



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química



TESE DE DOUTORADO

**SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DE BANANA
NANICA (*MUSA CAVENDISHII*, L.), MAMÃO
FORMOSA (*CARICA PAPAYA*, L.) E JACA
(*ARTOCARPUS INTEGRIFÓLIA* L.).**

Odisséia Carla Pires Gaspareto

Orientador: Prof. Dr. Edson Leandro de Oliveira

Co-Orientadora: Profa. Dra. Margarida M. dos Anjos Magalhães

Natal / RN
Dezembro / 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Odisséia Carla Pires Gaspareto

Secagem Osmo-Convectiva de Banana nanica (*Musa cavendishii*, L.),
Mamão formosa (*Carica papaya*, L.) e Jaca (*Artocarpus integrifolia*
L.).

Tese defendida no Programa de Pós
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
- UFRN, em cumprimento às exigências para
obtenção do título de Doutor em Engenharia
Química

Orientadores

Profº Edson Leandro de Oliveira

Profª Margarida M. dos A. Magalhães .

Natal, RN

Dezembro de 2005

GASPARETO, Odisséia Carla Pires - Secagem Osmo-Convectiva de Banana nanica (*Musa cavendishii*, L.), Mamão formosa (*Carica papaya*, L.) e Jaca (*Artocarpus integrifolia* L.). Tese de doutorado. UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Área de Concentração Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Regional, Natal/RN, Brasil.

Orientadores: Prof^o Edson Leandro de Oliveira

Prof^a Margarida M. dos A. Magalhães

RESUMO – O Rio Grande do Norte vem se despontando na produção de frutas para o consumo “in natura” e com isso surgem os desperdícios na época de safra. Com o intuito de fazer com que o micro e pequeno empresário possam absorver esta produção excedente, de maneira fácil e com produto de boa qualidade. Este trabalho estudou-se experimentalmente a secagem osmótica e em leito da banana nanica, do mamão formosa e da jaca. Os experimentos osmóticos foram realizados em desidratador, nas concentrações de 50 e 70°Brix e temperaturas de 50 e 70°C, nos tempos de 1, 2, 3 e 4 horas. Estudou-se a influência da concentração, da temperatura e do tempo sobre os parâmetros observados de redução de peso (WR), perda de água (WL) e ganho de açúcar (SG). Após o tratamento osmótico as amostras foram submetidas a uma secagem complementar em secador de leito fixo a temperatura de 60°C e velocidade do ar de 2,0 m/s. Os resultados experimentais foram modelados e simulados pelo método de Levenberg-Marquardt de minimização da soma dos erros quadráticos, permitindo a otimização do tempo de secagem total, englobando a desidratação osmótica e a secagem em secador de leito fixo. Foi estudada também, com o objetivo de fornecer ao pequeno produtos mais uma opção de renda, a desidratação osmótica da polpa de jaca nas concentrações de 40 e 50°Brix e temperaturas de 30 (ambiente) e 50°C, nos tempos de 2, 3, 4 e 24 horas. Das sementes foi produzida farinha, que pode ser adicionada no preparo de outros alimentos. As sementes foram cozidas e secas com e sem pele em secador de leito fixo, nas mesmas condições ditas anteriormente. Todos os processos tiveram bons resultados: a banana nanica que obteve melhores resultados foi a tratada osmoticamente em solução a concentração de 70°Brix, temperatura de 50°C e tempo de 3 horas, na otimização do tempo e das condições de secagem a melhor condição foi a 70°Brix/70°C, mas por questões de facilitar o manuseio desta solução optou por definir como melhor processo a condição de 50°Brix/70°C. Com o mamão a melhor condição foi inicialmente a 70°Brix/70°C, que também esta, mas pelo mesmos motivo escolheu-se o processo de 50°Brix/70°C. Apesar das inúmeras simplificações, o modelo difusional proposto ajustou-se de forma satisfatória aos dados experimentais, possibilitando a determinação dos coeficientes de difusão efetivos, cujos os resultados mostraram-se consistentes e compatíveis com os encontrados na literatura. Na desidratação da polpa de jaca a condição que apresentou melhores resultados, foi a 50°Brix/50°C, mas a 40°Brix/50°C obteve melhor aceitabilidade na análise sensorial. A semente de jaca seca sem pele foi a que obteve melhor resultado, onde o seu tempo de secagem foi 4 horas menor que a semente seca com pele.

PALAVRAS-CHAVES: Banana, mamão, jaca, desidratação osmótica, secagem, difusão, modelagem, simulação.

BANCA EXAMINADORA: Tese defendida em 16/12/2005.

Presidente: Prof^o. Dr. Edson Leandro de Oliveira (UFRN)

Membros: Prof^a. Dra Margarida Maria dos Anjos Magalhães (UFRN)

Prof^a. Dra Maria de Fátima Dantas Medeiros (UFRN)

Prof^a Dra Ana Lúcia de Medeiros Lula da Mata (UFRN)

Prof^o. Dr Fabiano André Narciso Fernandes (UFC)

Prof^o. Dr Gabriel Francisco da Silva (UFS)

ABSTRACT - The *Rio Grande do Norte* State in Brazil is figuring as a major producer of fruits for consumption “*in natura*” and as a result part of the production is wasted during crop season. Aiming the use of the excess of production this study has focused on the osmotic dehydration of banana (nanica variety) and papaya (formosa variety) followed by air-drying as to easily produce a dehydrated fruit with good quality. Experiments were conducted in a osmotic dehydrator operating at sucrose concentration $S = 50$ and 70°Brix , temperature $T = 50$ and 70°C and dehydration period $t = 1, 2, 3$ and 4 hours. The influence of sucrose concentration, temperature and dehydration period were observed and analyzed on height reduction (WR), water loss (WL) and sugar gain (SG). After the osmotic treatment, the samples were further dried in a fixed bed air dryer operating at temperature $T = 60^{\circ}\text{C}$ and air superficial velocity $U = 2.0$ m/s. All data obtained in the experiments were used to validate a mathematical model developed to simulate the osmotic treatment. The method of Levenberg-Marquadt was used to optimize the total drying time (osmotic treatment + air-drying) through the minimization of the total drying time. The osmotic dehydration of Jack fruit pulp was also study to give small producer a new income option. Experiments on osmotic dehydration of Jackfruit pulp were conducted with the osmotic dryer operating at sucrose concentration $S = 40$ and 50°Brix , temperature $T = 30^{\circ}\text{C}$ (ambient conditions) and 50°C and dehydration period of $2, 3, 4$ and 24 hours. The Jackfruit seeds were used to produce flour that can be used as an additive in foodstuffs. The seeds with and without skin were cooked and dried afterwards in a fixed bed dryer. All studied processes presented satisfactory results. For banana variety nanica, the best result was obtained with the osmotic dehydration operating at sucrose concentration $S = 70^{\circ}\text{Brix}$, temperature $T = 50^{\circ}\text{C}$ and dehydration period $t = 3$ hours. The optimum conditions as to reduce the total drying time was obtained at a sucrose concentration $S = 70^{\circ}\text{Brix}$ and temperature $T = 70^{\circ}\text{C}$, but as to facilitate de handling of the sucrose solution the small producers can use the osmotic dehydration operating at a sucrose concentration $S = 50^{\circ}\text{Brix}$ and temperature $T = 70^{\circ}\text{C}$. For papaya variety formosa, the best result was obtained with the osmotic dehydration operating at sucrose concentration $S = 70^{\circ}\text{Brix}$ and temperature $T = 70^{\circ}\text{C}$, but since the sucrose concentration at $S = 50^{\circ}\text{Brix}$ is easier to handle, this concentration can be preferred. The developed mathematical model has satisfactory fitted the experimental data and allowed the determination of the effective diffusion coefficients of the osmotic dehydration and air-drying processes. For jackfruit, the best result was obtained with the osmotic dehydration operating at sucrose concentration $S = 50^{\circ}\text{Brix}$ and temperature $T = 50^{\circ}\text{C}$, but a sensorial analysis has demonstrated that the most accepted product was the one produced at conditions: sucrose concentration $S = 40^{\circ}\text{Brix}$ and temperature $T = 50^{\circ}\text{C}$. Jackfruit seeds without skin presented the best results and its drying time was 4 hours shorter than the time required to dry the seeds with skin.

PALAVRAS-CHAVES:

Banana, papaya, jackfruit, osmotic dehydration, drying, diffusion, modeling, simulation.

