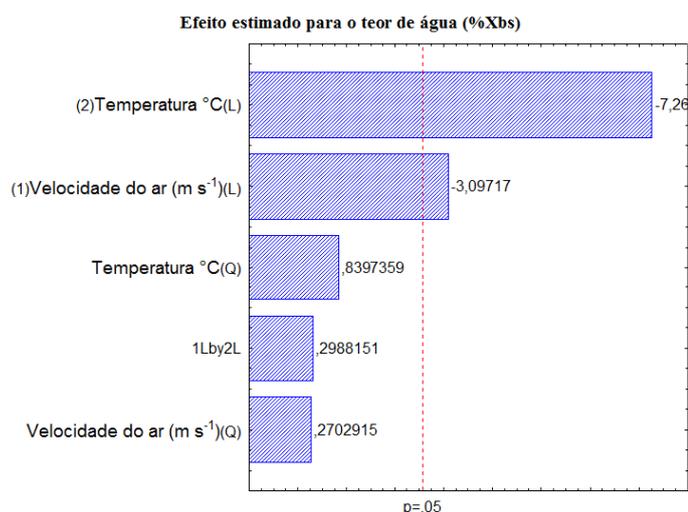


Figura 4.7 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o teor de água no processo de secagem das cascas do fruto de mandacaru

Nas Figuras 4.6 e 4.7 encontra-se o diagrama de Pareto para o teor de água da casca dos frutos de facheiro e mandacaru durante a secagem convectiva, e confirma-se o resultado do efeito significativo a 95% de confiança ($p < 0,05$) da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar de secagem (m s^{-1}) (ambos os termos lineares), salientando que ambos não influenciaram de forma quadrática. Observa-se ainda que a temperatura foi a variável que apresentou o maior efeito na porcentagem do teor de água. Comportamento similar foi constatado por RODRIGUES et al. (2002), ao fazerem a avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba, onde concluíram que para o mesmo tempo do processo, quanto maior for à temperatura do ar, maior

é a taxa de secagem e menor o teor de água final do produto. Na cinética de secagem das cascas de abacaxi enriquecida, mostra que a temperatura é a variável de maior influência no processo de acordo com ALEXANDRE et al. (2013), onde o teor de água final do produto foi de 9,4 e 9,3% para a temperatura de 40 °C e velocidade do ar de 0,8 m s⁻¹ e de 1,8 m s⁻¹ e reduzindo para 6,4 e 6,2% para temperatura de 60 °C nas mesmas velocidades estudadas anteriormente.

As Tabelas 4.9 e 4.10 corresponde à análise de variância (ANOVA) utilizada para comprovar a significância estatística do modelo matemático obtido para o teor de água e o resultado do Teste F, na secagem da casca do fruto de facheiro e mandacaru para os modelos de primeira e segunda ordem.

Tabela 4.9 - Análise de Variância do modelo ajustado para o teor de água na secagem da casca do fruto de facheiro para os modelos de primeira e segunda ordem

FV	SQ		GL		MQ		Fcalculado	
	1 ^a	2 ^a						
Regressão	10,7186	20,9776	2	3	5,3593	6,9925	27,58	60,13
Resíduo	0,7772	0,8141	4	7	0,1943	0,1163		
Falta de ajuste	0,7396	0,3587	1	2				
Erro Puro	0,0376	0,4554	3	5				
Total	11,4958	21,7917	6	10				
R ²	93,24%	96,26%						
F tabelado							5,14	3,71
TESTE F							5,36	16,21

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ – Soma quadrática; MQ – Média quadrática

Tabela 4.10 - Análise de Variância do modelo ajustado para o teor de água na secagem da casca do fruto de mandacaru para o modelo de primeira e segunda ordem

FV	SQ		GL		MQ		Fcalculado	
	1 ^a	2 ^a						
Regressão	4,5153	11,6984	1	2	4,5153	5,8492	31,57	42,79
Resíduo	0,7149	1,0936	5	8	0,1430	0,1367		
Falta de ajuste	0,1069	0,1473	2	3				
Erro Puro	0,6080	0,9463	3	5				
Total	5,2302	12,7920	6	10				
R ²	86,33%	91,45%						
F tabelado							5,99	4,10
TESTE F							5,27	10,44

FV - Fonte de variação; SQ – Soma quadrática; GL - Grau de liberdade; MQ – Média quadrática

Como o valor do teste F (Fcalculado/Ftabelado) exibido nas Tabelas 4.9 e 4.10 é superior a 4,0, conclui-se que os modelos, além de estatisticamente significativo, também é

preditivo; portanto, o modelo pode ser usado para prever ou controlar o valor do teor de água mediante variação da temperatura e velocidade do ar de secagem, pelo menos na faixa dos valores testados. Contudo, o modelo de segunda ordem (quadrático) apresentou valores mais significativos que o modelo de primeira ordem (linear), ou seja, o Teste F para o modelo quadrático foi maior que o modelo linear, por isso a preferência pelo quadrático.

O coeficiente de determinação (R^2) para os modelos ajustados foram de 0,9324 para o modelo de primeira ordem e 0,9626 para o de segunda ordem, na secagem da casca do fruto de facheiro; na secagem da casca do fruto de mandacaru foram de 0,8633 para o modelo de primeira ordem e 0,9145 para o de segunda ordem, como o modelo de segunda ordem apresentam-se com o coeficiente de determinação (R^2) maior do que o de primeira ordem e esta mais próximo da unidade, indica que os modelos de segunda ordem apresentaram melhor precisão. Resultados semelhantes foram observados GOUVEIA et al. (2002) na qualidade do ajuste.

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam a superfície para a resposta teor de água da casca do fruto de facheiro e mandacaru em função da temperatura e velocidade do ar de secagem, gerada por meio do modelo proposto. Verifica-se que ao fixar a temperatura no nível +1,4142 (75 °C), operando-se o processo de secagem com a velocidade do ar no nível 0 (1,5 m s⁻¹), obteve-se o menor valor de perda de água, em torno de 5,13% para as cascas do fruto de facheiro; para as cascas do fruto de mandacaru ao fixar a temperatura no nível +1,4142 (75 °C), operando-se o processo de secagem com a velocidade do ar no nível 0 (1,5 m s⁻¹), obteve-se o menor valor de perda de água, em torno de 4,82%.

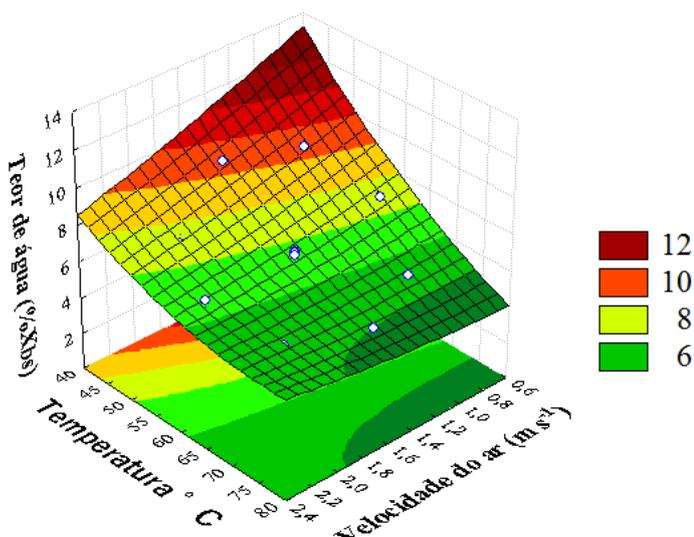


Figura 4.8 - Superfície de resposta para o teor de água (%Xbs) na secagem das cascas do fruto de facheiro

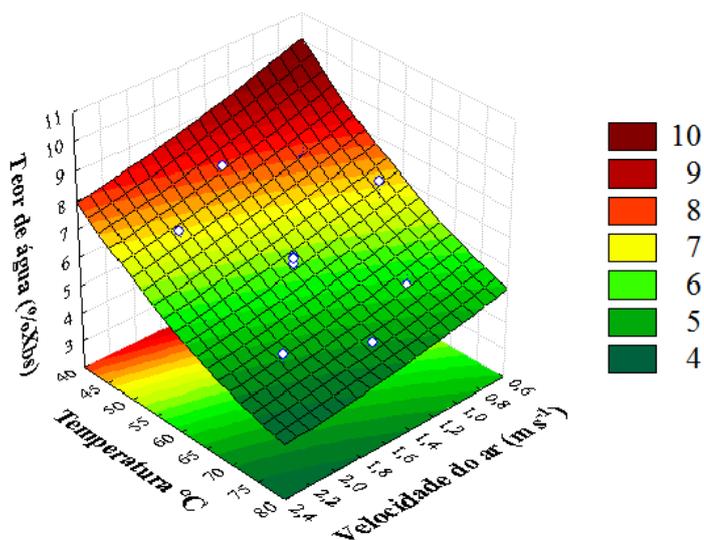


Figura 4.9 - Superfície de resposta para o teor de água (%Xbs) na secagem das cascas do fruto de mandacaru

4.1.1.2 - Rendimento do processo de secagem

As Figuras 4.10 e 4.11 apresenta o gráfico de Pareto com nível de significância de 95% para estimativa dos efeitos das variáveis independentes sobre o rendimento do processo de secagem das cascas do fruto de facheiro e mandacaru respectivamente. O diagrama de Pareto apresenta graficamente os efeitos significativos a nível de confiança utilizado. Os valores que ultrapassam o valor de p são considerados estatisticamente significativos

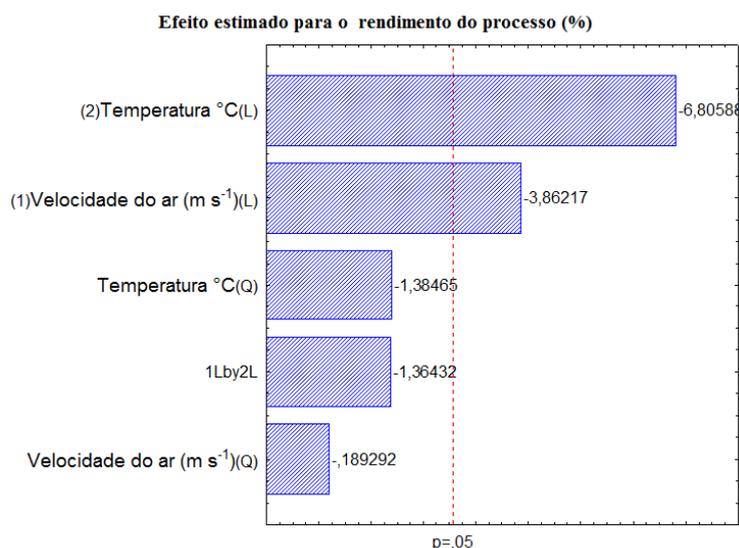


Figura 4.10 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre rendimento do processo da secagem das cascas do fruto de facheiro

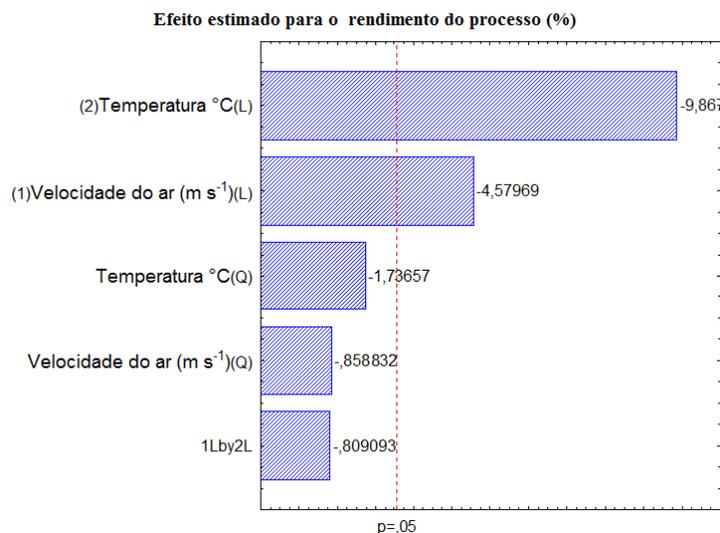


Figura 4.11 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre rendimento do processo da secagem das cascas do fruto de mandacaru

Observa-se nas Figuras 4.10 e 4.11 o rendimento do processo da casca dos frutos de facheiro e mandacaru durante a secagem convectiva que os coeficientes lineares obtidos são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% para estimativa dos efeitos principais, ou seja, as variáveis independentes influenciam no rendimento obtido, salientando que não influenciaram de forma quadrática. Observa-se ainda que a temperatura foi a variável que apresentou o maior efeito na porcentagem do rendimento do processo.

As Tabelas 4.11 e 4.12 corresponde à análise de variância (ANOVA) utilizada para comprovar a significância estatística do modelo matemático obtido para o rendimento da secagem da casca do fruto de facheiro e mandacaru, respectivamente para o modelo de primeira e segunda ordem.

Tabela 4.11 - Análise de Variância do modelo ajustado para o rendimento da secagem da casca do fruto de facheiro para o modelo de primeira e segunda ordem

FV	SQ		GL		MQ		Fcalculado	
	1 ^a	2 ^a						
Regressão	0,2117	0,4873	2	2	0,1059	0,2436	13,58	28,66
Resíduo	0,0311	0,0682	4	8	0,0078	0,0085		
Falta de ajuste	0,0144	0,0295	1	3				
Erro Puro	0,0167	0,0387	3	5				
Total	0,2428	0,5555	6	10				
R ²	87,19%	87,72%						
F tabelado							5,14	4,10
TESTE F							2,64	6,99

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ – Soma quadrática; MQ – Média quadrática

Tabela 4.12 - Análise de Variância do modelo ajustado para o rendimento da secagem da casca do fruto de mandacaru para o modelo de primeira e segunda ordem

FV	SQ		GL		MQ		Fcalculado	
	1 ^a	2 ^a						
Regressão	0,5853	1,3335	1	2	0,5853	0,6667	29,71	51,28
Resíduo	0,0987	0,1038	5	8	0,0197	0,0130		
Falta de ajuste	0,0534	0,0486	2	3				
Erro Puro	0,0453	0,0552	3	5				
Total	0,6840	1,4373	6	10				
R ²	85,57%	92,78%						
F tabelado							5,99	4,10
TESTE F							4,96	12,51

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ – Soma quadrática; MQ – Média quadrática

O coeficiente de determinação (R^2) obtidos foram de 0,8719 para o modelo de primeira ordem e 0,8772 para o de segunda ordem na secagem da casca do fruto de facheiro; na secagem da casca do fruto de mandacaru foram de 0,8557 para o modelo de primeira ordem e 0,9278 para o de segunda ordem, como o modelo de segunda ordem apresentam-se maior do que o de primeira ordem e esta mais próximo da unidade, indica que os modelos de segunda ordem apresentaram melhor precisão.

Além da avaliação de R^2 , o ajuste de um modelo tem como parâmetro de verificação a relação F calculado deve ser de pelo menos 3 a 4 vezes maior que F tabelado, para que um modelo seja considerado preditivo (ALMEIDA et al., 2006). No caso dos modelos obtidos, a relação para a regressão apresentou um valor de 2,64 e 6,99 para os modelos de primeira e segunda ordem respectivamente para a casca do fruto de facheiro; para a casca do fruto de mandacaru foi de 4,96 e 12,51 para os modelos de primeira e segunda ordem respectivamente; podendo-se concluir que o ajuste foi melhor para os modelos de segunda ordem. Valores próximos a estes foram obtidos por GOUVEIA et al. (2002) ao trabalhar com a avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental que encontrou uma relação para a regressão de 5,40 e 18,69 para o modelo de primeira e segunda ordem respectivamente e inferior obtido por CARVALHO (2007) ao trabalhar com a otimização dos parâmetros tecnológicos para a produção de estruturados de frutas funcionais a partir de polpa de açaí e “mix” de taperebá com mamão encontrando uma relação para a regressão de 2,74 para o modelo de segunda ordem.

As Figuras 4.12 e 4.13 apresentam a superfície de resposta para a variável dependente rendimento do processo em função da temperatura e velocidade do ar de secagem, gerada por meio do modelo proposto. Observa-se que os parâmetros avaliados (temperatura e velocidade

do ar) tiveram influências sobre o rendimento do processo, ou seja, o aumento dos valores referentes aos parâmetros foi diretamente proporcional ao rendimento do processo de secagem. Verifica-se com a temperatura no nível -1,4142 (46 °C), operando-se o processo de secagem com a velocidade do ar no nível 0 (1,5 m s⁻¹), obteve-se o maior valor do rendimento do processo de secagem, em torno de 8,04% para as cascas do fruto de facheiro; para as cascas do fruto de mandacaru ao fixar a temperatura no nível -1,4142 (46 °C), operando-se o processo de secagem com a velocidade do ar no nível 0 (1,5 m s⁻¹), obteve-se o maior valor de rendimento do processo de secagem, em torno de 8,25%.

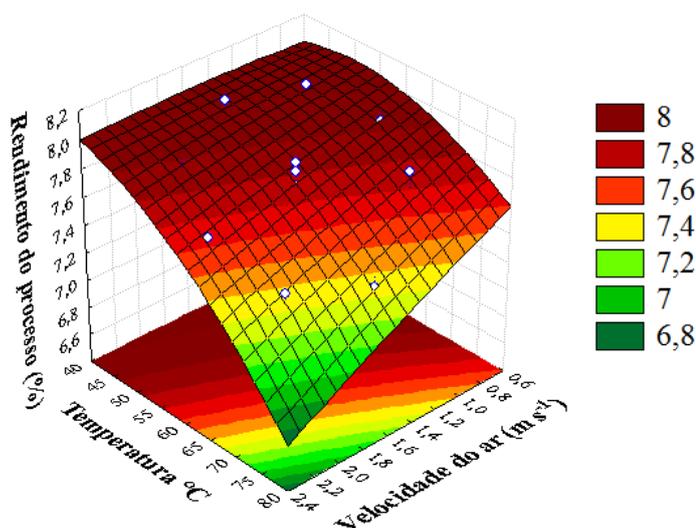


Figura 4.12 - Superfície de resposta para o rendimento do processo (%) na secagem das cascas do fruto de facheiro

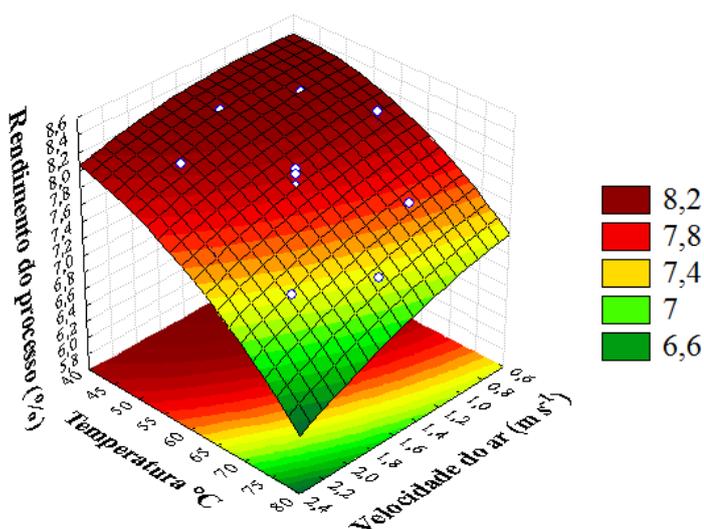


Figura 4.13 - Superfície de resposta para o rendimento do processo (%) na secagem das cascas do fruto de mandacaru

4.1.1.3 - Tempo para a secagem

Nas Figuras 4.14 e 4.15 encontram-se o diagrama de Pareto do tempo no processo de secagem. Observa-se que os efeitos significativos a 95% de confiança ($p < 0,05$), foram à temperatura e velocidade do ar, sendo o primeiro parâmetro temperatura o que mais influenciou, fato este evidenciado pelo valor absoluto de t igual a 14,16; 7,979, seguido do segundo parâmetro (velocidade do ar) com valor absoluto de t igual a 4,69; 3,27, para secagem das cascas do fruto de facheiro e mandacaru respectivamente.

