

UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS - PEP

**PROCESSOS COMBINADOS OSMO-CONVECTIVOS ASSISTIDOS
POR ULTRASSOM PARA A DESIDRATAÇÃO DA MANGABA
(*Hancornia speciosa*)**

Autor: Acácia Lima Silva

Orientadores: Prof^a Odelsia Leonor Sanchez de Alsina, D.Sc.

Prof. Álvaro Silva Lima, D.Sc.

ARACAJU, SE - BRASIL

FEVEREIRO DE 2015

PROCESSOS COMBINADOS OSMO-CONVECTIVOS ASSISTIDOS POR ULTRASSOM
PARA A DESIDRATAÇÃO DA MANGABA (*Hancornia speciosa*)

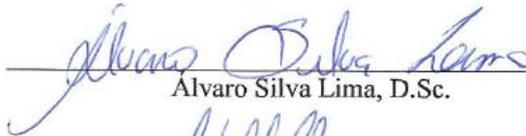
Acácia Lima Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS DA UNIVERSIDADE TIRADENTES COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS

Aprovada por:



Odelsia Leonor Sanchez de Alsina, D.Sc.



Alvaro Silva Lima, D.Sc.



Cleide Mara Faria Soares, D.Sc.



Luiz Fernando Romanholo Ferreira, D.Sc.



Líbia de Sousa Conrado Oliveira, D.Sc.

ARACAJU, SE - BRASIL

FEVEREIRO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

S586p Silva, Acácia Lima.

Processos combinados osmo-convectivos assistidos por ultrassom para a desidratação da mangaba (*Hancornia speciosa*)/ Acácia Lima Silva; orientação [de] Prof. D.Sc. Álvaro Silva Lima, Prof.^a D.Sc. Odelsia Leonor Sanchez de Alsina – Aracaju: UNIT, 2015.

73 p. il.: 30cm.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos)

1. Mangaba (*Hancornia speciosa*). 2. Desidratação osmótica. 3. Ultrassom. 4. Agitação mecânica. 5. Modelo de Peleg. 6. Modelo de Fick. I. Alsina, Odelsia Leonor Sanchez (orient.). II. Lima, Álvaro Silva (orient.). III. Universidade Tiradentes. IV. Título.

CDU: 66.0

” Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

Agradecimentos

A conclusão de uma etapa como esta representa mais que uma vitória pessoal ou a realização de um sonho, pois muitos foram os que contribuíram para a superação de dificuldades que tornasse isso possível, proporcionando-me forças para que eu não desistisse de ir atrás do que buscava para minha vida. Muitos obstáculos me foram impostos durante esses últimos anos, mas graças a vocês eu não fraquejei.

Agradeço a Deus, por ter iluminado meus caminhos, dando-me força para seguir mesmo com as adversidades, ter restabelecido minha saúde, ter me dado coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

Agradeço à minha mãe Celia, guerreira e companheira nas noites de pesquisa. Mesmo que a palavra 'OBRIGADO' signifique tanto, não expressará por inteiro o quanto seus gestos de amor, atenção e delicadeza foram tão importantes para mim.

Agradeço a meu pai Herílio, *in memoriam*, que de onde estiver me apoia e cujo incentivo eu posso sentir em meu coração.

Agradeço, ainda, a meu irmão Márcio, um presente que a vida me deu e que mesmo nas diferenças só mostram o quanto a gente se completa.

À Carol, uma pessoa que nesses últimos meses tem sido uma amiga no melhor e mais sincero sentido da palavra.

À Larissa, pela compreensão pelos momentos de estudo da tia que não poderiam ser de atenção a ela.

Aos meus filhotes que me traziam calma, Luz e Zé Maria.

Aos orientadores, Álvaro Lima e Odélsia Alsina, com quem tanto convivi todo esse período e aos quais admiro, sou grata pelo suporte, pelas correções, debates e incentivos.

Aos demais professores do programa PEP, que oportunizaram alicerçar o conhecimento maior.

Ao Prof. Gabriel Francisco e ao LTA/UFS, que reabriram as portas para essa filha da casa, acolhendo e de forma tão especial.

Aos demais colegas do mestrado, do LPA, do LEB, bem como às Prof.^a Líbia Oliveira e Crislene Moraes da UFCG, e aqueles que mesmo não sendo nominalmente citados foram essenciais nessa caminhada, o meu muito obrigada.

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Tiradentes como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos.

PROCESSOS COMBINADOS OSMO-CONVECTIVOS ASSISTIDOS POR ULTRASSOM
PARA DESIDRATAÇÃO DA MANGABA (*Hancornia speciosa*)

Acácia Lima Silva

A mangaba (*Hancornia speciosa*) é uma fruta de comportamento climatérico, com grande potencial de comercialização devido as suas características nutritivas e sensoriais. É um fruto altamente perecível. Esse trabalho teve como objetivo estudar a secagem osmoconvectiva da mangaba submetida a um pré-tratamento osmótico (DO) associado à agitação mecânica (rpm) e potência ultrassônica (W). Na DO foram utilizados diferentes teores de sólidos solúveis (°Brix) e com a temperatura e tempo fixos de 30°C e 510 min. A secagem convectiva foi realizada em um secador de bandejas com circulação forçada de ar a 60°C. Foi observado que na DO com agitação mecânica houve, em media, maior perda de água que no caso assistido por ultrassom. O modelo de Peleg, proposto para a cinética da DO, apresentou um bom ajuste as curvas experimentais. Na secagem convectiva realizada com as amostras com melhor resultado da DO, foi observado que, quando comparadas com a secagem da fruta *in natura* em dois estádios de maturação (“de vez” e madura), fica evidenciado o efeito positivo do pré-tratamento sobre a secagem convectiva, obtendo-se umidades finais inferiores a 13,69% enquanto que para a fruta *in natura* “madura” 51,8%. O tempo de secagem até obtenção do peso constante oscilou em torno de 37 horas. O modelo de difusão baseado na Segunda Lei de Fick foi capaz de representar as curvas experimentais da secagem convectiva, com valores de difusividade mássica variando entre $1,58 \times 10^{-9}$ a $5,29 \times 10^{-10}$ m²/s. A mangaba *in natura* apresentou valores médios de vitamina C de $0,24 \pm 0,01$ mg de ácido ascórbico/g de fruta fresca, sendo possível analisar através do Teste de Tukey que não ocorreram perdas significativas de vitamina C das amostras submetidas aos pré-tratamentos em relação ao fruto *in natura*.

Palavras-chave: Mangaba, desidratação osmótica, ultrassom, agitação mecânica, modelo de Peleg e modelo de Fick.

Abstract of Dissertation presented to the Process Engineering Graduate Program of Universidade Tiradentes as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PROCESSES COMBINED OSMO-CONVECTIVE ASSISTED BY ULTRASOUND FOR
THE DEHYDRATION MANGABA (*Hancornia speciosa*)

Acácia Lima Silva

The mangaba (*Hancornia speciosa*) is a fruit climacteric behavior, with great market potential due to their nutritional and sensory characteristics. It is a highly perishable fruit. This work aimed to study the osmo-convective drying mangaba subjected to an osmotic pre-treatment followed by mechanical agitation (rpm) and ultrasonic power (W) with different soluble solids (° Brix) and the fixed temperature and time 30 °C and 510 min. It was observed that the osmotic dehydration (OD) with mechanical agitation was, on average, greater water loss in the case assisted by ultrasound. The model of Peleg, proposed to the kinetics of the OD, presented a good fit the experimental curves. In convective drying on a tray drier with forced air circulation at 60 °C carried out samples with OD best result, it was found that when compared with drying of the fresh fruit in two stages of maturation ("near-mature" and mature), it is evident the positive effect of pretreatment (OD) on convective drying to give final moisture content of less than 13.69%, while for fresh fruit mature 51.8%. The drying time to obtain the constant weight hovered around 37 hours. The diffusion model based on Fick's Second Law was able to represent the experimental curves of the convective drying with mass diffusivity values ranging from $1,58 \times 10^{-9}$ a $5,29 \times 10^{-10}$ m²/s. The mangaba fresh showed values of vitamin C $0,24 \pm 0,01$ mg ascorbic acid / g of fresh fruit, and parse through the Tukey test were no significant losses of vitamin C of samples submitted for pre-treatment compared to the fresh fruit.

Keywords: Mangaba, osmotic dehydration, ultrasound, mechanical agitation, Model and Peleg and Model of Fick.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 MANGABA (HANCORNIA SPECIOSA).....	4
3.1.1 Aspectos Gerais.....	4
3.1.2 Característica dos Frutos da Mangabeira.....	5
3.1.3 Colheita e Pós-Colheita da Mangaba.....	7
3.1.4 Dados Econômicos da Exploração da Mangaba.....	7
3.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	8
3.2.1 Aspectos Gerais.....	8
3.2.2 Desidratação Osmótica de Frutas.....	10
3.2.3 Agentes osmóticos.....	11
Sacarose.....	13
3.3 SECAGEM.....	14
3.3.1 Fundamentos Teóricos.....	14
3.3.2 Comportamento Geral da Secagem.....	15
3.3.3 Secagem de Frutas.....	18
3.4 MODELOS MATEMÁTICOS.....	19
3.4.1 Modelo de Peleg.....	19
3.4.2 Fenômeno da Difusão.....	19
3.5 ULTRASSOM.....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	23
4.1 MATERIAL.....	23
4.2 FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	24
4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	26
4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	27
4.5 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	28
4.5.1 Modelo da Cinética da Desidratação Osmótica.....	28
4.5.2 Modelo da Cinética da Secagem Convectiva.....	28
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
4.7 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MANGABA.....	29
4.7.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	29
4.7.2 Análise Termogravimétrica (TGA).....	30
4.7.3 Análise do Teor de Vitamina C.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	31
5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5.2.1 Análise de Tendências para a Desidratação Osmótica.....	32
5.2.2 Modelagem da Cinética da Desidratação Osmótica.....	35
5.3 SECAGEM CONVECTIVA.....	37
5.3.1 Modelagem da Cinética da Secagem Convectiva.....	39
5.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MANGABA.....	40
5.4.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	40
5.4.2 Análise Termogravimétrica (TGA).....	42
5.4.3 Análise do Teor de Vitamina C.....	43
6. CONCLUSÕES.....	46
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	47
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1: FRUTOS DA MANGABA (A) INTEIROS; (B) ABERTO	5
FIGURA 3.2: TRANSFERÊNCIA DE MASSA DURANTE O PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA ...	9
FIGURA 3.3: CURVA TÍPICA DE SECAGEM CONVECTIVA	15
FIGURA 3.4: CURVA DA TAXA DE SECAGEM	16
FIGURA 4.1: ASPECTO DOS FRUTOS DA MANGABA COMERCIALIZADAS NA CIDADE DE ARACAJU, SE	23
FIGURA 4.2: AMOSTRAS DAS MANGABAS IMERSAS EM SOLUÇÃO DE HIPOCLORITO DE SÓDIO (4-6% P.A)	24
FIGURA 4.3: FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DURANTE TODO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DA MANGABA	24
FIGURA 4.4: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DA MANGABA	25
FIGURA 4.5: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA DA MANGABA	25
FIGURA 4.6: AMOSTRAS DAS MANGABAS IMERSAS EM SOLUÇÃO DE SACAROSE COMERCIAL	27
FIGURA 5.1: GRÁFICO DE PARETO DOS EFEITOS PADRONIZADOS; VARIÁVEL: XF/XO: (A) AGITAÇÃO MECÂNICA (B) POTÊNCIA ULTRASSÔNICA	34
FIGURA 5.2: EFEITO DAS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO SOBRE A UMIDADE FINAL. VARIÁVEL XF/XO:(A) POTÊNCIA ULTRASSÔNICA – $R^2 = 0,88$ (B) AGITAÇÃO MECÂNICA – $R^2 = 0,89$	35
FIGURA 5.3: CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO DE MANGABA. (A) 40 °BRX/40 RPM. – $R^2 = 0,997$; (B) 50 °BRX/60 RPM. – $R^2 = 0,985$; (C) 60 °BRX/40 RPM. – $R^2 = 0,970$; (D) 60 °BRX/20 W – $R^2 = 0,982$; (E) 50 °BRX/30 W – $R^2 = 0,974$. $T = 30^\circ\text{C}$. – MODELO DE PELEG	37
FIGURA 5.4: CURVAS DE SECAGEM DA MANGABA A 60°C: UMIDADE EM BASE SECA EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	38
FIGURA 5.5: CURVAS DE SECAGEM DA MANGABA A 60°C: RAZÃO DA UMIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	39
FIGURA 5.6: IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE AMOSTRAS DA MANGABA. (A) IN NATURA; (B) 50° BRX/ SEM AGITAÇÃO; (C) 64°BRX/60RPM; (D) 60°BRX/20W. AMPLIAÇÃO DE 50X... ..	41
FIGURA 5.7: IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE AMOSTRAS DA CASCA DA MANGABA. (A) IN NATURA; (B) 50° BRX/ SEM AGITAÇÃO; (C) 64°BRX/60RPM; (D) 60°BRX/20W. AMPLIAÇÃO DE 50X.	42
FIGURA 5.8: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PERDA DE MASSA (%) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.. ..	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MANGABA (100G DE POLPA)	6
TABELA 4.1: PLANEJAMENTO FATORIAL 2² PARA VERIFICAÇÃO DO MELHOR DESEMPENHO DA DO COM AGITAÇÃO MECÂNICA	26
TABELA 4.2: PLANEJAMENTO FATORIAL 2² PARA VERIFICAÇÃO DO MELHOR DESEMPENHO DA DO UTILIZANDO POTÊNCIA ULTRASSÔNICA	27
TABELA 5.1: RESULTADOS NORMALIZADOS OBTIDOS DA UMIDADE E °BRIX FINAL DA FRUTA APÓS DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	31
TABELA 5.2: EFEITOS CALCULADOS NO ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM AGITAÇÃO MECÂNICA	32
TABELA 5.3: EFEITOS CALCULADOS NO ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM POTÊNCIA ULTRASSÔNICA	32
TABELA 5.4: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM AGITAÇÃO MECÂNICA	33
TABELA 5.5: ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM POTÊNCIA ULTRASSÔNICA	33
TABELA 5.6: RESULTADOS DA MODELAGEM DA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM AGITAÇÃO MECÂNICA MEDIANTE A APLICAÇÃO DO MODELO DE PELEG	36
TABELA 5.7: RESULTADOS DA MODELAGEM DA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM POTÊNCIA ULTRASSÔNICA MEDIANTE A APLICAÇÃO DO MODELO DE PELEG	36
TABELA 5.8: VALORES DA DIFUSIVIDADE PARA OS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS OSMÓTICOS UTILIZADOS COMO PRÉ-TRATAMENTO DA MANGABA	40
TABELA 5.9: TEORES DE VITAMINA C PARA DIFERENTES CONDIÇÕES DA MANGABA	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

AA	Ácido Ascórbico	
°Brix	Teor de Sólidos Solúveis	°Brix
b.s	Base Seca	%
b.u	Base Úmida	%
B _f	Teor de Sólidos Solúveis Final	°Brix
B _i	Teor de Sólidos Solúveis Inicial	°Brix
DO	Desidratação Osmótica	
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura	
R ²	Coeficiente de Correlação	
Rpm	Rotações por Minuto	rad.s ⁻¹
T	Tempo	min
TGA	Análise Termogravimétrica	
W	Potência	Watts
X*	Razão de Umidade	
X _{eq}	Umidade de Equilíbrio	%
X _f	Umidade Final	
X _i	Umidade Inicial	

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

A mangaba (*Hancornia speciosa*) é uma fruta nativa do Brasil, presente em quase todas as regiões do País, exceto a região Sul. O nome “mangaba” tem origem na língua tupi-guarani e segundo FERREIRA (2007) significa “coisa boa de comer”.

É uma fruta perecível, com elevado teor de umidade e como consequência apresenta curto tempo de prateleira. A sua maior importância econômica se dá por meio da comercialização para as agroindústrias de polpas de frutas, que por sua vez, destina-se a produção de sucos, sorvetes, geleias, licores e outros (AGUIAR FILHO *et al.* 1998).

A alta procura, sazonalidade e as perdas pós-colheita tem levado a busca por tecnologias que visem à conservação, permitam um armazenamento mais duradouro, viabilizando o aproveitamento e distribuição desse produto no período entre safra, de modo a preservar as características sensoriais da fruta e obter produtos com reduzida perda de nutrientes (VIEIRA *et al.* 2010; CARNELOSSI *et al.* 2009).

Nesse contexto, um método que vem sendo bastante empregado na conservação de frutas e hortaliças é a desidratação osmótica. Método simples que consiste na imersão do produto em uma solução hipertônica, favorecendo assim a transferência de massa entre fruta/vegetal e a solução, resultando em um produto final com umidade intermediária.

A desidratação osmótica funciona como um pré-tratamento a outros processos como, por exemplo, a secagem, objetivando aprimorar a qualidade sensorial, nutritiva e funcional da fruta, resultando em melhor aceitabilidade por parte dos consumidores.

Produtos osmoticamente desidratados apresentam vantagens quando comparados aos produtos submetidos apenas a secagem com ar quente, como: manutenção dos componentes aromáticos, economia de energia, textura mais próxima da fruta sem pré-tratamento, etc.

Outro pré-tratamento a secagem bastante utilizado atualmente é o ultrassom, que pode ser empregado como uma tecnologia moderna, capaz de melhorar as condições de processamento de muitos produtos, atendendo as novas tendências de mercado. A sonificação de frutas traz como vantagens, a minimização da perda de compostos de aroma, melhor homogeneização e maior economia de energia (CROSBY, 1982). Além de ser eficaz na inativação de enzimas responsáveis pelo escurecimento dos frutos (JI-HYUN JANG e KWANG-DEON MOON, 2011).

A secagem é uma operação unitária bastante utilizada na conservação de alimentos perecíveis, como é o caso das frutas, prolongando a vida de prateleira dos produtos, além de melhorar características higiênicas e sensoriais dos alimentos, aperfeiçoando as peculiaridades do processamento de materiais frescos, disponibilizando uma maior diversidade de produtos e, melhorando aspectos econômicos e ambientais.

Trabalhos referentes à conservação da polpa da mangaba aplicando o processo de liofilização (SANTOS *et al.* 2012), assim como, da fruta utilizando refrigeração e atmosfera modificada (CARNELOSSI *et al.* 2004; SANTOS *et al.* 2009), aplicação de reguladores de etileno (CAMPOS *et al.* 2011) foram encontrados na literatura, porém não foram encontradas bibliografias relacionadas à desidratação osmótica da fruta associada ao uso do ultrassom como pré-tratamento ao método de secagem da mangaba até o momento.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Realizar o estudo da desidratação osmótico-convectiva da mangaba (*Hancornia speciosa*) assistida por ultrassom e agitação mecânica.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar a desidratação osmótica com agitação mecânica e a agitação ultrassônica.
- Determinar os efeitos dos pré-tratamentos da desidratação osmótica seguida da secagem convectiva.
- Estabelecer as faixas para as condições operacionais do processo de secagem da mangaba (*Hancornia speciosa*), assistido por agitação mecânica e agitação ultrassônica, concentração e nível de agitação/potência;
- Realizar a comparação dos processos com e sem aplicação de agitação mecânica e uso do ultrassom em termos de cinéticas de secagem;
- Avaliar a cinética de secagem nos diferentes processos.
- Caracterização físico-química da matéria prima e do produto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordadas informações sobre a mangaba (*Hancornia speciosa*), desidratação osmótica, agentes osmóticos, secagem e ultrassom, bem como, suas definições, importância e principais aplicações.