(Pai Nosso em Aramaico)

**" Pai-Mãe, respiração da Vida,
Fonte do som, Ação sem palavras, Criador do Cosmos !
Faça sua Luz brilhar dentro de nós, entre nós e fora de nós para que possamos torná-la
útil.**

**Ajude-nos a seguir nosso caminho
Respirando apenas o sentimento que emana do Senhor.
Nosso EU, no mesmo passo, possa estar com o Seu, para que caminhemos como Reis e
Rainhas com todas as outras criaturas.**

**Que o Seu e o nosso desejo, sejam um só,
em toda a Luz, assim como em todas as formas, em toda existência individual, assim
como em todas as comunidades.**

**Faça-nos sentir a alma da Terra dentro de nós, pois, assim, sentiremos a Sabedoria que
existe em tudo.
Não permita que a superficialidade e a aparência das coisas do mundo nos iluda, E nos
liberte de tudo aquilo que
impede nosso crescimento.**

**Não nos deixe ser tomado pelo esquecimento
de que o Senhor é o Poder e a Glória do mundo, a Canção que se renova de tempos em
tempos e que a tudo embeleza.**

Possa o Seu amor ser o solo onde crescem nossas ações.

Que assim seja !!!

Agradecimentos

Agora me sinto renovada, com a sensação de dever cumprido. Olho adiante e vejo um caminho, talvez tortuoso, mas muito menos árido e pedregoso que no início.

Para chegar aqui, foi necessário muito apoio, muita omissão, muito suor, muita força de vontade... foi necessário amor...

Agora só tenho a agradecer...

A Deus, por ter me dado a chance de evoluir, não só intelectualmente, mas como pessoa... Obrigada Senhor!!!

Aos meus Pais... Nossa!!! O que falar para eles? São um pouco de Deus aqui na Terra... Obrigada Mãe e Pai, por estarem sempre ao meu lado me apoiando, torcendo e rezando por mim... O amor de vocês é incondicional e me envolve por completo. Amo vocês!

As minhas irmãs, Lucélia e Gilsséia (in memory), muito obrigada! Lily, obrigada de coração!

Luciano (Mozinho), agradecer seria pouco, diante de tantos momentos difíceis, alegres, tristes e muitos outros que vivemos durante este período, mas em todos eles estávamos ali um ao lado do outro, amparando, dividindo, somando, amando... Obrigada por tudo!!!

Aos meus amigos, gostaria de agradecer a paciência e a força em todos os momentos. Em especial a Renuka e Gerlane, que foram duas grandes amigas que fiz neste período e que admiro muito. Obrigada pela amizade de vocês! Meus pupilos Eduardo e Priscilla além de me ajudarem na realização de minha tese, tornaram-se meus amigos... Obrigada! Todos os outros pupilos que trabalharam comigo, valeu pela força!!

Agradeço em especial ao meu orientador Prof. Edson! Muito obrigada por ter me estendido a mão, quando achei que o meu doutorado seria apenas um sonho... Obrigada pela confiança e pelo carinho!

A Prof^a Margarida e Prof. Fabiano, obrigada pela co-orientação!

Prof^a. Fátima, obrigada pelas dicas e ensinamentos!

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro, que sem ele talvez este trabalho não tivesse acontecido.

Aos demais professores, colegas e funcionários (em especial a Mazinha e Medeiros), fica minha gratidão por tudo que fizeram.

Obrigada.

SUMÁRIO

Sumário	viii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiv
Nomenclatura	xvii
1 INTRUDUÇÃO GERAL	01
2 ASPECTOS TEÓRICOS	03
2.1 Frutas Tropicais	03
2.1.1 Banana	04
2.1.2 Mamão	07
2.1.3 Jaca	09
2.2 Secagem	10
2.2.1 Fundamentos e Mecanismos de Secagem	10
2.2.2 Cinética de secagem	13
2.2.2.1 Período de Velocidade Constante	13
2.2.2.2 Período de Velocidade Decrescente	17
2.2.2.3 Modelos Difusionais	17
2.2.2.4 Modelagem e Simulação	20
2.3 Desidratação Osmótica	22
2.3.1 Cinética da Desidratação Osmótica	24
3 ESTADO DA ARTE	26
3.1 Tecnologia na Desidratação Osmótica	26
3.2 Parâmetros que influenciam na Desidratação Osmótica	28
3.3 Modelagem na Desidratação Osmótica	33
4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	37
4.1 Matéria-prima	37
4.2 Preparo da Solução Osmótica	37
4.3 Processamento	38
4.3.1 Seleção e preparo da matéria-prima	38
4.3.1.1 Banana	38
4.3.1.2 Mamão	39
4.3.1.3 Jaca	40
4.3.2 Branqueamento	42

4.3.3	Cozimento (sementes de jaca)	42
4.3.4	Desidratação Osmótica	42
4.3.5	Secagem	43
4.3.5.1	Operação do Equipamento	44
4.3.5.2	Equipamentos Periféricos e Instrumentação	45
4.3.6	Acondicionamento	46
4.4	Condição de Processamento	46
4.4.1	Desidratação Osmótica	46
4.4.1.1	Variáveis estudadas	46
4.4.2	Ensaio de Secagem	47
4.4.2.1	Banana	47
4.4.2.2	Mamão	48
4.4.2.3	Jaca	48
4.4.3	Simulação e Otimização do Processo Osmótico e de Secagem	49
4.5	Métodos Analíticos	54
4.5.1	Análises Físico-químicas	54
4.5.2	Análise Sensorial	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1	Frutas Frescas	56
5.1.1	Banana	56
5.1.2	Mamão	57
5.1.3	Jaca	57
5.1.3.1	Polpa	57
5.1.3.2	Sementes	58
5.2	Desidratação Osmótica	58
5.2.1	Banana e Mamão	58
5.2.2	Polpa de Jaca	67
5.2.2.1	Análise Sensorial	70
5.3	Secagem em Secador de Leito Fixo	74
5.3.1	Banana e	79
5.3.2	Mamão	81
5.3.3	Otimização do processo conjunto	85
5.3.4	Sementes de Jaca	89
6	CONCLUSÃO	93

7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
	APÊNDICES	104
	Apêndice A	104
	Apêndice B	108
	Apêndice C	110
	ANEXOS	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Culturas permanentes produzidas no Rio Grande do Norte no Ano de 2000	04
Figura 2.2	Culturas temporárias produzidas no Rio Grande do Norte no Ano de 2000.	04
Figura 2.3	Sistema de classificação de bananas de acordo com seu grau de maturação	06
Figura 2.4	Esquema do processo de secagem de material sólido.	11
Figura 2.5	Formas de ocorrência da umidade no estado:a) estado funicular e b) estado pendular.	12
Figura 2.6	Curva padrão de secagem.	14
Figura 2.7	Curva velocidade de secagem.	15
Figura 2.8	Diagrama de blocos da modelagem matemática. (Strumillo & Kudra, 1986).	21
Figura 2.9	Componentes da descrição matemática. (Strumillo & Kudra, 1986).	22
Figura 2.10	Esquema transporte osmótico. (Raoult-Wack, 1994)	23
Figura 4.1	Fluxograma do Processo de secagem da Banana nanica.	38
Figura 4.2	Fluxograma do Processo de secagem do Mamão formosa.	39
Figura 4.3	Fluxograma do Processo de desidratação osmótica da Polpa de Jaca.	40
Figura 4.4	Fluxograma do Processo de Secagem de Semente de Jaca	41
Figura 4.5	Equipamento utilizado para a desidratação osmótica de frutas.	42
Figura 4.6	Secador de leito fixo	44
Figura 4.7	Esquema do modelo para a desidratação osmótica.	49
Figura 5.1	Influência do tempo de imersão na perda de água (a) das bananas em rodela e (b) dos cubos de mamões durante a desidratação osmótica das quatro condições estudadas.	60
Figura 5.2	Influência do tempo de imersão no ganho de açúcar (a) das bananas em rodela e (b) dos cubos de mamões durante a desidratação osmótica das quatro condições estudadas.	61
Figura 5.3	Influência do tempo de imersão na redução de peso (a) das bananas em rodela e (b) dos cubos de mamões durante a desidratação osmótica das quatro condições estudadas.	61
Figura 5.4	Massa de água nas condições estudadas, (a) banana e (b) mamão	64