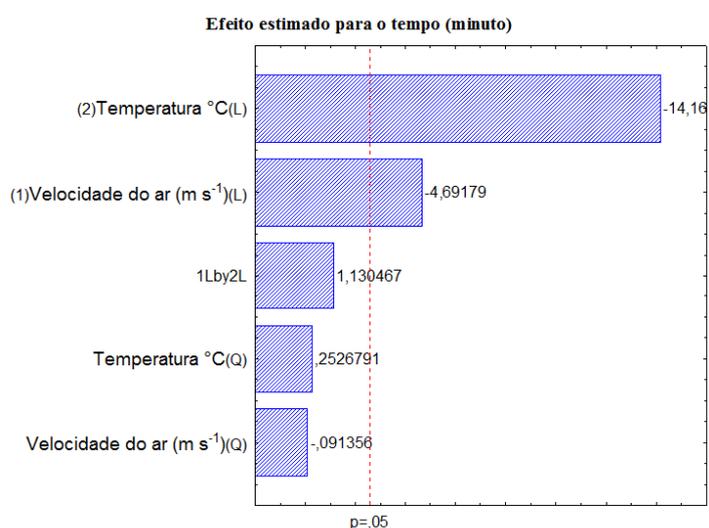


Figura 4.14 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o tempo no processo de secagem das cascas do fruto de facheiro

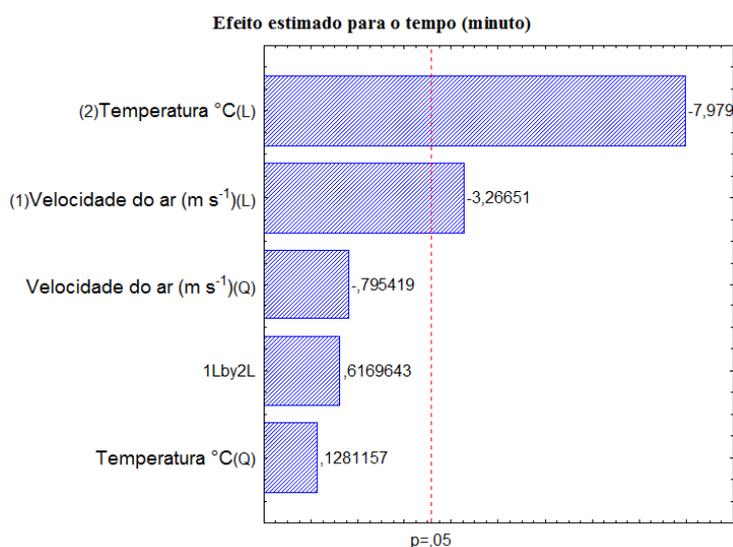


Figura 4.15 - Diagrama de Pareto dos efeitos das variáveis independentes sobre o tempo no processo de secagem das cascas do fruto de mandacaru

GOUVEIA et al. (2002) concluíram que a temperatura é o fator controlador do processo; ALEXANDRE et al. (2013) que na cinética de secagem das cascas de abacaxi enriquecida mostra que a temperatura é a variável de maior influência no processo.

As Tabelas 4.13 e 4.14 corresponde à análise de variância (ANOVA) utilizada para comprovar a significância estatística do modelo matemático obtido para o tempo.

Constata-se nas Tabelas 4.13 e 4.14 que o valor de $F_{calculado} > F_{tabelado}$, e a razão entre $F_{calculado}$ e $F_{tabelado}$ foram iguais a 9,06 e 27,83 e o coeficiente de determinação (R^2) iguais a 0,9157 e 0,9779 para primeira e segunda ordem respectivamente para a secagem das cascas do fruto de facheiro; resultado semelhante para as cascas do fruto de mandacaru que a razão entre $F_{calculado}$ e $F_{tabelado}$ foram iguais a 12,19 e 14,80 e o coeficiente de determinação (R^2) iguais a 0,9359 e 0,9381 para primeira e segunda ordem respectivamente.

Tabela 4.13 - Análise de Variância do modelo ajustado para o tempo na secagem da casca do fruto de facheiro para o modelo de segunda ordem

FV	SQ		GL		MQ		Fcalculado	
	1 ^a	2 ^a						
Regressão	113906,2	246991,3	1	3	113906,2	82330,43	54,30	103,26
Resíduo	10486,7	5581,4	5	7	2097,7	797,34		
Falta de ajuste	8212,6	79,5	2	2				
Erro Puro	2274,1	5501,9	3	5				
Total	124392,9	252572,7	6	1				
				0				
R^2	91,57%	97,79%						
F tabelado							5,99	3,71
TESTE F							9,06	27,83

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ – Soma quadrática; MQ – Média quadrática

Tabela 4.14 - Análise de Variância do modelo ajustado para o tempo na secagem da casca do fruto de mandacaru para o modelo de segunda ordem

FV	SQ		GL		MQ		Fcalculado	
	1 ^a	2 ^a						
Regressão	81225,00	216256,9	1	2	81225,00	108128,45	73,03	60,67
Resíduo	5560,71	14256,7	5	8	1112,14	1782,09		
Falta de ajuste	2925,00	2434,7	2	3				
Erro Puro	2635,71	11822,0	3	5				
Total	86785,71	230513,6	6	1				
				0				
R^2	93,59%	93,81%						
F tabelado							5,99	4,10
TESTE F							12,19	14,80

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; SQ – Soma quadrática; MQ – Média quadrática

A partir destes resultados verifica-se que os modelos de primeira e segunda ordem do tempo foram estatisticamente significativo e preditivo, entretanto, como o modelo de segunda ordem apresentaram, o resultado do Teste F e o coeficiente de determinação (R^2) maior do que o de primeira ordem e o R^2 esta mais próximo da unidade, indica que os modelos de segunda ordem apresentaram melhor precisão. Resultados semelhantes foram observados por RODRIGUES et al. (2002) cujo o resultado do teste F foram de 4,70 e 21,20 e o coeficiente de determinação foram de 0,85 e 0,92 para primeira e segunda ordem respectivamente e SOUSA (2008) cujo o resultado do teste F foi de 4,89 e o coeficiente de determinação foi de 0,95 para segunda ordem os quais utilizaram o planejamento experimental na avaliação da cinética de secagem de goiaba e figo respectivamente.

A superfície de resposta exibida nas Figuras 4.16 e 4.17 foram construída de forma a representar a influência das variáveis (temperatura e velocidade do ar no tempo. Analisando a superfície de resposta, observa-se que as condições de menor tempo são obtidas da condição do ponto axial +1,4142 (75 °C) e 0 (1,5 m s⁻¹), obtendo-se valores de tempo de 195 e 165 minutos para a secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru respectivamente. Observa-se ainda que a dependência quadrática da temperatura e velocidade do ar na variável de resposta tempo causou a concavidade na superfície de resposta.

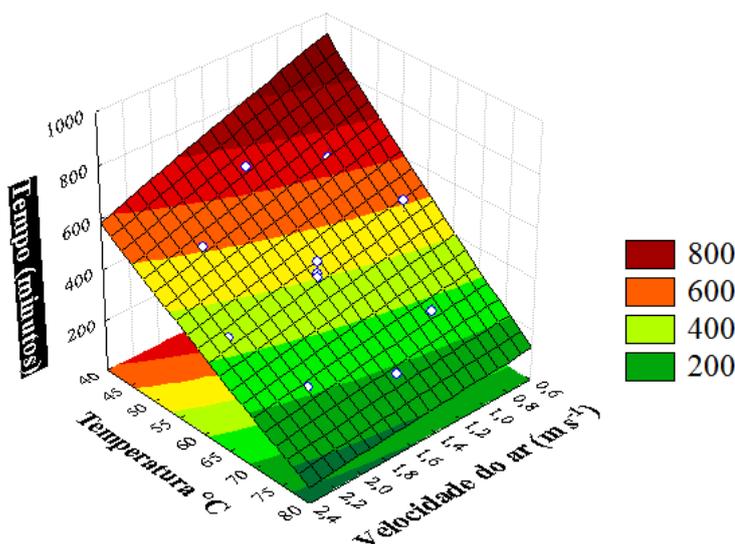


Figura 4.16 - Superfície de resposta para o tempo (minutos) na secagem das cascas do fruto de facheiro

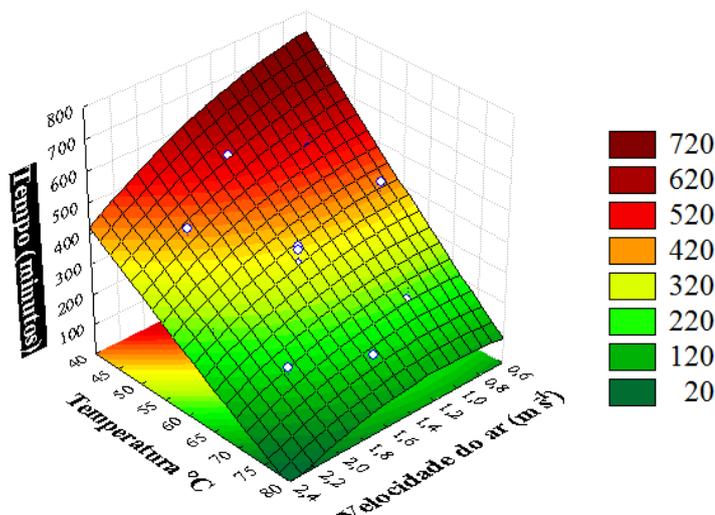


Figura 4.17 - Superfície de resposta para o tempo (minutos) na secagem das cascas do fruto de mandacaru

4.4.2 – Cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru

Nas Tabelas 4.15 a 4.22 encontram-se os valores dos parâmetros, dos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios, que foram obtidos por regressão não linear (Quasi-Newton), dos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page e exponencial de dois termos ajustados aos dados experimentais (Apêndice D-C4) das curvas das cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru nas temperaturas e velocidade do ar estudadas de acordo com o planejamento experimental fatorial.

Tabela 4.15 - Parâmetros do modelo matemático de Cavalcanti Mata e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro

Ensaios		Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R^2	P(%)
T	v	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6		
50	1,0	0,607167	0,011726	0,925563	0,393450	0,925751	-0,004461	0,99992	0,38
70	1,0	0,075924	0,014389	0,464801	1,033209	1,011837	-0,043816	0,99878	2,60
50	2,0	1,022585	0,012568	0,917901	-0,03049	0,359921	0,006001	0,99953	1,64
70	2,0	1,070173	0,012226	0,094177	1,069691	0,983033	-1,13994	0,99969	1,48
60	1,5	-1,64524	0,022273	0,567210	2,052666	0,758639	0,596644	0,99939	1,97
60	1,5	11,12691	0,028564	0,635767	-11,2950	0,590463	1,167769	0,99950	1,69
60	1,5	-6,81394	0,040943	0,466542	5,857866	0,582636	1,955439	0,99940	1,39
46	1,5	-0,255301	0,011142	0,569540	1,127745	0,869309	0,128784	0,99996	0,37
60	2,2	-3,34494	0,027828	0,550938	3,406218	0,687352	0,938440	0,99910	1,97
75	1,5	0,236439	0,049981	1,613635	0,780402	1,238213	-0,025198	0,99815	8,82
60	0,8	-0,575654	0,011615	0,587905	1,235941	0,929809	0,344366	0,99801	2,86

T - temperatura ($^{\circ}C$); v - velocidade do ar ($m\ s^{-1}$)

Tabela 4.16 - Parâmetros do modelo matemático de Midilli, Kucuk & Yapar e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro

Ensaio		Parâmetros do Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar				R^2	P(%)
T	V	A	K	N	B		
50	1,0	0,995395	0,011502	0,930898	-0,000005	0,99991	0,42
70	1,0	0,990915	0,012157	1,028999	-0,000155	0,99857	2,81
50	2,0	0,996634	0,012073	0,931861	-0,000034	0,99950	1,62
70	2,0	0,997818	0,013796	0,979195	-0,000300	0,99961	1,75
60	1,5	1,001673	0,014574	0,916017	-0,000070	0,99931	2,00
60	1,5	0,997590	0,012973	0,941713	-0,000046	0,99922	2,02
60	1,5	1,006038	0,014060	0,916319	-0,000093	0,99919	1,80
46	1,5	0,997335	0,008725	0,919326	-0,000007	0,99984	0,42
60	2,2	0,999819	0,012137	0,900992	-0,000142	0,99897	1,95
75	1,5	0,998605	0,016448	1,107269	-0,000088	0,99766	9,15
60	0,8	1,000839	0,011921	1,015215	-0,000010	0,99784	3,02

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

Tabela 4.17 - Parâmetros do modelo matemático de Page e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro

Ensaio		Parâmetros do Modelo de Page		R^2	P(%)
T	V	K	N		
50	1,0	0,011445	0,933765	0,99987	0,55
70	1,0	0,008601	1,103534	0,99589	4,00
50	2,0	0,010631	0,963353	0,99917	1,79
70	2,0	0,008758	1,106677	0,99758	4,08
60	1,5	0,011442	0,975042	0,99862	2,65
60	1,5	0,011064	0,981555	0,99872	2,60
60	1,5	0,010145	0,994356	0,99826	2,30
46	1,5	0,011566	0,927116	0,99973	0,58
60	2,2	0,011308	0,992133	0,99622	3,37
75	1,5	0,009972	1,147641	0,99700	15,07
60	0,8	0,008264	1,027662	0,99776	3,13

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

Tabela 4.18 - Parâmetros do modelo matemático de exponencial de dois termos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro

Ensaio		Parâmetros do Modelo exponencial de dois termos				R^2	P(%)
T	V	A	K				
50	1,0	0,055966	0,138098		0,99979	0,79	
70	1,0	0,003994	3,429566		0,99313	4,74	
50	2,0	0,038058	0,223961		0,99936	1,45	
70	2,0	0,004075	3,454006		0,99603	4,78	
60	1,5	0,026652	0,370434		0,99873	2,44	
60	1,5	0,024648	0,400487		0,99884	2,29	
60	1,5	0,012204	0,799001		0,99828	2,26	
46	1,5	0,062977	0,118823		0,99968	0,91	
60	2,2	0,022868	0,465557		0,99651	3,00	
75	1,5	0,003304	5,598503		0,99228	24,63	
60	0,8	0,005548	1,695198		0,99747	3,01	

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

Tabela 4.19 - Parâmetros do modelo matemático de Cavalcanti Mata e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru

Ensaio		Parâmetros do Modelo de Cavalcanti Mata						R^2	P(%)
T	v	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6		
50	1,0	0,915093	0,009120	1,134041	0,082804	0,910021	-0,000619	0,99893	0,81
70	1,0	23,22552	0,016295	0,886797	-22,4171	0,877959	0,178950	0,99984	2,19
50	2,0	1,004240	0,011581	1,076202	-0,024789	0,640242	0,019019	0,99978	2,01
70	2,0	0,504065	0,016444	1,060495	0,504066	1,060495	-0,021013	0,99978	6,86
60	1,5	0,496427	0,011208	1,102996	0,496458	1,102985	-0,004295	0,99831	9,66
60	1,5	0,495619	0,010961	1,107038	0,495781	1,107102	-0,001944	0,99872	8,41
60	1,5	0,303245	0,012437	1,081062	0,698106	1,081134	-0,002528	0,99904	8,24
46	1,5	0,497265	0,010063	1,085289	0,497346	1,085219	0,009449	0,99943	2,34
60	2,2	0,496851	0,013633	1,073852	0,497519	1,073890	-0,009305	0,99957	5,31
75	1,5	0,500396	0,019194	1,089732	0,500462	1,089758	-0,013972	0,99879	7,87
60	0,8	0,485561	0,009827	1,125803	0,506256	1,126330	-0,000336	0,99911	7,26

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

Tabela 4.20 - Parâmetros do modelo matemático de Midilli, Kucuk & Yapar e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru

Ensaio		Parâmetros do Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar				R^2	P(%)
T	V	A	K	N	B		
50	1,0	1,002731	0,010296	1,066499	0,000019	0,99960	1,35
70	1,0	0,985021	0,014537	1,085071	-0,000098	0,99964	7,40
50	2,0	0,998364	0,010464	1,079029	0,000011	0,99978	2,01
70	2,0	0,986840	0,016202	1,070499	-0,000107	0,99977	7,40
60	1,5	0,987847	0,011912	1,111074	-0,000010	0,99827	9,84
60	1,5	0,988825	0,010738	1,112840	-0,000002	0,99871	8,51
60	1,5	0,998307	0,012217	1,086457	-0,000005	0,99902	8,36
46	1,5	1,006019	0,010750	1,066577	0,000018	0,99925	2,70
60	2,2	0,984505	0,013319	1,082663	-0,000034	0,99953	5,56
75	1,5	0,986661	0,015969	1,097771	-0,000076	0,99879	9,52
60	0,8	0,991128	0,009707	1,129326	0,000003	0,99911	7,27

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

Tabela 4.21 - Parâmetros do modelo matemático de Page e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru

Ensaio		Parâmetros do Modelo de Page		R^2	P(%)
T	V	K	N		
50	1,0	0,011912	1,051563	0,99904	2,12
70	1,0	0,013904	1,106914	0,99879	14,27
50	2,0	0,011971	1,068268	0,99971	2,06
70	2,0	0,015268	1,096061	0,99903	19,20
60	1,5	0,011623	1,100028	0,99813	12,24
60	1,5	0,011560	1,098404	0,99862	8,74
60	1,5	0,012218	1,087257	0,99901	8,45
46	1,5	0,011090	1,056016	0,99867	3,37
60	2,2	0,013789	1,081006	0,99913	6,41
75	1,5	0,015622	1,111976	0,99826	27,73
60	0,8	0,010409	1,114901	0,99906	7,46

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

Tabela 4.22 - Parâmetros do modelo matemático de exponencial de dois termos e respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) da cinética de secagem das cascas dos frutos de mandacaru

Ensaio		Parâmetros do Modelo exponencial de dois termos		R^2	P(%)
T	V	A	K		
50	1,0	0,003999	3,721944	0,99846	4,35
70	1,0	0,006569	3,230315	0,99609	29,78
50	2,0	0,004377	3,662806	0,99868	4,16
70	2,0	0,003968	5,640819	0,99693	35,23
60	1,5	0,003917	4,529218	0,99612	18,23
60	1,5	0,004171	4,200419	0,99668	14,37
60	1,5	0,004096	4,309614	0,99742	12,72
46	1,5	0,003949	3,586713	0,99799	5,61
60	2,2	0,004135	4,657059	0,99767	13,27
75	1,5	0,003611	6,706586	0,99572	56,57
60	0,8	0,004828	3,511316	0,99641	13,81

T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); v - velocidade do ar (m s^{-1})

A análise dos resultados indica que os modelos ajustaram bem aos dados experimentais de secagem, apresentando o coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,95 considerado desejável por SOUZA et al.(2011) e PEREZ et al. (2013) ressaltam que o coeficiente de determinação (R^2) não é capaz de, sozinho, determinar satisfatoriamente o melhor modelo, tornando-se viável, portanto, a avaliação dos demais coeficientes calculados. Neste contexto, os valores dos desvios percentuais médios (P) indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo. Os modelos de Cavalcanti Mata e Midilli, Kucuk e Yapar, na secagem das cascas dos fruto de facheiro e mandacaru, apresentaram um bom ajuste aos dados experimentais, pois os valores de P obtidos foram inferiores ao valor sugerido por PEREZ et al. (2013) e VILHALVA et al. (2012), que é de 10%.