3.1. Mangaba (*Hancornia speciosa*)

3.1.1 Aspectos Gerais

A mangabeira (*Hancornia speciosa*) é uma espécie frutífera e laticífera nativa do Brasil, da família Apocynaceae, que apresenta grande importância social, econômica e cultural nas áreas em que ocorre espontaneamente, sendo comum nas regiões Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil (VENTURINI FILHO, 2010; SILVA JÚNIOR & LÉDO, 2006; LEDERMAN *et al.* 2000).

Apesar das condições favoráveis ao cultivo da mangaba encontradas em várias regiões, é evidenciada a grande quantidade de espécies nativas encontradas nas regiões de tabuleiros e baixadas litorâneas do Nordeste, onde se encontram a maior parte da produção nacional da mangaba (VIEIRA NETO, 2002).

O maior desenvolvimento vegetativo ocorre nas épocas de temperaturas mais elevadas e pode ser encontrada em várias altitudes, desde o nível do mar até em áreas com altitude de 1.500 m. Apesar de vegetarem em solos arenosos, ácidos, pobres em nutrientes e em matéria orgânica, a mangabeira se desenvolve melhor em solos areno-argilosos profundos, drenados e com bom teor de matéria orgânica (LEDERMAN *et al.* 2000).

A mangabeira atinge de 4 a 6 m de altura, com copa de 4 a 5 m de diâmetro, folhas verdes lanceoladas e flores alvas com cheiro suave. A produção de frutos tem início entre o terceiro e o quinto ano após o plantio, contudo, a partir do quinto ano, a cultura pode proporcionar produtividades de 10 a 12 t/ha (EMBRAPA, 2011).

As flores são hermafroditas e apenas 22%, aproximadamente, transformam-se em frutos. O que corresponde a um alto índice de abortamento de estruturais florais (MENINO *et al.*, 2000).

O período de safra, geralmente, ocorre em duas épocas do ano, sendo a primeira de janeiro a março e a segunda de julho a dezembro, podendo apresentar alguns frutos fora dessa época. (AGUIAR FILHO *et al.*, 1998).

3.1.2 Característica dos Frutos da Mangabeira

A mangaba é uma fruta classificada como do tipo baga, com forma elipsóide ou arredondada, com diferentes tamanhos na mesma planta. A sua casca apresenta uma coloração, que varia de verde-clara a amarelada, com estrias amareladas ou avermelhadas (Figura 3.1), produzindo um suco viscoso na casca, a polpa é de cor branca, sabor ácido a doce, suave, carnosa e viscosa, de aroma perfumado e muito saborosa (VENTURINI FILHO, 2010; MANICA, 2002).

A colheita de frutos totalmente maduros reduz a vida de prateleira, dificulta o manuseio e transporte, devido à baixa resistência física, causando perdas quantitativas e qualitativas (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Na maturação, o teor de sólidos solúveis totais tende a aumentar devido à biossíntese de açúcares solúveis ou à degradação de polissacarídeos, além dos ácidos que podem ser convertidos em açúcares, mesmo na fruta já colhida (KAYS, 1997).



(a) (b)
Figura 3.1: Frutos da Mangaba (a) Inteiros; (b) Aberto.

A mangaba é um fruto tropical bastante nutritivo, fonte de proteínas, vitaminas, como, A, B1, B2 e C, fibras e minerais, tais como ferro, cálcio e fósforo (Tabela 3.1), cuja demanda da indústria é crescente (CARNELOSSI *et al.* 2009; CALDAS *et al.* 2009).

Tabela 3.1: Composição química da mangaba (100 g de polpa)

Componentes	Valor
Calorias (Kcal)	47,5
Glicídios (g)	10,5
Proteínas (g)	0,70
Lipídios (g)	0,30
Cálcio (mg)	41
Fósforo (mg)	18
Ferro (mg)	2,80
Vitamina A (µg)	30
Vitamina B1(µg)	40
Vitamina B2(µg)	40
Vitamina C (mg)	33,0
Niacina (mg)	0,50
Amido (%)	0,52

Fonte: ANDEF (1981)

A mangaba é composta por elevado teor de ácido ascórbico, em torno de 139 mg/100g de polpa, o que a coloca entre as frutas consideradas ricas em vitamina C (MOURA *et al.* 2002).

Segundo MOURA *et al.* (2002), observou que os frutos de mangaba amadurecidos apresentaram: 12,93% de sólidos solúveis; pH de 3,3; acidez total titulável de 1,7% (ATT-expresso em percentual de ácido cítrico); aproximadamente 8 mg/100g e 5 mg/100g de açúcares redutores e não redutores, respectivamente.

As variações de composição do fruto acontecem devido aos diversos efeitos ambientais nos locais de ocorrência natural, tais como o tipo de solo, temperatura, altitude, pluviosidade, entre outros. Além desses fatores, tem-se a restrição com relação ao fluxo gênico devido à autoincompatibilidade, os efeitos da seleção e deriva, o que acarretam a diferenciação genética entre as populações de *Hancornia speciosa* (GANGA *et al.*, 2010).

3.1.3 Colheita e Pós-Colheita da Mangaba

A cultura dessa espécie é essencialmente extrativista, mas existem alguns poucos pomares implantados para a exploração tecnificada (GANGA, 2010; VIEIRA NETO *et al.*, 2009).

A colheita do fruto na região Nordeste é feita de forma artesanal, em grande parte por mulheres, as catadoras de mangaba, que trabalham geralmente em conjunto, onde utilizam ganchos de arame acoplados a uma vara de madeira para derrubar os frutos “de vez” conhecidos pelas catadoras como “frutos de capote”, e colher os frutos que caem. Após esse processo, os frutos são colocados em baldes e transportados para as residências. Os frutos que caem no chão naturalmente conhecidos como “frutos de caída” e são também colhidos pelas catadoras são reconhecidos como mais saborosos e, portanto mais procurados pelo consumidor, porém são mais sensíveis ao manuseio e transporte, já que não apresentam boa firmeza (VIEIRA NETO *et al.*, 2009).

A lavagem da mangaba é uma prática comum realizada pelos próprios catadores em locais inadequados e o armazenamento dos frutos para posterior encaminhamento às indústrias e feiras, constitui um ponto crítico no controle de qualidade das mangabas, já que o rompimento no tecido vegetal induz a aceleração de atividades enzimática e microbianas, que resultam na deterioração do produto (PORTE *et al.*, 2001).

Segundo MOURA *et al.* (2002), o armazenamento dos frutos não deve ser entendido como um método de melhoria da qualidade, mas sim, como uma alternativa para a manutenção da mesma, objetivando o prolongamento do período de comercialização. Já que a capacidade de armazenamento é influenciada por diversos fatores, entre eles tem-se a respiração e produção de etileno, fatores genéticos, diferenças morfológicas e fisiológicas.

3.1.4. Dados Econômicos da Exploração Mangaba

O mercado para a mangaba encontra-se principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Em Sergipe, a mangaba é uma das frutas mais apreciadas, abundante e procurada nas feiras livres, atingindo preço superior ao da uva e de outras frutas nobres, como abacaxi, melão, banana, manga, caju, entre outras (IBRAF, 2013). Já é possível encontrar a mangaba sendo comercializada em redes de supermercados, embaladas em bandejas de isopor revestidas com filme PVC (LEDERMAN *et al.*, 2000).

Segundo dados do IBGE (2012), Sergipe é o maior produtor de mangaba do país, com 55,5% da produção nacional. O Estado comercializa o fruto de forma direta ao consumidor

em barracas, seja nos mercados e feiras livres, assim como também, os catadores de mangaba repassam o produto para intermediários que distribuem a fruta nos mercados centrais, Ceasas, fábricas de polpas, sorveterias e lanchonetes, localizadas, predominantemente, em Aracaju, Salvador, Recife e Maceió.

3.2 Desidratação Osmótica

3.2.1 Aspectos Gerais

A crescente busca por produtos naturais, frescos, saudáveis e à base de frutas, não apenas como produtos acabados, mas também como ingredientes a serem incluídos em alimentos mais elaborados, como sorvetes, cereais, laticínios, produtos de confeitaria e panificação tem sido alvo de pesquisas na busca de novas tecnologias. Entre essas, o pré-tratamento osmótico tem se apresentado como uma ferramenta importante para o desenvolvimento de novos produtos derivados de frutas, com valor agregado e com propriedades funcionais (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001).

A desidratação osmótica é um pré-tratamento bastante empregado em processos de secagem (CORRÊA *et al.*, 2011; MAYOR *et al.*, 2011; AZOUBEL *et al.*, 2010), utilizada com o objetivo principal de diminuir o tempo de secagem, bem como aumentar a eficiência do processo, pois reduz a umidade inicial da amostra e possíveis alterações na estrutura do produto (VICENTE *et al.*, 2012).

Segundo MAYOR *et al.* (2011), POKHARKAR *et al.* (1997) e RAOULT-WACK (1994), a desidratação osmótica consiste na remoção parcial de água pela pressão osmótica, quando se coloca o alimento em contato com uma solução hipertônica de solutos, diminuindo, assim, a atividade de água e aumentando a sua estabilidade, em combinação com outros fatores como controle de pH, adição de antimicrobianos, etc. Em consequência dos gradientes de concentração, ocorrem dois fluxos principais, em contracorrente: fluxo de água da fruta para a solução, e de soluto no sentido oposto, como ilustrado na Figura 3.2. Ocorre ainda um terceiro fluxo, conhecido como lixiviação de solutos do produto (açúcares, ácidos, vitaminas, minerais, etc) pela água. Este fluxo, embora na maioria das vezes seja insignificante frente aos demais, ocorre porque as membranas biológicas não são perfeitamente seletivas, sendo relevante apenas no que diz respeito às características sensoriais e nutricionais do produto, apesar de ser quantitativamente desprezível (DEVIC *et al.*, 2010)

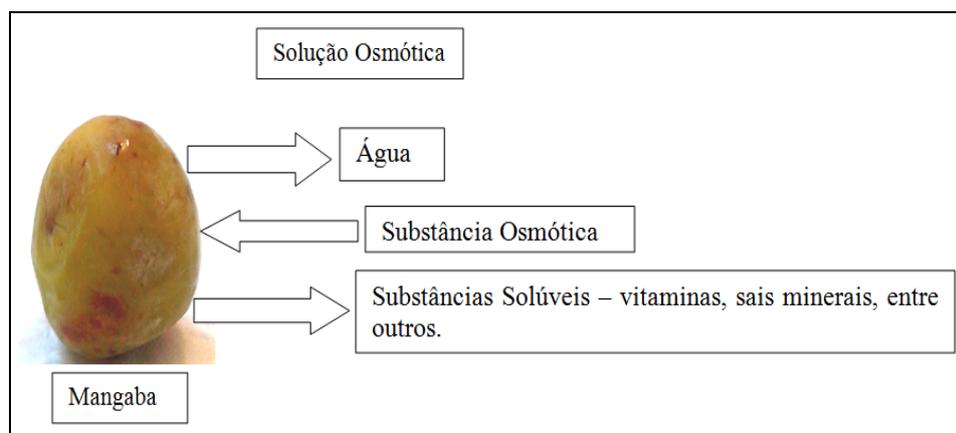


Figura 3.2: Transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.

A transferência de massa entre o alimento e o meio desidratante é estritamente afetada pelas características naturais do produto, tais como, espécie, variedade, estágio de maturação, porosidade, tamanho e forma, assim como também, pelas variáveis do processo, como pré-tratamento, pressão, temperatura, natureza e concentração do agente osmótico, agitação, aditivos e tempo de processo (ALLALI, *et al.*, 2010; FALADE, *et al.*, 2007). Fatores como esses influenciam tanto na eficiência do processo como na qualidade do produto final desidratado.

Os benefícios da desidratação osmótica consistem na redução da umidade inicial do alimento, conservando as características sensoriais e nutritivas da fruta, diminuição do tempo de secagem convectiva e consequente custo do processo, decréscimo da velocidade das reações químicas, bioquímicas e enzimáticas comuns em frutas devido ao alto teor de umidade, causadores da deterioração desses produtos. A desvantagem pode ser vista na incorporação de sólidos solúveis, como por exemplo, os açúcares, indesejável na superfície da fruta e, dependendo do tipo da fruta a rancidez devido ao baixo teor de umidade. (DEMCZUK JÚNIOR *et al.*, 2008; MEDEIROS *et al.*, 2006).

Segundo MAGALHÃES e CORREIA (2010), o emprego da desidratação osmótica pode alterar a formulação do alimento de modo a:

- Modificar a composição físico-química do alimento por meio da retirada de água ou pela adição de agentes de depressores de atividade de água;
- Agregar substâncias que melhorem as características sensoriais do produto;

- Adicionar substâncias com funções especiais, como por exemplo, compostos antioxidantes.

A desidratação osmótica recebeu atenção considerável nos últimos anos, já que utiliza baixas temperaturas e requer pouco gasto energético (RODRÍGUEZ *et al.*, 2013). Com a redução do conteúdo inicial de água, o tempo total de secagem pode ser reduzido, economizando energia total necessária para a realização do processamento (HERMAN-LARA *et al.*, 2013). No entanto, devem-se levar em consideração outros custos associados ao processo de desidratação osmótica, tais como o aquecimento, a reutilização e a agitação da solução osmótica (MARIANO *et al.*, 2013).

3.2.2. Desidratação Osmótica de Frutas

MASETTO e SCALON (2014) avaliaram a secagem e a desidratação osmótica em sementes de *H. speciosa*, e observaram que a redução do teor de água de 20% a 5%, e como consequência observou a diminuição do potencial fisiológico das sementes. As sementes de *H. speciosa* não necessitam de condicionamento osmótico, uma vez que a embebição das sementes nas soluções osmóticas resulta na redução da porcentagem de germinação e do comprimento de plântulas.

De acordo com MARIANO *et al.* (2013), a viabilidade econômica da produção de mangaba passa desidratada osmoticamente com concentração de 40% de açúcar (p/p), 0,1% de ácido cítrico, e na proporção fruta/calda de 1:4; e posteriormente realizada a secagem convectiva com circulação de ar forçado a 70° C. Observou-se que a produção de passas de mangaba constitui uma alternativa viável para os agricultores familiares que já trabalham na produção de frutas desidratadas, desde que as instalações existentes sejam aproveitadas, integrando uma nova fonte de renda para essas famílias por meio da redução das perdas pós-colheita e comercialização em feiras locais.

MENDES *et al.* (2013), avaliaram as melhores condições de desidratação osmótica e as perdas das características físico-químicas em laranjas fatiadas, para as quais foi possível observar que o processo realizado a 60 °Brix, na proporção fruta:solução de 1:3 durante 90 min. apresentou redução de ganho de sólidos, maior perda de água, além de reduzir as perdas no conteúdo fenólico e na atividade antioxidante das laranjas secas em 45,1 e 37,3%, respectivamente.

Segundo DUARTE *et al.* (2012), o tratamento osmótico em jaca conduzido a 43 °C, com agitação, utilizando soluções de sacarose, nas concentrações de 40 e 50 °Brix. O estudo

da desidratação osmótica mostrou que na solução de sacarose a 50 °Brix o valor da perda de água foi maior ao final de 28,5 horas de processo (68,5% para 40,2%), ligeiramente superior ao encontrado para a solução de sacarose a 40 °Brix, (68,5% para 43%), em contrapartida o contrário aconteceu com o ganho de sólidos.

CAMPOS *et al.* (2012), analisaram o efeito do branqueamento e a influência da temperatura, concentração de sacarose e da relação fruta:solução inicial na desidrataação osmótica de fatias de carambola. Os resultados demonstraram que a perda de água e o ganho de sólidos foram influenciados positivamente pela temperatura e pela concentração da solução enquanto que a relação fruta:solução no início da desidrataação exerceu pouca influência sobre os parâmetros avaliados. Entretanto, verificou-se que o processo a baixas temperaturas reduz a perda de água ao longo do processo. O processo realizado a 50 °C e concentração da solução de 50% apresentou uma menor incorporação de sólidos solúveis e maior desidrataação.

MORANGA *et al.* (2011), observaram a desidrataação osmótica de toranja utilizando solução de sacarose a 55 ° Brix e 30 ° C. Na desidrataação osmótica verificou-se uma perda parcial das substâncias naturais solúveis presentes na fruta.

Segundo RUIZ-LÓPEZ *et al.* (2011), a desidrataação osmótica em fatias de carambola utilizando soluções de sacarose, frutose e glicose. A cinética de desidrataação foi realizada com soluções de açúcar (50g/100g) aos 45, 60 e 75 °C durante 10 h utilizando uma proporção de 15:01 (massa de xarope/fruta). Os resultados obtidos demonstraram que a sacarose pode ser considerada um melhor agente osmótico para a carambola, favorecendo a perda de água e o ganho de sólidos.

BELLARY *et al.* (2011), avaliaram a desidrataação osmótica com e sem o uso do ultrassom de curcumino em fatias de coco, com relação a perda de umidade e ganho de sólidos. Os resultados mostraram que o aumento da concentração da solução osmótica acima de 25% resultou no efeito inverso da direção da transferência de massa e na taxa de umidade. Assim como, o uso do ultrassom levou ao aumento de umidade e ganho de sólidos devido à quebra da estrutura celular.

3.2.3. Agentes Osmóticos

Para realizar um processo de desidrataação osmótica é de extrema importância a escolha de um ou mais agentes osmóticos que apresentem melhor desempenho durante o pré-tratamento.

Os agentes osmóticos mais comumente usados são sacarose para frutas e cloreto de sódio para vegetais (MAYOR *et al.*, 2011). Outros agentes osmóticos incluem glicose, frutose, lactose, maltose ou mistura destes. A seleção do agente apropriado para a estabilização de um alimento de umidade intermediária envolve considerações sobre sua capacidade de baixar a atividade de água, *flavor* adquirido, textura, custo e segurança (FAVETTO *et al.*, 1981; JOHNSON *et al.*, 1972).

A sacarose é um agente osmótico muito utilizado, por ser de fácil obtenção, sabor agradável e custo relativamente baixo (CONTRERAS & SMYRL, 1981).