Figura 5.5	Massa de açúcar estudadas, (a) banana e (b) mamão	64
Figura 5.6	Influência do tempo de imersão nos sólidos solúveis do xarope durante a desidratação osmótica das bananas em rodela em quatro temperaturas distintas.	65
Figura 5.7	Influência do tempo de imersão na perda de água da polpa de jaca durante a desidratação osmótica das condições estudadas	68
Figura 5.8	Influência do tempo de imersão no ganho de açúcar da polpa de jaca durante a desidratação osmótica das condições estudadas	68
Figura 5.9	Influência do tempo de imersão na redução de peso da polpa de jaca durante a desidratação osmótica nas condições estudadas	69
Figura 5.10	Umidade em função do tempo de secagem para a condição 50°Brix e 50°C.	75
Figura 5.11	Variação da umidade em função do tempo: (a) amostras tratadas em solução 50°Brix nas temperaturas 50 e 70°C e (b) amostras tratadas em solução 70°Brix nas temperaturas 50 e 70°C	75
Figura 5.12	Variação da velocidade de secagem em função do tempo: (a) amostras tratadas em solução 50°Brix nas temperaturas 50 e 70°C e (b) amostras tratadas em solução 70°Brix nas temperaturas 50 e 70°C.	76
Figura 5.13	Variação da umidade em função do tempo: (a) amostras tratadas na temperatura de 50°C e em soluções de 50 e 70°Brix e (b) amostras tratadas na temperatura de 70°C e em soluções de 50 e 70°Brix.	76
Figura 5.14	Variação da velocidade de secagem em função do tempo: (a) amostras tratadas na temperatura de 50°C e em soluções de 50 e 70°Brix e (b) amostras tratadas na temperatura de 70°C e em soluções de 50 e 70°Brix.	77
Figura 5.15	Variação da velocidade de secagem em função da umidade: (a) amostras tratadas na temperatura de 50°Brix e em soluções de 50 e 70°C e (b) amostras tratadas na temperatura de 70° Brix e em soluções de 50 e 70°C.	77
Figura 5.16	Variação da velocidade de secagem em função da umidade: (a) amostras tratadas na temperatura de 50° C e em soluções de 50 e 70° Brix e (b) amostras tratadas na temperatura de 70° C e em soluções de 50 e 70° Brix.	78

Figura 5.17	Gráficos de $\ln U^*$ em função do tempo de secagem, linearizadas e com suas respectivas equações, para cada condição de processamento estudada.	79
Figura 5.18	Curva de umidade em base seca em função do tempo (a) amostras tratadas na temperatura de 70° C e em soluções de 50 Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico..	81
Figura 5.19	Curva de velocidade de secagem em função do tempo (a) amostras tratadas na temperatura de 70° C e em soluções de 50 Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico.	82
Figura 5.20	Curva de velocidade de secagem em função da umidade (a) amostras tratadas a 70° C / 50 Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico	83
Figura 5.21	Gráfico de $\ln U^*$ em função do tempo de secagem, linearizada e com sua equação, (a) amostras tratadas a 70° C / 50° Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico.	83
Figura 5.22	Gráficos de consumo de energia para cada condição de processamento estudada	88
Figura 5.23	Gráficos de consumo de energia para cada condição de processamento do mamão.	88
Figura 5.24	Variação da umidade em função do tempo de secagem para as amostras de sementes de jaca com e sem casca	89
Figura 5.25	Velocidade de secagem em função do tempo, para as amostras de sementes de jaca com e sem casca.	89
Figura 5.26	Velocidade de secagem em função da umidade, para as amostras de sementes de jaca com e sem casca.	90
Figura 5.27	Gráfico de $\ln U^*$ em função do tempo de secagem, linearizada e com sua equação, (a) amostras com casca e (b) amostras sem casca.	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Composição química geral da porção comestível de banana em 100g (Matsuura, 2001).	05
Tabela 2.2	Composição média da porção comestível do mamão em 100g.	08
Tabela 2.3	Composição química geral da polpa de jaca em 100g.	10
Tabela 2.4	Composição centesimal da farinha de semente de jaca em 100g, Moraes, et al (2004).	10
Tabela 4.1	Condições operacionais para os ensaios de secagem em secador de leito fixo para a secagem da banana.	48
Tabela 4.2	Condições para os ensaios de secagem em secador de leito fixo para a secagem do mamão.	48
Tabela 4.3	Condições para os ensaios de secagem em secador de leito fixo para as sementes de jaca.	48
Tabela 5.1	Caracterização físico-química da banana nanica.	56
Tabela 5.2	Caracterização físico-química do mamão formosa.	57
Tabela 5.3	Caracterização físico-química da polpa de jaca “in natura”.	57
Tabela 5.4	Caracterização físico-química da semente de jaca.	58
Tabela 5.5	Resultados de WL, SG e WP para cada condição de processamento da banana.	59
Tabela 5.6	Resultados de WL, SG e WP para cada condição de processamento do mamão.	60
Tabela 5.7	Coefficientes de transferência de massa entre a banana e a solução osmótica.	63
Tabela 5.8	Coefficientes de transferência de massa entre o mamão e a solução osmótica.	63
Tabela 5.9	Caracterização físico-química das amostras de banana desidratadas osmoticamente.	66
Tabela 5.10	Caracterização físico-química das amostras de mamões tratadas osmoticamente à 50°Brix / 70°C no tempo de 3 horas.	66
Tabela 5.11	Resultados de WL, SG e WP para cada condição de processamento da polpa de jaca.	67
Tabela 5.12	Caracterização físico-química da polpa de jaca desidratada osmoticamente	69

Tabela 5.13	Análise de variância para o atributo aparência (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C1, apêndice C).	71
Tabela 5.14	Resultados do Teste de Tukey para o atributo aparência das três amostras de polpa de jaca.	71
Tabela 5.15	Análise de variância para o atributo cor (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C3, apêndice C).	72
Tabela 5.16	Resultados do Teste de Tukey para o atributo cor das três amostras de polpa de jaca.	72
Tabela 5.17	Análise de variância para o atributo textura (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C4, apêndice C).	72
Tabela 5.18	Resultados do Teste de Tukey para o atributo textura das três amostras de polpa de jaca.	73
Tabela 5.19	Análise de variância para o atributo textura (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C5, apêndice C).	73
Tabela 5.20	Resultados do Teste de Tukey para o atributo textura das três amostras de polpa de jaca.	73
Tabela 5.21	Resultados do cálculo do IA para o atributo sabor.	74
Tabela 5.22	Dados experimentais obtidos do modelo difusional da cinética de secagem da banana.	80
Tabela 5.23	Caracterização físico-química das amostras de bananas secas em secador de leito fixo.	80
Tabela 5.24	Dados obtidos pelos cálculos feitos da cinética de secagem do mamão.	84
Tabela 5.25	Caracterização físico-química das amostras de mamões secos com pré-tratamento osmótico e sem tratamento.	85
Tabela 5.26	Otimização do tempo total de secagem de banana e os sólidos solúveis (°Brix) do produto.	86
Tabela 5.27	Tempo total de secagem otimizado e quantidade de sólidos solúveis (°Brix) do mamão seco.	86
Tabela 5.28	Tempo de secagem otimizado comparado ao tempo de secagem experimental e quantidade de sólidos solúveis (°Brix) da banana seca.	87
Tabela 5.29	Tempo de secagem otimizado comparado ao tempo de secagem experimental e quantidade de sólidos solúveis (°Brix) do mamão seco.	87
Tabela 5.30	Dados experimentais obtidos do modelo difusional da cinética de secagem das sementes de jaca com casca e sem casca.	91

Tabela 5.31 Caracterização físico-química das amostras de sementes de jaca secas com casca e sem casca.

92

NOMENCLATURA

Símbolo	Descrição	Unidade
A	Área de contato líquido - gás	m^2
A_e	Área de transferência de calor	m^2
A_{FR}	Área de troca na fase fruta	m^2
A_{SO}	Área de troca na solução osmótica	m^2
C_{FR}^{AG}	Concentração mássica de água na fruta	g/m^3
C_{SO}^{AG}	Concentração mássica de água na solução	g/m^3
$C_{FR}^{AÇ}$	Concentração mássica de açúcar na fruta	g/m^3
$C_{SO}^{AÇ}$	Concentração mássica de açúcar na solução	g/m^3
D	coeficiente de difusão do líquido	m^2/s
D_{ef}	Coefficiente de difusão efetivo	m^2/s
dm/dt	Velocidade de secagem	kg/s
dU/dt	Taxa de umidade	kg/s
h	coeficiente de transferência de calor	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
H_{vap}	calor latente de vaporização	J/mol
K_m^{AG}	Coefficiente específico de transferência de massa da água	$1/h.m^2$
$K_m^{AÇ}$	Coefficiente específico de transferência de massa do açúcar	$1/h.m^2$
K_h	coeficiente de transferência de massa	$kg/s.m^2$
L	Espessura da fruta	m
M_{FR}^{AG}	Massa de água na fruta	g
$M_{FR}^{AÇ}$	Massa de açúcar na fruta	g
M_{SO}^{AG}	Massa de água na solução osmótica	g
$M_{SO}^{AÇ}$	Massa de açúcar na solução osmótica	g
M_0	Massa inicial	kg
M_f	Massa final	kg
t	Tempo	h
V_{FR}	Volume da fruta	m^3