Ao reportar a cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru nas temperatura e velocidade do ar estudadas de acordo com o planejamento fatorial, constata-se a partir dos resultados apresentados foi possível observar que os modelos matemáticos propostos foram capazes de acompanhar a evolução do teor de água do material bem como, da temperatura do ar de secagem para as diferentes condições e situações experimentais. É importante salientar que alguns erros experimentais como interferências das condições externas e erros de medidas da temperatura da amostra causados pelo termopar, podem ter contribuído para os desvios entre os valores experimentais e calculados na simulação para a temperatura da amostra, entretanto, observou-se que dentre os modelos sugeridos durante a cinética de secagem, o modelo de Cavalcanti Mata por apresentar os maiores coeficientes de determinação

(R^2) e os menores desvios percentuais médios (P) entre os modelos matemáticos estudados é o que melhor prediz a cinética de secagem, cujos valores de “ a_2 ” variaram de 0,011142 à 0,049981 e de 0,010063 à 0,019194, na cinética de secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru respectivamente, “ a_2 ” crescendo com o aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi obtido por MELO et al. (2013), ao trabalharem com a polpa do fruto do mandacaru nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C, os valores de R^2 foram de 0,999 e os desvios quadrados médios variando de 0,0000 a 0,0001. MARQUES et al. (2007) ao estudarem a secagem de pseudofruto de caju nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C conduzida em um secador experimental de bandejas com temperatura e fluxo de ar controlados também visualizaram que o modelo proposto por Cavalcanti Mata apresentou altos coeficientes de determinação (R^2), 0,9987, 0,9996, 0,9998 respectivamente, sendo todos estes superiores a 0,99. Comportamento similar ao encontrado na secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru, foi observado por FIGUEIREDO, QUEIROZ & MEDEIROS (2013) quando estudou cinética de secagem da polpa de mangaba nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C obtendo os coeficientes de determinação superiores a 0,99 e os desvios quadrados médios variando de 0,0474 a 0,0992, concluindo que o modelo de Cavalcanti Mata é adequado para a predição das curvas de secagem.

Constata-se nas Tabelas 4.15 a 4.22, que a constante de secagem, a_2 para o modelo de Cavalcanti Mata e k para os demais modelos matemáticos estudados, apresentaram valores crescente em função do acréscimo da temperatura de secagem de 46 a 75 °C, esta variação, demonstra a influência da temperatura de secagem no processo. Comportamento semelhante foi obtido por MELO et al. (2013), ao trabalharem com a polpa do fruto do mandacaru nas temperaturas de 70, 80 e 90 °C, os valores de a_2 variaram de 0,006 a 0,0012 para o modelo de Cavalcanti Mata; por FIGUEIÊDO, QUEIROZ & MEDEIROS (2013) quando estudou cinética de secagem da polpa de mangaba nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C os valores de a_2 variaram de 0,94361 a 1,21559 para o modelo de Cavalcanti Mata, WAUGHON & PENA (2008) no estudo da modelagem da secagem em camada delgada da fibra Residual do abacaxi nas temperatura de 50, 60 e 70 °C, obtiveram coeficiente de secagem (k) que variou de 0,0058 a 0,0180 para o modelo de Midilli & Kucuk e por LIMA, FIGUEIRÊDO & QUIEROZ (2007) na secagem de polpa de facheiro nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, obtiveram coeficiente de secagem (k) que variou de 0,000723 a 0,000749 para o modelo de Midilli & Kucuk.

Nas Figuras 4.18 a 4.25 estão apresentadas as curvas de secagem dos tratamentos das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru nas temperatura e velocidade do ar estudadas de acordo com o planejamento fatorial, na forma adimensional de unidade (razão do teor de água)

em função do tempo de secagem, ajustados aos dados experimentais da secagem representados pelos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Midilli, Kucuk & Yapar, Page e exponencial de dois termos, respectivamente.

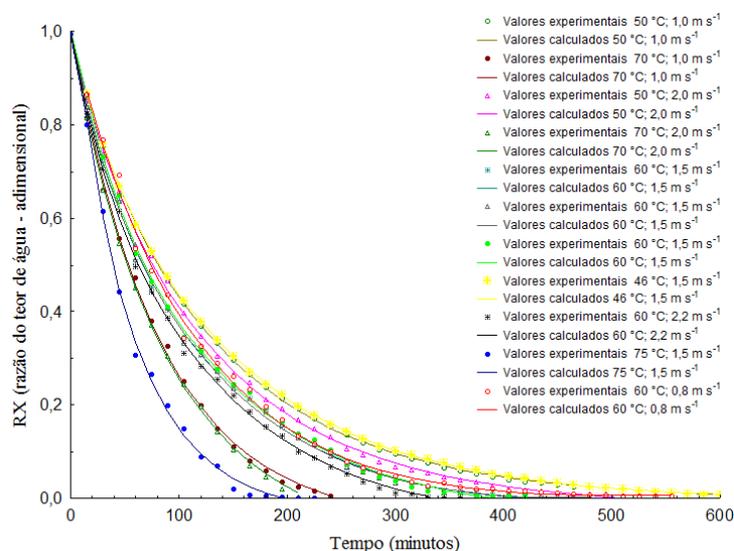


Figura 4.18 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Cavalcanti Mata

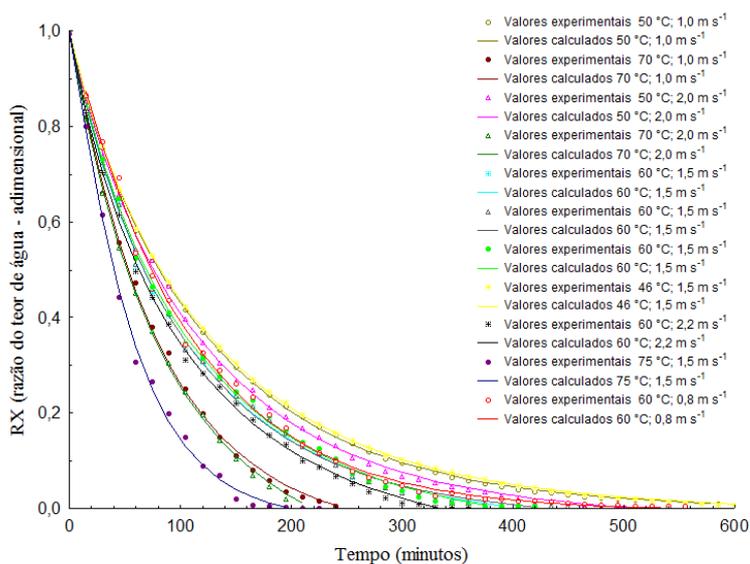


Figura 4.19 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar

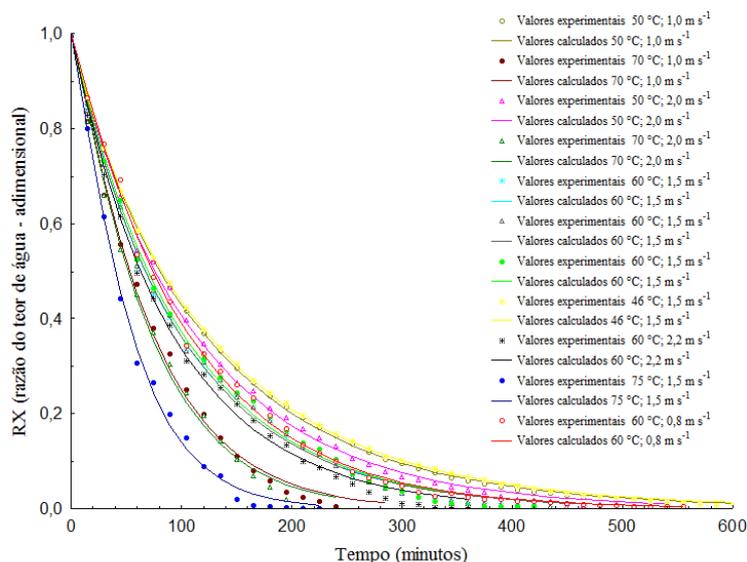


Figura 4.20 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Page

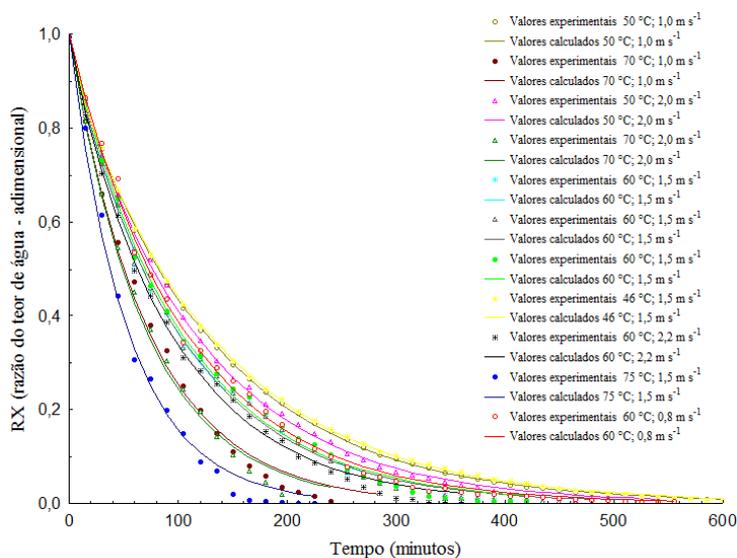


Figura 4.21 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de exponencial de dois termos

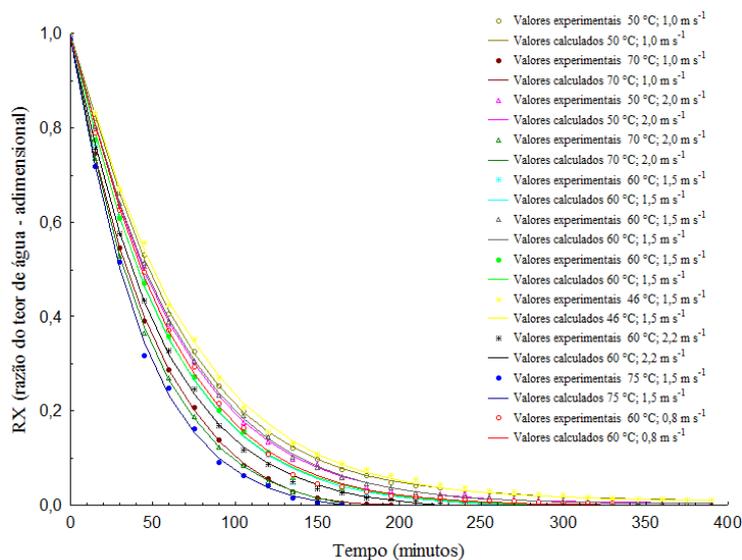


Figura 4.22 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Cavalcanti Mata

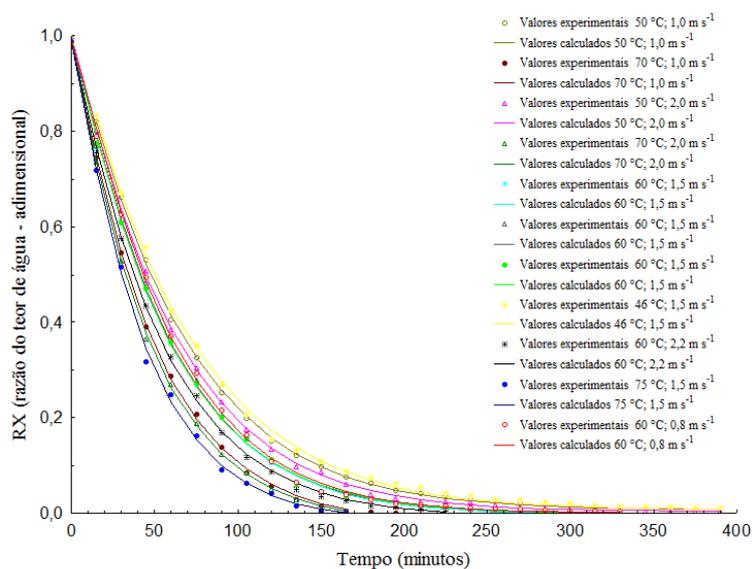


Figura 4.23 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Midilli, Kucuk & Yapar

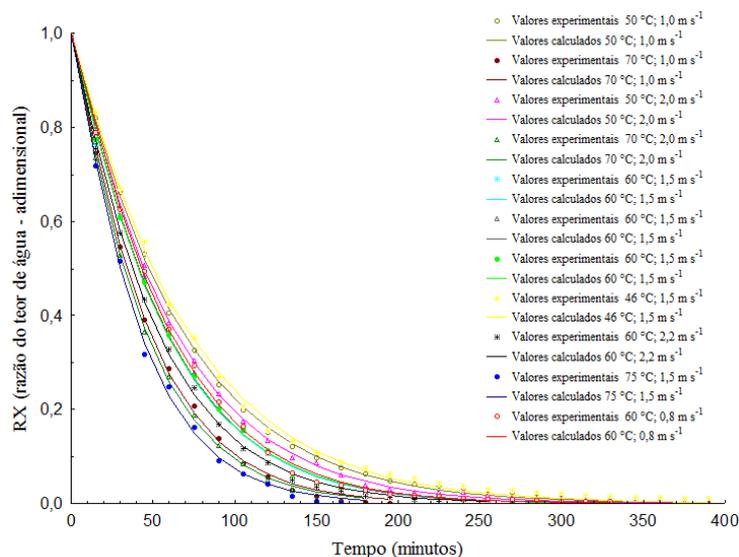


Figura 4.24 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru para as diferentes temperaturas e velocidades do ar – Modelo de Page

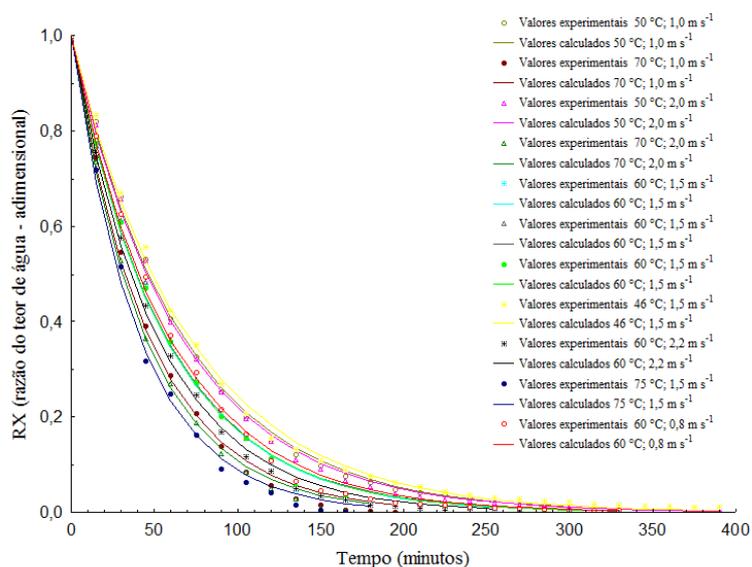


Figura 4.25 – Curvas de secagem convectiva das cascas do fruto de mandacaru nas temperaturas e velocidades estudadas – Modelo de exponencial de dois termos

Comparando as Figuras de 4.18 a 4.25, observa-se que com o aumento da temperatura o tempo de secagem diminui, sendo que a secagem a 75 °C atinge o equilíbrio mais rapidamente, constando-se que as curvas de secagem foram influenciadas pela temperatura, com redução gradativa nos tempos sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem. LIMA, FIGUEIRÊDO & QUIEROZ (2007) quando avaliaram a cinética de secagem

de polpa de facheiro, para as temperatura de 50, 60 e 70 °C, obtiveram tempos de 120 a 440 minutos durante a secagem, em secador convectivo, constatando a partir de seus resultados, que houve um efeito significativo para a temperatura do ar de secagem sobre a redução do teor de água adimensional, sendo esta variável o fator controlador do processo. Comportamento semelhante foi encontrado por CALESSO et al. (2007) durante a secagem em camada delgada para sementes de maracujá-amarelo em secador de leito fixo, por SANJINEZ-ARGANDOÑA et al. (2011) ao estudar a influência da geometria e da temperatura na cinética da secagem no fruto do tomate e de acordo ALMEIDA et al. (2006) durante o estudo da cinética de secagem de acerola em um secador de leito fixo nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O tempo de secagem para as cascas dos frutos de facheiro e mandacaru nas temperaturas de 46 °C e 75 °C foram de 660 e 195 minutos e de 540 e 165 minutos, respectivamente. DOYMAZ et al.(2006) ao secar hortelã em camada fina a 35,45, 55 e 60 oC, encontrou tempos de secagem de 600, 285, 180 e 105 minutos, respectivamente. PENA E MENDONÇA (2009) obtiveram tempos de 200 a 500 minutos durante a secagem em camada delgada do resíduo da industrialização do suco de maracujá, em diferentes condições de temperatura (50 a 70°C) e velocidade do ar de secagem (2,0 a 3,0 m/s), próximos ao encontrado neste trabalho, para a secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru.

No final da secagem os teores de água médio no equilíbrio foram 9,48% bs para 46 °C e 5,13% bs para 75 °C e foram 7,94% bs para 46 °C e 4,82% bs para as cascas dos frutos de facheiro e mandacaru, respectivamente; valores maiores a este foi encontrado por PENA E MENDOÇA (2009) ao desidratar resíduos da industrialização do suco de maracujá na secagem em camada delgada, onde o teor de água médio foi de 10,00%. DOYMAZ et al.(2006) durante a secagem da hortelã em camada fina obteve um teor de água de final de 10,00%.

4.4.3 – Caracterização das cascas em pó do fruto de facheiro e mandacaru

4.4.3.1 - Teor de água

Na Tabela 4.23 são apresentados os valores médios e os desvios padrão do teor de água (%bs) da Farinha de facheiro e mandacaru obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.23 - Valores médios e desvios padrão do teor de água (%bs) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva

Ensaio			Teor de água (%bs)	
n°	T °C	v (m s ⁻¹)	Facheiro em pó	Mandacaru em pó
08	46	1,5	9,48 ± 0,09 a	7,94 ± 0,04 a
01	50	1,0	9,37 ± 0,06 a	7,53 ± 0,17 b
03	50	2,0	7,32 ± 0,47 bc	7,10 ± 0,15 c
11	60	0,8	7,45 ± 0,29 b	7,37 ± 0,12 bc
05	60	1,5	6,81 ± 0,30 bc	5,92 ± 0,10 d
06	60	1,5	6,71 ± 0,14 bc	6,17 ± 0,03 d
07	60	1,5	6,62 ± 0,07 c	6,10 ± 0,09 d
09	60	2,2	6,59 ± 0,21 c	5,09 ± 0,13 e
02	70	1,0	5,46 ± 0,35 d	5,15 ± 0,20 e
04	70	2,0	5,13 ± 0,30 d	4,98 ± 0,16 e
10	75	2,5	5,13 ± 0,03 d	4,82 ± 0,02 e

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Constatou-se a partir dos resultados obtidos que o teor de água do facheiro e mandacaru em pó (cascas dos frutos secos e triturados ou farinha), esta dentro do limite estabelecido pela legislação pertinente para as farinhas comerciais, de acordo com BRASIL (2011) a farinha de mandioca deverá se apresentar e ser comercializada com teor de água inferior a 13% e de acordo com BRASIL (2005a) a farinha de trigo com valor máximo de 15%. O mandacaru em pó apresentou menor teor de água para a mesma temperatura de secagem do que o facheiro em pó, cujo o teor de água obtido variou de 7,94 a 4,82% e de de 9,48 a 5,13%, para as temperaturas de 46 a 75 °C, respectivamente, que são estatisticamente diferentes. Essa redução ocorre Segundo ZILIOLI (2011) devido ao aumento da temperatura do produto a ser desidratado que força a evaporação da água, enquanto a circulação do ar remove a água evaporada. Fato semelhante a este, foi observado por ALEXANDRE et al. (2013) onde o teor de água final do resíduo de abacaxi seco foi de 9,4% para a temperatura de 40 °C reduzindo para 6,4% para temperatura de 60 °C e por FERREIRA & PENA (2010) obtiveram o teor de água da casca do maracujá amarelo de 6,0 e 5,9% para as temperaturas de 70 e 80 °C.