O açúcar utilizado como agente osmótica influencia a cinética de remoção de água, de ganho de sólidos e de equilíbrio do conteúdo de água. Pelo aumento da massa molar do soluto, uma redução do ganho de sólidos e um aumento da perda de água são obtidos, assim favorecendo a perda de peso e os aspectos do processo de desidratação (HENG *et al.*, 1990; LERICI *et al.*, 1985; BOLIN *et al.*, 1983; ISLAM & FLINK, 1982; CONTRERAS & SMYRL, 1981).

TORREGGIANI (1993) cita que muitos xaropes osmóticos podem não migrar ativamente para as células vegetais, podendo simplesmente penetrar no espaço intercelular, devido à modificação da permeabilidade e seletividade na estrutura dos tecidos devido à maturidade, condições de armazenamento ou tratamentos térmicos e químicos.

A escolha da composição da solução osmótica, ou seja, o tipo de soluto e a concentração é uma questão bastante complexa que está diretamente relacionada às alterações nutricionais e propriedades sensoriais do produto final, bem como custo do processamento (RASTOGI *et al.*, 2002).

De acordo com BOLIN *et al.* (1983) e RAOULT-WACK (1994), o tipo de agente desidratante afeta significativamente a cinética de remoção de água, o ganho de sólidos e o teor de água de equilíbrio. À medida que se eleva massa molecular do soluto, como é o caso da sacarose, observa-se a diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, favorecendo a perda de massa e, conseqüentemente, o processo de desidratação. Açúcares com baixo peso molecular como a glicose, frutose e sorbitol, favorecem o ganho de açúcares devido ao aumento da velocidade de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, elevando o ganho de sólidos e reduzindo a perda de água, desfavorecendo o processo de desidratação. Esse efeito pode ser interpretado como função da difusividade do soluto no alimento, já que maiores difusividades do soluto proporcionam maiores ganhos de sólidos e menores índices de desidratação (CHAUHAN *et al.*, 2011).

Sacarose

A sacarose é um dissacarídeo utilizado desde 200 a.C., mais conhecido como açúcar de mesa é constituído de 98,5% de sacarose (C₁₂H₂₂O₁₁) e é produzido a partir da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (20% de sacarose) ou beterraba (*Beta alba* L.) (17% sacarose). A sua importância deve-se a fatores como: aceitabilidade universal, palatabilidade, alta disponibilidade, baixo custo de produção, alta solubilidade em água (2g/g H₂O a 20 °C) e alta pressão osmótica em solução aquosa. Possui alta qualidade adoçante e por isso é adotada como padrão de doçura relativa (poder edulcorante igual a 1) e de perfil de sabor.

A sacarose é tida como um ótimo agente osmótico, especialmente quando a desidratação osmótica é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva, pois previne o escurecimento enzimático e a perda de aromas. Esta prevenção é devido à presença de uma camada do dissacarídeo, formada na superfície do produto desidratado, que constitui um obstáculo ao contato com o oxigênio, minimizando ou impedindo o escurecimento enzimático, além da influência positiva sobre a manutenção de substâncias aromatizantes do alimento (FERRANDO *et al.*, 2001; QI *et al.*, 1998; LENART, 1996).

O uso de açúcar na produção de alimentos funciona como um bom agente para sua conservação. Isso porque aumenta a pressão osmótica, diminuindo a atividade de água, criando, assim, um ambiente desfavorável para a multiplicação das bactérias e da maioria dos bolores e leveduras. Entretanto, alguns tipos de microrganismos conseguem se desenvolver, especialmente as leveduras osmofílicas e bolores (SENAC/DN, 2001).

A sacarose consiste em um dos agentes osmóticos mais utilizados nos estudos que utilizam a técnica de desidratação osmótica, devido a características como o seu peso molecular e seu comportamento iônico, os quais afetam fortemente a cinética de transferência de massa, tanto na quantidade de água removida quanto no ganho de sólidos, além dos reduzidos custos do processo, as mudanças no valor nutritivo e propriedades sensoriais do produto final. Diante disso, a sacarose tem sido o soluto mais utilizado, principalmente em frutas, em virtude de sua eficiência, peso molecular adequado, disponibilidade, baixo custo e aroma desejável provocado na fruta (ERTEKIN *et al.*, 1996; LENART, 1996; VIAL *et al.*, 1991).

3.3 Secagem

3.3.1 Fundamentos Teóricos

A secagem de materiais é uma operação unitária que visa à eliminação da umidade contida em um sólido, através da evaporação desta por meio da aplicação de calor. O processo de secagem constitui um dos mais antigos e comuns métodos de conservação de alimentos, tendo como primórdios a secagem ao sol, procedimento utilizado ainda nos dias de hoje (AGUILERA *et al.*, 2003).

A secagem é tradicionalmente definida como uma operação unitária que converte um material sólido, semissólido ou líquido em um produto sólido de menor teor de umidade (BAKER, 1997). Assim, o estudo da secagem de materiais abrange a determinação das curvas de secagem, como também o conhecimento do comportamento higroscópico dos materiais.

Segundo FOUST *et al.* (1982), a secagem é definido pela transferência de um líquido que se encontra em um sólido molhado para uma fase gasosa não saturada.

De acordo com RAMASWAMI & MARCOTTE (2006), o processo de secagem de alimentos e materiais biológicos não é considerado uma operação de natureza simples, pois envolve fenômenos de transferência de calor e massa em regime transiente dificultando, portanto, o controle de muitas alterações físicas, químicas e bioquímicas que ocorrem nestes materiais durante o processo.

A desidratação total ou parcial de um alimento leva o mesmo a ser conservado por longos períodos em comparação com um *in natura*, já que os microrganismos causadores da deterioração do produto não podem crescer ou multiplicar-se a baixas umidades, no entanto, a ação enzimática é dificultada devido à necessidade desse meio para agirem no alimento (FIOREZE, 2004). Além disso, a secagem visa à redução de peso, facilitando desta forma as operações de transporte, o que leva essa operação a ser utilizada em diversos segmentos industriais, como por exemplo, na preparação de pós, sólidos granulares, alimentos, produtos químicos e farmacêuticos, entre outros. (COOK & DUMONT, 1991).

De acordo STRUMILLO & KUDRA (1986), durante a realização da secagem a determinação do conteúdo de umidade é um parâmetro de grande importância e indispensável no que se refere ao acompanhamento das mudanças ocorridas durante o processo. Diante disto, é importante considerar que a umidade pode estar presente no material em diferentes formas:

- Umidade superficial: ocorre quando o líquido existe como um filme externo sobre o material devido aos efeitos da tensão superficial.
- Umidade não ligada: é aquela que pode ser eliminada em uma determinada condição de processo. Em material não higroscópico, representa todo o conteúdo de umidade interna presente e para um material higroscópico é o excesso do conteúdo de umidade de equilíbrio correspondente à umidade de saturação.
- Umidade ligada, higroscópica ou dissolvida: acontece quando o líquido exerce uma pressão de vapor menor que a do líquido puro em uma determinada temperatura. Esta umidade pode estar presente em diferentes condições: na forma líquida retida em microcapilares, em solução contida nas paredes celulares e adsorvida química ou fisicamente na superfície do material e necessita de elevados níveis de temperatura para sua remoção.

3.3.2 Comportamento Geral da Secagem

O processo de secagem é representado pelas curvas típicas de secagem, que são reproduções gráficas dos dados de umidade média do material em função do tempo, obtidos experimentalmente, as quais podem ser representadas de diferentes formas de acordo com os diferentes períodos de secagem. Assim, a cinética de secagem relaciona a mudança do conteúdo médio de umidade do material com o tempo de processo.

Segundo STRUMILLO & KUDRA (1986), os parâmetros que influenciam a cinética de secagem incluem a umidade, temperatura e velocidade do ar. As Figuras 3.3 e 3.4 ilustram as curva de secagem e a curva da taxa de secagem respectivamente.

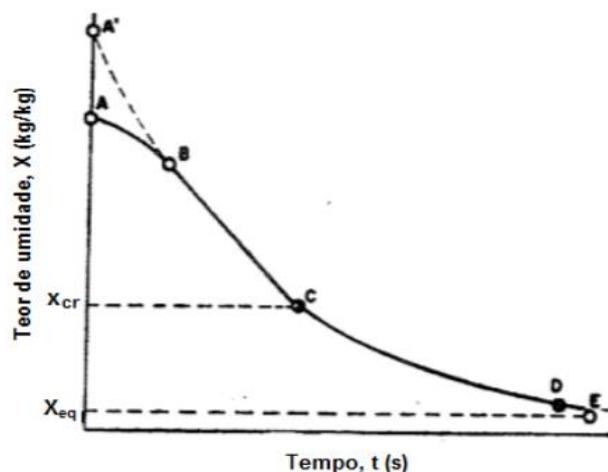


Figura 3.3 Curva típica de secagem convectiva. (Adaptado de Strumillo & Kudra , 1986).

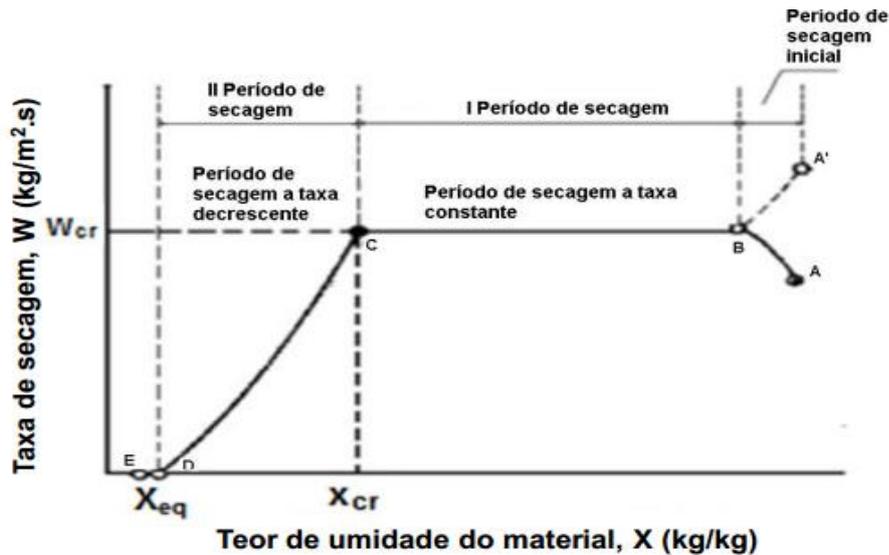


Figura 3.4 Curva da taxa de secagem. (Adaptado de Strumillo & Kudra , 1986).

Nas curvas de secagem é possível observar a ocorrência de três diferentes períodos, denominados de período inicial de secagem, período de secagem à taxa constante e período à taxa decrescente. Esses períodos podem ser descritos da seguinte maneira de acordo com STRUMILLO e KUDRA, 1986:

- Períodos AB e A'B: denominados como período inicial de secagem, representam o intervalo de aquecimento ou resfriamento do material, isto é, o período de estabilização entre a temperatura do material e a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. A duração deste período é consideravelmente menor do que o período total de secagem.

- Período BC: é o período de secagem à taxa constante, sendo esta taxa de secagem independente da umidade total do material em cada instante. A superfície do material está saturada, coberta por um filme contínuo de água livre que age como se o sólido não existisse. A água evaporada é a água livre e a transferência de massa e de calor são equivalentes, assim, a velocidade de secagem é constante. A taxa de secagem será constante enquanto a quantidade de água presente na superfície do produto seja suficiente para acompanhar a evaporação. A diminuição linear do teor de umidade com o tempo ocorre continuamente até atingir o ponto C, denominado de ponto crítico, que corresponde ao instante em que o movimento do líquido do interior para a superfície é insuficiente para manter o filme contínuo sobre a superfície do material.

- Período CD: corresponde ao período de taxa de secagem decrescente, que tem início a partir da umidade crítica. Neste período, a quantidade de umidade presente na superfície do produto começa a ser escassa e a velocidade da secagem diminui. A temperatura do material aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem e o fator limitante é a redução da migração de umidade do interior do material para a sua superfície. A migração interna da umidade é o mecanismo que governa esta fase, portanto, a característica da estrutura interna do material é um fator importante para o entendimento deste mecanismo. O período de taxa decrescente pode ser dividido em duas fases:

(a) **Primeira fase:** a umidade livre (fase líquida) presente no interior do produto é contínua, sem a presença de ar e ocupa todos os poros do produto. O movimento da umidade do interior para a superfície ocorre por capilaridade, mecanismo que controla a velocidade de secagem nesta fase.

(b) **Segunda fase:** a remoção de umidade da superfície por evaporação provoca a entrada de ar no interior do produto, originando bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida dentro dos poros. Nessa fase, o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados.

A partir do ponto crítico (C) o comportamento da curva aproxima-se assintoticamente do conteúdo de umidade de equilíbrio do material (X_{eq}), que é representado pelo ponto E.

- Período DE: é denominado de fase final da secagem, em que ocorre a completa evaporação no interior do material e o vapor retirado do produto difunde-se através deste até a superfície e em seguida, através da corrente gasosa, diminuindo ainda mais a taxa de secagem.

Quando a umidade de equilíbrio é alcançada, ou seja, quando a pressão parcial do vapor na superfície do material é igual à pressão do vapor na fase gasosa, a secagem não ocorre mais sendo, portanto, a taxa de secagem nula.

Na secagem de frutas e hortaliças, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda pode conter quantidades significativas de água, e nesse caso a transferência interna de água é que governa e determina a taxa de secagem. Durante este período, a troca de calor não é mais compensada e, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende assintoticamente à temperatura do ar. A redução da taxa de secagem é devida a redução da pressão parcial de vapor d'água na superfície do sólido. Ao final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar de secagem e a velocidade de secagem é nula (KEEY, 1972).

Assim, podemos considerar a temperatura como um fator de extrema importância durante a secagem, pois a taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura. Durante a

secagem a temperatura aumenta a transferência de calor na fase de taxa constante. O aumento da temperatura diminui a umidade relativa do ar, sendo assim, o gradiente de umidade aumenta, facilitando o processo de secagem.

Segundo LOPES *et al.*, (2000), o ar quente é mais empregado, por ser facilmente disponível e mais conveniente na instalação e operação de secadores, e o seu controle no aquecimento do alimento não apresenta maiores problemas. O princípio básico da secagem, quando se utiliza ar como meio, está no potencial de secagem do ar ambiente aquecido, que é forçado na massa do produto que serve a duas finalidades:

- Conduzir calor para o produto: a pressão de vapor da água do alimento é aumentada pelo aquecimento do produto, facilitando, assim, a saída de umidade. Parte do calor do ar de secagem proporciona aumento da temperatura do produto (calor sensível), e parte fornece o calor necessário para a vaporização da água contida no produto (calor latente).
- Absorver umidade do produto: aumentando a temperatura do ar ambiente, a sua umidade relativa diminui e, conseqüentemente, sua capacidade de absorver umidade aumenta.

3.3.3 Secagem de Frutas

Segundo NUNES *et al.* (2014) a cinética de secagem da polpa de jabuticaba em um secador de bandejas com temperatura variando de 50, 60 e 70 °C, obteve através dos dados a conclusão de que na secagem convectiva da polpa de jabuticaba quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem, justificado pela maior taxa de secagem.

SANTOS *et al.*, (2013), estudaram a secagem convectiva de maçãs e de acordo com os resultados obtidos os frutos desidratados apresentaram teores de nutrientes próximos aos relatados na literatura, apresentando excelentes características sensoriais, tais como, sabor, aroma agradável e aspecto visual de cor amarela clara, sem vestígios de escurecimento mantendo as características avermelhadas da casca. As fatias de maçãs secas se mostraram com textura crocante sem consistência elástica, demonstrando assim que a secagem é uma excelente alternativa para a sua conservação, contribuindo desta forma para a redução das perdas pós-colheita e com a agregação de valor ao produto seco.

3.4 Modelos Matemáticos

3.4.1 Modelo de Peleg

O modelo de Peleg (1988) é caracterizado por ser um modelo empírico e não exponencial bastante utilizado para a determinação da cinética de desidratação. Sua forma exponencial pode ser vista na Equação (3.1). Esse modelo apresenta dois parâmetros, onde K_1 é inversamente relacionado à umidade de equilíbrio (Equação 3.2) e K_2 é inversamente relacionado à taxa inicial de desidratação (Equação 3.3).

$$X_i - X_t = \frac{t}{K_1 t + K_2} \quad (3.1)$$

$$X_{eq} = X_i - \frac{1}{K_1} \quad (3.2)$$

$$\frac{dX}{dt} = \left| \frac{1}{K_2} \right| \quad (3.3)$$

3.4.2 Fenômeno da difusão

A difusão consiste em um processo de transporte que ocorre a nível molecular, no qual há o movimento aleatório das moléculas devido à diferença de potenciais químicos das espécies. Tais movimentos aleatórios fazem com que, do ponto de vista macroscópico, o soluto seja transportado das zonas de concentração mais elevada para as de concentração menos elevadas. Esse fenômeno ocorre em líquidos, sólidos e em gases. No entanto, a transferência de massa é altamente influenciada pelo espaçamento intracelular, logo, a difusão ocorre mais facilmente em gases do que em líquidos e mais facilmente em líquidos do que em sólidos (INCROPERA & DE WITT, 2008).

A difusão por meio de uma matriz sólida é um fenômeno de complexidade superior ao de um gás ou em um líquido (SMITH, 2003) e, em sólidos, a difusividade mássica é da ordem de 10^{-11} m²/s, sendo que, em muitos casos, a difusão ocorre como parte integrante de outros fenômenos.

Na indústria de alimentos a operação de secagem é um exemplo de processo no qual podemos ver claramente o fenômeno da difusão, onde a água é removida na forma de vapor de um alimento no estado sólido ou líquido para uma corrente de gás quente, sendo geralmente empregado o ar quente. Na maioria das vezes, a transferência de massa em um

alimento envolve a transferência de um determinado componente de uma fase através da interface para uma segunda fase, como por exemplo, a desidratação osmótica, na qual ocorre a perda e incorporação de outras substâncias, por meio da difusão para dentro e para fora do alimento (SMITH, 2003; SCHWARTZBERG, *et al.*, 1982).

A teoria difusional se baseia na Lei de Fick (Equação 3.4), a qual demonstra que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração da água, o qual normalmente é dependente do tempo (VARZAKAS *et al.*, 2005; CRANK, 1975).

$$X^* = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-Dn^2\pi^2t}{r^2}\right) \quad (3.4)$$

onde, D é a difusividade (m²/s), r, o raio (m) e n equivale ao número de termos da série necessários para atingir a convergência.

3.4 Ultrassom

O ultrassom é uma tecnologia moderna, capaz de melhorar as condições de processamento de muitos produtos, atendendo as novas tendências de mercado.

De acordo com GUNASEKARAN e AY (1994), as primeiras referências a respeito do uso de ultrassom na indústria de alimentos datam de 1961, com a aplicação do método para a medida de sólidos não gordurosos e gordura do leite. Por se tratar de uma tecnologia em desenvolvimento, existe a necessidade da busca de estudos profundos para o seu emprego a nível industrial, buscando melhor padronização e quantificação.