P_S	Pressão de vapor do líquido na temperatura T_s	atm
\bar{P}	Pressão parcial do vapor de água no ar de secagem à temperatura T_g	atm
R	Taxa de secagem no período constante	g / h.m ²
SG	Ganho de sólidos	°Brix
T_a	Temperatura ambiente	°C
T_{bu}	temperatura de bulbo úmido	°C
U_S	umidade de saturação do ar na temperatura da superfície T_S	kg de H ₂ O / kg de ar seco
U	umidade média volumétrica	kg de H ₂ O/kg de sólido
U_e	Umidade de equilíbrio	kg de H ₂ O/kg de sólido
U_0	Umidade inicial	kg de H ₂ O/kg de ar seco
U^*	Razão de umidade	
V_{FR}	Volume da fruta	m ³
X_0	Umidade inicial	kg/kg
X_f	Umidade final	kg/kg
Y_0	Sólidos solúveis iniciais	°Brix
Y_f	Sólidos solúveis finais	°Brix
WL	Perda de água	kg/kg
WR	Perda de peso	%
α	Fator de encolhimento da fruta	
λ	Calor de vaporização	
ρ^{AG}	Densidade da água	g/m ³
Φ	Tempo total mínimo de processamento	min
θ_{DO}	Tempo mínimo de desidratação osmótica	min
θ_{SC}	Tempo mínimo de secagem	min

Capítulo 1

Introdução Geral

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país com grande área territorial, onde a maior parte desta é utilizada na agricultura. A região Nordeste do Brasil, apesar de seus problemas climáticos, tem-se destacado na produção de várias frutas como a banana, o caju, a manga, o mamão e o abacaxi. O melão, e a uva, devido seu potencial de qualidade, são as frutas de maior destaque na venda para o mercado externo, tanto para o consumo (“in natura”) quanto na produção de vinho, no caso da uva. Partes destas frutas além de perecíveis são sazonais e daí a necessidade de se buscar alternativas técnicas e econômicas para o aproveitamento do excedente da produção, possibilitando o seu consumo e exportação durante todo o ano.

Este trabalho desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFRN, na área de alimentos, será de grande valia para o Estado do Rio Grande do Norte, visto que o mesmo tem como objetivo estudar a conservação da produção excedente de frutas como a banana e o mamão. Em busca de soluções, optou-se pela desidratação osmótica e ~~em~~ secagem complementar em secador de leito fixo. Estes processos são de fácil manuseio podendo ser utilizados por cooperativas formadas por pequenos agricultores. Isto irá proporcionar um aumento nos lucros, já que as frutas desperdiçadas serão transformadas em produtos com maior valor agregado. Outra alternativa estudada é a utilização da jaca, com a produção de polpa desidratada osmoticamente e a semente de jaca após secagem podem ser transformados em farinha para enriquecimento de outros alimentos.

Na prática, o processo de secagem de um alimento consiste na remoção de parte de sua água livre a um nível tal, que possa ser manuseado, transportado e armazenado à temperatura ambiente sem significativas perdas de suas qualidades organolépticas e nutricionais.

Atualmente a secagem de frutas vem sendo objeto de muitas pesquisas com o propósito de se obter técnicas que proporcionem, além de baixo custo, a manutenção da qualidade dos produtos. Segundo Pinedo (2003), apesar de todos os benefícios trazidos pela secagem, existem algumas conseqüências da mesma que, se não forem bem monitoradas e controladas, podem depreciar a qualidade do produto final. Tais conseqüências são na maioria, características dos produtos desidratados, como encolhimento, endurecimento superficial, alterações de cor e aroma, perdas por evaporação e desnaturação de proteínas, etc. A utilização de pré-tratamentos, feitos anteriormente a secagem, é uma boa maneira de se

evitar alterações que possam prejudicar a qualidade do produto final. Estes pré-tratamentos também influenciam na cinética de secagem, possibilitando menor gasto de tempo e energia no processo.

A desidratação osmótica vem sendo estudada por diversos pesquisadores como um pré-tratamento ou uma pré-secagem. Este processo consiste na remoção parcial da água pela pressão osmótica, quando se coloca a fruta em contato com uma solução concentrada de solutos (xarope), tais como: sacarose, cloreto de sódio, açúcar invertido, maltodextrinas, xarope de milho, sorbitol ou misturas dos mesmos. A solução de sacarose é um bom agente de conservação dos produtos alimentícios, pois ela aumenta a pressão osmótica do meio, criando assim, condições desfavoráveis para o crescimento e reprodução da maioria das espécies de bactérias, leveduras e fungos.

A fruta desidratada osmoticamente pode reduzir em até 50% podendo ter esse valor diminuído com o uso de outro processo de secagem, como por exemplo, a secagem natural ao sol, a secagem em secador de leito fixo com controle de umidade, fluxo de ar quente e temperatura e por fim pode-se citar a secagem a vácuo. A desidratação osmótica aliada à secagem convencional proporciona a obtenção de um produto cuja qualidade organoléptica é melhor do que os desidratados somente por métodos convencionais.

Capítulo 2

Aspectos Teóricos

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 – Frutas Tropicais

Os homens já demonstravam seu fascínio pelas frutas desde os tempos mais remotos, sejam por sua aparência, gosto ou aroma. E os escribas religiosos mais antigos relatam na história da humanidade a incorporação da fruta com os simbolismos mais diversos e sempre ligados ao prazer, à beleza e à saúde.

Desde então, o homem sempre esteve em busca de consumir as frutas nas maneiras mais diversas: em sucos, sorvetes, biscoitos, iogurtes, bebidas alcoólicas e não-alcoólicas, doces de vários tipos, como também em xampus e cremes de beleza, sempre no intuito de se apropriar do gosto peculiar ou das propriedades saudáveis de cada fruta. (Filho; Ormond; De Paula; 1999).

O Brasil devido a sua grande área territorial e condições climáticas favoráveis, é um grande produtor de frutas, onde ocupa o terceiro lugar no ranking mundial. Apesar desta grande produção frutífera, o desperdício torna-se um gargalo devido à sua má utilização. A produção em época de safra é massificada, enquanto seu consumo continua estável ou às vezes é um pouco elevado devido o baixo preço.

Dentro das regiões definidas como pólos integrados do Nordeste, o Rio Grande do Norte aparece com uma das áreas de maior dinamismo no campo da agricultura, especificamente da produção de frutas tropicais irrigadas, que já havia se consolidado como uma zona de intensa modernização tecnológica na década de 1980.

A partir de meados dos anos 90, essa região passou a ser denominada pelo Banco Nacional, como Pólo de Desenvolvimento Integrado Açúcar/Mossoró. Trata-se de uma redefinição da área que antes compreendia, equivocadamente, apenas o perímetro irrigado de Açúcar às margens da barragem Armando Ribeiro Gonçalves. A constatação da existência de um grande dinamismo em Mossoró, no que diz respeito à produção de frutas irrigadas, fez com que este município e sua zona de influência passassem não só a fazer parte do pólo como o próprio município de Mossoró se colocasse como sua sede (Silva, 2000).

Observa-se nas Figuras 2.1 e 2.2, que o Rio Grande do Norte tem um grande potencial na produção de frutas sejam elas de cultura permanente ou temporária. (Relatório IDEMA, 2000).

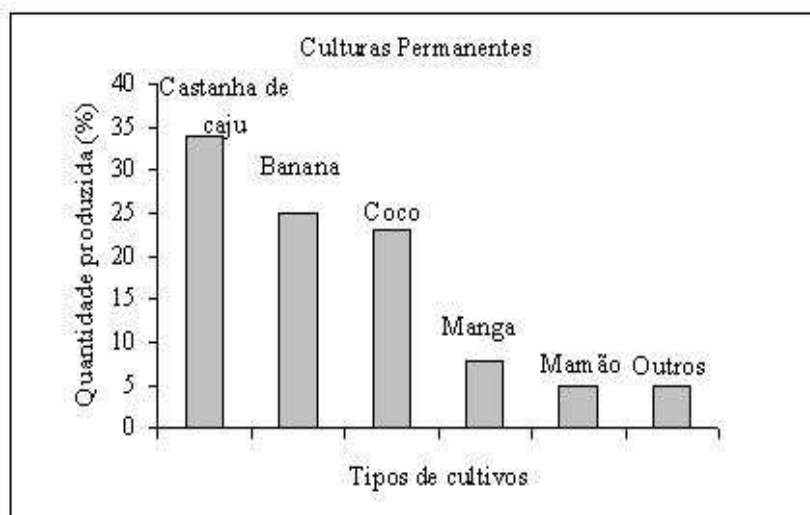


Figura 2.1. Culturas permanentes produzidas no Rio Grande do Norte no Ano de 2000.