4.4.3.2 - Cinzas

Na Tabela 4.24 são apresentados os valores médios e os desvios padrão do teor de cinzas das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.24 - Valores médios e desvios padrão de cinzas (%) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva

Ensaio			Cinzas (%bs)	
n°	T °C	v (m s ⁻¹)	Facheiro em pó	Mandacaru em pó
08	46	1,5	9,81 ± 0,69 c	6,58 ± 0,19 h
01	50	1,0	10,56 ± 0,37 bc	7,12 ± 0,29 gh
03	50	2,0	11,35 ± 1,69 abc	7,74 ± 0,14 fg
11	60	0,8	11,43 ± 0,98 abc	8,17 ± 0,07 ef
05	60	1,5	11,74 ± 0,92 abc	8,53 ± 0,07 de
06	60	1,5	11,63 ± 0,71 abc	8,76 ± 0,02 de
07	60	1,5	11,75 ± 0,27 abc	8,58 ± 0,20 de
09	60	2,2	12,14 ± 0,36 ab	9,12 ± 0,09 cd
02	70	1,0	12,69 ± 0,28 ab	9,40 ± 0,39 c
04	70	2,0	12,96 ± 0,34 a	10,11 ± 0,23 b
10	75	2,5	12,97 ± 0,41 a	11,03 ± 0,33 a

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Constata-se na Tabela 4.24, que os resultados obtidos para o teor de cinzas das farinhas de facheiro e mandacaru, esta acima do limite estabelecido pela legislação pertinente para as farinhas comerciais, de acordo com BRASIL (2011) a farinha de mandioca deverá ser igual ou inferior a 1,4% e de acordo com BRASIL (2005) a farinha de trigo integral com valor máximo de 2,5%. A farinha do mandacaru apresentou valores inferiores em relação ao teor de cinzas para a mesma temperatura de secagem em relação a farinha do facheiro, cujo o teor de cinzas obtido variou de 6,58 a 11,03% e 9,81 a 12,97% para as temperaturas de 46 a 75 °C respectivamente apresentando-se estatisticamente diferentes. SOUZA, FERREIRA E VIEIRA (2008) ao analisar a farinha das cascas do fruto da maracujá encontraram para o teor de cinzas valor médio de 8,66%, valores próximos ao encontrado neste trabalho para a temperatura de 46

°C. Os valores obtidos neste trabalho foram inferiores ao reportado por LIMA (2006), que foi de 20,78 a 23,33% de cinzas para a farinha da polpa de facheiro.

4.4.3.3 - Acidez graxa

Na Tabela 4.25 são apresentados os valores médios e os desvios padrão de acidez graxa das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.25 - Valores médios e desvios padrão de acidez graxa (ml de KOH/100 g de PS) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva

Ensaio			Acidez graxa (ml de KOH/100 g de PS)	
n°	T °C	v (m s ⁻¹)	Facheiro em pó	Mandacaru em pó
08	46	1,5	4,20 ± 0,16 a	2,61 ± 0,16 a
01	50	1,0	3,83 ± 0,27 a	2,42 ± 0,01 ab
03	50	2,0	3,13 ± 0,15 b	2,14 ± 0,27 abc
11	60	0,8	2,69 ± 0,01 bc	1,97 ± 0,31 bcd
05	60	1,5	2,31 ± 0,15 cdef	1,76 ± 0,15 cde
06	60	1,5	2,49 ± 0,15 cd	1,59 ± 0,01 de
07	60	1,5	2,40 ± 0,27 cde	1,59 ± 0,01 de
09	60	2,2	2,13 ± 0,01 def	1,49 ± 0,15 e
02	70	1,0	2,11 ± 0,26 def	1,49 ± 0,15 e
04	70	2,0	1,93 ± 0,15 ef	1,40 ± 0,15 e
10	75	2,5	1,84 ± 0,01 f	1,31 ± 0,01 e

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Constatou-se a partir dos resultados obtidos que acidez graxa do facheiro e mandacaru em pó, esta dentro do limite estabelecido pela legislação pertinente para as farinhas comerciais, de acordo com BRASIL (2005) a farinha de trigo integral com valor máximo de 100 ml de KOH por 100g de produto. Os valores médios encontrados da acidez graxa para a farinha de facheiro e mandacaru, diferem estatisticamente em função da temperatura de 46 e 75 °C, apresentando o mandacaru em pó menor acidez graxa para a mesma temperatura de secagem do que o facheiro em pó, cujo valor obtido variou de 2,61 a 1,31 ml de KOH por 100g de produto e de 4,20 a 1,84 ml de KOH por 100g de produto para as temperaturas de 46 a 75 °C,

respectivamente. Os valores obtidos por COUTO (2007), que foi de 6,61 ml de KOH por 100g de produto de acidez graxa para a farinha das cascas de pequi, por PEREIRA et al. (2005) em estudo da farinha da casca de pequi, que foi de 2,25 e por VILHALVA et al. (2012) ao analisar a farinha das cascas de mandioca proveniente de resíduos industriais de amido, que encontraram para a acidez valores que variaram de 4,23 a 4,80 ml de KOH por 100g, valores próximos ao encontrado neste trabalho.

4.4.3.4 - Proteína

Na Tabela 4.26 são apresentados os valores médios e os desvios padrão de proteína das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.26 - Valores médios e desvios padrão de proteína (%) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva

Ensaíos			Proteína (% bs)	
n°	T °C	v (m s ⁻¹)	Facheiro em pó	Mandacaru em pó
08	46	1,5	12,34 ± 0,04 i	11,32 ± 0,01 i
01	50	1,0	12,36 ± 0,04 i	13,15 ± 0,03 h
03	50	2,0	12,69 ± 0,25 h	13,45 ± 0,04 g
11	60	0,8	13,91 ± 0,01 g	13,54 ± 0,02 fg
05	60	1,5	14,59 ± 0,04 f	13,59 ± 0,05 f
06	60	1,5	14,33 ± 0,09 f	14,21 ± 0,03 e
07	60	1,5	16,23 ± 0,08 e	14,41 ± 0,03 d
09	60	2,2	17,01 ± 0,04 d	14,57 ± 0,01 c
02	70	1,0	22,22 ± 0,14 c	14,61 ± 0,02 c
04	70	2,0	27,83 ± 0,08 b	14,70 ± 0,02 b
10	75	2,5	28,32 ± 0,01 a	15,08 ± 0,04 a

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Avaliando-se os resultados obtidos para os parâmetros de proteína verifica-se que os mesmos estão dentro do padrão de acordo com BRASIL (2005) para farinha de trigo integral com valor mínimo de 8%. Os valores médios encontrados da proteína para a farinha de facheiro e mandacaru, variaram de 12,34 a 28,32% e de 11,32 a 15,08% para as temperaturas de 46 a 75 °C, respectivamente, portanto as amostras diferem estatisticamente de acordo com o teste de

Tukey a 5% de probabilidade em função da temperatura. Valores próximos ao encontrado por LOUSADA JÚNIOR et al. (2006), na caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais onde encontrou valor médio de 8,35% para o abacaxi, 8,47% para a goiaba, 10,54% para a acerola, 12,36% para o maracujá e 17,33% para o melão utilizando secador solar e por PEREZ & GERMANI (2004) no estudo da farinha mista de trigo e berinjela, obtiveram teor de proteína que variou de 13,40 a 16,22%. Os valores inferiores encontrados FERREIRA & PENA (2010) para a proteína da casca do maracujá amarelo de 6,0% para as temperaturas de 70 e 80 °C, deve-se ao teor de água inicial (85,3%) das cascas, enquanto que as cascas dos frutos de facheiro e de mandacaru apresentaram este teor de 92,45% e 90,84% respectivamente.

4.4.3.5 - Amido

Na Tabela 4.27 são apresentados os valores médios e os desvios padrão do teor de amido das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.27 - Valores médios e desvios padrão de amido (%) das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva

Ensaio			Amido (%bs)	
n°	T °C	v (m s ⁻¹)	Facheiro em pó	Mandacaru em pó
08	46	1,5	8,05 ± 0,11 f	11,39 ± 0,24 h
01	50	1,0	8,39 ± 0,30 f	11,62 ± 0,14 gh
03	50	2,0	8,96 ± 0,15 e	12,20 ± 0,11 g
11	60	0,8	9,09 ± 0,22 de	13,35 ± 0,24 f
05	60	1,5	9,27 ± 0,03 de	13,46 ± 0,22 f
06	60	1,5	9,30 ± 0,01 de	14,17 ± 0,24 e
07	60	1,5	9,46 ± 0,02 d	14,38 ± 0,26 de
09	60	2,2	10,12 ± 0,08 c	14,84 ± 0,10 cd
02	70	1,0	10,35 ± 0,10 bc	15,27 ± 0,03 c
04	70	2,0	10,73 ± 0,17 b	17,10 ± 0,15 b
10	75	2,5	11,42 ± 0,20 a	18,26 ± 0,45 a

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 5% de probabilidade

Verifica-se na Tabela 4.27 os valores de amido (%) do facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva. Tem-se que, com o aumento da temperatura de secagem, houve um aumento significativo, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, quando a temperatura variou de 46 para 75 °C, foram na ordem de 8,05 a 11,42% e de 11,39 a 18,26 para as temperatura de 46 e 75°C respectivamente. Em relação ao teor de amido foi possível observar que estão muito abaixo do padrão estabelecido pela legislação pertinente para a farinha de mandioca seca, de acordo com BRASIL (2011) deverá ser igual ou superior a 80,0% e ao contido na farinha de mandioca crua estudada por FERREIRA NETO (2002), de 48,79% mas próximo ao reportado por LIMA (2006), que foi de 8,36% para a farinha da polpa de facheiro.

4.4.6 - Granulometria

Na Tabela 4.28 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da granulometria das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em pó obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.28 - Valores médios e desvios padrão da granulometria (%) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva

Ensaio		Peneiras n° (mm) - amostra retida (%)				
T	v	2,000	1,000	0,500	0,250	Base
46	1,5	0,00a	14,90 ± 0,17a	39,77 ± 0,30a	21,90 ± 0,10a	23,40 ± 0,17h
50	1,0	0,00a	15,37 ± 0,06a	37,23 ± 0,15b	21,97 ± 0,07a	25,37 ± 0,11g
50	2,0	0,00a	13,13 ± 0,21b	36,27 ± 0,06c	22,17 ± 0,21a	28,30 ± 0,20 f
60	0,8	0,00a	12,97 ± 0,20b	35,83 ± 0,15c	22,10 ± 0,11a	29,17 ± 0,06e
60	1,5	0,00a	12,67 ± 0,66b	35,10 ± 0,20d	21,97 ± 0,15a	30,43 ± 0,21d
60	1,5	0,00a	12,50 ± 0,36b	34,43 ± 0,25de	22,00 ± 0,10a	30,90 ± 0,10cd
60	1,5	0,00a	12,57 ± 0,40b	34,57 ± 0,32de	22,03 ± 0,11a	30,57 ± 0,35cd
60	2,2	0,00a	12,43 ± 0,32b	34,50 ± 0,36de	22,00 ± 0,10a	31,17 ± 0,21c
70	1,0	0,00a	12,43 ± 0,35b	34,27 ± 0,32e	22,20 ± 0,17a	31,10 ± 0,17c
70	2,0	0,00a	12,37 ± 0,20b	33,20 ± 0,17f	22,30 ± 0,20a	32,07 ± 0,32b
75	2,5	0,00a	11,37 ± 0,32c	32,50 ± 0,17f	22,37 ± 0,55a	33,77 ± 0,35a

T - temperatura (°C); v - velocidade do ar (m s⁻¹)

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 4.29 são apresentados os valores médios e os desvios padrão da granulometria das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva para as diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Tabela 4.29 - Valores médios e desvios padrão da granulometria (%) das cascas dos frutos de mandacaru em pó obtido por secagem convectiva

Ensaio		Peneiras n° mm - amostra retida (%)				
T	v	2,000	1,000	0,500	0,250	Resíduo
46	1,5	0,00a	14,47 ± 0,55a	35,73 ± 0,25ab	20,90 ± 0,46d	28,90 ± 0,26f
50	1,0	0,00a	14,43 ± 0,15a	35,77 ± 0,06a	20,93 ± 0,15d	29,00 ± 0,26f
50	2,0	0,00a	12,83 ± 0,06b	34,97 ± 0,15abc	23,03 ± 0,71bc	29,10 ± 0,10f
60	0,8	0,00a	12,80 ± 0,20b	34,77 ± 0,20abc	22,97 ± 0,40c	29,53 ± 0,38ef
60	1,5	0,00a	12,73 ± 0,66b	34,70 ± 0,36abc	22,80 ± 0,52c	29,47 ± 0,38ef
60	1,5	0,00a	12,10 ± 0,36b	34,63 ± 0,32bc	22,73 ± 0,40c	30,40 ± 0,20de
60	1,5	0,00a	12,17 ± 0,40b	34,33 ± 0,25c	22,53 ± 0,38c	30,87 ± 0,29d
60	2,2	0,00a	10,13 ± 0,57c	34,40 ± 0,26c	22,77 ± 0,49c	32,60 ± 0,20c
70	1,0	0,00a	9,03 ± 0,15d	34,40 ± 0,98c	23,40 ± 0,36abc	33,27 ± 0,38bc
70	2,0	0,00a	7,13 ± 0,20e	34,23 ± 0,32c	24,23 ± 0,21ab	33,87 ± 0,32ab
75	2,5	0,00a	6,67 ± 0,15e	34,33 ± 0,15c	24,57 ± 0,30a	34,40 ± 0,46a

T - temperatura (°C); v - velocidade do ar (m s⁻¹)

Obs: Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de tuckey, em nível de 1% de probabilidade

Tem-se nas Tabelas 4.28 e 4.29, os valores médios da análise granulométrica das farinhas de facheiro e mandacaru, onde foi verificado que as partículas apresentaram diâmetros muitos variados e que o diâmetro das partículas diminuíram com a temperatura de secagem, com demonstra a quantidade retida na base que foram na ordem de 28,90 a 34,40% e de 23,40 a 34,40 para as temperatura de 46 a 75°C respectivamente. Essa diminuição da granulometria em relação a temperatura e velocidade de secagem deve-se a redução do teor de água do produto final que durante a trituração, obtém partículas menores, ocasionando menor retenção da amostra nas peneiras de maior granulometria.

De acordo com os dados apresentados e se utilizando dos critérios oficiais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011), as amostras apresentaram-se comparável com a farinha de mandioca seca e fina e com a farinha de trigo

integral, apresentou retenção do produto inferior a 10% na peneira de 2,000 mm, onde foi obtido 0,00%, tanto para a farinha de facheiro com a de mandacaru e inferior a 95% passando pela peneira de 0,250 mm, onde o percentual variou de 67,93 a 76,60% e de 65,60 a 71,10% para as farinhas de facheiro e mandacaru nas temperaturas de 46 a 75 °C respectivamente. SILVA (2009) estudando a farinha de algaroba para a formulação de pão de forma afirma que as malhas que apresentaram maior rendimento e propriedades adequadas ao processamento dos pães, por se aproximarem das farinhas convencionais, farinha de trigo tipo1 e tipo2, cuja a granulometria 95% do produto passa na peneira de 0,250 mm, foram as de 0,250 mm e 0,150 mm, a temperaturas médias de 50 e 70°C, porém os rendimentos médios foram de 6,68 e 8,47% na temperatura de 50°C e de 6,57 e 8,64% para a temperatura de 70°C respectivamente. Neste trabalho o percentual de retenção nas peneiras de nº 0,250 mm e na base com partículas de diâmetro inferior a 0,250 mm, apresentaram percentuais de retenção de 32,50 a 39,77% e de 23,40 a 32,07% para a farinha de facheiro e de 34,33 a 35,73% e de 28,90 a 34,40% para a farinha de mandacaru nas temperaturas de 46 a 75 °C respectivamente, obtendo percentuais mais próximo das farinhas convencionais. LIMA (2006) estudando a granulometria da farinha da polpa de facheiro, obteve percentuais médios de 5,95 a 6,79% na peneira de nº 0,250 mm, com percentuais inferiores ao obtido neste trabalho.

4.4.4 – Análise sensorial

4.4.4.1 – Pão de forma formulado com a farinha da casca do fruto de facheiro

Na Tabela 4.30 encontram-se as médias, desvio padrão e os valores dos coeficientes de concordância (CC) das análises sensoriais, atribuídos pelos 50 provadores quanto aos atributos sensoriais: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra, para os pães de forma formulados com a farinha da casca do fruto de facheiro nas temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.30 – Comparação entre as médias e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os pães de forma formulados com a casca do fruto da casca do fruto de facheiro nas temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C

	Temperatura de congelamento		
	50 °C	60 °C	70 °C
Cor	3,68 ± 0,98	3,40 ± 1,05	3,68 ± 0,98
CC%	44,16	40,37	34,35
Aroma	3,62 ± 1,01	3,48 ± 1,25	3,38 ± 1,21
CC%	38,08	20,98	30,33
Aparência	3,72 ± 0,97	3,54 ± 1,01	3,54 ± 1,07
CC%	31,62	33,02	30,98
Sabor	3,52 ± 1,05	3,88 ± 1,08	3,62 ± 1,35
CC%	35,78	39,24	23,45
Intenção de compra	2,54 ± 1,13	2,32 ± 0,94	2,70 ± 1,34
CC%	29,50	37,28	14,17

Percebe-se na Tabela 4.30, que a maioria das notas atribuídas para todos os parâmetros ficaram na faixa de 3, na escala hedônica de 5 pontos utilizada, o que corresponde ao valor do atributo “indiferente”, na intenção de compra a nota teve valor igual 2 na escala de intenção de compra, que corresponde a "possivelmente compraria".

4.4.4.2 – Pão de forma formulado com a farinha da casca do fruto de mandacaru

Na Tabela 4.31 encontram-se as médias, desvio padrão e os valores dos coeficientes de concordância (CC) das análises sensoriais, atribuídos pelos 50 provadores quanto aos atributos sensoriais: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra, para os pães de forma formulados com a farinha da casca do fruto de mandacaru nas temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.31 – Comparação entre as médias, desvio padrão e o coeficiente de concordância (CC) em percentual, atribuídas pelos provadores aos atributos: cor, aroma, aparência, sabor e intenção de compra para os pães de forma formulados com a farinha da casca do fruto de mandacaru nas temperaturas de secagem 50, 60 e 70 °C

	Temperatura de congelamento		
	50 °C	60 °C	70 °C
Cor	3,62 ± 1,09	3,54 ± 1,11	3,10 ± 1,25
CC%	30,66	27,75	15,17
Aroma	3,62 ± 1,12	3,52 ± 1,16	3,70 ± 1,30
CC%	31,14	23,45	25,10
Aparência	3,74 ± 1,05	3,52 ± 1,03	3,36 ± 1,19
CC%	29,50	31,62	21,21
Sabor	3,22 ± 1,17	2,86 ± 1,20	3,84 ± 1,20
CC%	20,25	23,29	33,47
Intenção de compra	2,86 ± 1,29	3,10 ± 1,28	2,30 ± 1,42
CC%	17,61	19,24	28,81

Na Tabela 4.31, apresenta-se que a maioria das notas atribuídas para todos os parâmetros ficaram entre 2 e 3, na escala hedônica de 5 pontos utilizada, o que corresponde ao valor do atributo “desgostei ligeiramente a indiferente”, na intenção de compra a nota variou entre 2 a 3, que corresponde ao valor na de intenção de compra, "possivelmente compraria a tenho dúvida se compraria ou não".