Segundo SORIA *et al.* (2010) e SUSLICK *et al.* (1990), o ultrassom são ondas mecânicas responsáveis por um fenômeno conhecido como cavitação acústica, o qual produz bolhas de gás em soluções presentes no meio que, ao implodirem, geram súbito aumento de pressão e temperaturas muito altas. Esse efeito, por sua vez, produz turbulência, ondas de cisalhamento e micro jatos direcionados à superfície do sólido, que reduzem a resistência externa à transferência de massa, por meio de micro jatos que afetam a superfície do produto e injetam solução osmótica para o interior do alimento, além de alterar a camada limite entre o alimento e a solução osmótica (CÁRCEL *et al.*, 2012). A cavitação ultrassônica é responsável pela inativação de microrganismos e, portanto, é uma tecnologia que pode ser utilizada como

concomitantemente com o tratamento térmico para aumentar a eficiência e/ou reduzir o tempo de processamento.

O uso do ultrassom é baseado na aplicação de ondas mecânicas, com uma frequência acima do limite da audição humana (> 16 kHz), que viajam através do volume de um material com velocidade característica da onda e do material no qual está se propagando. Nos alimentos, o ultrassom é classificado de acordo com a intensidade das ondas ultrassônicas, em:

- Ultrassom de baixa intensidade (< 1 W/cm²)
- Ultrassom de alta intensidade (geralmente na faixa de $10 - 1000$ W/cm²)

(SORIA *et al.*, 2010).

A energia ultrassônica está sendo aplicada, em alguns casos, no intuito de acelerar processos como a desidratação, secagem, congelamento e descongelamento, amaciamento de carnes, cristalização da lactose e gordura. Em outros casos, tem a finalidade de melhorar processos, como corte, extração, emulsificação e envelhecimento de vinhos, sendo considerada uma tecnologia emergente na área de processamento de alimentos (DELGADO *et al.*, 2010; BHASKARACHARYA *et al.*, 2009; SIMAL *et al.*, 1998).

Segundo FUENTE-BLANCO (2006); TARLETON e WAKEMAN (1998), as ondas ultrassônicas podem causar uma série rápida de compressões e expansões de uma maneira bem similar a esponjas quando são espremidas e liberadas repetidamente, conhecido como efeito esponja. Esse efeito atua reduzindo a resistência interna à transferência de massa, já que, as forças envolvidas por este mecanismo podem ser mais elevadas do que a tensão superficial que mantém a umidade dentro do material criando os canais microscópicos e podendo remover a umidade mais fácil (NOWACKA *et al.*, 2014; CÁRCEL *et al.*, 2012). Esses canais microscópicos, já foram observados em outras variedades de frutos, como melões (FERNANDES *et al.*, 2008), abacaxis (FERNANDES *et al.*, 2009), morangos (GARCIA-NOGUERA *et al.*, 2010) e jambo (OLIVEIRA *et al.*, 2011)

A aplicação de ultrassom como etapa anterior ao processo de secagem de alimentos tem se mostrado bastante efetiva conforme estudo realizado por MULET e colaboradores (2003). Os autores mostraram que a aplicação de pulsos elétricos previamente à secagem de produtos alimentícios promove aumento na cinética do transporte de massa proporcionando maior eficiência no processo de secagem, principalmente ao tratar de sistemas sólido-líquido.

KOWALSKI *et al.* (2014), compararam o efeito da desidratação osmótica de maneira estacionária com a desidratação osmótica associada ao uso do ultrassom de forma intermitente

no tempo de secagem convectiva de cerejas. Como resultado, o autor observou que os experimentos conduzidos com o uso do ultrassom apresentaram uma redução no tempo de secagem em torno de 40 minutos tanto em condições estáveis como intermitente, já em condições intermitentes esse tempo pode ser encurtado para cerca de 70 minutos, em comparação com a secagem convectiva contínua, além desse parâmetro, o uso do ultrassom minimiza os efeitos negativos da secagem.

NOWACKA *et al.* (2014) investigaram os efeitos do uso da potência ultrassônica associada ao tratamento osmótico em fatias de kiwis. Como resultados, os mesmos puderam observar que o pré-tratamento com o ultrassom durante períodos maiores que 10 minutos aumentaram positivamente a transferência de massa durante a desidratação osmótica da fruta.

KEV *et al.* (2013), estudaram a aplicação de ultrassom na desidratação osmótica de fatias de goiaba utilizando um sistema de banho de ultrassônico (aplicação indireta) e um sistema de sonda ultrassônica (aplicação direta), o qual o fez observar que a sonificação direta teve um comportamento mais intenso do que a indireta na perda de água e ganho de sólidos, além de alterarem a coloração das amostras. Porém, a aplicação do pré-tratamento assistido por ultrassom quando utilizado altas concentrações de solução osmótica (70 °Brix) minimizam o tempo de secagem (33%), aumentam a difusividade efetiva (35%) e reduzem a variação da cor total (38%).

OLIVEIRA *et al.* (2011), analisaram a influência da aplicação do ultrassom como pré-tratamento à secagem convectiva em jambos. Os resultados demonstraram que a difusividade da água aumentou, causando uma perda de água no fruto considerável, em torno de 28,1%, resultando em uma redução no tempo de secagem de 27,3%

Capítulo 4

4. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo serão descritos o material utilizado e as metodologias aplicadas para o desenvolvimento deste trabalho. O trabalho foi realizado nos Laboratórios de Pesquisa em Alimentos (LPA) do Instituto de Tecnologia e Pesquisa da Universidade Tiradentes e no Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA) da Universidade Federal de Sergipe.

4.1 Material

Como matéria-prima para o desenvolvimento desse trabalho foi escolhida uma fruta muito apreciada na região, a mangaba (*Hancornia speciosa*), obtida na feira livre do bairro Grajeru, na cidade de Aracaju, SE. Para garantir a uniformidade das amostras à matéria-prima foi obtida de um único fornecedor. A Figura 4.1 apresenta a aparência dos frutos.

Para a seleção das frutas na hora da compra foram levados em consideração o tamanho, cor, estágios de maturação “de vez”, utilizada no processo combinado osmo-convectivo e madura, utilizada apenas na secagem convectiva, firmeza e ausência de danos mecânicos, com o objetivo de obter melhores resultados com relação à aparência do produto final.

As mangabas foram transportadas para o LPA (Laboratório de Processamento de Alimentos) em caixas térmicas. As frutas nos estádios de maturação “de vez” e madura foram lavadas com água corrente para eliminar sujidades, mergulhadas em solução de hipoclorito de sódio (4-6% P.A), como mostra a Figura 4.2 e secas com papel absorvente. Em seguida, foram pesadas em balança analítica (Mettler Toledo – AL 204, precisão $\pm 10^{-4}$) para determinar o peso inicial.



Figura 4.1. Aspecto dos frutos da mangaba comercializadas na cidade de Aracaju, SE.

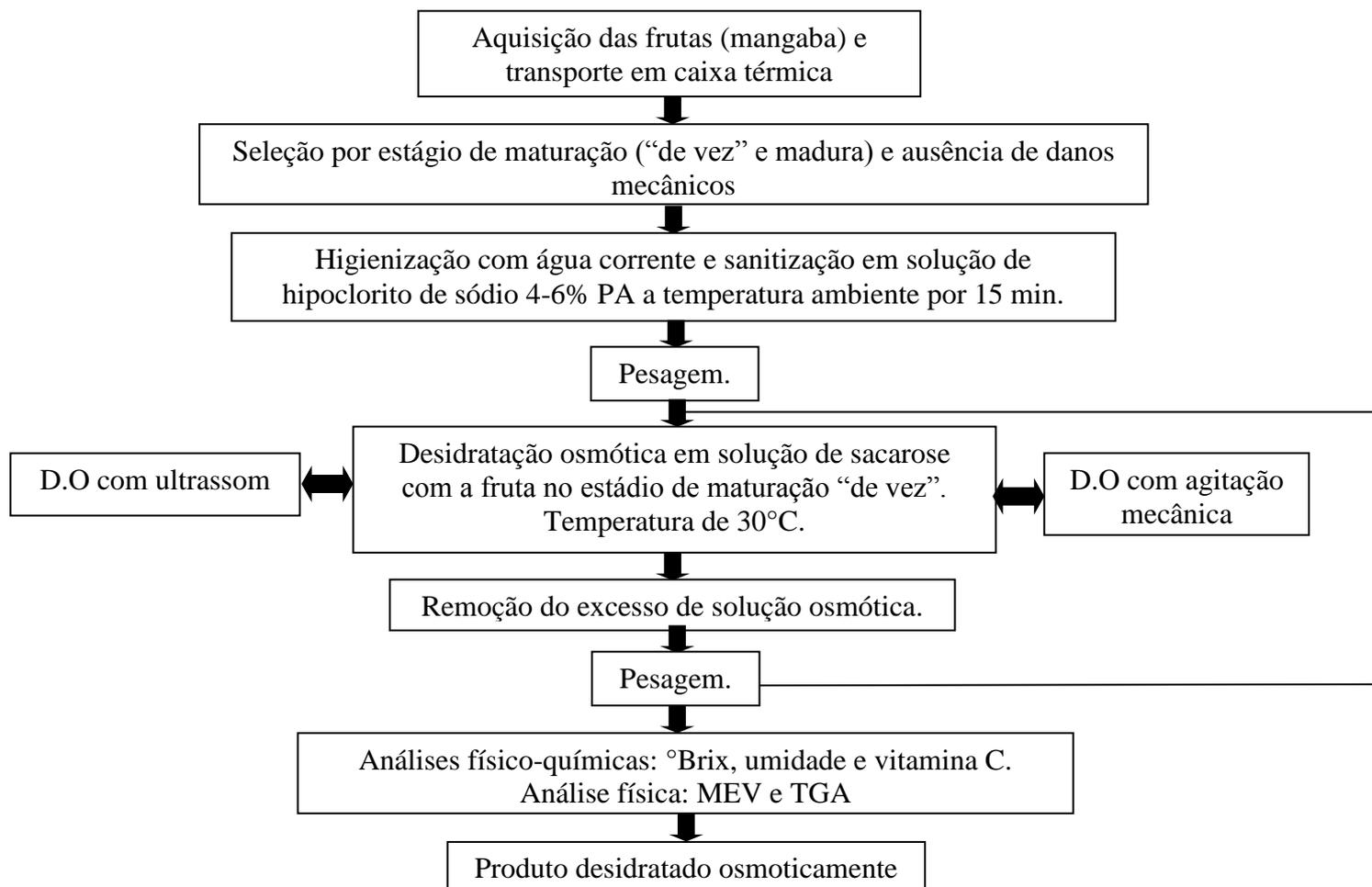


Figura 4.4. Fluxograma do processo de desidratação osmótica da mangaba.

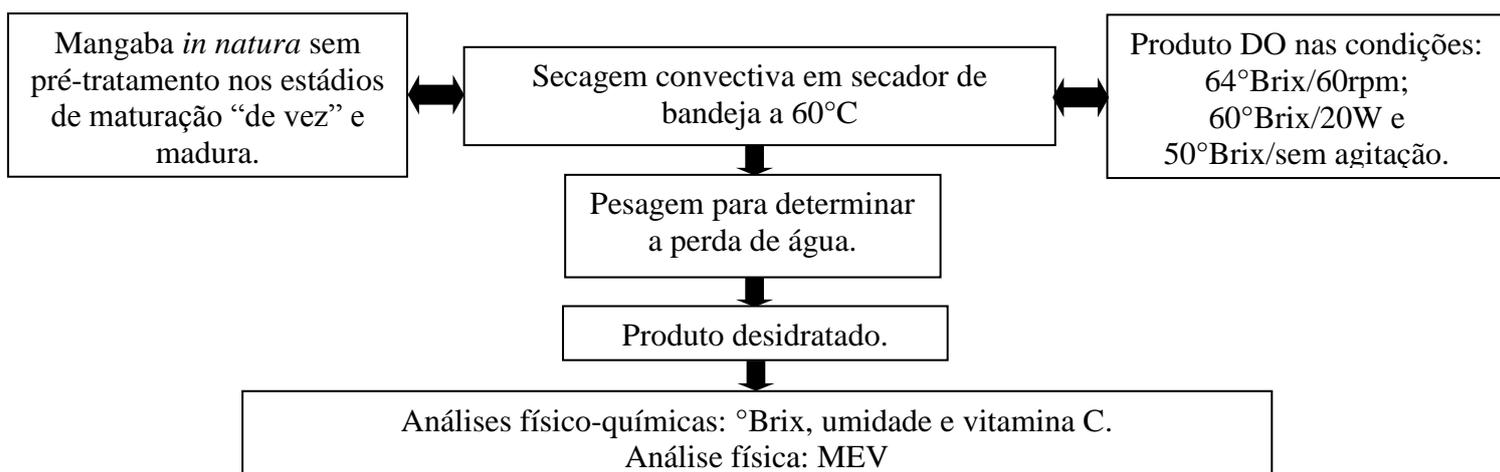


Figura 4.5. Fluxograma do processo de secagem convectiva da mangaba.

4.3 Planejamento Experimental na Desidratação Osmótica

Foram realizados dois tipos de experimentos um com aplicação de agitação mecânica e, outro com a aplicação de ultrassom, de acordo com dois delineamentos compostos central rotacional, 2^2 com 3 pontos centrais para o processo de desidratação osmótica associada ao uso do ultrassom e, o outro delineamento, 2^2 com 3 pontos centrais, acrescidos de pontos axiais para o processo de desidratação utilizando agitação mecânica. As variáveis independentes foram a velocidade da agitação mecânica orbital (rpm), a potência ultrassônica (W) e o teor de sólidos solúveis da solução ($^{\circ}$ Brix), e como variáveis dependentes a umidade final e o teor de sólidos solúveis da fruta.

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 podem ser vistos os planejamentos experimentais utilizados no pré-tratamento osmótico para a agitação mecânica e potência ultrassônica, respectivamente.

Tabela 4.1: Planejamento fatorial 2^2 para verificação do melhor desempenho da DO com agitação mecânica.

Experimentos	Codificação		Agitação Mecânica	
			$^{\circ}$ Brix	rpm
1	+1	+1	60	80
2	+1	-1	60	40
3	-1	+1	40	80
4	-1	-1	40	40
5	0	0	50	60
6	0	0	50	60
7	0	0	50	60
8	0	-1,42	50	32
9	0	+1,42	50	88
10	-1,42	0	36	60
11	+1,42	0	64	60

No planejamento utilizando o ultrassom não foi possível adicionar pontos axiais devido a limitações do equipamento.

Além dos experimentos realizados na matriz experimental mostrados na Tabelas 4.1 e 4.2, foram feitos como forma de comparação experimentos de secagem convectiva utilizando a desidratação osmótica a 50 $^{\circ}$ Brix/sem agitação mecânica e em amostras *in natura* no estágio de maturação “de vez” e madura.

Tabela 4.2: Planejamento fatorial 2^2 para verificação do melhor desempenho da DO utilizando potência ultrassônica.

Experimentos	Codificação		Potência Ultrassônica	
			°Brix	Potência (W)
1	+1	+1	60	40
2	+1	-1	60	20
3	-1	+1	40	40
4	-1	-1	40	20
5	0	0	50	30
6	0	0	50	30
7	0	0	50	30

4.4 Procedimento Experimental

A desidratação osmótica foi realizada com a imersão dos frutos inteiros em solução de sacarose comercial com teor de sólidos solúveis variando de acordo com o planejamento experimental e temperatura fixa de 30°C, e para cada solução osmótica foram utilizadas 9 (nove) amostras. A razão entre a massa da solução e a massa da fruta foi suficientemente grande (1:20), de modo que o °Brix do meio foi praticamente constante ao longo dos experimentos. O tempo de imersão foi fixado em 510 minutos, em banho Maria com agitação mecânica orbital (Marconi – MA 095) e em banho ultrassônico (Unique – USC 2850A), com rotação e potência de acordo com o planejamento experimental.



Figura 4.6. Amostras das mangabas imersas em solução de sacarose comercial.

A cada 90 minutos três amostras eram retiradas e, a solução era drenada, a amostra seca parcialmente em papel absorvente (papel toalha) para pesagem em balança analítica (Mettler Toledo – AL 204, precisão $\pm 10^{-4}$), com o objetivo de determinar a perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS). Além disso, a cada tempo de pesagem (90 minutos), uma amostra era retirada e dividida para análise do teor de sólidos solúveis, °Brix, com o auxílio de um refratômetro analógico (ABC-LAB), determinação do teor de umidade em base úmida (X_{bu}),

em estufa a 105°C durante 24h, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). O mesmo procedimento foi adotado para uma amostra sem pré-tratamento.

Após o final do tempo de desidratação (510 min.) as amostras foram drenadas, secas em papel absorvente e destinadas a secagem em secador de bandeja com circulação forçada de ar (Desidratador Pardal®), em peneiras de material metálico, a uma temperatura fixa de 60°C, com o objetivo de reduzir danos à estrutura celular da fruta, já que em temperaturas elevadas tendemos a perder alguns nutrientes e danificar a estrutura das frutas. O fluxograma geral do procedimento experimental pode ser visto na Figura 4.4.

O teor de umidade do ar foi de 12%, determinado por meio de dados obtidos como a temperatura do ambiente e umidade relativa do ar, adquiridos com o auxílio de um termo-higrômetro (Incoterm – precisão $\pm 0,01^\circ\text{C}$). Diante dos dados do ambiente externo e da temperatura do secador foi possível determinar por meio da psicrometria utilizando o programa Grapsi 5.1® o teor de umidade relativa do ar no interior do secador.

As amostras foram pesadas em intervalos regulares, nos quais as frutas foram retiradas do secador, pesadas e recolocadas rapidamente no equipamento. A perda de peso foi acompanhada até a obtenção de peso constante, levando aproximadamente 37 horas.

Amostras também foram separadas para realização de análise morfológica utilizando dados da microscopia eletrônica (MEV), a fim de verificar possíveis alterações na estrutura celular da fruta.

4.5 Modelagem Matemática

4.5.1 Modelo da Cinética da Desidratação Osmótica

Para a determinação da cinética da desidratação osmótica foi utilizado o modelo de Peleg (1988). Como ferramenta para determinação dos parâmetros utilizou-se o software Microcal Origin® por regressão não linear com método de ajuste SIMPLEX até a convergência tendo as qualidades analisadas através do R^2 .

4.5.2 Modelo da Cinética da Secagem Convectiva

Para acompanhamento da cinética de secagem foram construídas curvas de secagem com o conteúdo de umidade da mangaba no decorrer do tempo de secagem, indicando o comportamento da redução do conteúdo de umidade do material. As curvas de secagem foram

construídas por meio da determinação dos valores da razão da umidade adimensional (X^*) versus o tempo de secagem, conforme mostra a Equação (4.1).

$$X^* = \frac{X_{tempo} - X_{eq}}{X_{inicial} - X_{eq}} \quad (4.1)$$

onde X_{tempo} é a umidade da amostra ao longo da secagem (g), $X_{inicial}$ é a umidade inicial da amostra e X_{eq} é a umidade da amostra após atingir o equilíbrio.