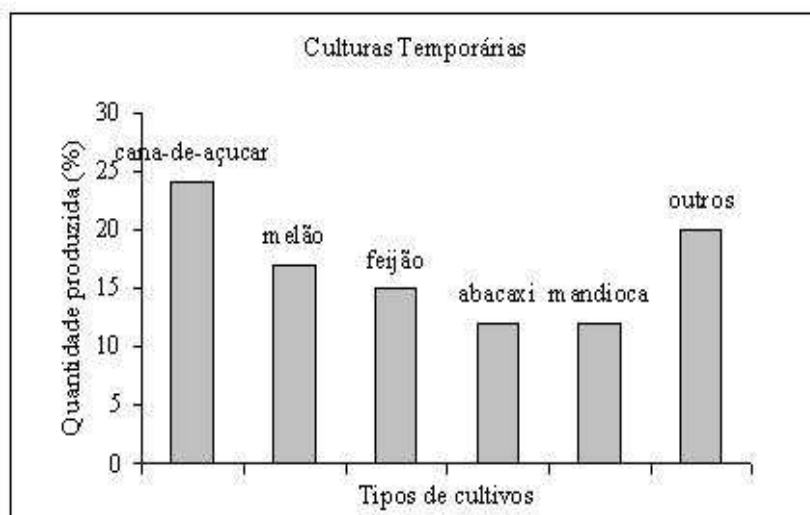


Figura 2.2. Culturas temporárias produzidas no Rio Grande do Norte no Ano de 2000.

2.1.1 – Banana

A bananeira, monocotiledônea pertencente à ordem Scitaminales, família Musaceae, sub família Musoideae, gênero Musa, abrange 24 a 30 espécies, das quais se originam todas as cultivares produtoras de frutos partenocárpicos, comestíveis. Das espécies desse gênero, a mais importante é, sem dúvida, a *Musa acuminata* Colla, visto ter sido ela o ponto de partida de todas as bananeiras de frutos comestíveis, quer sozinha quer com a participação de outra

espécie, a *Musa balbisiana* Colla, originando híbridos das duas espécies.

A banana nanica é o híbrido mais espalhado e dos mais importantes na economia mundial, pois é o segundo em importância comercial. O cacho pesa, em média, cerca de 25 kg e o número de bananas varia entre 126 a 214 unidades e cada uma pesa de 100 a 200g, segundo a variedade, e contém de 60 a 65% de polpa comestível. É um alimento altamente energético cujos hidratos (cerca de 22%) são facilmente assimiláveis. Embora pobre em proteínas e lipídeos seus teores superam os da maçã, pêra, cereja ou pêssego (Tabela 2.1). A banana é tão rica em vitamina C quanto a maçã, além de razoáveis quantidades de vitamina A, B₁ e B₂, e pequenas quantidades de D e E. Ainda possui uma porcentagem de potássio, fósforo, cálcio e ferro maior do que a maçã e a laranja.

Tabela 2.1. Composição química da porção comestível da banana em 100g (Matsuura; Folegatti; 2001).

Composição	Valores
Umidade, %	75,70
Energia, Kcal	85,00
Proteína, g	1,10
Carboidratos, g	22,20
Gordura, g	0,20
Cálcio, mg	8,00
Fósforo, mg	26,00
Ferro, mg	0,70
Sódio, mg	1,00
Potássio, mg	370,00
Magnésio, mg	33,00
Vitamina A, UI	190,00
Tiamina, mg	0,05
Riboflavina, mg	0,06
Niacina, mg	0,70
Vitamina C, mg	10,00

A polpa da banana verde é caracterizada por uma forte adstringência determinada pela presença de compostos fenólicos solúveis, principalmente os taninos. À medida que o fruto

amadurece, ocorre a polimerização desses compostos, com conseqüente diminuição na adstringência e aumento na doçura e acidez. A intensificação da doçura do fruto decorre da hidrólise do amido, com conseqüente acúmulo de açúcares solúveis, principalmente glicose, frutose e sacarose. Tais açúcares são oxidados, servindo como substratos básicos no processo respiratório do fruto. Observa-se, paralelamente ao acúmulo de açúcares, um aumento nos níveis de ácidos orgânicos, com predominância do ácido málico, o que leva a um abaixamento do pH.

A mais flagrante modificação ocorrida durante o amadurecimento da banana é o amarelecimento da casca. A clorofila, que confere a coloração verde à casca da banana no estágio pré-climatério, é rapidamente degradada, dando lugar aos carotenóides, pigmentos amarelos que caracterizam a banana madura. O grau de coloração da casca da banana é um importante preditor de sua vida-de-prateleira e é freqüentemente utilizado como guia para sua distribuição no varejo. Assim, o estágio de maturação da banana poder ser caracterizado subjetivamente, de acordo com o grau de coloração da casca, numa escala que varia de um a sete (Figura 2.3).








1	Verde		Cor normal na colheita
2	Verde Claro		Primeira mudança de cor durante o processo de amadurecimento
3	Verde Amarelado		Mudança pronunciada de cor. Ideal para ser enviada ao varejista em estações de clima temperado
4	Mais amarelada do que verde		Cor recomendada para ser enviada ao varejista em estações de clima frio. Ideal para exposição pelo varejista
5	Amarelada com pontas verdes		Máximo amadurecimento para exposição pelo varejista
6	Totalmente amarela		Ideal para consumo
7	Amarela com pintas marron		Completamente madura, com melhor sabor e maior valor nutritivo

Figura 2.3. Sistema de classificação de bananas de acordo com seu grau de maturação.

O amaciamento verificado ao longo do amadurecimento das bananas é um reflexo da degradação coordenada de amido e compostos da parede celular, notadamente substâncias pécnicas e hemicelulares, e do aumento da umidade da polpa em razão de trocas osmóticas com a casca.

O Brasil é o segundo produtor mundial de banana, e podem ser encontradas em qualquer parte do país, embora o seu plantio sofra restrições, em virtude de fatores climáticos, como a temperatura e precipitação (chuvas), destacando-se as regiões Nordeste e Sudeste. Atualmente, disputa-se com a Índia o primeiro lugar na produção mundial de banana. A banana é a segunda fruta mais consumida no país, superada apenas pela laranja, sendo consumida por populações de baixo e alto poder aquisitivo.

2.1.2 – Mamão

O mamoeiro (*Carica papaya L.*), pertencente à família Caricaceae, é uma fruteira antigüíssima tipicamente tropical, sendo uma das mais cultivada no mundo e foi descoberto pelos espanhóis. No Panamá, tendo como o seu centro de origem a zona tropical e subtropical da América, mais precisamente a Bacia Amazônica Superior, onde sua diversidade genética é enorme. (Manica, 1982).

O mamoeiro pode alcançar 8 metros de altura e, seus frutos ricos nutricionalmente (Tabela 2.2) podem ser consumidos “in natura” ou processados em pedaços cristalizados, sucos, vitaminas, purê e fatias desidratadas. A papaína, uma enzima que facilita a boa digestão dos alimentos, possui alto valor medicinal e industrial sendo encontrado no látex das folhas e nos frutos do mamoeiro.

As variedades mais cultivadas no Brasil são: a **sunrise solo**, também chamada de mamão *havaí*, *papaya ou amazônia*, que apresentam frutos com peso médio de 500 gramas, polpa vermelho-alaranjada, formato de pêra e que produz em média 40 a 50 quilos por pé; e as variedades do grupo formosa, semelhantes a sunrise solo em polpa e formato, mas que produzem frutos com 2,0 kg em média e 80 kg/planta. Na maioria dos países o mamão mais apreciado é o sunrise solo, por causa do seu pequeno tamanho, ideal para o consumo individual, tendência que também se manifesta no Brasil.

O maior produtor mundial de mamão é o Brasil, mantendo de maneira estável sua posição, tendo produzido 1.489.324 toneladas em 2001. De acordo com dados obtidos do IBGE a partir do Sistema SIDRA a produção concentra-se, principalmente, no estado da Bahia, ocupando a posição de maior produtor de mamão do país em 2001, com 849.771 toneladas, seguido pelo Espírito Santo com 420.532 toneladas de mamão produzido, representando cerca de 85 % da produção nacional com um total de 1.270.303 toneladas.