Verificando as Tabelas 4.30 e 4.31, percebe-se que os valores atribuídos pelos provadores aos atributos sensoriais estudados, do pão de forma formulado com a farinha de facheiro e de mandacaru nas diversas temperatura de secagem, os valores apresentam-se muito próximos. Há preferência dos provadores pelo o pão formulado com a farinha de facheiro e de mandacaru, cuja a farinha foi seca a 50 °C, devido esta apresentar os atributos cor, aroma e aparência, com as maiores médias e coeficientes de concordância, assim sendo, é possível confirmar que existiu diferença significativas entre as amostras estudadas e que o houve influência da temperatura de secagem da farinha.

4.5 - CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que:

Cinéticas de secagem por convecção das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru

- As variáveis de entrada: temperatura e velocidade do ar de secagem influenciaram significativamente sobre as variáveis de resposta, salienta-se que a temperatura resultou em maior influência sobre as respostas teor de água, rendimento do processo e tempo de secagem.
- O modelo empírico de segunda ordem foi o que obteve os valores de maior significância estatística, podendo ser utilizado para fins preditivos.
- As curvas de secagem das cascas dos frutos de facheiro e mandacaru em diferentes temperaturas e velocidades do ar obtidas experimentalmente mostram um comportamento típico, em que, o aumento de temperatura causa uma diminuição no tempo de secagem.
- O modelo matemático proposto por Page e o modelo exponencial de dois termos, não prediz o comportamento da secagem uma vez que apresenta o desvio percentual médio (P) superior a 10%, mesmo apresentado valores do coeficiente de determinação superior a 0,95.
- Os modelos matemáticos propostos por Cavalcanti Mata e Midilli, Kucuk & Yapar, prediz o comportamento da secagem uma vez que apresenta o desvio percentual médio (P) inferior a 10% e apresentam valores do coeficiente de determinação superior a 0,95, no entanto o modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata é o modelo que melhor prediz o comportamento da secagem por obter os maiores coeficientes de determinação (R^2) e os menores desvios percentuais médios (P).

Caracterização química e físico-química do pó das farinhas de facheiro e mandacaru

- As farinhas do facheiro e mandacaru obtidas por secagem convectiva apresentaram teores de água de 5,13 a 9,48% bs e de 7,94 a 4,82% bs, acidez graxa de 4,20 a 1,84 ml e de KOH por 100g do produto bs e de 2,61 a 1,31 ml de KOH por 100g do produto bs, proteína 12,34 a 28,32% bs e de 11,32 a 15,08% bs e granulometria para a partículas menores que 0,250 mm entre 23,40 a 33,77 e de 23,40 a 34,40 para as temperaturas de 46 a 75 °C, dentro dos padrões de fabricação e conservação da farinha de mandioca e farinha de trigo.
- A farinha de facheiro e mandacaru seca a 46°C, apresentou rendimento superior ao produto seco a 75°C porém, nessa temperatura apesar de maior rendimento, apresentaram menor teor de cinzas, proteína e amido.

Análise sensorial

- Os pães de forma formulados com a farinha de facheiro cujas as cascas foram secas a 50 °C foram os que apresentaram os maiores valores quanto à preferência nos atributos cor, aroma e aparência, porém todas as formulações apresentam como possibilidade de consumo, onde foram classificadas em indiferente e na intenção de compra de possivelmente compraria.
- Os pães de forma formulados com a farinha de mandacaru cujas as cascas foram secas a 50 °C foram os que apresentaram os maiores valores quanto à preferência, cor e aparência, porém todas as formulações apresentam como possibilidade de consumo, onde foram classificadas em desgostei ligeiramente a indiferente e na intenção de compra tenho dúvida se compraria ou não a possivelmente compraria.

4.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKPINAR, E. K. Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. **Journal of Food Engineering**, London, v.77, n.4, p.864-870, 2006.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v.40, n.3, 2005

AKYILDIZ, A.; AKSAY, S.; BENLI, H.; KIROGLU, F.; FENERCIOGLU, H.; Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. **Journal of Food Engineering**, London, v.65, p.95-99, 2004.

ALEXANDRE, H.V.; SILVA, F.L.H.; GOMES, J.P.; SILVA, O.S.; CARVALHO, J.P.D.; LIMA, E.E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.640-646, 2013.

ALMEIDA, C. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, F. M. N. Physical and chemical characteristics of *xiquexique* pulps. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.4, p.440-443, out.- dez., 2007. ISSN 1806-6690.

ALMEIDA, C. A.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 6, n.1, 2006.

ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, J. E.; VILLAMIL, J. M. P.; SILVA, M. M. Secagem natural e artificial de vargens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.27, n.1, p.48-57, 2002.

AMARAL, L. I. V.; GASPAR, M. ; COSTA, P. M. F.; AIDAR, M. P. M.; BUCKERIDGE, M. S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**, São Paulo, v.34, n.4, p. 425-431, 2007.

AOAC. International Method 940.22: Fat acidity. Flour. First action 1940. Final action. In: **Official Methods Of Analysis Of AOAC International**. 18. ed. 2. rev., Gaithersburg: AOAC Internacional, 2005.

AOAC International Method 978.10: Fiber (crude) in animal feed and pet food. Fritted glass crucible method. First action 1978. Final action 1979. Revised March 1996. In: **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. 2. rev., Gaithersburg-MD: AOAC Internacional, 2007.

ASAE. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. ANSI/ASAE S319.3. In: **Agricultural Engineers Yearbook of Standard**. St. Joseph : ASAE, 51. ed., p.578-81, 2004.

BIAGGIONI , M. A. M.; BARROS, R. E. Evaluation of fat acidity test as rice quality index. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.30, n.4, p.679-684, jul./ago., 2006.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Green banana flour characterization. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.2, p.333-339, abr.-jun., 2009. ISSN 0101-2061.

BORGES, J. T. S.; VIDIGAL, J. G.; SILVA, N. A. S.; PIROZI, M. R.; PAULA, C. D. Physicochemical and sensory evaluation of sandwich loaf Containing wheat end quinoa flour. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.3, p.305-319, 2013. ISSN 1517-8595

BOX, G. E. P.; WILSON, K. B. On the experimental attainment of optimum conditions. **Journal Royal Statistics Society**, New York, v.13, 1951. 38p.

BRASIL, I. M.; GUIMARAES, A. C. L. **Curso de especialização em tecnologia de processamento de sucos e polpas tropicais: Química e bioquímica do processamento**. Brasília: ABEAS, 2000. v.5, 109p.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Abastecimento. Instrução normativa nº 24, de 08 de setembro de 2005. Aprovar o Manual Operacional de Bebidas e Vinagre, onde constam o Modelo de Manual da Qualidade, o Protocolo de Validação de Métodos Físico-Químicos, o Protocolo de Cálculo da Incerteza Associada às Medições e os Métodos de Análise de Bebidas Fermentadas, Destiladas, Não Alcoólicas e de Vinagre, que passam a constituir padrões oficiais para análise físico-química de bebidas e vinagre. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 set. 2005a.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 8, de 2 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo, conforme o anexo desta instrução normativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 27 jun. 2005b.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005c. 1017p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, e anexo desta resolução. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2005d.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 52, de 7 de novembro de 2011. Regulamento Técnico da Farinha de Mandioca na forma da presente Instrução Normativa e dos seus anexos I, II e III. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 jun. 2011.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vidro-fluidizado**. 2003. 336f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. 2 ed. Westport: The AVI Publishing Company, 2004. 265p.

CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; DETMANN, E. Assessment of thin-layer drying models of yellow passion fruit seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.29, n.2, p.28-37, 2007.

CARRENHO, C. R.; FIGUEIREDO, R. S.; SABINO, J. Perception of social actors on the use of alternative technologies and mitigated environmental impact by hotel enterprise in Bonito, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v.8, n.2, p.244-274, maio-ago., 2012.

CARSKY, M. Design of a dryer for citrus peels. **Journal of Food Engineering**, Prague, Czech Republic, v.87, n.1, p.40-44, 2007.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Modelagem e simulação de secagem de feijão macassar considerando-se o encolhimento e os diferentes graus de maturidade fisiológicas**. Projeto de pesquisa, UFCG, Campina Grande, 2004. 60p.

CAVALCANTI, M.T. **Utilização das sementes da faveleira (*Cnidocolus phyllacanthus* (mart.) Pax et k. Hoffm.) em produtos alimentícios**. 2011. 130f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2011.

CARVALHO, A. V. **Otimização dos parâmetros tecnológicos para Produção de estruturados de frutas funcionais a partir de polpa de açaí e mix de taperebá com Mamão**. Documentos. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007, 63 p.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Tecnologia da Panificação**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2009. 418p.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. rev. Campinas: UNICAMP, 2003. 207p.

COUTO, E. M. **Utilização da Farinha de casca de Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma**. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414 p.

CUNICO, M. W. M.; CUNICO, M. M.; MIGUEL, O. G.; ZAWADZKI, S. F.; PERALTA-ZAMORA, P.; VOLPATO, N.1. Factorial desing: a valuable statistic tool to define experimental parameters applied in scientific research. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v.9, n.1, Jan. - Jun./2008 - ISSN 1518-5192.

DAMIANI, C.; SILVA, F.A.; RODOVALHO, E.C.; BECKER, F.S.; ASQUIERI, E.R.; OLIVEIRA, R.A.; LAGE, M.E. Aproveitamento de resíduos vegetais para produção de farofa temperada. **Alimento e Nutrição**, Araraquara, v.22, n.4, p.657-662, out./dez. 2011. ISSN 2179-4448 on line

DANDAMRONGRAK, R., YOUNG, G., MASON, R. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. **Journal of Food Engineering**, London, v.55, p.139-146, 2002.

DEMIREL, D.; TURHAN, M. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gross Michel banana slices. **Journal of Food Engineering**, London, v.59, n.1, p.1-11, 2003.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Phisico-chemical characteristics of cassava flours from different regions of Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.4, p.692-700, jul./ago., 2006.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, R. C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O. Assessment of convective drying models for fresh and osmo-dehydrated pineapple rings. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.1, p.232-240, jan.-mar. 2009. ISSN 0101-2061.

DOYMAZ, I. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. **Journal of Food Engineering**, London, v.76, p.212-217, 2006.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Influência do pré-tratamento osmótico na qualidade de mamão formosa (*Carica papaya* L.) seco. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA/UFBA/EMBRAPA, 2002. 1 CD-ROM.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Current situation and medium-term outlook for tropical fruits (Report)**. 2011. Disponível em:< http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/218/en/Sit_web_e.pdf> Acesso em: 03 out. 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global food losses and food waste. INTERNACIONAL CONGRESS SAVE FOOD. Rome, 2011, Rome, **Proceedings...** Rome: FAO, 2011. Disponível em:< <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>> Acesso em: 22 julho 2014.

FEDDERN, V.; DURANTE, V. V. O.; MIRANDA, M. Z.; SALAS MELLADO, M. L. M. Physical and sensory evaluation of wheat and rice bran cookies. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.14, n.4, p.267-274, out./dez. 2011. DOI: 10.4260/BJFT2011140400032.

FERNANDES, A. F.; PEREIRA, J.; GERMANI, R.; OIANO-NETO, J. Effect of the partial replacement of wheat flour for potato skin flour (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28 (Supl.), p.56-65, dez., 2008. ISSN 0101-2061.

FERREIRA, M.F.P.; PENA, R.S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.15-28, 2010. ISSN 1517-8595.

FERREIRA NETO, C. J. **Avaliação do comportamento das farinhas de mandioca seca (*Manihot esculenta* Crantz) e temperadas durante o armazenamento**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; MEDEIROS, J. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de mangaba. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA Y CIENCIAS HORTÍCOLAS, 7. 2013, Madrid. **Anais...** Madrid: 2013.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Universitária, 2004. 229p.

GONDIM, J. A. M.; MOURA, M. F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], v.25, n.4, p.825-827, 2005. ISSN 1678-457X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000400032>. Acesso em: 10 julho 2013.

GOUVEIA, D.S.; UGULINO, S.M.P.; DUARTE, M.E.M.; CAVALCANTI MATA, M.E. Kinetics of black bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) in tray dryer. **Holos**, a.27, v.1, p.38-48, 2011. ISSN 1807-1600.

GOUVEIA, J. P. G.; MOURA, R. S. F.; ALMEIDA, F. A. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; SILVA, M. M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p. 471-474, 2002.

GOYALDE, N. A.; ROCHA, R. Y P.; MELO, E. C.; GONELI, A. L. D.; ARAÚJO, F. A. L. Mathematical modelling of drying kinetics of sugarcane slices. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONBEA, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físico-químicos para análises de alimentos**. 1.ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em:<http://www.crq4.org.br/sms/files/file/analisedealimentosial_2008.pdf>. Acesso em: 01 fevereiro 2012.

LANGRISH, T. A. G. Characteristic drying curves for cellulosic fibers. **Chemistry Engineering Journal**, v.137, n.3, p.677-680, 2007.

LAROSA, G.; ROSSI, E.A.; BARBOSA, J.C.; CARVALHO, M.R.B. Aspectos sensoriais, nutricionais e tecnológicos de biscoito doce contendo farinha de 'okara'. **Alimento e Nutrição**, Araraquara. v.17, n.2, p.151-157, abr./jun., 2006. ISSN 0103-4235.

LIMA, C. C. **Aplicação das farinhas de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no processamento de pães com propriedades funcionais**. Fortaleza, 2007. 148p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, Ceará. 2007.

LIMA, E. E.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Drying kinetics of *cereus squamosus* pulp. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.1, p.17-28, 2007. ISSN 1517-8595.

LIMA, E.E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2006.

LOPES, A. S.; ORMENESE, R. C. S. C.; MONTENEGRO, F. M.; FERREIRA JÚNIOR, P. G. Influência do uso simultâneo de ácido ascórbico e azodicarbonamida na qualidade do pão francês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.2, p.307-312, 2007.

LOUSADA JÚNIOR, J.E.; COSTA, J.M.C.; NEIVA, J.N.M.; RODRIGUEZ, N.M. Caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais visando seu aproveitamento na alimentação animal. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.1, p.70-76, 2006. ISSN 0045-6888.

MACHADO, A. V.; OLIVEIRA, E. L.; SANTOS, E. S.; OLIVEIRA, J. A.; FREITAS, L. M. Estudio cinético del secado de anacardo y un secador de convencional. **Revista Verde**. Mossoró, v.5, n.1, p.36-42 jan./mar., 2010.

MARCHESE, J.A.; FIGUEIRA, G. M. The use of pre and post-harvest technologies and good agricultural practices in the production of medicinal and aromatic plants. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.7, n.3, p.86-96, 2005.

MARINI, L.J. et al. Efeito da secagem intermitente na estabilidade de grãos de aveia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.3, p.260-267, 2005.

MARQUES, L.F.; DUARTE, M.E.M.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; NUNES, L.S.; COSTA, T.L.; COSTA, P.B.S.; DUARTE, S.T.G. Drying preceded of osmotic dehydration of cashew's pseudofruit: comparison being the mathematical models applied. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.161-170, 2007. ISSN 1517-8595.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia química) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2008.

MELO, F.A.O. **Desenvolvimento e avaliação de um secador de fluxos concorrentes, com carga, revolvimento e descarga pneumáticos**. 2008. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MELO, K.S.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M.; FERNANDES, T.K.S.; BEZERRA, M.C.T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.26, n.2, p. 10-17, abr.-jun., 2013. ISSN 1983-2125 (online).

MENEGHETTI, V.L. ; AOSANI, E.; ROCHA, J.C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C.; POHNDORF, R.S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.10, p.1115–1120, 2012.

MENESES, F.; MESSIAS, G. M. ; BARROS, N. E. F. Análise sensorial de suco de uva orgânico - teste de aceitação. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v.12, n.12, p.01–05, 2011.

- MIGUEL, A.C.A.; ALBERTINI, S.; BEGIATO, G.F.; DIAS, J.R.P.S.; SPOTO, M. H. F. Agroindustrial use for the solids wastes deriving from minimally processed melon. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.3, 733-737, jul./set., 2008. ISSN 0101-2061.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v.20, n.7, p.1503–1513, 2002.
- MOURA, L. B.; ROCHA, É. M. F. F.; SOUSA, E. M.; MAGALHÃES, S. F.; HOLANDA NETO, J. P. Elaboração de produtos alimentícios à base de palma (*Opuntia fícus Indica*) e do seu fruto. **Revista Verde**, Mossoró, v.4, n.4, p.146-161 out./dez., 2009. ISSN 1981-8203.
- MUCCILLO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação do amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- OLIVEIRA, L. F.; NASCIMENTO, M. R. F.; BORGES, S. V.; RIBEIRO, P. C. N.; RUBACK, V. R. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. flavicarpa) para produção de doce em calda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.3, p.259-262, set./dez., 2002. ISSN 0101-2061.
- OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P. ; PARK, K. J. Determination of effective diffusivity of chicory root. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189, jan./abr., 2006.
- OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.18, n.2, p.141-150, abr./jun., 2007. ISSN 0103-4235.
- OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Spray drying of plant extracts: basic remarks and application. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**. v.20, n.4, p.641-650, ago./set., 2010. ISSN 0102-695X.
- PAGE, C. **Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers**. West Lafayette, 1949. MSc Thesis - Purdue University.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de ; PARK, K. J. B. **Conceitos e processo e equipamentos de secagem.** p.50, 2007. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html> Acesso em 12/04/2013.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, n.1, p. 71-86, 2004.

PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of gardenmint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v.51, p.193-9, 2002.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Drying studies of sliced pear bartlett (*Pyrus* sp). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.3, p.288-292, set./dez., 2001b.

PENA, R. S.; MENDONÇA, N. B. Secagem em camada delgada da fibra residual do maracujá. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.27, n.2, p.257-270, jul./dez. 2009.

PEREIRA, C.A.; CARLI, L.; BEUX, S.; SANTOS, M.S.; BUSATO, S.B.; KOBELNIK, M.; BARANA, A.C. Utilization of flour obtained from potato wastes in the preparaton of cookies. **Publicação da UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.11, n.1, p.19-26, abr., 2005.

PEREIRA, G. G.; LIMA JÚNIOR, F. A.; COUTO, E. M., SEQUEIRA, H. H.; PEREIRA, J. Características da farinha da casca de pequi. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SCOLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS, 1., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB/Embrapa, 2005. CD Rom.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; FILHO, M. M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) prédesidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.102-106, jan-mar, 2013.

PEREZ, P. M. P.; GERMANI, R. Farinha mista de trigo e berinjela: características físicas e químicas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.22, n.1, p.15-24, jan./jun., 2004.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. **FEALQ**, Piracicaba, p. 309-2002.

PONTES, S. F. O.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; RIBEIRO, A. C.; CARNEIRO, J. C. S.. Drying and evaluation sensorial of banana of the earth. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.143-148, 2007. ISSN 1517-8595.

RADÜNZI, L. L.; AMARAL, A. S.; MOSSI, A. J.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P. Evaluation of drying kinetics of carqueja. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v.19, n.1, p.19-27. jan./fev., 2011.

RIBEIRO, R. S. A. **Utilização da castanha com fonte de amido na alimentação do leitão ao desmame**. 2012. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Zootécnica) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

RODRIGUES, M.E. A.; ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G. ; SILVA, M.M. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de Goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.141-147, 2002.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F.. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2 ed. Editora Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor. Campinas; SP. 358p. 2009.