Os dados experimentais das curvas de secagem para todas as condições estudadas, com e sem a aplicação de ultrassom, foram ajustados ao modelo matemático de secagem baseado na segunda Lei de Fick para descrever a transferência de massa com fluxo de líquido do interior da fruta. A equação utilizada foi uma simplificação da segunda Lei de Fick, como mostra a Equação (3.4) (CRANK, 1975; KEEY, 1997). Geometria esférica, resistência interna desprezível, ausência de encolhimento e que o processo é controlado por difusão interna.

4.6 Análise Estatística

A análise estatística dos dados experimentais foi realizada com auxílio do software Statistic® 6.0.

4.7 Caracterização Físico-Química da Mangaba

4.7.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O MEV foi realizado nas amostras submetidas ao congelamento por 24h e separadas em casca e polpa, para posterior liofilização em liofilizador (Labconco) por 72h. As amostras liofilizadas foram acomodadas em recipientes hermeticamente fechados, acondicionadas em um isopor com sílica gel e enviadas para a UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) para a análise microestrutural, a fim de verificar possíveis alterações na estrutura da fruta *in natura* e quando submetidas aos diferentes pré-tratamentos osmóticos.

As análises foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), com detector de espalhamento, da marca SHIMADZU, modelo SSX-500.

4.7.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

As curvas de TGA foram realizadas utilizando um equipamento SHIMADZU TGA-50, cadinho de alumínio, atmosfera dinâmica de nitrogênio, com velocidade do fluxo de 50 mL/min, taxa de aquecimento de 10 °C/min e temperatura variando de 25 até 600 °C.

4.7.3 Análise do Teor de Vitamina C

O teor de vitamina C foi determinado por meio de método titulométrico Tillmans modificado (MAPA, 2005), em 10 mL de polpa devidamente homogeneizada, baseado na redução do 2,6-diclorofenolindofenol-sódio pelo ácido ascórbico. O 2,6-diclorofenolindofenol-sódio em meio básico ou neutro é azul, em meio ácido é rosa e sua forma reduzida é incolor. O ponto final de titulação é detectado pela viragem da solução para cor rosa com todo o ácido ascórbico já consumido, com resultado expresso em miligramas de ácido ascórbico por grama de fruta (mmAA/g de fruta). Para efeitos de comparação entre as diferentes amostras analisadas os resultados foram também expressos em base seca (mmAA/g de matéria seca).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos para a desidratação osmótica, secagem convectiva e da caracterização da matéria-prima e produto.

5.1 Desidratação Osmótica

A análise das mangabas (*Hancornia speciosa*) antes do processo de desidratação osmótica forneceu umidade média em torno de $85\% \pm 2,5$ e teor de sólidos solúveis de $13^\circ\text{Brix} \pm 1,98$. Ao final do pré-tratamento osmótico foi possível observar um pequeno ganho de sólidos com valor médio de $22,87\% \pm 14$ e $20,85\% \pm 7,7$ e, perda de água em torno de $7,49\% \pm 3,7$ e $5,7\% \pm 3,7$ para os pré-tratamentos com agitação mecânica e potência ultrassônica, respectivamente. Na Tabela 3 são apresentados os resultados finais normalizados de $^\circ\text{Brix}$ e umidade para os diversos pré-tratamentos utilizados.

Tabela 5.1: Resultados normatizados obtidos da umidade e $^\circ\text{Brix}$ final da fruta após desidratação osmótica.

Agitação Mecânica					Ultrassom				
$^\circ\text{Brix}$	rpm	B_f/B_i	X_f/X_i	X_f	$^\circ\text{Brix}$	Pot. (W)	B_f/B_i	X_f/X_i	X_f
60	80	0,91	0,98	81,80	60	40	1,25	0,97	82,58
60	40	1,17	0,95	79,38	40	40	1,17	0,95	80,04
40	40	0,93	0,79	75,84	60	20	1,20	0,79	69,24
40	80	1,12	0,84	71,35	40	20	1,18	0,94	81,30
50	60	1,13	0,91	81,11	50	30	1,28	0,98	80,63
50	60	1,55	0,95	80,58	50	30	1,02	0,95	75,90
50	60	1,13	0,91	81,11	50	30	1,36	0,96	82,44
50	32	1,38	0,96	79,37	-	-	-	-	-
50	88	1,11	0,94	77,92	-	-	-	-	-
36	60	1,33	0,93	78,10	-	-	-	-	-
64	60	1,38	0,89	73,02	-	-	-	-	-
50	0	1,12	0,88	73,18	-	-	-	-	-

Como se observa na Tabela 3 os melhores resultados foram obtidos para os pré-tratamentos a 64°Brix/60rpm, 40°Brix/40rpm, 40°Brix/80rpm e 60°Brix/20W, que forneceram os maiores resultados de B_f/B_i e menores de X_f/X_i .

5.2 Análise Estatística

5.2.1 Análise de Tendências para a Desidratação Osmótica

As Tabelas 5.2 e 5.3 reúnem os dados referentes à estimativa de efeitos, erro padrão e o valor de p para os experimentos realizados com pré-tratamentos osmóticos com agitação mecânica e potência ultrassônica, respectivamente. Com base nos valores obtidos, observa-se que nenhuma variável apresentou influência significativa ao nível de confiança de 90%.

Tabela 5.2: Efeitos calculados no estudo da desidratação osmótica com agitação mecânica.

Variáveis Independentes	Estimativa	Erro Padrão	P
Média Global	0,917336	± 0,016664	0,000330
°Brix (L)	0,058081	± 0,020515	0,105404
°Brix (Q)	-0,019831	± 0,024627	0,505183
Agitação (L)	0,021263	± 0,020515	0,408881
Agitação (Q)	0,014352	± 0,024627	0,618983
°Brix/Agitação	-0,010000	± 0,028868	0,762085

Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Tabela 5.3: Efeitos calculados no estudo da desidratação osmótica com potência ultrassônica.

Variáveis Independentes	Estimativa	Erro Padrão	P
Média Global	0,92883	± 0,01178	0,000004
°Brix	-0,06341	± 0,03116	0,134746
Potência	0,09899	± 0,03116	0,050237
°Brix/Potência	0,08815	± 0,03116	0,066284

Significativo ao nível de 10% de probabilidade

Após os resultados da estimativa de efeitos foi realizada a análise de variância, ANOVA, para os ensaios desidratados osmoticamente com agitação mecânica e com potência

ultrassônica, representada nas Tabelas 5.4 e 5.5. Com base nos dados obtidos é possível visualizar que o teste F não foi significativo em nenhum dos experimentos realizados.

Tabela 5.4: Análise de variância para estudo da desidratação osmótica com agitação mecânica.

Efeitos	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F*	p**
°Brix (L)	0,0067	1	0,0067	8,0151	0,1054
°Brix (Q)	0,0005	1	0,0005	0,6484	0,5052
Agitação (L)	0,0009	1	0,0009	0,0742	0,4089
Agitação (Q)	0,0003	1	0,0003	0,3396	0,6189
°Brix/Agitação	0,0001	1	0,0001	0,1200	0,7620
Erro Puro	0,0016	2	0,0008		

Total (corrigido) = 0,0332

R² = 0,8901

F*: Teste estatístico de comparação da variância nos ensaios, permitindo a avaliação da qualidade de ajuste.

p**: Teste estatístico para estimativa do intervalo de confiança.

Tabela 5.5: Análise de variância para estudo da desidratação osmótica com potência ultrassônica.

Efeitos	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F*	p**
°Brix	0,00402	1	0,00402	4,13958	0,13474
Potência	0,00980	1	0,00980	10,08875	0,05023
°Brix/Potência	0,00777	1	0,00777	7,99915	0,06628
Erro Total	0,00291	3	0,00097		

Total (corrigido) = 0,02450

R² = 0,8811

F*: Teste estatístico de comparação da variância nos ensaios, permitindo a avaliação da qualidade de ajuste.

p**: Teste estatístico para estimativa do intervalo de confiança.

Objetivando avaliar a influência das variáveis agitação mecânica, potência ultrassônica e concentração da solução osmótica ($^{\circ}\text{Brix}$) e sua interação sobre os dados da umidade final, obteve-se o gráfico de Pareto, no qual os resultados demonstram que a concentração da solução osmótica e agitação mecânica não exerceram um efeito significativo sobre a umidade final (Figura 5.1a). A potência ultrassônica (Figura 5.1b) apresentou comportamento contrário, se mostrando significativa enquanto que o $^{\circ}\text{Brix}$ se mostrou pouco influente sobre a umidade final a um nível de 90% de confiança.

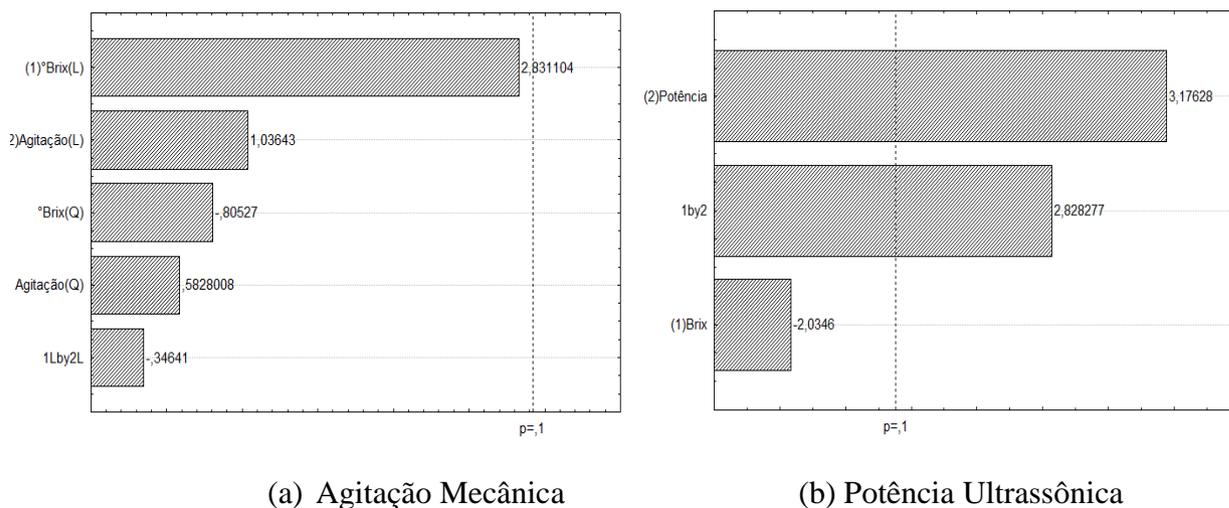


Figura 5.1: Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados; Variável: X_f/X_o : (a) Agitação Mecânica (b) Potência Ultrassônica

Apesar da não significância estatística dos efeitos, segue uma análise das tendências observadas através das Figuras 5.1 e 5.2 onde se representa a úmida final normalizada em função das condições operacionais. É possível visualizar que o aumento da potência ultrassônica tende a provocar um aumento na umidade final, sendo que este efeito é menor para potências mais baixas. Por outro lado, para baixos teores de sólidos solúveis a potência ultrassônica tende a ser menos influente no processo de desidratação (Figura 5.2a). Comportamento similar foi observado em outras frutas, como melão (FERNANDES, *et al.*, 2008), abacaxi (FERNANDES *et al.*, 2009), goiaba (KEK *et al.*, 2013) e kiwi (NOWACKA *et al.*, 2014). Já, com base nos dados obtidos para a agitação mecânica (Figura 5.2b), observa-se que a agitação influencia no processo de desidratação tanto com altos teores de sólidos solúveis quanto em baixos, sobre a umidade final na desidratação osmótica da mangaba.

Em termos de tendência poderia se esperar que elevados teores de sólidos solúveis e baixa potência facilitariam uma maior desidratação, porém tal fato não foi observado no presente trabalho. Este comportamento pode ser explicado pela alta viscosidade da solução

osmótica com teores de °Brix elevado, o que diminui a difusividade da água e a agitação/potência ultrassônica tendem a ser dificultadas.

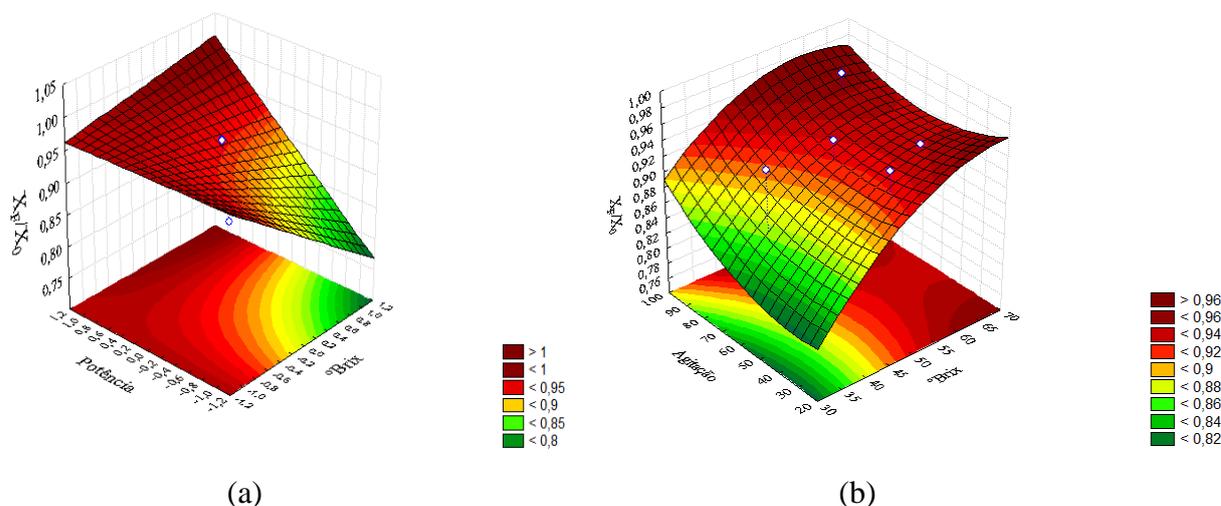


Figura 5.2: Efeito das variáveis de operação sobre a umidade final. Variável: X_f/X_o : (a) Potência Ultrassônica – $R^2 = 0,88$ (b) Agitação Mecânica – $R^2 = 0,89$

5.2.2 Modelagem da Cinética da Desidratação Osmótica

Para verificar a aplicabilidade do Modelo de Peleg na desidratação osmótica da mangaba foi realizado o ajuste dos experimentos cujas condições são mostradas nas Tabelas 5.6 e 5.7, assim como, os valores dos parâmetros obtidos. Como se observa na Tabela 5.6 para alguns experimentos utilizando agitação mecânica (rpm) o modelo não se mostrou adequado para representar a cinética. Nos experimentos realizados a 60 °Brix/80 rpm e 50 °Brix/32 rpm, o parâmetro K_1 se mostrou negativo, não apresentando significado físico, enquanto para 64 °Brix/60 rpm e 40 °Brix/80 rpm o coeficiente de correlação foi inferior a 0,8 e seus parâmetros apresentaram erros consideráveis. Nos outros casos analisados o coeficiente de correlação foi superior a 0,97 denotando um bom ajuste. CASTRO *et al.* (2014) obteve ajustes semelhantes para goiabas submetidas a desidratação osmótica, no qual obteve coeficiente de correlação entre 0,91 e 0,99, considerado por ele dentro dos limites de confiabilidade. Na Tabela 5.7 observa-se que nos experimentos realizados com potência ultrassônica apenas um deles apresentou coeficiente de correlação abaixo de 0,9 (50 °Brix/30W), enquanto que o experimento 40°Brix/40W apresentou K_1 negativo não permitindo o cálculo do X_{eq} . O ajuste no experimento realizado com elevado teor de sólidos, solução com 60 °Brix e baixa potência do ultrassom (20 W), foi satisfatório, com R^2 igual a 0,98 e corresponde ao menor valor estimado da umidade final, no equilíbrio de 16,38%. Entretanto, este comportamento não se

confirma no caso de potência de ultrassom mais elevada, solução de 60 °Brix com 40 W, onde o X_{eq} é de 81,55%. Entretanto e conforme o esperado, uma maior potência fornece uma cinética mais rápida ($< K_2$). O complexo efeito do ultrassom sobre as modificações estruturais, incluindo colapso e ruptura da parede celular, pode ser responsável por este tipo de comportamento.

Tabela 5.6: Resultados da modelagem da cinética da desidratação osmótica com agitação mecânica mediante a aplicação do Modelo de Peleg.

°Brix	RPM	K_1 (min ⁻¹)	K_2	X_{eq}	R^2
60	80	-0,778 ± 0,203	727,7 ± 96,8	-	0,983
60	40	0,192 ± 0,019	24,8 ± 5,7	78,42	0,970
40	40	0,036 ± 0,002	8,2 ± 5,7	67,56	0,997
40	80	0,082 ± 0,023	6,1 ± 5,5	72,87	0,795
50	60	0,092 ± 0,012	18,6 ± 4,0	78,07	0,967
50	60	0,049 ± 0,011	31,5 ± 4,2	64,12	0,985
50	60	0,088 ± 0,010	19,28 ± 3,21	78,18	0,971
50	32	-0,013 ± 0,084	101,08 ± 367,32	-	0,713
50	88	0,018 ± 0,114	134,44 ± 48,66	27,63	0,886
36	60	0,174 ± 0,084	62,15 ± 30,7	78,18	0,821
64	60	0,106 ± 0,194	194,08 ± 336,71	71,84	0,734

Tabela 5.7: Resultados da modelagem da cinética da desidratação osmótica com potência ultrassônica mediante a aplicação do Modelo de Peleg.

°Brix	Pot. (W)	K_1 (min ⁻¹)	K_2	X_{eq}	R^2
60	40	0,323 ± 0,07	85,7 ± 25,7	81,55	0,943
40	40	0,357 ± 0,17	128 ± 45,0	81,37	0,957
60	20	0,014 ± 0,008	21,48 ± 3,6	16,38	0,982
40	20	-0,09 ± 0,087	139,4 ± 39,8	-	0,931
50	30	0,045 ± 0,273	212,5 ± 117,2	60,28	0,836
50	30	0,211 ± 0,018	9,76 ± 4,76	75,50	0,974
50	30	0,195 ± 0,028	51,08 ± 9,73	80,77	0,971

A Figura 5.3 mostra que o modelo de Peleg representa bem as curvas cinéticas experimentais. Os valores encontrados de X_{eq} variaram entre 16,38% e 81,55% indicando que a solução de sacarose tem um bom potencial como meio desidratante da mangaba. As menores umidades de equilíbrio ocorreram dentro do esperado, já que as maiores perdas de umidade ocorrem com soluções com o teor de sólidos solúveis maiores.