Tabela 2.2. Composição média da porção comestível do mamão em 100g.

Valor Nutritivo de 100 gramas de MAMÃO - PAPAIA		
Nutriente	Unidades	Valor
Água	g	88,83
Energia	kcal	39,00
Proteína	g	0,61
Lipídeos (total)	g	0,14
Carboidratos por diferença	g	9,81
Fibra dietética (total)	g	1,80
Cinzas	g	0,61
Cálcio, Ca	mg	24,00
Ferro, Fé	mg	0,10
Magnésio, Mg	mg	10,00
Fósforo, P	mg	5,00
Potássio, K	mg	257,00
Sódio, Na	mg	3,00
Vitamina C, Ácido Ascórbico	mg	61,80
Tiamina (B-1)	mg	0,02
Riboflavina (B-2)	mg	0,03
Niacina	mg	0,33
Ácido Pantotênico (B-5)	mg	0,21
Vitamina A, UI	UI	284,00
USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 13 (November 1999)		

(Fonte: www.Brasilianfruit.org.br).

2.1.3 – Jaca

O nome científico *Artocarpus* se deriva dos vocábulos gregos *Artos* = pão e *karpos* = fruto e o epíteto específico *heterophyllus* deriva dos vocábulos também gregos *heteron* = distinto e *phyllus* = folha, relativo às folhas que são distintas (sem lobos) às da planta da “fruta-pão”. O nome popular “jaca” vem de “jaka”, nome usado pelos nativos da Índia.

O fruto é um sincarpo de forma ovalada originada do desenvolvimento da inflorescência feminina. Estes nascem diretamente do tronco e dos galhos mais grossos e chegam a pesar até 10 kg e medir até 40 cm de comprimento. A parte comestível da jaca são os frutículos encontrados no interior dos grandes sincarpas, que nada mais são do que o desenvolvimento dos ovários das flores, constituindo os “bagos”, de cor amarelada, sabor doce e cheiro forte e característico. Estes podem ser de consistência um pouco endurecida ou totalmente mole, daí a distinção de duas variedades muito conhecidas e denominadas popularmente de “jaca-mole” e “jaca-dura”.

A maior utilidade da jaqueira são seus frutos largamente consumidos nas regiões tropicais do país, chegando em algumas regiões, como no Recôncavo Baiano, a constituir-se em alimento básico para comunidades rurais. A jaca é rica em hidratos de carbono, contendo poucas vitaminas e sais minerais (Tabela 2.3). Sendo, além disso, uma fonte regular de ferro. A jaca pode ser consumida “in natura”, ou transformados em doces e geléias caseiras. Também pode ser consumida cozida como se fosse um vegetal. Na Índia sua polpa é fermentada e transformada num tipo de aguardente.

As sementes também podem ser consumidas depois de assadas ou cozidas, possuindo sabor semelhante à castanha portuguesa e sendo inclusive considerados ligeiramente afrodisíacas. As sementes podem ser utilizadas como fonte alternativa de carboidratos, segundo Moraes, et al (2004), (Tabela 2.4).

Tabela 2.3. Composição química da polpa de jaca em 100g

Composição	Valores
Umidade	84%
Energia	52 Kcal
Proteína	2,2 g
Glicídios	10 g
Gordura	0,3 g
Cálcio	30 mg
Fósforo	20 mg
Ferro	2 mg
Vitamina A	540 UI
Tiamina	30 UI

Fonte: (www.diabetes.org.br e www.todafruta.com.br).

Tabela 2.4. Composição centesimal da farinha de semente de jaca em 100g, Moraes, et al (2004).

Composição	Valores
Umidade	3,93 %
Energia	375,72 Kcal
Proteína	16,58 %
Carboidrato	74,83 %
Lipídeos	1,12%
Cinzas	3,54%

2.2 – Secagem

2.2.1 – Fundamentos e Mecanismos de Secagem

A preservação dos alimentos pela secagem é um dos métodos mais antigos do mundo e até hoje é utilizado pelo homem. A secagem é um termo utilizado para designar a remoção de líquido (em geral, água) de um material. Alguns alimentos, como grãos e sementes já são bastantes secos quando colhidos e por isso permanecem em boas condições por um bom período de tempo. Entretanto, a maioria dos alimentos contém umidade suficientemente elevada para permitir a ação de microrganismos, nesses casos, a secagem se faz necessária. O

movimento de água, do interior do material para fora, é descrito por diversos mecanismos que dependem da natureza e condições físicas do material e das condições ambientais de temperatura, pressão e umidade (Carneiro, 1995). Nos alimentos secos devido à atividade de água (A_w) ser baixa, os microrganismos praticamente não se desenvolvem. Deste modo são inibidas a maioria das reações químicas e enzimáticas que provocam alterações nos alimentos.

Existem diversos métodos de secagem, mas a sua escolha vai ser determinada pela natureza do alimento, pela forma e qualidade que se deseja dar ao produto processado, pelo valor econômico e pelas condições de operação.

Segundo Pinedo (2003), na secagem de produtos sólidos ocorrem simultaneamente vários fenômenos físicos (conforme é mostrado na Figura 4):

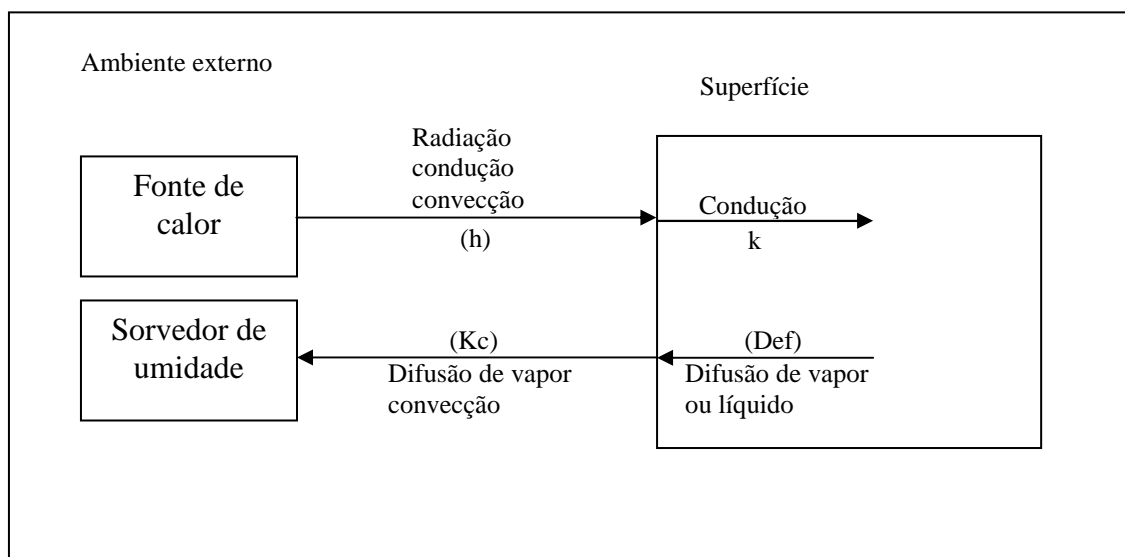


Figura 2.4. Esquema do processo de secagem de material sólido.

Os mais importantes são: (1) transferência de calor para o material, promovendo a evaporação de água (difusão de vapor devido ao gradiente de concentração) e (2) transferência de massa do material para o ambiente externo, através da difusão de água líquida em termos de gradiente de umidade e escoamento capilar.

Segundo Karmas (1980) no alimento sólido pode-se encontrar a água sob duas formas: água livre e água combinada. A água livre é a que está disponível no alimento, ou seja, é a água que pode ser removida por secagem, solidificada por congelamento ou indisponibilizada pela adição de eletrólitos como NaCl ou não-eletrólitos como sacarose. Para a água

combinada ainda não existe uma definição formal, mas segundo Leung (1981), sua característica mais importante é a de não ser congelável. Outras propriedades são a baixa pressão de vapor, alta energia de ligação, não disponibilidade molecular e propriedades dielétricas diferentes das da água livre.

Segundo Strumillo & Kudra (1986), a água de um sólido pode ser dividida em água de superfície, livre ou capilar. A água de superfície pode ser definida como uma película que cobre a superfície externa do material devido aos efeitos da tensão superficial. Toda a umidade interna no caso de um material sólido não higroscópico é considerada livre. Em um material higroscópico o conteúdo de água no equilíbrio corresponde à umidade neste. Com relação a um leito de partículas ou um corpo poroso, a água livre pode-se apresentar de duas formas (Figura 2.5):

- Estado funicular – um estado líquido contínuo existente dentro de um corpo poroso.
- Estado pendular – o líquido em volta e entre as partículas são discretos e descontínuo de modo que a umidade seja alternada por bolsas de ar.