RUPOLLO, G. GUTKOSKI, L. C.; MARINI, L.J.; ELIAS, M. C. Hermetic and conventional storage systems in oat grains conservation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1715-1722, nov./dez., 2004. ISSN 0103-8478.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; BRANCO, I.G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ. C.L. Influence of temperature and geometry in the drying kinetic of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v.31, n.2, p. 308-312, 2011.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, P. Kinetics and modeling of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) drying in a tray dryer. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v.32, n.3, p.309-313, 2010.

SANTOS, D.C.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; OLIVEIRA, E.N.A. Drying kinetics of residual grain flour of annatto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p.223–231, 2013.

SENA, R. F.; NUNES, M. L. Utilização de resíduos agroindustriais no processamento de rações para carcinicultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Bahia, v.7, n.2, p.94-102, 2006.

SILVA, C.G. **Otimização da fabricação da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares**. 2009. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processo) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

SILVA, F. S. A.; AZEVEDO, C. A. V.. Principas components anlysis in the software Assistat-statistical attendance. In WORD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 2009, Reno-USA. **Proceedings...** Reno-USA: American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2009.

SILVA, F. S. A.; DUARTE, M. E.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. New methodology for data interpretation of food sensorial analysis. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.967-973, set./out. 2010.

SILVA, L. A.; CAVALCANTI MATA, M. E. R.M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; AZEVEDO, H. F. Cinética da secagem de grãos de algaroba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.14, n. Especial, p.535-542, 2012 535 ISSN 1517-8595.

SILVA, V. M.; VIOTTO, L. A. Secagem do resíduo de limão siciliano: influência das variáveis de processo na avaliação da fibra alimentar produzida. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.2, p.421-428, abr./jun., 2010. ISSN 0101-2061.

SILVA, W. P.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; SILVA, C. D. P. S. E; GUEDES, M. A.; LIMA, A. G. B. Determination of diffusivity and activation energy for cowpea grains (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), always-green variety, based on its drying behavior. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.325-333, abr./jun., 2008.

SOUSA, K.A.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H.; COSTA, L.M. The drying kinetics of forage turnips (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p. 883-892, out-dez, 2011.

SOUZA, L.G.M. Secador solar a baixo custo para frutas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6., 2004. Belém. **Anais...** Belém: CONEM, 2004. CD-ROM

SOUZA, M.W.S.; FERREIRA, T.B.O.; VIEIRA*, F.R. Composição centesimal e propriedades funcionais tecnológicas da farinha da casca do maracujá. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.19, n.1, p.33-36, jan./mar. 2008. ISSN 0103-4235.

SOUSA, S. **Obtenção de figos secos por desidratação osmótica e secagem convectiva**. 2008. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de alimentos, Campinas, SP, 2008.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Wheat: characteristics and baking use. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.2, p.211-222, 2011. ISSN 1517-8595.

STATISTICA. **Statistica Software**. Version 7.0. Tulsa: StatSof, 2005.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2. ed., Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p. v.2.

TESARO, D.; LARSEN, A. C.; DALLOGO, R. C.; DAMASCENO, S. G.. Avaliação das fermentações alcoólica e acética para produção de vinagre a partir de suco de laranja. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.32, n.2, p.201-205, 2010.

THEODORO, J.D.P.; MADRONA, G.S.; THEODORO, P.S.; VEIT, M.T.; BERGAMASCO, R. Aplicação da cinética de segunda e terceira ordem do cloreto férrico para obtenção de água potável. In: ENCOTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2011, Maringá, PR. **Anais...** Maringá: 2011. CD-ROM.

WAUGHON, T.G.M., ; PENA, R.S.S. modelagem da secagem em camada delgada da fibra Residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba v.26, n.2, p.297-306, jul./dez. 2008.

VANIN, M.; NOVELLO, D. Evaluation of wastefulness in the pré-preparo of saladas in a unit of feeding and nutrition. **Revista Salus**, Guarapuava, v.2, n.2, p.51-62, jul./dez., 2008. ISSN 1980-2404.

VASCONCELOS, A. C.; PONTES, D. F.; GARRUTI, D. S.; SILVA, A. P. V. Processamento e aceitabilidade de pães de forma a partir de ingredientes funcionais: farinha de soja e fibra alimentar. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.1, p.43-49, jan./mar. 2006. ISSN 0103-4235.

VILHALVA, D. A. A.; JÚNIOR, M. S. S.; CALIARI, M.; SILVA, F. A. Conventional drying of cassava peel from starch industry waste. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v.42, n.3, p.331-339, jul./set., 2012. e-ISSN 1983-4063.

ZIGLIO, B. R.; BEZERRA, J. R. M. V.; BRANCO, I. G.; BASTOS, R.; RIGO, M. Elaboração de pães com adição de farinha de sabugo de milho. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.9 n.1, jan./jun., 2007.

ZILIOLI, E. **Desidratação de bananas**. 2011. Apostila. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAen8wAL/desidratacao-bananas>>. Acesso em: 03 Outubro 2014.

APÊNDICE A-C1

Tabela A1.1 – Valores obtidos em Kg da polpa com semente, polpa sem semente, casca e semente dos frutos do facheiro em relação ao fruto *in natura*.

Repetição	Fruto <i>in natura</i>	Polpa com semente	Polpa sem semente	Casca	Semente
1°	5,10	0,75	0,45	4,35	0,30
2°	4,89	0,61	0,50	4,25	0,11
3°	1,29	0,17	0,15	1,12	0,02
4°	5,81	1,17	0,82	4,64	0,35
5°	8,33	0,69	0,57	7,64	0,12
6°	14,15	1,87	1,41	12,28	0,46
7°	10,85	3,27	2,64	7,59	0,63
8°	25,31	4,25	3,36	21,06	0,89
9°	16,36	2,70	2,11	13,66	0,59

Tabela A1.2 – Valores obtidos em Kg da polpa com semente, polpa sem semente, casca e semente dos frutos do mandacaru em relação ao fruto *in natura*.

Repetição	Fruto <i>in natura</i>	Polpa com semente	Polpa sem semente	Casca	Semente
1°	8,10	3,00	2,10	5,10	0,90
2°	5,95	2,25	1,83	3,70	0,47
3°	31,63	12,08	9,52	19,55	2,56
4°	45,68	17,33	13,45	28,35	3,93

Tabela A2.1 – Análise de variância do teor de água (%) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	17,78458	17,78458	1640,3362 **
Resíduo	4	0,04337	0,01084	-
Total	5	17,82794	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.2 – Análise de variância do sólidos totais (%) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,52130	0,52130	62,3179 **
Resíduo	4	0,03346	0,00837	-
Total	5	0,55476	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.3 – Análise de variância da cinzas (%) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,59453	0,59453	1603,0211 **
Resíduo	4	0,00148	0,00037	-
Total	5	0,59602	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.4 – Análise de variância do sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	9,77927	9,77927	265,9819 **
Resíduo	4	0,14707	0,03677	-
Total	5	9,92633	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.5 – Análise de variância da massa específica (kg m^{-3}) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	670,66654	670,66654	2854,1086 **
Resíduo	4	0,93993	0,23498	-
Total	5	671,60647	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.6 – Análise de variância do pH da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,27735	0,27735	1188,6429 **
Resíduo	4	0,00093	0,00023	-
Total	5	0,27828	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.7 – Análise de variância da Acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,14371	0,14371	120,1429 **
Resíduo	4	0,00478	0,00120	-
Total	5	0,14849	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.8 – Análise de variância da Ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	1,78215	1,78215	37,0453 **
Resíduo	4	0,19243	0,04811	-
Total	5	1,97458	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.9 – Análise de variância da Açúcares reductores (% glicose) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,10406	0,10406	91,9650 **
Resíduo	4	0,00453	0,00113	-
Total	5	0,10859	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.10 – Análise de variância da Açúcares não reductores (% glicose) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,10406	0,10406	91,9650 **
Resíduo	4	0,00453	0,00113	-
Total	5	0,10859	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.11 – Análise de variância da Açúcares totais (% glicose) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,52130	0,52130	62,3179 **
Resíduo	4	0,03346	0,00837	-
Total	5	0,55476	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.12 – Análise de variância do lipídio (%) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,52130	0,52130	62,3179 **
Resíduo	4	0,03346	0,00837	-
Total	5	0,55476	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.13 – Análise de variância da proteína (%) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,52130	0,52130	62,3179 **
Resíduo	4	0,03346	0,00837	-
Total	5	0,55476	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A2.14 – Análise de variância do valor calórico (Kcal/100g) da polpa e da casca do fruto de facheiro.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	44,48244	44,48244	63,5268 **
Resíduo	4	2,80086	0,70022	-
Total	5	47,28330	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.1 – Análise de variância do teor de água (%) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,70835	0,70835	0,5666 ns
Resíduo	4	5,00040	1,25010	-
Total	5	5,70874	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.2 – Análise de variância do sólidos totais (%) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,70835	0,70835	0,5666 ns
Resíduo	4	5,00040	1,25010	-
Total	5	5,70875	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.3 – Análise de variância da cinzas (%) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,00132	0,00132	0,3447 ns
Resíduo	4	0,01528	0,00382	-
Total	5	0,01659	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.4 – Análise de variância do sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	10,16602	10,16602	1173,0019 **
Resíduo	4	0,03467	0,00867	-
Total	5	10,20068	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.5 – Análise de variância da massa específica (kg m^{-3}) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	264,4007 **	92,87387	264,4007 **
Resíduo	4	1,40505	0,35126	-
Total	5	94,27892	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.6 – Análise de variância do pH da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	0,00132	0,00132	0,3447 ns
Resíduo	4	0,01528	0,00382	-
Total	5	0,01659	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.7 – Análise de variância da Acidez total titulável (% ácido cítrico) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	92,87387	92,87387	264,4007 **
Resíduo	4	1,40505	0,35126	-
Total	5	94,27892	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.8 – Análise de variância da Ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	6,74160	6,74160	18,0000 *
Resíduo	4	1,49813	0,37453	-
Total	5	8,23973	-	-

*Significativo a 5% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.9 – Análise de variância da Açúcares redutores (% glicose) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	41,73431	41,73431	34291,6149 **
Resíduo	4	0,00487	0,00122	-
Total	5	41,73918	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.10 – Análise de variância da Açúcares não redutores (% glicose) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	41,73431	41,73431	34291,6149 **
Resíduo	4	0,00487	0,00122	-
Total	5	41,73918	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.11 – Análise de variância da Açúcares totais (% glicose) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	34,89362	34,89362	9719,5772 **
Resíduo	4	0,01436	0,00359	-
Total	5	34,90798	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.12 – Análise de variância do lipídio (%) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	1,35647	1,35647	2836,4095 **
Resíduo	4	0,00191	0,00048	-
Total	5	1,35838	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.13 – Análise de variância da proteína (%) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	1,35647	1,35647	2836,4095 **
Resíduo	4	0,00191	0,00048	-
Total	5	1,35838	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela A3.14 – Análise de variância do valor calórico (Kcal/100g) da polpa e da casca do fruto do mandacaru.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	1	661,1222 **	661,1222 **	661,1222 **
Resíduo	4	0,31015	0,07754	-
Total	5	51.57232	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

APÊNDICE B-C2

Tabela B1.1 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a -25 °C da polpa do fruto de facheiro *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	2580	0,48	5220	0,46
60	0,96	2640	0,48	5280	0,46
120	0,90	2700	0,48	5340	0,46
180	0,87	2760	0,49	5400	0,46
240	0,85	2820	0,49	5460	0,46
300	0,83	2880	0,48	5520	0,46
360	0,81	2940	0,48	5580	0,46
420	0,79	3000	0,48	5640	0,46
480	0,77	3060	0,48	5700	0,46
540	0,76	3120	0,48	5760	0,45
600	0,74	3180	0,48	5820	0,45
660	0,72	3240	0,48	5880	0,45
720	0,71	3300	0,48	5940	0,45
780	0,69	3360	0,48	6000	0,45
840	0,68	3420	0,48	6060	0,45
900	0,67	3480	0,48	6120	0,45
960	0,66	3540	0,48	6180	0,45
1020	0,65	3600	0,48	6240	0,45
1080	0,63	3660	0,48	6300	0,45
1140	0,62	3720	0,47	6360	0,45
1200	0,61	3780	0,47	6420	0,45
1260	0,60	3840	0,47	6480	0,45
1320	0,59	3900	0,47	6540	0,45
1380	0,58	3960	0,47	6600	0,44
1440	0,57	4020	0,47	6660	0,44
1500	0,57	4080	0,47	6720	0,44
1560	0,55	4140	0,47	6780	0,44
1620	0,55	4200	0,47	6840	0,44
1680	0,55	4260	0,47	6900	0,44
1740	0,54	4320	0,47	6960	0,44
1800	0,53	4380	0,47	6020	0,44
1860	0,52	4440	0,47	6080	0,44
1920	0,52	4500	0,47	6140	0,44
1980	0,51	4560	0,47	6200	0,44
2040	0,51	4620	0,47	7260	0,44
2100	0,50	4680	0,47	7320	0,44
2160	0,50	4740	0,46	7380	0,43
2220	0,50	4800	0,46	7440	0,43
2280	0,49	4860	0,46	7500	0,43
2340	0,49	4920	0,46	7560	0,43
2400	0,48	4980	0,46	7620	0,43
2460	0,48	5040	0,46	7680	0,43
2520	0,49	5100	0,46	7740	0,43
2580	0,48	5160	0,46	7800	0,43

7860	0,43	11100	0,35	26100	0,00
7920	0,43	11400	0,35	26400	0,00
7980	0,43	11700	0,34	26700	0,00
8040	0,43	12000	0,33	27000	0,00
8100	0,43	12300	0,32	27300	0,00
8160	0,42	12600	0,31	27600	0,00
8220	0,42	12900	0,30	27900	0,00
8280	0,42	13200	0,28	28200	0,00
8340	0,42	13500	0,26	28500	0,00
8400	0,42	13800	0,24	28800	0,00
8460	0,42	14100	0,23		
8520	0,42	14400	0,21		
8580	0,42	14700	0,20		
8640	0,42	15000	0,18		
8700	0,42	15300	0,17		
8760	0,42	15600	0,16		
8820	0,41	15900	0,15		
8880	0,41	16200	0,14		
8940	0,41	16500	0,13		
9000	0,41	16800	0,12		
9060	0,41	17100	0,11		
9120	0,41	17400	0,11		
9180	0,41	17700	0,10		
9240	0,41	18000	0,10		
9300	0,41	18300	0,09		
9360	0,40	18600	0,09		
9420	0,40	18900	0,08		
9480	0,40	19200	0,08		
9540	0,40	19500	0,07		
9600	0,40	19800	0,06		
9660	0,40	20100	0,06		
9720	0,40	20400	0,05		
9780	0,39	20700	0,05		
9840	0,39	21000	0,05		
9900	0,39	21300	0,04		
9960	0,39	21600	0,04		
10020	0,39	21900	0,03		
10080	0,39	22200	0,03		
10140	0,39	22500	0,03		
10200	0,39	22800	0,02		
10260	0,38	23100	0,02		
10320	0,38	23400	0,02		
10380	0,38	23700	0,01		
10440	0,38	24000	0,01		
10500	0,37	24300	0,01		
10560	0,37	24600	0,01		
10620	0,37	24900	0,01		
10680	0,37	25200	0,01		
10740	0,36	25500	0,00		
10800	0,36	25800	0,00		

Tabela B1.2 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ da polpa do fruto de mandacaru *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	2580	0,45	5220	0,44
60	0,96	2640	0,45	5280	0,44
120	0,93	2700	0,45	5340	0,43
180	0,90	2760	0,45	5400	0,43
240	0,88	2820	0,45	5460	0,43
300	0,86	2880	0,45	5520	0,43
360	0,85	2940	0,45	5580	0,43
420	0,82	3000	0,45	5640	0,43
480	0,80	3060	0,45	5700	0,43
540	0,79	3120	0,45	5760	0,43
600	0,77	3180	0,44	5820	0,43
660	0,75	3240	0,44	5880	0,43
720	0,73	3300	0,44	5940	0,43
780	0,72	3360	0,44	6000	0,43
840	0,70	3420	0,44	6060	0,43
900	0,68	3480	0,44	6120	0,43
960	0,67	3540	0,44	6180	0,43
1020	0,65	3600	0,44	6240	0,43
1080	0,64	3660	0,44	6300	0,43
1140	0,63	3720	0,44	6360	0,43
1200	0,61	3780	0,44	6420	0,42
1260	0,60	3840	0,44	6480	0,42
1320	0,58	3900	0,44	6540	0,42
1380	0,57	3960	0,44	6600	0,42
1440	0,56	4020	0,44	6660	0,42
1500	0,55	4080	0,44	6720	0,42
1560	0,53	4140	0,44	6780	0,42
1620	0,53	4200	0,44	6840	0,42
1680	0,52	4260	0,44	6900	0,42
1740	0,51	4320	0,44	6960	0,42
1800	0,50	4380	0,44	6020	0,42
1860	0,50	4440	0,44	6080	0,42
1920	0,49	4500	0,44	6140	0,42
1980	0,48	4560	0,44	6200	0,42
2040	0,48	4620	0,44	7260	0,42
2100	0,47	4680	0,44	7320	0,41
2160	0,47	4740	0,44	7380	0,41
2220	0,46	4800	0,44	7440	0,41
2280	0,46	4860	0,44	7500	0,41
2340	0,45	4920	0,44	7560	0,41
2400	0,45	4980	0,44	7620	0,41
2460	0,45	5040	0,44	7680	0,41
2520	0,45	5100	0,44	7740	0,41
2580	0,45	5160	0,44	7800	0,41

7860	0,40	11100	0,14	26100	0,00
7920	0,40	11400	0,13	26400	0,00
7980	0,40	11700	0,11	26700	0,00
8040	0,40	12000	0,09	27000	0,00
8100	0,40	12300	0,09	27300	0,00
8160	0,40	12600	0,08		
8220	0,40	12900	0,07		
8280	0,40	13200	0,06		
8340	0,39	13500	0,04		
8400	0,39	13800	0,03		
8460	0,39	14100	0,03		
8520	0,39	14400	0,03		
8580	0,38	14700	0,02		
8640	0,38	15000	0,02		
8700	0,38	15300	0,02		
8760	0,38	15600	0,02		
8820	0,37	15900	0,02		
8880	0,37	16200	0,02		
8940	0,37	16500	0,02		
9000	0,36	16800	0,01		
9060	0,36	17100	0,01		
9120	0,35	17400	0,01		
9180	0,35	17700	0,01		
9240	0,34	18000	0,01		
9300	0,33	18300	0,01		
9360	0,33	18600	0,01		
9420	0,32	18900	0,01		
9480	0,31	19200	0,01		
9540	0,31	19500	0,01		
9600	0,30	19800	0,01		
9660	0,29	20100	0,01		
9720	0,28	20400	0,01		
9780	0,28	20700	0,01		
9840	0,27	21000	0,01		
9900	0,26	21300	0,01		
9960	0,26	21600	0,01		
10020	0,25	21900	0,00		
10080	0,24	22200	0,00		
10140	0,24	22500	0,00		
10200	0,23	22800	0,00		
10260	0,22	23100	0,00		
10320	0,21	23400	0,00		
10380	0,21	23700	0,00		
10440	0,20	24000	0,00		
10500	0,19	24300	0,00		
10560	0,19	24600	0,00		
10620	0,18	24900	0,00		
10680	0,17	25200	0,00		
10740	0,17	25500	0,00		
10800	0,16	25800	0,00		