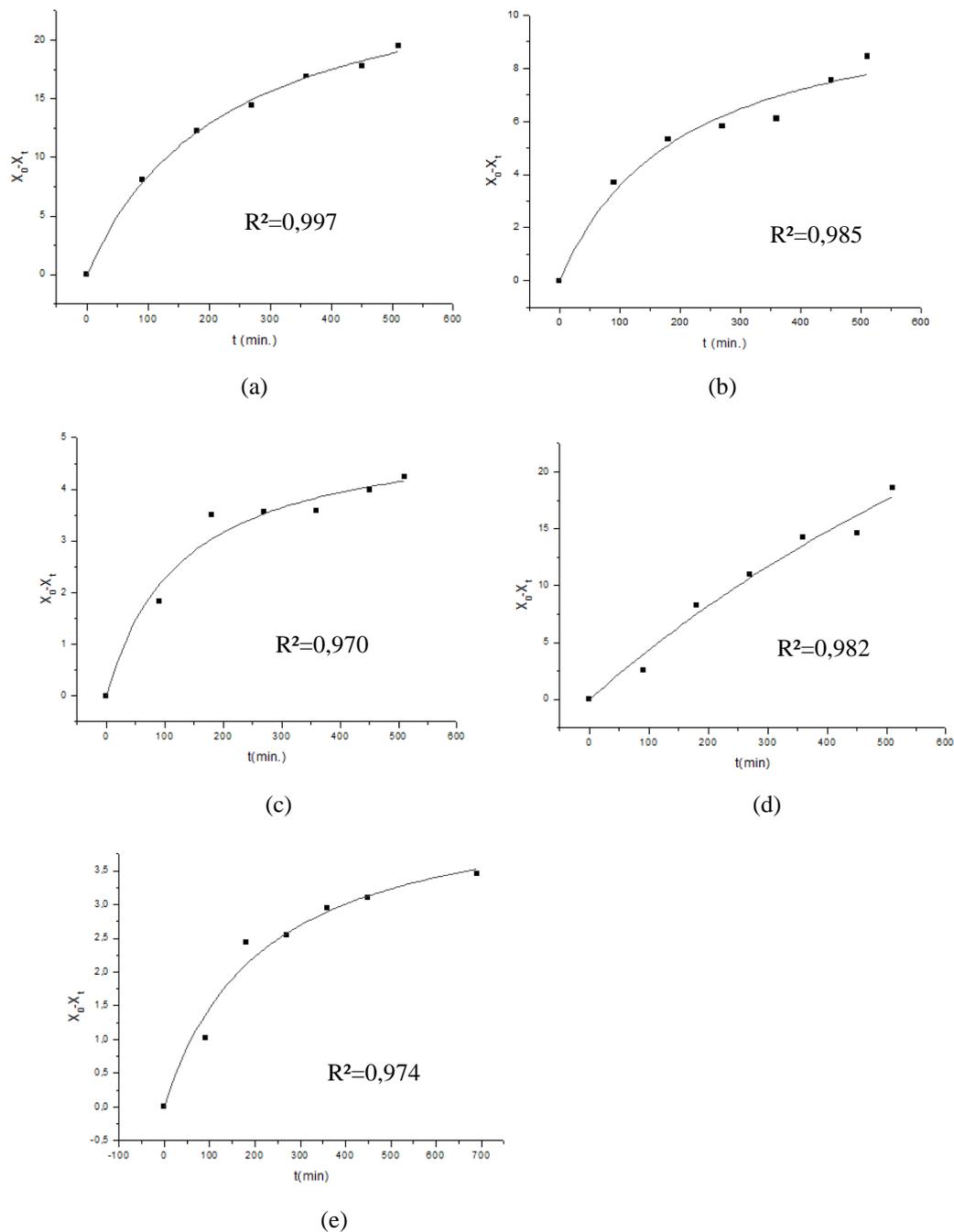


Figura 5.3: Cinética da desidração de manga. (a) 40 °Brix/40 rpm.; (b) 50 °Brix/60 rpm.; (c) 60 °Brix/40 rpm.; (d) 60 °Brix/20 W; (e) 50 °Brix/30 W. T = 30°C. — Modelo de Peleg

5.3 Secagem Convectiva

Com base nos resultados alcançados na desidração osmótica foi realizada a secagem convectiva em secador de bandeja com circulação forçada de ar (Desidratador Pardal®), a uma temperatura fixa de 60°C, nos seguintes pré-tratamentos: 64°Brix/60rpm, 60°Brix/20W. E, como forma de comparação também foi realizada a secagem convectiva para o pré-

tratamento 50°Brix/0 (sem agitação) e nas frutas *in natura* nos estágios de maturação “de vez” e “madura”, sem nenhum tipo de pré-tratamento.

Nas Figuras 5.4 (a) e (b) são apresentadas as curvas experimentais da secagem da mangaba nas condições especificadas anteriormente, onde é possível observar a perda de umidade mais rápida no início do processo de secagem e, tendência à estabilização da umidade após os 1300 minutos de processo, sendo esse tempo maior para as frutas *in natura* chegando a atingir os 2000 minutos. Este comportamento revela que a mangaba apresenta diferenças em relação a outras frutas tropicais por requerer um tempo de secagem bastante maior, conforme foi observado por outros autores na desidratação de frutas tropicais, como NUNES *et al.* (2014), MACHADO *et al.* (2011) em secagem de jabuticaba utilizando secador de bandeja a 50, 60 e 70°C e, caju desidratado em secador de bandeja a 70°C, com tempos de secagem em torno de 530 e 400 minutos, respectivamente. Levando em consideração que as frutas desidratadas pelos autores citados foram fatiadas e suas espessuras reduzidas, fato esse que não aconteceu no presente trabalho, nas quais as frutas foram utilizadas em sua forma natural.

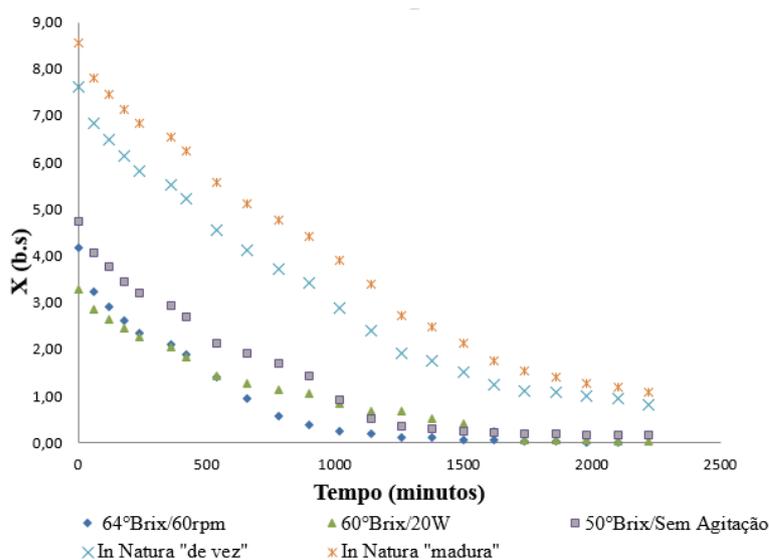


Figura 5.4: Curvas de secagem da mangaba a 60°C: umidade em base seca em função do tempo.

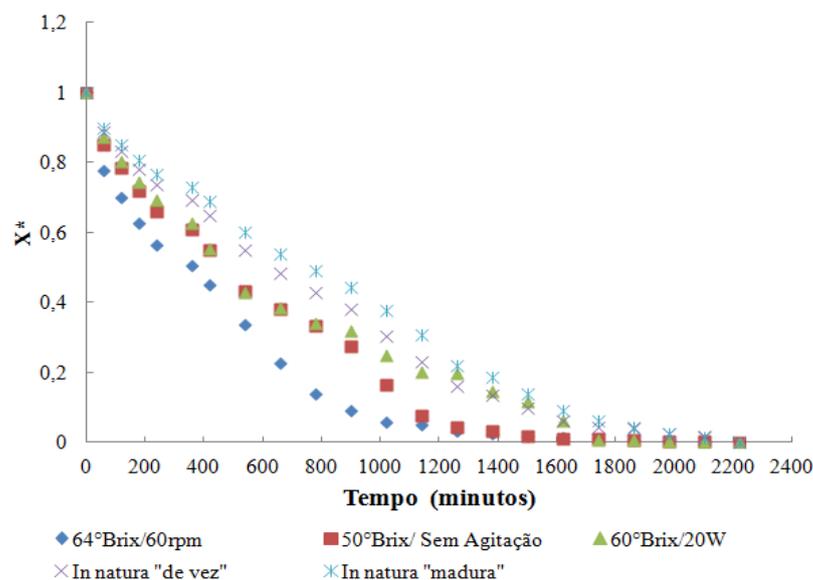


Figura 5.5: Curvas de secagem da mangaba a 60°C: razão da umidade em função do tempo

Os valores médios de umidade finais dos frutos desidratados submetidos ao pré-tratamento oscilaram entre 0,77% e 3,02 % (b.u), enquanto as frutas sem pré-tratamento osmótico obtiveram resultados entre 45,1% e 51,8% (b.u). As frutas sem pré-tratamento se mostraram com umidades relativamente altas, considerando que é um fruto tropical altamente perecível, após 37 horas de secagem, o que demonstra que a desidratação osmótica reduz o tempo de secagem.

5.3.1 Modelagem da Cinética da Secagem Convectiva

Como se observa na Figura 5.4 (b) a secagem convectiva ocorre no período de taxa decrescente. Desse modo foi proposto a aplicação do Modelo de Fick (Equação 3.4) utilizando cinco termos para a descrição da cinética. O valor do X_{eq} foi obtido através das curvas experimentais na região estável.

Os resultados da modelagem são apresentados na Tabela 5.8. De acordo com a qual o coeficiente de correlação do ajuste foi adequado, com valores maiores que 0,9 em todos os casos analisados. O coeficiente de difusão se mostrou maior para os pré-tratamentos osmóticos 64°Brix/60rpm e 60°Brix/20W, ou seja, a difusão foi mais rápida nos pré-tratamento com maiores teores de sólidos solúveis quando combinado a um método de agitação, variando de $1,59 \times 10^{-9}$ a $5,15 \times 10^{-10}$ m²/s, respectivamente. Esses resultados eram esperados já que quanto maior o coeficiente de difusão maior a taxa de secagem. Logo, pode-se dizer que o uso dos pré-tratamentos se mostrou eficiente e viável no processo convectivo. Porém, a difusividade foi relativamente baixa o que pode ser confirmado com o longo tempo

de secagem. O modelo foi capaz de representar os dados experimentais, sendo melhor representado para os tratamentos 64°Brix/60rpm e 60°Brix/20W, para os quais os coeficientes de regressão foram de 0,97 e 0,96, como pode ser visto na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Valores da difusividade para os diferentes pré-tratamentos osmóticos utilizados como pré-tratamento da mangaba.

Pré-tratamentos Osmóticos	Coefficiente de Difusão (D)	R²	X_{eq}
64°Brix/60rpm	1,59 x 10 ⁻⁹ m ² /s	0,969	0,770
50°Brix/Sem agitação	4,27 x 10 ⁻¹⁰ m ² /s	0,952	13,690
60°Brix/20W	5,15 x 10 ⁻¹⁰ m ² /s	0,965	3,026
In natura “de vez”	3,52 x 10 ⁻¹⁰ m ² /s	0,945	45,121
In natura “madura”	2,19 x 10 ⁻¹⁰ m ² /s	0,928	51,864

De acordo com AZOUBEL e MURR (2004), é difícil realizar uma comparação entre os valores de difusividade relatados na literatura devido aos diferentes métodos de estimação e modelos empregados e, também, por causa da variação na composição dos alimentos e à sua estrutura física. Porém, um comportamento semelhante ao encontrado no processo de desidratação da mangaba foi observado por AYALA-APONTE *et al.* (2014) em pitayas amarelas utilizando agitação mecânica a 27°C, com solução osmótica de 55% por 45 minutos e posteriormente secas em secador convectivo a 50, 60 e 70°C, sendo secas também amostras sem tratamento para efeito de comparação, o mesmo obteve a 60°C coeficientes de difusão de 2,847 x 10⁻¹⁰ e 2,282 x 10⁻¹⁰ m²/s, para as frutas submetidas ao pré-tratamento osmótico e sem pré-tratamento, respectivamente.

5.4 Caracterização Físico-Química da Mangaba

5.4.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens microscópicas da fruta liofilizadas *in natura* e submetida aos diferentes pré-tratamentos osmóticos (Figura 5.5) revelaram que a amostra submetida à potência ultrassônica apresentou maior uniformidade estrutural tamanhos de poros mais regulares e menores quando comparadas as amostras *in natura*, com e sem agitação mecânica. Logo o processo osmótico com ultrassom possibilitou a formação de microcanais que auxiliarão na difusividade da água. Enquanto que o processo osmótico com e sem agitação provocou a

ruptura da microestrutura, como foi observado na literatura em melões e jambo, por FERNANDES *et al.* (2008) e OLIVEIRA *et al.*(2011), respectivamente.

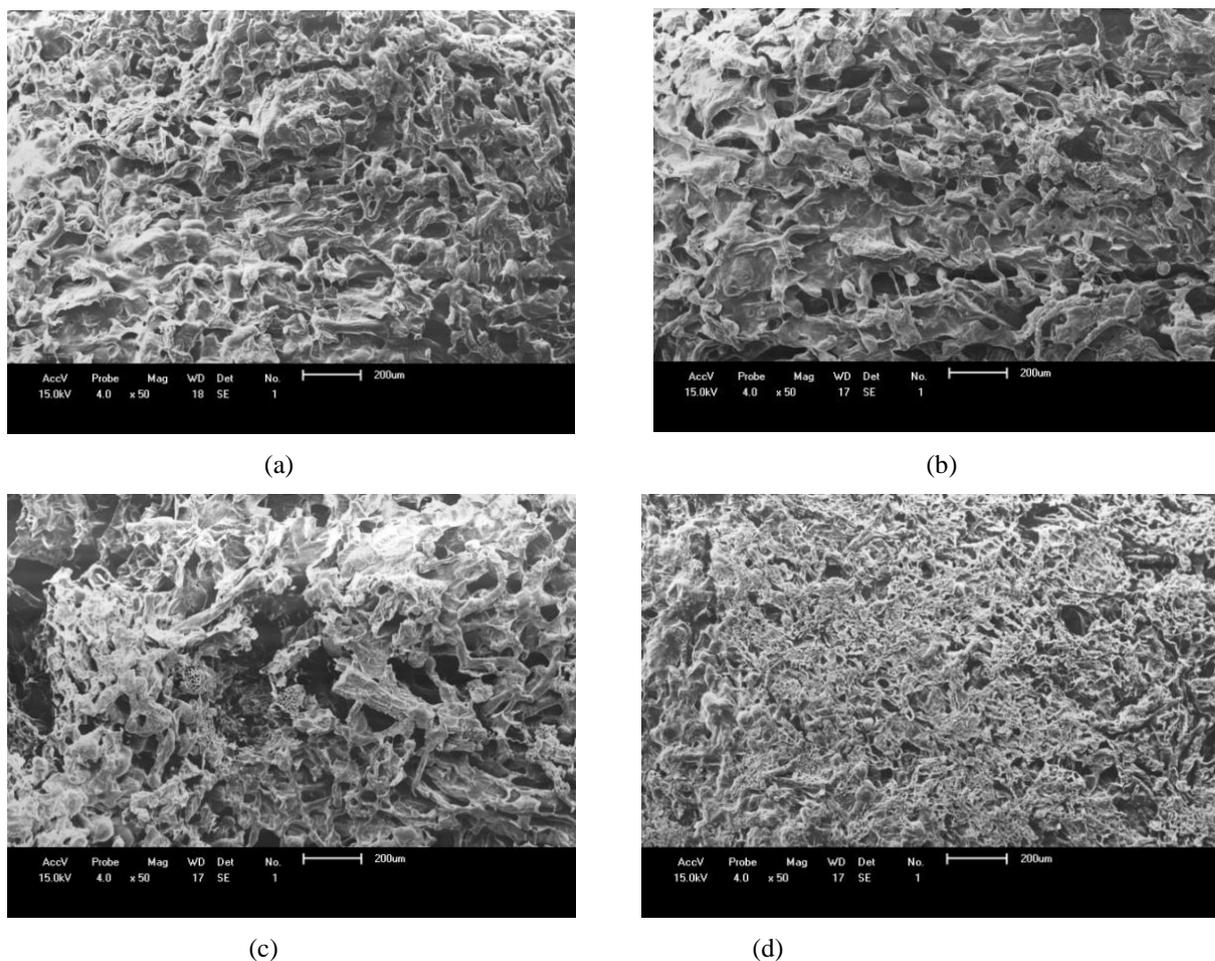


Figura 5.6: Imagens de microscopia eletrônica de amostras de mangaba. (a) In natura; (b) 50° Brix/ sem agitação; (c) 64°Brix/60rpm; (d) 60°Brix/20W. Ampliação de 50x.

As imagens microscópicas da casca da mangaba (Figura 5.6) demonstram que as amostras submetidas à desidratação osmótica com e sem agitação mecânica apresentaram mudança na estrutura celular da casca, sendo possível visualizar pequenos grumos que podem ser devido ao amido precipitado ou cristais de sacarose. Entretanto, nas amostras submetidas a uma concentração de solução osmótica maior (64°Brix) e agitação mecânica (60 rpm) não é possível verificar a configuração da estrutura celular, sendo visto uma estrutura lisa com pequenas estrias e impregnada de pequenos grumos. Nas amostras submetidas à potência ultrassônica ocorrem mudanças na estrutura celular, porém a uniformidade não é tão visível quanto às visualizadas na polpa da fruta. Esse comportamento na casca da mangaba pode ser devido ao látex produzido pela mangabeira e, que acoberta os frutos quando colhidos, sendo considerado um agente selante e de proteção contra a ação microbiana para o fruto, composto

por proteínas, carboidratos, óleo, metabólitos secundários e borracha (SANTOS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2010; MARINHO *et al.*, 2011). Desse modo, como o processo de desidratação foi realizado com os frutos inteiros, o látex pode ter dificultado a transferência de massa do fruto para o meio e, conseqüentemente a desidratação, fato esse, que pode explicar os longos tempos de secagem da mangaba.