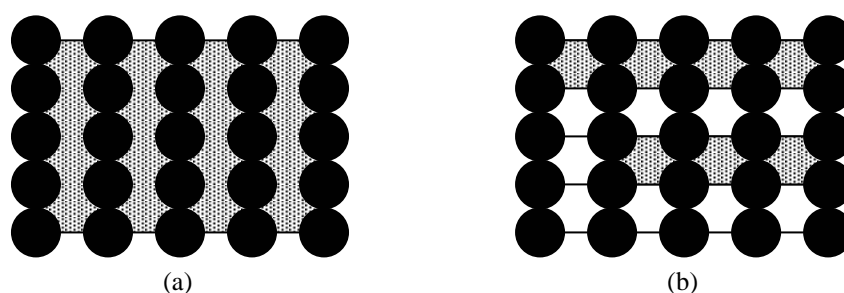


Figura 2.5. Formas de ocorrência da umidade no estado:a) estado funicular e b) estado pendular.

No estado funicular o movimento do líquido na superfície externa do material ocorre por ação capilar. Enquanto a umidade é continuamente retirada, a fase líquida é acionada para cima devida a sucção de ar nos poros que saem dos bolsos de umidade formados (estado pendular). Então o fluxo capilar é possível somente em uma escala localizada. Quando o material está perto do estado seco, a umidade é retida da molécula, principalmente por fluxos de vapor.

Dentro da complexidade deste comportamento e as dificuldades do conhecimento preciso das características do produto, geralmente, procede-se a um estudo experimental desta

cinética. As informações obtidas são representadas em forma de gráficos: umidade em base seca (U_{bs}) em função do tempo (t), e a velocidade de secagem (dU/dt) em função da umidade (U_{bs}).

2.2.2 – Cinética de Secagem

Alguns autores descrevem a migração de água, durante a secagem de alimentos, através dos seguintes mecanismos:

- Difusão da água devido ao gradiente de concentração;
- Difusão de água devido ao gradiente de pressão parcial de vapor;
- Movimento de água devido a forças capilares e
- Difusão superficial.

Durante a secagem de um material sólido ocorrem simultaneamente transferências de calor e massa. Em geral os processos de secagem sofrem uma influência considerável dos agentes externos e da estrutura interna do material a ser seco. A influência destes fatores são diferentes em vários períodos da secagem. No período de taxa constante, a transferência de calor e massa depende principalmente do mecanismo de transporte na superfície do sólido, mas no período de taxa decrescente este mecanismo depende da resistência interna do material à secagem.

A partir do estudo cinético no processo de secagem é possível determinar a taxa e o tempo de secagem, o consumo de energia e de outros parâmetros que dependem do sistema de secagem. No entanto, a variação do conteúdo de umidade e da temperatura dos materiais é controlada geralmente pelo calor e pela transferência total entre a superfície do material, os arredores e o interior do material de secagem. (Strumillo & Kudra, 1986).

2.2.2.1 – Período de Velocidade Constante

Quando um sólido saturado com água é submetido a uma condição favorável de secagem, ocorre inicialmente transferência de vapor da superfície do material para o meio ambiente externo. Nessa fase, o movimento da umidade dentro do sólido é suficientemente rápido para manter a condição de saturação da superfície do material, e a velocidade de secagem é controlada pela velocidade de transferência de calor para a superfície evaporante. Como a superfície se mantém saturada, existe uma película contínua de líquido sobre toda a

superfície de secagem, e a taxa de evaporação é essencialmente independente da natureza do sólido. Em regime estacionário a temperatura da superfície do sólido é igual à temperatura de bulbo úmido do ar de secagem, implicando em uma taxa constante de transferência de calor, que resulta numa velocidade de secagem constante. Esta etapa é denominada período de taxa constante e seu final é marcado por uma redução na taxa de secagem, dando origem a um ponto chamado de umidade crítica (Pinedo, 2003), conforme se observa na Figura 2.6.

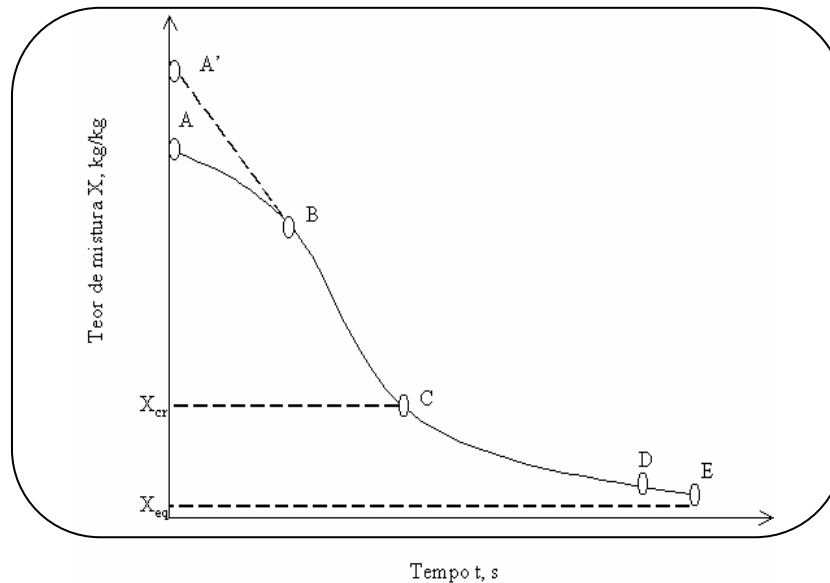


Figura 2.6. Curva padrão de secagem.

Como pode ser observado na Figura 2.6, o período determinado pelo segmento AB mostra o período de secagem em regime não permanente, durante o qual a temperatura do sólido atinge o seu valor de regime permanente.

O período de taxa constante, segmento BC, é considerado importante quando o potencial de secagem do ar de secagem é baixo ou a umidade do alimento é alta, como no caso das frutas (Pinedo, 2003). Neste período a secagem ocorre como se fosse a evaporação de uma massa de líquido sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem. Ou seja, a taxa de secagem independe do teor de umidade do sólido. A curva de secagem mostrada na Figura 2.7 evidencia o término do período de taxa constante, onde o sólido alcança o teor de umidade crítico (ponto C). A partir deste ponto a temperatura da superfície eleva-se e a taxa de secagem cai rapidamente.

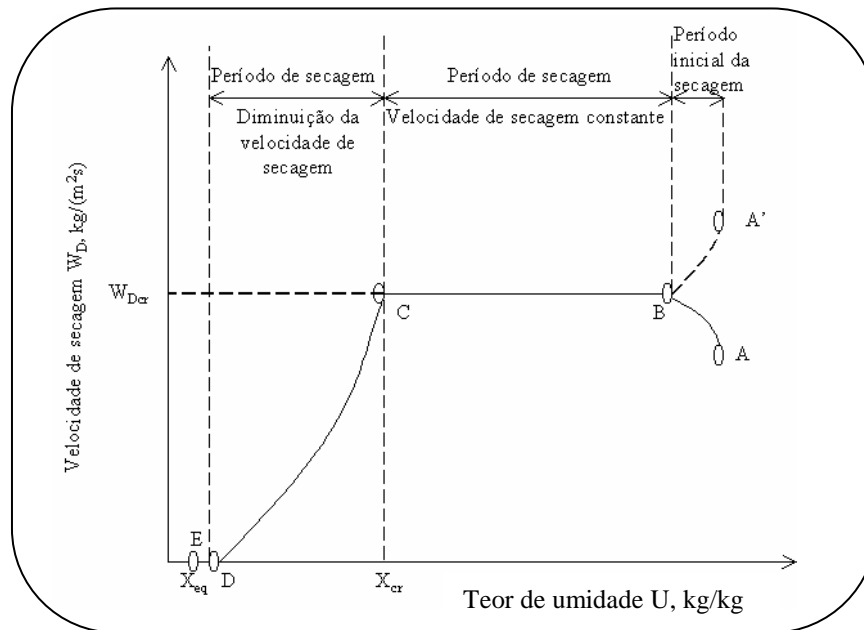


Figura 2.7. Curva velocidade de secagem.