Tabela B1.3 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ da polpa do fruto de facheiro *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	2640	0,67	5280	0,25
60	0,96	2700	0,67	5340	0,23
120	0,94	2760	0,67	5400	0,22
180	0,92	2820	0,66	5460	0,21
240	0,91	2880	0,66	5520	0,21
300	0,89	2940	0,66	5580	0,20
360	0,87	3000	0,65	5640	0,19
420	0,85	3060	0,65	5700	0,18
480	0,84	3120	0,65	5760	0,18
540	0,82	3180	0,64	5820	0,17
600	0,80	3240	0,64	5880	0,16
660	0,79	3300	0,63	5940	0,16
720	0,77	3360	0,63	6000	0,15
780	0,76	3420	0,62	6060	0,14
840	0,75	3480	0,62	6120	0,14
900	0,74	3540	0,61	6180	0,13
960	0,73	3600	0,61	6240	0,13
1020	0,72	3660	0,60	6300	0,12
1080	0,71	3720	0,60	6360	0,12
1140	0,71	3780	0,59	6420	0,11
1200	0,70	3840	0,58	6480	0,11
1260	0,70	3900	0,57	6540	0,10
1320	0,70	3960	0,56	6600	0,10
1380	0,70	4020	0,55	6660	0,09
1440	0,70	4080	0,54	6720	0,09
1500	0,69	4140	0,53	6780	0,09
1560	0,69	4200	0,51	6840	0,08
1620	0,69	4260	0,50	6900	0,08
1680	0,69	4320	0,48	6960	0,08
1740	0,69	4380	0,47	6020	0,08
1800	0,69	4440	0,45	6080	0,08
1860	0,69	4500	0,44	6140	0,07
1920	0,69	4560	0,42	6200	0,07
1980	0,69	4620	0,41	7260	0,07
2040	0,69	4680	0,39	7320	0,07
2100	0,69	4740	0,38	7380	0,07
2160	0,69	4800	0,36	7440	0,06
2220	0,68	4860	0,35	7500	0,06
2280	0,68	4920	0,33	7560	0,06
2340	0,68	4980	0,32	7620	0,06
2400	0,68	5040	0,31	7680	0,06
2460	0,68	5100	0,29	7740	0,05
2520	0,68	5160	0,27	7800	0,05
2580	0,68	5220	0,26	7860	0,05

7920	0,05	10920	0,01	13920	0,00
7980	0,05	10980	0,01	13980	0,00
8040	0,04	11040	0,01	14040	0,00
8100	0,04	11100	0,01	14100	0,00
8160	0,04	11160	0,01	14160	0,00
8220	0,04	11220	0,01	14220	0,00
8280	0,04	11280	0,01	14280	0,00
8340	0,04	11340	0,01	14340	0,00
8400	0,04	11400	0,01	14400	0,00
8460	0,03	11460	0,01		
8520	0,03	11520	0,01		
8580	0,03	11580	0,01		
8640	0,03	11640	0,01		
8700	0,03	11700	0,01		
8760	0,03	11760	0,01		
8820	0,03	11820	0,01		
8880	0,03	11880	0,01		
8940	0,03	11940	0,01		
9000	0,03	12000	0,01		
9060	0,03	12060	0,01		
9120	0,03	12120	0,01		
9180	0,03	12180	0,01		
9240	0,03	12240	0,01		
9300	0,02	12300	0,01		
9360	0,02	12360	0,01		
9420	0,02	12420	0,01		
9480	0,02	12480	0,01		
9540	0,02	12540	0,01		
9600	0,02	12600	0,01		
9660	0,02	12660	0,01		
9720	0,02	12720	0,00		
9780	0,02	12780	0,00		
9840	0,02	12840	0,00		
9900	0,02	12900	0,00		
9960	0,02	12960	0,00		
10020	0,02	13020	0,00		
10080	0,02	13080	0,00		
10140	0,02	13140	0,00		
10200	0,02	13200	0,00		
10260	0,02	13260	0,00		
10320	0,02	13320	0,00		
10380	0,01	13380	0,00		
10440	0,01	13440	0,00		
10500	0,01	13500	0,00		
10560	0,01	13560	0,00		
10620	0,01	13620	0,00		
10680	0,01	13680	0,00		
10740	0,01	13740	0,00		
10800	0,01	13800	0,00		
10860	0,01	13860	0,00		

Tabela B1.4 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ da polpa do fruto do mandacaru *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	2640	0,63	5280	0,20
60	0,96	2700	0,63	5340	0,19
120	0,93	2760	0,63	5400	0,19
180	0,91	2820	0,63	5460	0,18
240	0,89	2880	0,62	5520	0,17
300	0,86	2940	0,62	5580	0,16
360	0,84	3000	0,62	5640	0,15
420	0,82	3060	0,61	5700	0,14
480	0,80	3120	0,61	5760	0,13
540	0,78	3180	0,61	5820	0,13
600	0,77	3240	0,60	5880	0,12
660	0,76	3300	0,60	5940	0,12
720	0,74	3360	0,59	6000	0,11
780	0,73	3420	0,59	6060	0,10
840	0,72	3480	0,58	6120	0,10
900	0,71	3540	0,58	6180	0,09
960	0,70	3600	0,57	6240	0,09
1020	0,69	3660	0,56	6300	0,09
1080	0,68	3720	0,56	6360	0,08
1140	0,67	3780	0,55	6420	0,08
1200	0,67	3840	0,54	6480	0,07
1260	0,67	3900	0,53	6540	0,07
1320	0,67	3960	0,52	6600	0,07
1380	0,66	4020	0,51	6660	0,06
1440	0,66	4080	0,49	6720	0,06
1500	0,66	4140	0,48	6780	0,06
1560	0,66	4200	0,46	6840	0,05
1620	0,66	4260	0,45	6900	0,05
1680	0,66	4320	0,43	6960	0,05
1740	0,66	4380	0,41	7020	0,04
1800	0,66	4440	0,40	7080	0,04
1860	0,65	4500	0,38	7140	0,04
1920	0,65	4560	0,36	7200	0,04
1980	0,65	4620	0,34	7260	0,03
2040	0,65	4680	0,33	7320	0,03
2100	0,65	4740	0,31	7380	0,03
2160	0,65	4800	0,30	7440	0,03
2220	0,65	4860	0,29	7500	0,03
2280	0,64	4920	0,27	7560	0,02
2340	0,64	4980	0,26	7620	0,02
2400	0,64	5040	0,25	7680	0,02
2460	0,64	5100	0,24	7740	0,02
2520	0,64	5160	0,23	7800	0,02
2580	0,64	5220	0,21	7860	0,02

7920	0,02
7980	0,01
8040	0,01
8100	0,01
8160	0,01
8220	0,01
8280	0,01
8340	0,01
8400	0,01
8460	0,01
8520	0,01
8580	0,01
8640	0,00
8700	0,00
8760	0,00
8820	0,00
8880	0,00
8940	0,00
9000	0,00
9060	0,00
9120	0,00
9180	0,00
9240	0,00
9300	0,00
9360	0,00
9420	0,00
9480	0,00
9540	0,00
9600	0,00
9660	0,00
9720	0,00
9780	0,00
9840	0,00
9900	0,00
9960	0,00
10020	0,00
10080	0,00
10140	0,00
10200	0,00
10260	0,00
10320	0,00
10380	0,00
10440	0,00
10500	0,00
10560	0,00
10620	0,00
10680	0,00
10740	0,00
10800	0,00

Tabela B1.5 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a -150 °C da polpa do fruto de facheiro *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	0,99	2640	0,33	5280	0,04
60	0,96	2700	0,32	5340	0,04
120	0,95	2760	0,30	5400	0,04
180	0,93	2820	0,28	5460	0,03
240	0,91	2880	0,27	5520	0,03
300	0,89	2940	0,25	5580	0,03
360	0,87	3000	0,24	5640	0,03
420	0,85	3060	0,22	5700	0,03
480	0,84	3120	0,21	5760	0,03
540	0,84	3180	0,20	5820	0,03
600	0,83	3240	0,19	5880	0,03
660	0,83	3300	0,18	5940	0,03
720	0,83	3360	0,17	6000	0,03
780	0,83	3420	0,16	6060	0,02
840	0,82	3480	0,15	6120	0,02
900	0,82	3540	0,14	6180	0,02
960	0,82	3600	0,14	6240	0,02
1020	0,82	3660	0,13	6300	0,02
1080	0,81	3720	0,12	6360	0,02
1140	0,81	3780	0,12	6420	0,02
1200	0,81	3840	0,11	6480	0,02
1260	0,81	3900	0,11	6540	0,02
1320	0,80	3960	0,10	6600	0,02
1380	0,80	4020	0,09	6660	0,02
1440	0,79	4080	0,09	6720	0,01
1500	0,79	4140	0,09	6780	0,01
1560	0,77	4200	0,08	6840	0,01
1620	0,76	4260	0,08	6900	0,01
1680	0,74	4320	0,07	6960	0,01
1740	0,72	4380	0,07	7020	0,01
1800	0,70	4440	0,07	7080	0,01
1860	0,66	4500	0,06	7140	0,01
1920	0,64	4560	0,06	7200	0,01
1980	0,61	4620	0,06	7260	0,01
2040	0,58	4680	0,06	7320	0,01
2100	0,54	4740	0,05	7380	0,00
2160	0,51	4800	0,05	7440	0,00
2220	0,49	4860	0,05	7500	0,00
2280	0,46	4920	0,05	7560	0,00
2340	0,44	4980	0,05	7620	0,00
2400	0,41	5040	0,04	7680	0,00
2460	0,39	5100	0,04	7740	0,00
2520	0,37	5160	0,04	7800	0,00
2580	0,35	5220	0,04	7860	0,00

7920	0,00	8640	0,00	9360	0,00
7980	0,00	8700	0,00	9420	0,00
8040	0,00	8760	0,00	9480	0,00
8100	0,00	8820	0,00	9540	0,00
8160	0,00	8880	0,00	9600	0,00
8220	0,00	8940	0,00	9660	0,00
8280	0,00	9000	0,00	9720	0,00
8340	0,00	9060	0,00	9780	0,00
8400	0,00	9120	0,00	9840	0,00
8460	0,00	9180	0,00	9900	0,00
8520	0,00	9240	0,00	9960	0,00
8580	0,00	9300	0,00	10020	0,00

Tabela B1.6 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a -150 °C da polpa do fruto do mandacaru *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	2640	0,26	5280	0,02
60	0,93	2700	0,24	5340	0,01
120	0,90	2760	0,23	5400	0,01
180	0,88	2820	0,21	5460	0,01
240	0,87	2880	0,20	5520	0,01
300	0,86	2940	0,19	5580	0,01
360	0,84	3000	0,18	5640	0,01
420	0,83	3060	0,17	5700	0,01
480	0,83	3120	0,16	5760	0,01
540	0,82	3180	0,15	5820	0,01
600	0,82	3240	0,14	5880	0,01
660	0,82	3300	0,13	5940	0,01
720	0,81	3360	0,12	6000	0,01
780	0,81	3420	0,11	6060	0,01
840	0,81	3480	0,11	6120	0,01
900	0,80	3540	0,10	6180	0,01
960	0,80	3600	0,10	6240	0,01
1020	0,80	3660	0,09	6300	0,01
1080	0,79	3720	0,08	6360	0,01
1140	0,79	3780	0,08	6420	0,00
1200	0,78	3840	0,08	6480	0,00
1260	0,77	3900	0,07	6540	0,00
1320	0,77	3960	0,07	6600	0,00
1380	0,76	4020	0,06	6660	0,00
1440	0,75	4080	0,06	6720	0,00
1500	0,73	4140	0,06	6780	0,00
1560	0,72	4200	0,05	6840	0,00
1620	0,70	4260	0,05	6900	0,00
1680	0,68	4320	0,05	6960	0,00
1740	0,66	4380	0,04	7020	0,00

1800	0,63	4440	0,04	7080	0,00
1860	0,60	4500	0,04	7140	0,00
1920	0,57	4560	0,04	7200	0,00
1980	0,54	4620	0,03	7260	0,00
2040	0,51	4680	0,03	7320	0,00
2100	0,47	4740	0,03	7380	0,00
2160	0,44	4800	0,03	7440	0,00
2220	0,41	4860	0,03	7500	0,00
2280	0,39	4920	0,02		
2340	0,36	4980	0,02		
2400	0,34	5040	0,02		
2460	0,32	5100	0,02		
2520	0,30	5160	0,02		
2580	0,28	5220	0,02		

Tabela B1.7 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a -196 °C da polpa do fruto de facheiro *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	140	0,09	280	0,00
05	0,95	145	0,08	285	0,00
10	0,86	150	0,07	290	0,00
15	0,80	155	0,06	295	0,00
20	0,75	160	0,05	300	0,00
25	0,71	165	0,04		
30	0,67	170	0,04		
35	0,64	175	0,03		
40	0,63	180	0,03		
45	0,62	185	0,02		
50	0,60	190	0,02		
55	0,58	195	0,01		
60	0,54	200	0,01		
65	0,52	205	0,00		
70	0,51	210	0,00		
75	0,49	215	0,00		
80	0,46	220	0,00		
85	0,42	225	0,00		
90	0,38	230	0,00		
95	0,31	235	0,00		
100	0,27	240	0,00		
105	0,26	245	0,00		
110	0,23	250	0,00		
115	0,20	255	0,00		
120	0,16	260	0,00		
125	0,14	265	0,00		
130	0,13	270	0,00		
135	0,10	275	0,00		

Tabela B1.8 –Tempo e razão de temperatura experimental, obtidos no congelamento a -196 °C da polpa do fruto do mandacaru *in natura*

Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)	Tempo (s)	Razão de Temperatura (RT)
0	1,00	105	0,09	210	0,00
05	0,94	110	0,07	215	0,00
10	0,82	115	0,06	220	0,00
15	0,74	120	0,05	225	0,00
20	0,67	125	0,05	230	0,00
25	0,63	130	0,04	235	0,00
30	0,60	135	0,04	240	0,00
35	0,59	140	0,04	245	0,00
40	0,57	145	0,04	250	0,00
45	0,55	150	0,03	255	0,00
50	0,52	155	0,03	260	0,00
55	0,50	160	0,03	265	0,00
60	0,46	165	0,02	270	0,00
65	0,41	170	0,02	275	0,00
70	0,39	175	0,02	280	0,00
75	0,23	180	0,01	285	0,00
80	0,20	185	0,01	290	0,00
85	0,18	190	0,01	295	0,00
90	0,15	195	0,01	300	0,00
95	0,11	200	0,00		
100	0,09	205	0,00		

APÊNDICE C-C3

Tabela C1.1 – Razão do teor de água experimental e temperatura de congelamento a cada momento na secagem por liofilização da polpa do fruto de facheiro.

Tempo (h)	Razão de Temperatura (RX)		
	-25 °C	-60 °C	-150 °C
0	1,00	1,00	1,00
2	0,73	0,91	0,91
4	0,56	0,82	0,83
6	0,41	0,74	0,75
8	0,30	0,66	0,67
10	0,21	0,59	0,60
12	0,13	0,51	0,51
14	0,07	0,43	0,45
16	0,02	0,36	0,38
18	0,00	0,28	0,29
20	0,00	0,22	0,23
24	0,00	0,10	0,14
28	0,00	0,03	0,06
32	0,00	0,00	0,04
36	0,00	0,00	0,02
40	0,00	0,00	0,01
44	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,00

Tabela C1.2 – Razão do teor de água experimental e temperatura de congelamento a cada momento na secagem por liofilização da polpa do fruto do facheiro.

Tempo (h)	Razão de Temperatura (RX)		
	-25 °C	-60 °C	-150 °C
0	1,00	1,00	1,00
2	0,69	0,71	0,75
4	0,50	0,56	0,60
6	0,20	0,42	0,75
8	0,09	0,28	0,45
10	0,00	0,15	0,32
12	0,00	0,06	0,20
14	0,00	0,00	0,09
16	0,00	0,00	0,03
18	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00

Tabela C2.1 – Análise de variância do teor de água (%) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	1819581,10502	606527,03501	86348,6975 **
Resíduo	8	56,19328	7,02416	-
Total	11	1819637,29829	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.2 – Análise de variância dos sólidos totais (%) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	1046814,92431	348938,30810	54.3508 **
Resíduo	8	51360,86255	6420,10782	-
Total	11	1098175,78686	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.3 – Análise de variância das cinzas (%) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	26,63428	8,87809	234,6890 **
Resíduo	8	0,30263	0,03783	-
Total	11	26,93692	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.4 – Análise de variância dos Sólidos Solúveis Totais (°Brix) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	11589,29667	3863,09889	489516,23 **
Resíduo	8	0,06313	0,00789	-
Total	11	11589,35980	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.5 – Análise de variância do pH na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	0,02489	0,00830	23,7063 **
Resíduo	8	0,00280	0,00035	-
Total	11	0,02769	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.6 – Análise de variância da acidez total titulável (% ácido cítrico) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	1,97947	0,98974	434,4000 **
Resíduo	8	0,01367	0,00228	-
Total	11	1,99315	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.7 – Análise de variância do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	631,03122	210,34374	32,7251 **
Resíduo	8	51,42077	6,42760	-
Total	11	682,45198	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.8 – Análise de variância dos açúcares redutores (% glicose) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	141416,69236	47138,89745	1269,2977 **
Resíduo	8	297,10222	37,13778	-
Total	11	141713,79458	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.9 – Análise de variância dos açúcares não redutores (% sacarose) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	34,75185	11,58395	29,3573 **
Resíduo	8	3,15668	0,39458	-
Total	11	37,90852	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.10 – Análise de variância dos açúcares totais (%) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	254150,54093	84716,84698	887,2434 **
Resíduo	8	763,86565	95,48321	-
Total	11	254914,40657	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.11 – Análise de variância dos lipídios (%) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	0,96050	0,32017	692,3572 **
Resíduo	8	0,00370	0,00046	-
Total	11	0,96420	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.12 – Análise de variância das proteínas (%) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	5,51525	1,83842	827,2204 **
Resíduo	8	0,01778	0,00222	-
Total	11	5,53303	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C2.13 – Análise de variância do valor calórico (kcal 100g⁻¹) na base seca da polpa do fruto de facheiro *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	4139324,50734	1379774,83578	894,6724 **
Resíduo	8	12337,69870	1542,21234	-
Total	11	4151662,20604	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.1 – Análise de variância do teor de água (%) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	12146081,76018	4048693,92006	2393,5672 **
Resíduo	8	13531,91668	1691,48959	-
Total	11	12159613,67686	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.2 – Análise de variância dos sólidos totais (%) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	30,64418	15,32209	12,3482 **
Resíduo	8	7,44501	1,24084	-
Total	11	38,08919	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.3 – Análise de variância das cinzas (%) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	4,37385	2,18693	117,1432 **
Resíduo	8	0,11201	0,01867	-
Total	11	4,48587	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.4 – Análise de variância dos Sólidos Solúveis Totais (°Brix) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	25,02889	12,51444	469,2917 **
Resíduo	8	0,16000	0,02667	-
Total	11	25,18889	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.5 – Análise de variância do pH na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	0,00296	0,00148	1,8732 ns
Resíduo	8	0,00473	0,00079	-
Total	11	0,00769	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.6 – Análise de variância da acidez total titulável (% ácido cítrico) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	1,64683	0,82341	258,1429 **
Resíduo	8	0,01914	0,00319	-
Total	11	1,66597	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.7 – Análise de variância do ácido ascórbico ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	7,91431	2,63810	28,3497 **
Resíduo	8	0,74445	0,09306	-
Total	11	8,65875	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.8 – Análise de variância dos açúcares redutores (% glicose) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	138825,00431	46275,00144	869,7813 **
Resíduo	8	425,62424	53,20303	-
Total	11	139250,62855	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.9 – Análise de variância dos açúcares não redutores (% sacarose) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	1,74401	0,87200	2,3039 ns
Resíduo	8	2,27093	0,37849	-
Total	11	4,01493	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.10 – Análise de variância dos açúcares totais (%) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	24,71780	8,23927	2652,8210 **
Resíduo	8	0,02485	0,00311	-
Total	11	24.74264	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.11 – Análise de variância dos lipídios (%) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	2,73316	1,36658	21,7029 **
Resíduo	8	0,37781	0,06297	-
Total	11	3,11097	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.12 – Análise de variância das proteínas (%) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	2,89760	1,44880	293,2857 **
Resíduo	8	0,02964	0,00494	-
Total	11	2.92724	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela C3.13 – Análise de variância do valor calórico (kcal 100g⁻¹) na base seca da polpa do fruto do mandacaru *in natura* e liofilizado nas temperaturas de congelamento de -25, -60 e -150 °C.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	2045,80539	1022,90269	48,5724 **
Resíduo	8	126,35613	21,05936	-
Total	11	2172,16152	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Ficha de avaliação sensorial do suco da polpa do fruto da cactácea de facheiro				
Provedor:			Idade:	
Data: / /				
<p>Você está recebendo quatro amostras de suco do fruto da cactáceas de facheiro. Prove as amostras avalie cuidadosamente os atributos, cor, aroma, sabor e aparência de cada uma delas. Utilize a escala abaixo para demonstrar o quanto você gostou ou desgostou.</p>				
<p>1 – Desgostei muito 2 – Desgostei ligeiramente 3 – Indiferente 4 – Gostei ligeiramente 5 – Gostei muito</p>				
Amostra código	Atributos			
	Cor	Aroma	Sabor	Aparência
Comentários:				
<p>Com base na sua opinião sobre estas amostras, indique na escala abaixo, sua atitude, se você encontrasse cada uma das amostras à venda.</p>				
	Amostra código	Nota		
1 – Certamente compraria				
2 – Possivelmente compraria				
3 – Tenho dúvidas se compraria ou não				
4 – Possivelmente não compraria				
5 – Certamente não compraria				
Comentários:				

Figura C1.1 - Ficha para avaliação sensorial da cor, aroma, aparência e sabor, e atitude de compra do suco da polpa do fruto da cactácea de facheiro.