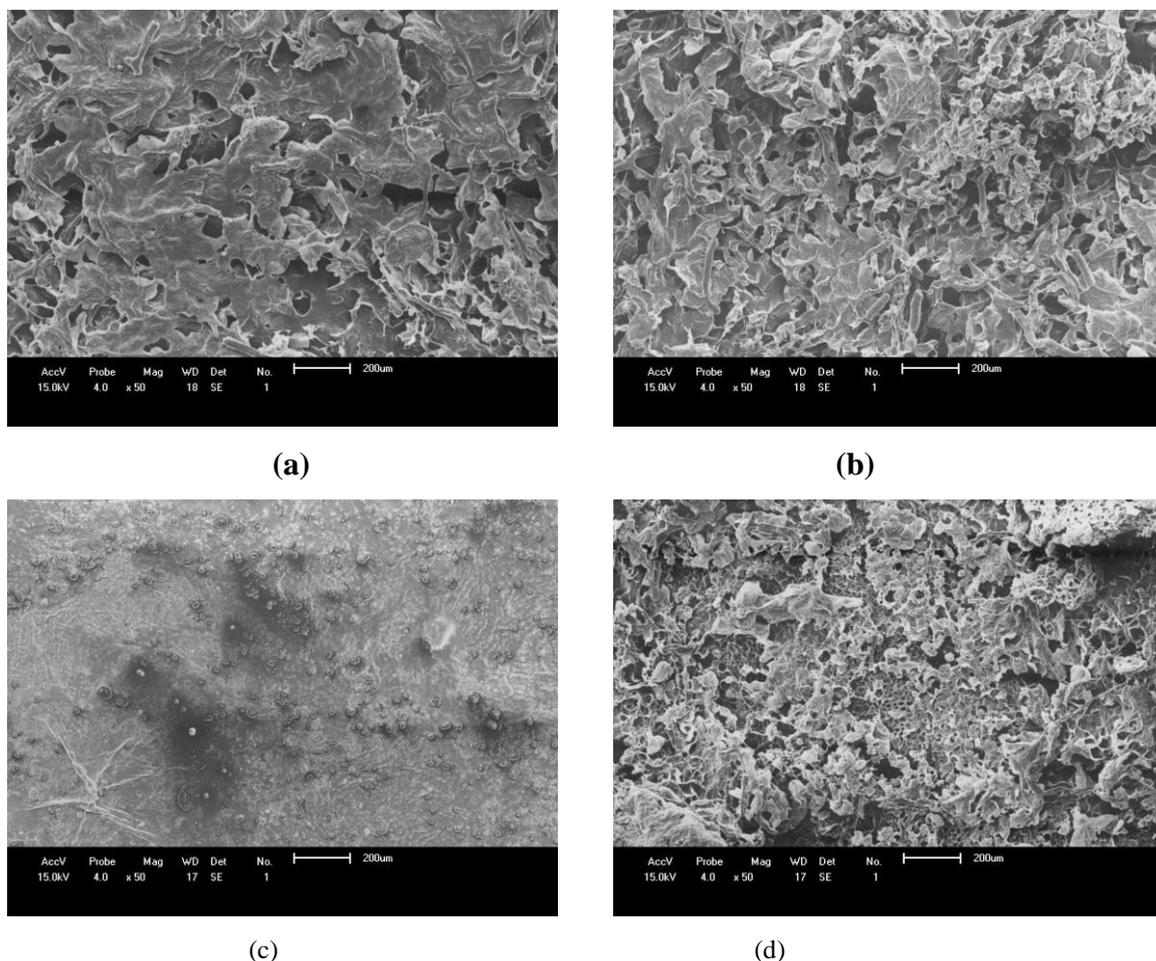


Figura 5.7: Imagens de microscopia eletrônica de amostras da casca da mangaba. (a) In natura; (b) 50 °Brix/ sem agitação; (c) 64 °Brix/60 rpm; (d) 60 °Brix/20 W. Ampliação de 50x.

5.4.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

Os termogramas das mangabas *in natura* e submetidas a diferentes pré-tratamentos osmóticos apresentam comportamento semelhante, mostrando uma primeira perda de massa acentuada em torno de 70%, correspondente à evaporação da água absorvida e da água de cristalização até uma temperatura de 100 °C, indicada na Figura 5.7 como fase I, conforme observado em amoras pretas encapsuladas por ROSA, *et al.* (2014). A segunda fase ocorre entre 200°C e 400°C, foi observado uma degradação das amostras, que demonstra que nessa

faixa de temperatura ocorre à degradação térmica dos frutos da mangaba submetidos ou não a diferentes pré-tratamentos osmóticos (15%). A essa faixa de temperatura são degradados compostos celulósicos presentes na casca, sementes e possivelmente do látex do fruto. Esse comportamento degradativo de compostos celulósicos pode ser observado em cascas de jaca, como foi constatado por SOETARDJI *et al.*(2014). Acima de 400°C, a decomposição térmica durante o aquecimento das amostras é lenta. A 600 °C pode-se observar que toda a amostra já foi degradada ocorrendo apenas a presença de resíduos (cinzas) da amostra com massa média de 1,1% (amostras submetidas a DO com agitação e com ultrassom) a 0% (DO sem agitação e *in natura*).

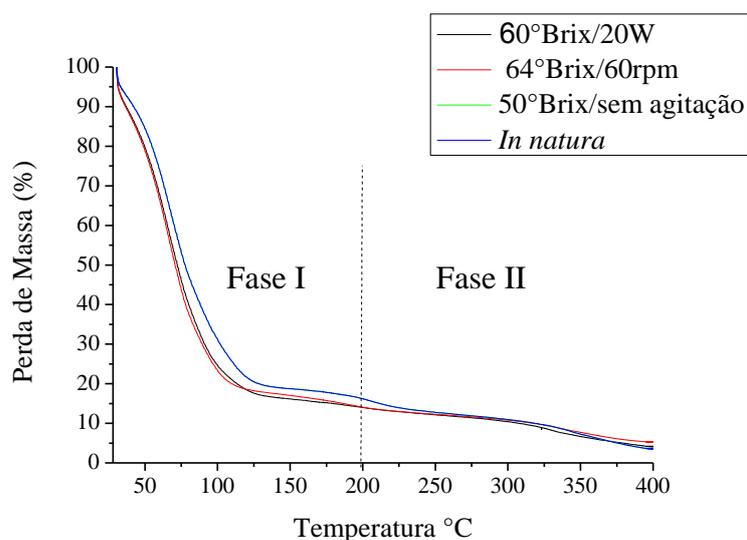


Figura 5.8: Representação gráfica da perda de massa (%) em função da temperatura.

5.4.3 Vitamina C

As mangabas *in natura* apresentaram teores de vitamina C significativos quando comparados a outras frutas como a manga $0,2088 \pm 0,89$ mg de ácido ascórbico/g de fruta (SILVA *et al.*, 2012), ciriguela $0,296 \pm 0,9$ mg de ácido ascórbico/g de fruta e a pinha $0,296 \pm 0,9$ mg de ácido ascórbico/g de fruta (ALMEIDA *et al.*, 2011), com valores médios de $0,23 \pm 0,006$ e $0,25 \pm 0,003$ mg de ácido ascórbico/g de fruta fresca para os estádios de maturação “de vez” e madura, respectivamente. Valores semelhantes foram encontrados por SILVA *et al.* (2009), os quais apresentaram resultados médios de $0,18 \pm 0,01$ e $0,261 \pm 0,02$ mg AA/g de fruta e CARNELOSSI *et al.* (2004) com aproximadamente $0,257 \pm 7,5$ e $0,274 \pm 8,0$ mg AA/g de fruta fresca, para a frutas *in natura* com grau de maturação “de vez” e madura, respectivamente. RUFINO *et al.* (2010) encontraram valores da ordem de $0,190 \pm 1,91$ mg AA/g de fruta fresca. Entretanto, outros autores estimaram valores maiores, como por

exemplo, ALMEIDA *et al.* (2011) com $0,963 \pm 1,7$ mg AA/g de fruta. Essa variação no teor de ácido ascórbico em frutas e hortaliças pode ser geralmente atribuída a fatores ambientais, como condições do solo, regime pluvial e, grau de maturação, além de outros fatores pré e pós-colheita.

Os conteúdos de vitamina C nos frutos frescos *in natura* “de vez” e maduro e os que sofreram pré-tratamento osmótico e posteriormente secos são apresentados na Tabela 5.9. A análise estatística, através do Teste de Tukey demonstra que o teor de vitamina C das amostras submetidas aos diversos pré-tratamentos e posteriormente secas não apresentaram diferenças significativas ao nível de 95% de confiança entre elas e em relação ao fruto *in natura*. Esse fato demonstra que possíveis perdas de vitamina C foram compensadas pela concentração devido a redução do teor de água. No caso das três amostras tratadas apenas osmoticamente, o teor de vitamina C é aproximadamente o dobro de todas as outras, sendo que a amostra tratada sem agitação teve diferença significativa em relação as outras duas com concentração menor de vitamina C.

Apesar de não ter ocorrido diferenças significativas entre os pré-tratamentos com agitação (64°Brix/60rpm) e uso do ultrassom (60°Brix/20W) e, a amostra sem agitação (50°Brix/sem agitação) ter apresentado teor de vitamina C menor, os valores encontrados para os pré-tratamentos e as amostras *in natura* são muito próximos, com valores entre $1,85 \pm 0,045$ e $2,82 \pm 0,039$. Porém, o esperado seria que que ocorresse a redução da vitamina C durante a imersão das amostras na solução hipertônica, devido a solubilidade da vitamina C. No entanto, o elevado teor de sólidos solúveis (°Brix) da solução, bem como outros fenômenos associados, tais como a transferência de outros solutos e a incorporação de sólidos solúveis na fruta, considerados fenômenos de difícil complexidade podem ter influenciado, fazendo com que os teores de vitamina C não apresentasse uma variabilidade com a fruta *in natura*, assim como também, temos que considerar a variabilidade inicial de cada fruta.

Para fins de análise das perdas de vitamina C comparando os diversos pré-tratamentos o teor de ácido ascórbico foi calculado na base seca, sendo o valor médio para as frutas *in natura* “de vez” e madura $1,85 \pm 0,045$ e $2,82 \pm 0,039$ mg de ácido ascórbico/g de fruta (b.s.), respectivamente. Independente do pré-tratamento as amostras secas não apresentaram diferenças significativas entre si, com valor médio de $0,24 \pm 0,032$ mg de ácido ascórbico/g de fruta (b.s.).

Os frutos submetidos à secagem convectiva apresentaram perda significativa dos teores de vitamina C quando confrontados com os dados obtidos para os pré-tratamentos e a fruta *in natura* (Tabela 5.9), Enquanto, os resultados obtidos na base seca, demonstram que a vitamina C presente na fruta sofreu efeito da temperatura de secagem, evidenciando a perda de modo

significativo em relação aos pré-tratamentos. A perda da vitamina C nas amostras submetidas a secagem convectiva já era esperada, já que a vitamina C tende a se degradar quando em temperaturas elevadas ou oxidar em contato com o oxigênio.

Tabela 5.9: Teores de Vitamina C para diferentes condições da mangaba.

Pré-tratamentos Osmóticos	X (%)	Vitamina C	
		(mg de AA/g de fruta)	(mg de AA/g de fruta b.s)
64°Brix/60rpm	82,05	0,48 ± 0,086 ^a	2,66 ± 0,475 ^a
50°Brix/Sem agitação	79,72	0,40 ± 0,003 ^a	1,99 ± 0,014 ^c
60°Brix/20W	80,90	0,50 ± 0,008 ^b	2,59 ± 0,039 ^{a,b}
<i>In natura</i> “de vez”	87,82	0,23 ± 0,006 ^{c,d}	1,85 ± 0,045 ^c
<i>In natura</i> “madura”	91,02	0,25 ± 0,003 ^{c,d}	2,82 ± 0,039 ^b
Secagem convectiva (60°C)*	13,69	0,22 ± 0,004 ^{c,d}	0,25 ± 0,004 ^d
Secagem convectiva (60°C)**	0,77	0,20 ± 0,005 ^{c,d}	0,20 ± 0,005 ^d
Secagem convectiva (60°C)***	3,02	0,26 ± 0,007 ^{c,d}	0,26 ± 0,007 ^d

Dados expressos como médias em triplicata ± desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, não diferem pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

*Pré-tratamento: 50°Brix/Sem agitação

**Pré-tratamento: 64°Brix/60rpm

***Pré-tratamento: 60°Brix/20W

6. CONCLUSÃO

- O uso do pré-tratamento osmótico se mostrou eficiente na redução da umidade e tempo de secagem da mangaba (*Hancornia speciosa*), quando comparado com as mangabas *in natura* “de vez” e madura sem o pré-tratamento osmótico.
- O modelo de Peleg representa bem as curvas cinéticas experimentais da desidratação osmótica, com X_{eq} variando entre 16,38% e 81,55% indicando que a solução de sacarose tem um bom potencial como meio desidratante da mangaba.
- O modelo de difusão esférica baseado na Segunda Lei de Fick mostrou-se adequado para determinar a difusividade mássica durante a desidratação osmo-convectiva da mangaba, com valores de difusividade mássica variando entre $1,59 \times 10^{-9}$ a $5,15 \times 10^{-10}$ m²/s.
- A desidratação osmótica assistida ou não por ultrassom causou mudanças significativas na estrutura celular da polpa mangaba, porém não apresentou danos, mas sim uma maior flexibilidade da estrutura celular e a presença de canais microscópicos, responsáveis pela melhor difusividade da água do interior da célula para a superfície da fruta. Na casca, a estrutura mostrou alterações mais significativas que a polpa da fruta.
- As mangabas *in natura* apresentaram teores de vitamina C significativos quando comparado a outras frutas tropicais como a manga, ciriguela e a pinha. As amostras que sofreram pré-tratamento não tiveram perdas consideráveis em relação as frutas *in natura*, enquanto as amostras submetidas a secagem convectiva apresentaram perdas durante o processo.
- Os termogramas das mangabas *in natura* e submetidas a diferentes pré-tratamentos osmóticos apresentam comportamento semelhante, com perda de água até 200°C e, entre 200°C e 450°C com degradação térmica devido à presença de compostos celulósicos presentes na casca, sementes e látex do fruto. Acima de 500°C, a decomposição térmica das amostras é lenta com perda de massa média de 1,1%.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados favoráveis obtidos nesse trabalho, seguem algumas sugestões para a continuidade e busca de novas perspectivas na área de estudo em questão:

- Estudar o efeito do pré-tratamento osmótico da mangaba associado ao uso do ultrassom em períodos pré-determinados;
- Estudar a cinética de secagem em diferentes temperaturas;
- Desenvolver um processo contínuo;
- Estudar o efeito do encolhimento da mangaba durante a secagem convectiva;
- Aplicação de modelos matemáticos a cinética de secagem;
- Construção da isoterma de dessorção;
- Estudo da vida de prateleira do produto desidratado;
- Análise microbiológica do produto antes e após a desidratação;
- Análise sensorial do produto desidratado;
- Avaliar a atividade e os compostos antioxidantes presentes na mangaba

Capítulo 8

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- AGUIAR FILHO, S.P.; BOSCO, J.; ARAÚJO, I.A. A mangabeira (*Hancornia speciosa*): domesticação e técnicas de cultivo, *João Pessoa: Emepa-PB*, 26p., 1998.
- AGUILERA, J., M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration and product structure, *Trends in Food Science and Technology*, 14, p. 432-437, 2003.
- ALLALI, H.; MARCHAL, L.; VOROBIEV, E. Blanching of strawberries by ohmic heating: effects on the kinetics of mass transfer during osmotic dehydration, *Food and Bioprocess Technology*, 3, n. 3, p. 406 – 414, 2010.
- ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.; ARRIAGA, A. M. C.; PRADO, G. M.; MAGALHÃES, C. E. C.; MAIA, G. A. M.; LEMOS, T. L. G. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, p. 2155 – 2159, 2011.
- ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MOURA, C. F. H. Caracterização de frutas nativas da América Latina. *Jaboticabal: Funep, Série frutas nativas*, 9, 66 p., 2000.
- ANDEF. Tabela de composição de alimentos. 2 ed. São Paulo, 1981.
- ARAÚJO, I. A.; FERREIRA, E. G.; SOARES, K. T.; FONTINÉLLI, I. S. C. Mangabeira: Características Físicas de Frutos da Mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) Cultivada na Zona da Mata Paraibana, *Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Mangabeira/index.htm>*. Acesso em: 16 de Setembro de 2013.
- AYALA-APONTE, A.; SERNA-COCK, L.; LIBREROS-TRIANA, J.; PRIETO, C.; DI SCALA, K. Influence of osmotic pre-treatment on convective drying of yellow pitahaya. *DYNA*, 81, p. 145 – 151, 2014.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, 61, 291 – 295, 2004.
- AZOUBEL, P.M.; BAIMA, M.A.M.; AMORIM, M.R.; OLIVEIRA, S.S.B. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics, *Journal of Food Engineering*, 97, n. 2, p. 194 – 198, 2010.
- BAKER, C. Industrial drying of foods. *London: Chapman & Hall*, 309p, 1997.

- BELLARY A. N, SOWBHAGYA H. B, RASTOGI N. K. Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices, *Journal of Food Engineering*, 105, p. 453 – 459, 2011.
- BHASKARACHARYA, R. K.; KENTISH, S.; ASHOKKUMAR, M. Selected applications of ultrasonic in food processing, *Food Engineering Reviews*, 1, n. 1, p. 31 – 49, 2009.
- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C.; JACKSON, R.; NG, K. C. Effect of osmosis agents and concentration on fruit quality, *Journal of Food Science*, 48, p. 202 – 205, 1983.
- CALDAS L. S.; MACHADO L. L.; CALDAS S. C.; CAMPOS M. L.; CALDAS J. A.; PHARIS R. P.; PEREIRA-NETTO A. B. Grow-active gibberellins overcome the very slow shoot growth of *Hancornia speciosa*, an important fruit tree from the Brazilian “cerrado”, *Trees-Structure and Function*, 23, p.1229 – 1235, 2009.
- CAMPOS, C. D. M.; SATO, A. C. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R. L. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit slices, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32, n. 2, p. 357 – 365, 2012.
- CAMPOS, R. P.; KNOCH, B.; HIANE, P. A.; RAMOS, M. I. L.; FILHO, M. M. R. 1-MCP em mangabas armazenadas em temperatura ambiente e a 11°C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Volume Especial, E. p. 206 – 212, 2011.
- CÁRCEL, J. A.; GARCÍA-PÉREZ, J.V.; BENEDITO, J.; MULET, A. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound, *Journal of Food Engineering*, 110, n. 2, p. 200 – 207, 2012.
- CARNELOSSI M. A. G.; DE SENA H. C.; NARAIN N.; YAGUIU P.; SILVA G. F. Physico-chemical quality changes in mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) fruit stored at different temperatures, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52, p. 985 – 990, 2009.
- CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; JÚNIOR, A. F. S.; AIRES, E. F.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P. Influência da temperatura no processo de desidratação osmótica de pedaços de goiaba. *Revista GEINTEC*, 4, p. 1413 -1423, 2014.
- CHAUHAN, O.P.; SINGH, A.; SINGH, A. RAJU, P.S. BAWA, A.S. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. *International Journal of Food Propertie*, 14, n. 5, p. 1035 – 1048, 2011.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças fisiologia e manuseio. *Lavras, ESAL/FAEPE*, p. 220, 1990.