Ficha de avaliação sensorial do suco da polpa do fruto da cactácea de mandacaru				
Provedor:			Idade:	
Data: / /				
<p>Você está recebendo quatro amostras de suco do fruto da cactáceas de mandacaru. Prove as amostras avalie cuidadosamente os atributos, cor, aroma, sabor e aparência de cada uma delas. Utilize a escala abaixo para demonstrar o quanto você gostou ou desgostou.</p>				
<p>1 – Desgostei muito 2 – Desgostei ligeiramente 3 – Indiferente 4 – Gostei ligeiramente 5 – Gostei muito</p>				
Amostra código	Atributos			
	Cor	Aroma	Sabor	Aparência
Comentários:				
<p>Com base na sua opinião sobre estas amostras, indique na escala abaixo, sua atitude, se você encontrasse cada uma das amostras à venda.</p>				
	Amostra código	Nota		
1 – Certamente compraria				
2 – Possivelmente compraria				
3 – Tenho dúvidas se compraria ou não				
4 – Possivelmente não compraria				
5 – Certamente não compraria				
Comentários:				

Figura C1.2 - Ficha para avaliação sensorial da cor, aroma, aparência e sabor, e atitude de compra do suco da polpa do fruto da cactácea de mandacaru.

APÊNDICE D-C4

Tabela D1.1 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 50 °C e velocidade do ar de 1 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,14	510	0,02
15	0,86	270	0,12	525	0,02
30	0,75	285	0,10	540	0,01
45	0,67	300	0,09	555	0,01
60	0,58	315	0,08	570	0,01
75	0,52	330	0,08	585	0,01
90	0,47	345	0,06	600	0,01
105	0,42	360	0,06	615	0,01
120	0,37	375	0,05	630	0,00
135	0,33	390	0,04	645	0,00
150	0,30	405	0,04	660	0,00
165	0,27	420	0,04	675	0,00
180	0,24	435	0,03	690	0,00
195	0,21	450	0,03	705	0,00
210	0,19	465	0,02	720	0,00
225	0,17	480	0,02		
240	0,15	495	0,02		

Tabela D1.2 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,00		
15	0,82	270	0,00		
30	0,66	285	0,00		
45	0,56	300	0,00		
60	0,47	315	0,00		
75	0,38	330			
90	0,32	345			
105	0,25	360			
120	0,20	375			
135	0,15	390			
150	0,11	405			
165	0,08	420			
180	0,06	435			
195	0,03	450			
210	0,02	465			
225	0,01	480			
240	0,01	495			

Tabela D1.3 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 50 °C e velocidade do ar de 2 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,11	510	0,00
15	0,85	270	0,09	525	0,00
30	0,74	285	0,08	540	0,00
45	0,66	300	0,07	555	0,00
60	0,54	315	0,06	570	0,00
75	0,52	330	0,05		
90	0,47	345	0,05		
105	0,40	360	0,04		
120	0,35	375	0,04		
135	0,30	390	0,03		
150	0,27	405	0,02		
165	0,25	420	0,02		
180	0,21	435	0,02		
195	0,19	450	0,01		
210	0,17	465	0,01		
225	0,15	480	0,01		
240	0,13	495	0,01		

Tabela D1.4 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 2 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,00		
15	0,82	270	0,00		
30	0,66				
45	0,55				
60	0,45				
75	0,37				
90	0,30				
105	0,24				
120	0,19				
135	0,14				
150	0,10				
165	0,07				
180	0,05				
195	0,02				
210	0,00				
225	0,00				
240	0,00				

Tabela D1.5 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,07		
15	0,84	270	0,06		
30	0,73	285	0,05		
45	0,64	300	0,03		
60	0,51	315	0,03		
75	0,45	330	0,02		
90	0,40	345	0,02		
105	0,33	360	0,01		
120	0,31	375	0,01		
135	0,27	390	0,01		
150	0,23	405	0,00		
165	0,21	420	0,00		
180	0,19	435	0,00		
195	0,15	450	0,00		
210	0,13	465	0,00		
225	0,12				
240	0,09				

Tabela D1.6 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,07	510	0,00
15	0,84	270	0,06		
30	0,73	285	0,04		
45	0,64	300	0,03		
60	0,51	315	0,03		
75	0,46	330	0,02		
90	0,41	345	0,02		
105	0,33	360	0,01		
120	0,31	375	0,01		
135	0,27	390	0,01		
150	0,24	405	0,01		
165	0,21	420	0,01		
180	0,19	435	0,01		
195	0,16	450	0,00		
210	0,13	465	0,00		
225	0,11	480	0,00		
240	0,09	495	0,00		

Tabela D1.7 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,07		
15	0,86	270	0,06		
30	0,73	285	0,05		
45	0,65	300	0,04		
60	0,52	315	0,02		
75	0,46	330	0,02		
90	0,41	345	0,01		
105	0,34	360	0,01		
120	0,31	375	0,01		
135	0,27	390	0,00		
150	0,24	405	0,00		
165	0,23	420	0,00		
180	0,19	435	0,00		
195	0,16	450	0,00		
210	0,14				
225	0,12				
240	0,10				

Tabela D1.8 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 46 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	255	0,14	510	0,02
15	0,87	270	0,13	525	0,02
30	0,76	285	0,11	540	0,01
45	0,67	300	0,10	555	0,01
60	0,59	315	0,09	570	0,01
75	0,53	330	0,08	585	0,01
90	0,47	345	0,07	600	0,01
105	0,42	360	0,07	615	0,01
120	0,38	375	0,06	630	0,01
135	0,34	390	0,05	645	0,01
150	0,30	405	0,05	660	0,00
165	0,27	420	0,04	675	0,00
180	0,24	435	0,04	690	0,00
195	0,22	450	0,03	705	0,00
210	0,20	465	0,03	720	0,00
225	0,18	480	0,02		
240	0,16	495	0,02		

Tabela D1.9 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 2,2 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	135	0,25	270	0,03
15	0,83	150	0,22	285	0,02
30	0,70	165	0,19	300	0,01
45	0,62	180	0,15	315	0,01
60	0,50	195	0,13	330	0,00
75	0,44	210	0,10	345	0,00
90	0,39	225	0,09	360	0,00
105	0,31	240	0,07	375	0,00
120	0,28	255	0,05	390	0,00

Tabela D1.10 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 75 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	0,99	90	0,20	180	0,01
15	0,80	105	0,15	195	0,00
30	0,62	120	0,09	210	0,00
45	0,44	135	0,07	225	0,00
60	0,31	150	0,02	240	0,00
75	0,26	165	0,01	255	0,00

Tabela D1.11 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto de facheiro na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 0,8 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	195	0,17	390	0,02
15	0,86	210	0,13	405	0,02
30	0,77	225	0,12	420	0,01
45	0,69	240	0,10	435	0,01
60	0,54	255	0,08	450	0,01
75	0,49	270	0,06	465	0,01
90	0,44	285	0,06	480	0,01
105	0,34	300	0,05	495	0,01
120	0,33	315	0,03	510	0,01
135	0,29	330	0,03	525	0,00
150	0,26	345	0,03	540	0,00
165	0,23	360	0,02	555	0,00
180	0,20	375	0,02	570	0,00

Tabela D2.1 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 50 °C e velocidade do ar de 1 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	195	0,05	390	0,01
15	0,82	210	0,04	405	0,01
30	0,66	225	0,04	420	0,01
45	0,53	240	0,03	435	0,01
60	0,40	255	0,03	450	0,01
75	0,33	270	0,02	465	0,01
90	0,25	285	0,02	480	0,01
105	0,20	300	0,02	495	0,01
120	0,15	315	0,02	510	0,00
135	0,12	330	0,01	525	0,00
150	0,10	345	0,01	540	0,00
165	0,08	360	0,01	555	0,00
180	0,06	375	0,01	570	0,00

Tabela D2.2 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	0,99	90	0,11	180	0,00
15	0,73	105	0,08	195	0,00
30	0,53	120	0,05	210	0,00
45	0,35	135	0,02	225	0,00
60	0,26	150	0,01	240	0,00
75	0,17	165	0,01		

Tabela D2.3 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 50 °C e velocidade do ar de 2 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	135	0,10	270	0,01
15	0,80	150	0,09	285	0,01
30	0,63	165	0,06	300	0,01
45	0,51	180	0,04	315	0,01
60	0,38	195	0,03	330	0,01
75	0,30	210	0,02	345	0,01
90	0,23	225	0,02	360	0,00
105	0,17	240	0,02	375	0,00
120	0,13	255	0,02	390	0,00

Tabela D2.4 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 2 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	0,99	90	0,10	180	0,00
15	0,72	105	0,07	195	0,00
30	0,52	120	0,05	210	0,00
45	0,33	135	0,02	225	0,00
60	0,26	150	0,01		
75	0,16	165	0,00		

Tabela D2.5 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	120	0,11	240	0,01
15	0,76	135	0,05	255	0,01
30	0,61	150	0,04	270	0,01
45	0,48	165	0,03	285	0,00
60	0,36	180	0,02	300	0,00
75	0,27	195	0,02	315	0,00
90	0,20	210	0,01	330	0,00
105	0,15	225	0,01	345	0,00

Tabela D2.6 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	135	0,05	270	0,01
15	0,77	150	0,04	285	0,01
30	0,61	165	0,03	300	0,00
45	0,48	180	0,02	315	0,00
60	0,36	195	0,02	330	0,00
75	0,28	210	0,01	345	0,00
90	0,20	225	0,01	360	0,00
105	0,16	240	0,01		
120	0,11	255	0,01		

Tabela D2.7 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,01	120	0,11	240	0,01
15	0,77	135	0,05	255	0,01
30	0,61	150	0,04	270	0,01
45	0,47	165	0,03	285	0,00
60	0,36	180	0,03	300	0,00
75	0,27	195	0,02	315	0,00
90	0,20	210	0,02	330	0,00
105	0,15	225	0,01	345	0,00

Tabela D2.8 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 46 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	195	0,06	390	0,01
15	0,83	210	0,05	405	0,01
30	0,67	225	0,04	420	0,01
45	0,56	240	0,04	435	0,01
60	0,42	255	0,03	450	0,01
75	0,35	270	0,03	465	0,01
90	0,27	285	0,02	480	0,01
105	0,21	300	0,02	495	0,01
120	0,16	315	0,02	510	0,01
135	0,13	330	0,02	525	0,01
150	0,11	345	0,01	540	0,00
165	0,09	360	0,01	555	0,00
180	0,08	375	0,01	570	0,00

Tabela D2.9 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 2,2 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	0,99	105	0,12	210	0,01
15	0,76	120	0,09	225	0,01
30	0,58	135	0,06	240	0,00
45	0,44	150	0,04	255	0,00
60	0,32	165	0,03	270	0,00
75	0,25	180	0,02	285	0,00
90	0,17	195	0,01		

Tabela D2.10 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 75 °C e velocidade do ar de 1,5 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	0,99	75	0,16	135	0,00
15	0,72	90	0,09	150	0,00
30	0,52	105	0,06	165	0,00
45	0,32	120	0,00	180	0,00
60	0,25				

Tabela D2.11 – Razão do teor de água (RX) da secagem das casca do fruto do mandacaru na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 0,8 ms⁻¹.

Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)	Tempo (s)	Razão do Teor de água (RX)
0	1,00	135	0,08	270	0,01
15	0,79	150	0,07	285	0,01
30	0,63	165	0,05	300	0,01
45	0,49	180	0,04	315	0,00
60	0,37	195	0,03	330	0,00
75	0,29	210	0,02	345	0,00
90	0,21	225	0,02	360	0,00
105	0,16	240	0,02	375	0,00
120	0,11	255	0,01		

Tabela D3.1 – Análise de variância do teor de água (%b.s.) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	65,37712	6,53771	103,2240 **
Resíduo	22	1,39337	0,06334	-
Total	32	66,77050	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.2 – Análise de variância do teor de cinzas (%b.s.) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	28,22592	2,82259	4,8803 **
Resíduo	22	12,72404	0,57837	-
Total	32	40,94996	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.3 – Análise de variância de acidez graxa (ml de KOH/100 g de PS) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	17,85616	1,78562	59,3025 **
Resíduo	22	0,66243	0,03011	-
Total	32	18,51859	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.4 – Análise de variância de proteína (%) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	1066,94668	106,69467	10535,8174 **
Resíduo	22	0,22279	0,01013	-
Total	32	1067,16947	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.5 – Análise de variância de amido (%) das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	32,98160	3,29816	3361,6168 **
Resíduo	22	0,02158	0,00098	-
Total	32	33,00319	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.6 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva retida na Peneira de nº 1,000 mm.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	89,18182	8,91818	86,0526 **
Resíduo	22	2,28000	0,10364	-
Total	32	91,46182	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.7 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva retida na Peneira de n° 0,500 mm.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	120,47394	12,04739	205,9917 **
Resíduo	22	1,28667	0,05848	-
Total	32	121,76061	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.8 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva retida na Peneira de n° 0,250 mm.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	0,68970	0,06897	1,5173 ns
Resíduo	22	1,00000	0,04545	-
Total	32	1,68970	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D3.9 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos de facheiro em pó obtido por secagem convectiva retida na base.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	269,01394	26,90139	525,2935 **
Resíduo	22	1,12667	0,05121	-
Total	32	270,14061	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.1 – Análise de variância do teor de água (%b.s.) das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	38,32604	3,83260	241,8142 **
Resíduo	22	0,34869	0,01585	-
Total	32	38,67472	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.2 – Análise de variância do teor de cinzas (%b.s.) das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	28,22592	2,82259	4,8803 **
Resíduo	22	12,72404	0,57837	-
Total	32	40,94996	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.3 – Análise de variância de acidez graxa (ml de KOH/100 g de PS) das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	5,59106	0,55911	21,4890 **
Resíduo	22	0,57240	0,02602	-
Total	32	6,16346	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.4 – Análise de variância de proteína (%) das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	32,98160	3,29816	3361,6168 **
Resíduo	22	0,02158	0,00098	-
Total	32	33,00319	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.5 – Análise de variância de amido (%) das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	138,84906	13,88491	277,2944 **
Resíduo	22	1,10160	0,05007	-
Total	32	139,95066	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.6 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva retida na Peneira de nº 1,000 mm.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	219,64909	21,96491	158,9566 **
Resíduo	22	3,04000	0,13818	-
Total	32	222,68909	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.7 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva retida na Peneira de nº 0,500 mm.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	120,47394	12,04739	205,9917 **
Resíduo	22	1,28667	0,05848	-
Total	32	121,76061	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.8 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva retida na Peneira de nº 0,250 mm.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	8,76909	0,87691	6,0413 **
Resíduo	22	3,19333	0,14515	-
Total	32	11,96242	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Tabela D4.9 – Análise de variância da granulometria (%) da amostra das cascas dos frutos do mandacaru em pó obtido por secagem convectiva retida na base.

Fonte de variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	10	133,08303	13,30830	124,4119 **
Resíduo	22	2,35333	0,10697	-
Total	32	135,43636	-	-

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ns não significativo

Ficha de avaliação sensorial do pão de forma integral da casca do fruto de facheiro				
Provedor:			Idade:	
Data: / /				
<p>Você está recebendo três amostras do pão de forma integral do fruto da cactáceas de facheiro. Prove as amostras avalie cuidadosamente os atributos, cor, aroma, aparência e sabor de cada uma delas. Utilize a escala abaixo para demonstrar o quanto você gostou ou desgostou.</p>				
<p>1 – Desgostei muito 2 – Desgostei ligeiramente 3 – Indiferente 4 – Gostei ligeiramente 5 – Gostei muito</p>				
Amostra código	Atributos			
	Cor	Aroma	Aparência	Sabor
Comentários:				
<p>Com base na sua opinião sobre estas amostras, indique na escala abaixo, sua atitude, se você encontrasse cada uma das amostras à venda.</p>				
	Amostra código	Nota		
1 – Certamente compraria				
2 – Possivelmente compraria				
3 – Tenho dúvidas se compraria ou não				
4 – Possivelmente não compraria				
5 – Certamente não compraria				
Comentários:				

Figura D1.1 - Ficha para avaliação sensorial da cor, aroma, aparência e sabor, e atitude de compra do pão de forma integral da casca do fruto da cactácea de facheiro.

Ficha de avaliação sensorial do pão de forma integral da casca do fruto de mandacaru.				
Provedor:			Idade:	
Data: / /				
<p>Você está recebendo três amostras do pão de forma integral do fruto da cactáceas de facheiro. Prove as amostras avalie cuidadosamente os atributos, cor, aroma, aparência e sabor de cada uma delas. Utilize a escala abaixo para demonstrar o quanto você gostou ou desgostou.</p>				
<p>1 – Desgostei muito 2 – Desgostei ligeiramente 3 – Indiferente 4 – Gostei ligeiramente 5 – Gostei muito</p>				
Amostra código	Atributos			
	Cor	Aroma	Aparência	Sabor
Comentários:				
<p>Com base na sua opinião sobre estas amostras, indique na escala abaixo, sua atitude, se você encontrasse cada uma das amostras à venda.</p>				
	Amostra código	Nota		
1 – Certamente compraria				
2 – Possivelmente compraria				
3 – Tenho dúvidas se compraria ou não				
4 – Possivelmente não compraria				
5 – Certamente não compraria				
Comentários:				

Figura D1.2 - Ficha para avaliação sensorial da cor, aroma, aparência e sabor, e atitude de compra do pão de forma integral da casca do fruto da cactácea de mandacaru.