- CONTRERAS, J. M.; SMYRL, T. G. N. A evaluation osmotic of Apple rings corn syrup solids solutions, *Journal Food Science Technology*, 14, p. 301 – 314, 1981.
- COOK, E. M.; DUMONT, H. D. Process drying practice. *New York: Mc Graw-Hill*, 256p., 1991.
- CORRÊA, J.L.G.; DEV. S.R.S.; GARIEPY, Y.; RAGHAVAN, G.S.V. Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment, *Drying Technology*, 29, n. 13, p. 1556 – 1561, 2011.
- CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2 Ed. *Oxford: Clarendon*, 1975.
- CROSBY, L. Juices pasteurized ultrasonically, *Food Production/Management*, 1982.
- DELGADO, A. E.; ZHENG, L.; SUN, D. W. Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. *Food and Bioprocess Technology*, 2, n. 3, p. 262 – 270, 2010.
- DEMÇZUK JÚNIOR, B.; FACHIN, D. T.; RIBANI, R. H.; FREITAS, R. J. S. Degradação da cor e do ácido ascórbico na desidratação osmótica de kiwi, *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*, 26, p.229 – 238, 2008.
- DEVIC, E.; GUYOT, S.; DAUDIM, J. D.; BONAZZI, C. Kinetics of polyphenol losses during soaking and drying of cider apples, *Food and Bioprocess Technology*, 3, n. 6, p. 867 – 877, 2010.
- DUARTE M. E. M.; UGULINO, S. M. P.; MATA, M. E. R. M. C.; GOUVEIA, D. S.; QUEIROZ, A. J. M. Desidratação osmótica de fatias de jaca. *Revista Ciência Agrônômica*, 43, n. 3, p. 478 – 483, 2012.
- EMBRAPA. Pesquisas com catadoras de mangaba são reconhecidas como tecnologia social pelo BB. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2011/outubro/2a-semana/pesquisas-com-cadoras-de-mangaba-sao-reconhecidas-como-tecnologia-social-pelo-bb>>. Acesso em: 13 de Fevereiro de 2014, 2011.
- ERTEKIN, F. K.; ÇAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20, n. 2, p. 87 – 104, 1996.
- FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic dehydration of tropical fruits and vegetables, *Food Reviews International*, 23, n. 4, p. 373 – 405, 2007.
- FALCONE, M. A.; SUAZO, V. A. T. Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananas comosus* L.) Parte I. *Boletim SBCTA*, 22, p. 17 – 35, 1988.

- FAVETTO, G.; CHIRIFE, J.; BARTHOLOMAI, G. B., A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solutions. I. Equilibrium considerations and diffusional analysis of solute uptake. *Journal Food Technology*, 16, p. 609 – 619, 1981.
- FERNANDES F.; GALLÃO, M.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration, *Journal of Food Engineering*, 90, n. 2, p. 186 – 190, 2009.
- FERNANDES F.; GALLÃO, M.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration, *LWT – Food Science and Technology*, 41, n. 4, p. 604 – 610, 2008.
- FERRANDO, M.; SPIESS, W. E. L. Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose and trehalose solutions. *Journal of Food Engineering*, 49, n. 2 – 3, p. 115 – 127, 2001.
- FERREIRA, E. G. Produção de frutos da mangabeira para consumo *in natura* e industrialização. *Tecnol. & Ciên. Agropec.*, 1, n.1, p. 9 – 14, 2007.
- FIGUEIREDO, R. Princípios de Secagem de Produtos Biológicos. *João Pessoa: UFPB*, p. 229, 2004.
- FLUENTE-BLANCO, S.; SARABIA, E. R. F.; ACOSTA-APARICIO, V. M.; BLANCO-BLANCO, A.; GALLEGU-JUAREZ, J. A. Food drying process by Power ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry*, 44, p. 523 – 527, 2006.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. Princípios das Operações Unitárias, 2ª ed. *Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois*, 1982.
- GANGA, R.; FERREIRA, G. A.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V.; NASCIMENTO, J. L. Caracterização de frutos e árvores de populações naturais de *Hancornia speciosa* Gomes do cerrado, *Revista Brasileira Fruticultura*, 32, n.1, p. 101 – 113, 2010.
- GARCIA-NOGUERA, J.; OLIVEIRA, F. I. P.; GALLÃO, M. I.; WELLER, C. L.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasound frequency, *Drying Technology*, 28, n. 2, p. 294 – 303, 2010.
- GEORGÉ, S.; BRAT, P.; ALTER, P.; AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, n. 5, p. 1370–1373, 2005.

- GOWEN, A.; ABU-GHANNAM, N.; FRIAS, J. E OLIVEIRA, J. Influence of preblanching on the water absorption kinetics of soybeans, *Journal of Food Engineering*, 78, p. 965 – 971, 2007.
- GUNASEKARAN, S.; AY, C. Evaluating milk coagulation with ultrasonics. *Disponível em: <http://144.92.76.98/Guna/evaluatingmilk94.>>. Acessado em: 14 de Março de 2014, 1993.*
- HENG, W.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the quality, *Sciences des Aliments*, 10, p. 831 – 848, 1990.
- HERMAN-LARA, E.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; PACHECO-ÂNGULO, H.; CARMONA-GARCÍA, R.; RUIZ-ESPINOSA, R. & RUIZ-LÓPEZ, I.I. Mass transfer modeling of equilibrium and dynamic periods during osmotic dehydration of radish in NaCl solutions, *Food and Bioproducts Processing*, 91, p. 216 – 224, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário: banco de dados. *Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2014.*
- IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. *Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/>>. Acesso em: 25 de Outubro de 2014.*
- INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para a análise de alimentos, 4. Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p. 98, 2008.
- ISLAM, M.N.; FLINK, J.N. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior, *Journal Food Technology*, 17, p.387 – 403, 1982.
- JARDERLANY SOUSA NUNES, J. S.; CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; SOUSA, F. C.; SILVA, W. P. Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9, n. 1, p. 20 – 26, 2014.
- JI-HYUN, J.; KWANG-DEON, M. Inhibition of polyphenoloxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chemistry*, 14, n. 2, p. 444 – 449, 2011.

- JOHNSON, R. G.; SULLIVAN, D. B.; SECRIST, J. L.; BROCKMANN, M. C. The effect of high temperature storage on the acceptability of intermediate moisture food, *Technology Report*, p. 72 – 76, 1972.
- KAYS, S. J. Postharvest physiology of perishable plant products. *Exon Press, Athens*, 531 p, 1997.
- KEEY, R. B. Drying: Principles and Prattice, *Oxford*. 1972.
- KEK, S.; CHIN, N.; YUSOF, Y. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioproducts Processing*, 91, p. 495 – 505, 2013.
- KOWALSKI, S. J.; SZADZIŃSKA, J. Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonicassisted osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing*, 82, p. 65 – 70, 2014.
- LEDERMAN, I. E.; SILVA JÚNIOR, J.F.; BEZERRA, J. E. F.; ESPÍNDOLA, A. C. M. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes). *Jaboticabal:Funep (Série Frutas Nativas, 2)*, 35p., 2000.
- LENART, A. Osmo-convective, drying of fruits and vegetables: technology and application, *Drying Technology*, 14, p. 391 – 413, 1996.
- LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality, *Journal Food Science*, 50, p. 1217 – 1226, 1985.
- LOPES, R. P.; SILVA, J. S.; RESENDE, R. C. Princípios básicos da psicometria. In: *Silva, J. S. Secagem e armazenamento de produtos agrícolas*. Viçosa: Aprenda fácil, n. 1, p. 39 – 62. 2000.
- MACHADO, A. V.; OLIVEIRA, E. L.; SANTOS, E. S.; OLIVEIRA, J. A.; FREITAS, L. M. Estudo cinético da secagem do pedúnculo de caju e um secador convencional, *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6, p. 44 – 51, 2011.
- MAGALHÃES, M. M. A.; CORREIA, R. T. P.; Desidratação Osmótica, *EDUFRN, Natal*, no prelo, 2010.
- MANICA, I. Frutas nativas, silvestres e exóticas 2: técnicas de produção e mercado. Feijoa, figo-da-ínida, fruta-pão, jaca, lichia, mangaba. *Porto Alegre: Cinco Continentes*, p.459-540, 2002.

- MARIANO, F. A. de C.; BOLIANI, A. C.; NASSER, M. D.; TARSITANO, M. A. A.; PAGLIARINI, M. K. Produção de Mangaba em Passa como Alternativa de Renda para Agricultura Familiar. *Informações Econômicas*, 43, n. 5, 2013.
- MARINHO, D.G.; ALVIANO, D. S.; MATHEUS, M. E.; ALVIANO, C. S.; FERNANDES, P.D. The látex from *Hancornia speciosa* Gomes possesses anti-inflammatory activity, *Journal of Ethnopharmacology*, 153, n. 2, p. 530 – 537, 2011.
- MASETTO, T. E.; SCALON, S. P. Q. Drying and Osmotic Conditioning in *Hancornia speciosa* Gomes Seeds. *Floresta e Ambiente*, 1, n.1, p. 62 – 68, 2014.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits, *Journal of Food Engineering*, 103, n. 1, p. 29 – 37, 2011.
- MEDEIROS, C. D.; CAVALCANTE, J. A.; ALSINA, O. L. Estudo da desidratação osmótica da fruta de palma (figo da índia). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 8, p.153 – 162, 2006.
- MENDES, G. R. L.; DE FREITAS, C. H.; SCAGLIONI, P. T.; SCHMIDT, C. G.; FURLONG, E. B. Condições para desidratação osmótica de laranjas e as propriedades funcionais do produto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, n.11, p.1210 – 1216, 2013.
- MENINO, I. B.; FRANCO, C. F. O.; PAULINO, F. Zoneamento Edafoclimático para a Cultura da Mangabeira. *João Pessoa: EMEPA-PB*, 28p., 2000.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 24 de 08 de Setembro de 2005. Estabelece o Manual de métodos de análises de bebidas e vinagres do MAPA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/legislação-Sislegis>>. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015.
- MORAGA, M. J.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of the re-use of the osmotic solution on the stability of osmodehydro-refrigerated grapefruit, *LWT - Food Science and Technology*, 44, p. 35 – 41, 2011.
- MOTA, R. V. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêssego submetidas à desidratação osmótica, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25, n. 1, p. 789 – 794, 2005.

- MOURA, C. F. H.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ARAÚJO, N. C. C.; ALMEIDA, A.S. Quality of fruits native to latin america for processing: mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes). *Acta Horticulturae*, 2, n. 575, p. 549 – 554, 2002.
- MULET, A.; CÁRCEL, J. A.; SANJUAN, N.; BON, J. New food drying Technologies – Use of ultrasound, *Food science and Technology International*, 9, p. 215 – 218, 2003.
- NOWACKA, M.; TYLEWICZ, U.; LAGHI, L.; DALLA ROSA, M.; WITROWA-RAJCHERT, D. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration, *Food Chemistry*, 144, p. 18 – 25, 2014.
- NUNES, J. S.; CASTRO, D. S.; MOREIRA, I. S.; SOUSA, F. C.; SILVA, W. P. Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos, *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9, p. 20 – 26, 2014.
- OLIVEIRA, A. C.; VALENTIM, I. B.; GOULART, M. O. F.; SILVA, C. A.; BECHARA, E. J. H.; TREVISAN, M. T. S. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. *Química Nova*, 32, p. 689 – 702, 2009.
- OLIVEIRA, F.I.P., GALLÃO, M. I., RODRIGUES, S., FERNANDES, F.A.N. Dehydration of malay apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre treatment, *Food and Bioprocess Technology*, 4, p. 610 – 615, 2011.
- PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53, n. 4, 1216 – 1219, 1988.
- POKHARKAR, S.M.; PRASAD, S.; DAS, H.A. Model for osmotic concentration of bananas slices. *Journal Food Science and Technology*, 34, n.3, p. 230 – 232, 1997.
- PORTE, A.; MAIA, L. H. Alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas de alimentos minimamente processados. *Disponível em: <ajs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/alimentos/article/download/.../1027>*. Acesso em: 16 de Setembro de 2013, 19, n. 1, 2001.
- QI, H.; LE MAGUER, M.; SHARMA, S. K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. *Journal of Food Processing and Engineering*, 21, p. 75 – 88, 1998.
- RAMASWAMY, H.; MARCOTTE, M. Food processing: principles and applications. *New York: CRC Press*, 420p., 2006.

- RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5, n. 8, p. 255 – 260, 1994.
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13, n. 2, p. 48 – 59, 2002.
- RODRÍGUEZ, M.M.; ARBALLO, J.R.; CAMAÑONE, L. A.; COCCONI, M.B.; PAGANO, A.M. & MASCHERONI, R.H. Osmotic dehydration of nectarines: Influence of the operating conditions and determination of the effective diffusion coefficients, *Food Bioprocess Technology*, 6, p. 2708 – 2720, 2013.
- ROSA, C. G.; BORGES, C. D.; ZAMBIAZI, R. C.; RUTZ, J. K.; DA LUZ, S. R.; KRUMREICH, F. D.; BENVENUTTI, E. V.; NUNES, M. R. Encapsulation of the phenolic compounds of the blackberry (*Rubus fruticosus*). *LWT - Food Science and Technology*, 58, p. 527 – 533, 2014.
- RUFINO, M. S. M; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S; FILHO, J. M. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-tradicional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, p. 996 – 1002, 2010.
- RUIZ-LÓPEZ, I. I.; RUIZ-ESPINOSA, H.; HERMAN-LARA, E.; ZÁRATE-CASTILLO, G. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. *Journal of Food Engineering*, 104, n.2, p. 218 – 226, 2011.
- SANTOS, A. F.; SILVA, S. M.; MENDONÇA, R. M. N.; ALVES, R. E. Conservação pós-colheita de mangaba em função da maturação, atmosfera e temperatura de armazenamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, p. 85 – 91, 2009.
- SANTOS, J. T. S; COSTA, F. S. C.; SOARES, D. S. C.; CAMPOS, A. F. P.; CARNELOSSI, M. A. G.; NUNES, T. P.; JÚNIOR, A. M. O. Avaliação de mangaba liofilizada através de parâmetros físico-químicos. *Scientia Plena*, 8, 2012.
- SANTOS, M. L.; MACHADO, A. V.; ALVES, F. M. S.; COSTA, A. P. L. M. Estudo físico-químico de maçã desidratada em secador convectivo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8, n. 1, p.30, 2013.
- SANTOS, P. O.; BARBOSA JÚNIOR, A. M.; MÉLO, D. L. F. M.; TRINDADE, R. C. Investigação da atividade antimicrobiana do látex da mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes), *Revista Brasileira de Planta Medicinal*, 9, n. 2, p. 108 – 111, 2007.

- SCHWARTZBERG, H. G.; CHAO, R. Y. Solute diffusivities in leaching processes. *Food Technology*, 36, p. 73 – 86, 1982.
- SENAC/DN. Manual de Elementos de Apoio para o Sistema APPCC, (Qualidade e Segurança Alimentar), *Projeto APPCC Mesa. ConvênioCNC/CNI/SEBRAE/ANVISA*, Rio de Janeiro, 282 p., 2001.
- SILVA JUNIOR, J. F. A Cultura da Mangaba. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26, n. 1, 2004.
- SILVA, A. M. L.; MARTINS, B. A.; DE DEUS, T. N. Avaliação do teor de ácido ascórbico em frutos do cerrado durante o amadurecimento e congelamento. *Revista Estudos Goiânia*, 36, p. 1159 – 1169, 2009.
- SILVA, T.F.; COELHO, M.R.R.; VOLLÚ, R.E.; GOURLART, F.R.V.; ALVIANO, D.S.; SELDIN, L. Bacterial community associated with the trunk latex of *Hancornia speciosa* Gomes (*Apocynaceae*) grown in the northeast of Brazil. *Antonie van Leeuwenhoek*, 99, p. 523 – 532, 2010.
- SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; GONZAGA, M. L. C.; FIGUEIREDO, E. A. T. Estudo do comportamento reológico de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.), acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) e manga (*Mangifera indica*, L.). *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 33, p. 237-248, 2012.
- SIMAL, S.; BENEDITO, J.; SÁNCHEZ, S. E.; ROSSELLÓ, C. Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 36, n. 3, p. 323 – 336, 1998.
- SMITH, P. G. Introduction to food process engineering. *New York: Kluwer Academic*, 2003.
- SOETARDJI, J. P.; WIDJAJA, C.; DJOJORAHARDJO, Y.; SOETAREDJO, F. E.; ISMADJI, S. Bio-oil from jackfruit peel waste. *Procedia Chemistry*, 9, p. 158 – 164, 2014.
- SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review, *Trends in Food Science & Technology*, 21, n. 7, p. 323 – 331, 2010.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. Drying: principles, applications and design. *Gordon and Breach Science Publishers*, 448p,1986.

- SUSLICK, K. S.; DOKTYCZ, S. J. The Effects of Ultrasound on Solids, *Advances in Sonochemistry*; MASON, T. J., Ed.; JAI Press: New York, 1, p 197 – 230, 1990
- TARLETON, E. S.; WAKEMAN, R. J. Ultrasonically assisted separation process. *Ultrasounds in Food Processing*, p. 193 – 218, 1998.
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, p. 59 – 68, 1993.
- TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49, p. 247 – 253, 2001.
- VARZAKAS, T. H.; LEACH, G. C.; ISRAILIDES, C. J.; ARAPOGLOU, D. Theoretical and experimental approaches towards the determination of solute effective diffusivities in foods. *Enzyme and Microbial Technology*, 37, p. 29 – 41, 2005.
- VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas alcoólicas – Ciência e tecnologia. *São Paulo: Blucher*, 461p, 2010.
- VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. *Sciences des Aliments*, 11, n. 1, p. 63 – 84, 1991.
- VICENTE, S.; NIETO, A.; HODARA, K. Changes in structure, rheology, and water mobility of apple tissue induced by osmotic dehydration with glucose or trehalose, *Food and Bioprocess Technology*, 5, n. 8, p. 3075 – 3089, 2012.
- VIEIRA NETO, R. D. Frutíferas potenciais para os tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas. *Aracaju: Embrapa*, p. 216, 2002.
- VIEIRA NETO, R. D.; SILVA JUNIOR, J. F. DA; LEDO, A. DA S. Mangaba. In: SANTOS-seREJO, J.A. dos; DANTAS, J.L.L.; COELHO, C.V.S.; COELHO, Y. da S. (Org.). Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas. Brasília: *Embrapa Informação Tecnológica*, 2009. p.323-338.
- VIEIRA, R. F.; AGOSTINI-COSTA, T. S.; SILVA, D. B.; SANO, S. M.; FERREIRA, F. R. **Frutas nativas da região Centro- oeste do Brasil**. Brasília: *Embrapa Informação Tecnológica*, p. 242, 2010.
- ZIELINSKI, H.; KOZLOWSKA, H. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, n. 6, p. 2008 – 2016, 2000.