Na maioria dos processos de secagem o líquido evaporado é a água e o gás de secagem é o ar atmosférico. Para se calcular a velocidade de secagem são empregadas as equações de transferência de massa e de calor:

$$\frac{dm}{dt} = k_p A (P_s - \bar{P}) \quad (1)$$

Onde:

P_s = Pressão de vapor do líquido na temperatura T_s (condição de saturação) (atm);

\bar{P} = Pressão parcial do vapor de água no ar de secagem à temperatura T_g (atm);

A = área de contato líquido – gás (m^2) (área de transferência de massa);

dm/dt = velocidade de secagem (kg/s), e

k_p = coeficiente de transferência de massa ($kg/s.m^2.atm$).

Em termos de umidade do ar a Equação (1) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{dm}{dt} = k_h A_e (U_s - U) \quad (2)$$

Onde:

U_s = umidade de saturação do ar na temperatura da superfície, T_s (kg de H_2O /kg de ar seco);

U = umidade do ar de secagem (kg de H_2O /kg de ar seco);

k_h = coeficiente de transferência de massa (kg/s.m²)

A_e = área de transferência de calor (m²)

A velocidade de transferência de calor está relacionada com a velocidade de secagem quando o calor para a evaporação, durante o período de velocidade constante, é favorecido por um gás quente, há um equilíbrio dinâmico entre a velocidade de transferência de calor para o material e a velocidade de remoção do vapor da superfície.

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \frac{dm}{dt} \quad (3)$$

onde:

dQ/dt = velocidade de transferência de calor (J/s)

λ = calor latente de vaporização na T_s (J/ kg)

Através da equação de balanço de calor (Equação (3)) pode-se calcular a velocidade de secagem neste período. Devido à superfície do material estar úmida e a temperatura deste ser igual à de bulbo úmido do ar de secagem, desprezando-se a transferência de calor por condução e radiação, a velocidade de secagem é calculada pela Equação (4):

$$\frac{dU}{dt} = \frac{hA(T_a - T_{bu})}{H_{vap}} \quad (4)$$

onde:

dU/dt = taxa de secagem (kg/s)

h = coeficiente de transferência de calor (W/m² °C);

A = área da superfície exposta (m²);

T_a = temperatura ambiente (°C);

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido (°C) e

H_{vap} = calor latente de vaporização (J/mol).

Nas frutas tratadas osmoticamente e levadas para secagem complementar em secadores de ar forçado, o período de taxa constante não é detectado, pois estas já estão suficientemente secas, passando então, para o período de taxa decrescente.

2.2.2.2 – Período de Taxa Decrescente

O período de taxa decrescente começa quando o período de taxa constante termina, na umidade crítica. Se a umidade inicial é abaixo da umidade crítica, todo o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente (Perry, 1980). Este período é quase sempre o único observado na secagem de alimentos com umidade baixa, ou de alimentos previamente desidratados.

Desta etapa em diante, a velocidade de secagem diminui continuamente ao longo de todo o ciclo de secagem. Esta etapa do processo caracteriza-se por um novo comportamento denominado período de velocidade decrescente (Strumillo & Kudra, 1986). Nas Figuras 2.6 e 2.7 esta etapa está representada pelos segmentos CD e DE. Este período é caracterizado por duas fases. A primeira fase do período de velocidade decrescente, segmento CD da secagem de alimentos sólidos, parte da superfície evaporante se mantém insaturada, uma vez que a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é transferida da superfície. Os principais mecanismos de transporte de massa sugeridos são: escoamento capilar, difusão de líquido e difusão de vapor (Pinedo, 2003).

Segundo Chirife, 1983 (citado por Pinedo, 2003) na segunda fase deste período de velocidade decrescente (segmento DE), a difusão de vapor é provavelmente o mecanismo predominante durante o estado pendular. Nesta fase toda a evaporação ocorre no interior do sólido, pois toda a superfície evaporante está insaturada e o plano de evaporação desloca-se para o interior deste. A velocidade de secagem é controlada pela velocidade do movimento de umidade interna. Na secagem de produtos com baixos teores de umidade este período usualmente predomina na determinação do tempo de secagem global.

2.2.2.3 – Modelos Difusionais

Os primeiros pesquisadores a interpretar a secagem como um fenômeno de difusão interna de água líquida, estudaram o período de taxa decrescente fundamentados na segunda lei de Fick expressa pela Equação (5),

$$\frac{\partial U}{\partial t} = D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (5)$$

onde:

D = coeficiente de difusão do líquido (m^2/s), e

U = umidade média do sólido (kg de H_2O /kg de sólido seco).

Crank (1975), apresentou soluções analíticas para a equação de difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Estudou também sólidos geométricos simples e regulares, onde a difusividade varia linearmente ou exponencialmente com a concentração. De modo geral, o coeficiente de difusão é obtido através de ajustes nas curvas feitas a partir de dados experimentais de secagem e é denominada difusão efetiva. Para materiais isotrópicos, em coordenadas cartesianas a Equação (5) torna-se:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad (6)$$

No caso de uma placa plana ou membrana de espessura L e coeficiente de difusão efetivo D_{ef} , ou seja, onde a transferência interna de umidade durante a secagem tenham apenas uma direção, a Equação (6) reduz-se a:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (7)$$

Então, quando o regime estacionário é atingido e a concentração permanece constante em toda superfície da placa, a Equação (7) reduz-se a:

$$\frac{d^2 U}{dx^2} = 0 \quad (8)$$

para o coeficiente de difusão efetivo, D_{ef} , constante.

Integrando a Equação (8) em relação a x , temos:

$$\frac{dU}{dx} = \text{constante} \quad (9)$$

Separando as variáveis, integrando e introduzindo as condições de contorno $x = 0$, $x = L$, temos:

$$\frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{x}{L} \quad (10)$$

onde:

U = umidade média (em base seca) em t, (kg de H₂O/kg de sólido);

U_e = umidade de equilíbrio, (kg de H₂O/kg de sólido);

U_0 = umidade inicial, (kg de H₂O/kg de sólido);

$\frac{U - U_e}{U_0 - U_e}$ = razão de umidade, em base seca, adimensional, e

L = espessura do material (m).

As Equações (9) e (10) mostram que as concentrações variam linearmente de U_e para U_0 através da placa.

A taxa de transferência de difusão no sólido é a mesma em toda seção transversal da membrana, dada por:

$$-D_{ef} \left(\frac{dU}{dx} \right) = D_{ef} \left(\frac{U_e - U_0}{L} \right) \quad (11)$$

onde:

D_{ef} = difusividade efetiva, (m²/s).

Considerando que a secagem ocorra somente em uma das faces; que a difusividade efetiva, D_{ef} , seja constante; tendo com condição inicial, ($U(x,0) = U_0$), a umidade uniformemente distribuída em toda a placa; e como condições de contorno, a umidade na superfície do produto, seja constante e igual a umidade de equilíbrio, $\{U(L, t) = U_e$ e $\partial U / \partial x(0, t) = 0\}$; a umidade do ar de secagem seja constante e o encolhimento desprezível.

A solução fornecida por Crank (1975) para a Equação (5) está sujeita a estas condições iniciais e condições de contorno, é dada pela Equação (12):

$$\frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left(- (2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2} \right) \quad (12)$$

A Equação (12) para tempos longos (regime regular) converge rapidamente, podendo-se utilizar o primeiro termo da série como boa aproximação,

$$\frac{\bar{U} - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2}\right) \quad (13)$$

A partir da linearização da Equação (13) obtém-se a Equação (14).

$$\ln\left[\frac{U - U_e}{U_0 - U_e}\right] = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef}}{L^2} t \quad (14)$$

Fazendo-se,

$$U^* = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad (15)$$

$$A = \text{coeficiente angular} = D_{ef} \pi^2 / L^2 \quad (16)$$

$$B = \text{coeficiente linear} = \ln(8/\pi^2) \quad (17)$$

A Equação 14 pode ser dada na seguinte forma;

$$\ln U^* = B - At \quad (18)$$

2.2.2.4 – Modelagem e Simulação

Um dos mais importantes aspectos da tecnologia de secagem, especialmente para processos industriais é a modelagem matemática do processo e ou do equipamento. O objetivo de modelar permite, que se escolha o método mais apropriado de secar o produto, assim como escolher as condições mais apropriadas para a secagem.

O princípio de modelar é baseado em desenvolver equações matemáticas que caracterizem totalmente o sistema que será modelado. Em detalhes a solução destas equações permite que se determinem os parâmetros do processo em função do tempo em qualquer ponto da secagem baseado principalmente, nas condições iniciais, sendo que em alguns casos os dados de saída, também, se fazem necessários; ou que se utilize o modelo matemático para

fazer previsões do comportamento do sistema de secagem sem que seja necessário realizar experimentos.

A modelagem matemática consiste em algumas partes fundamentais mostradas na Figura 2.8.

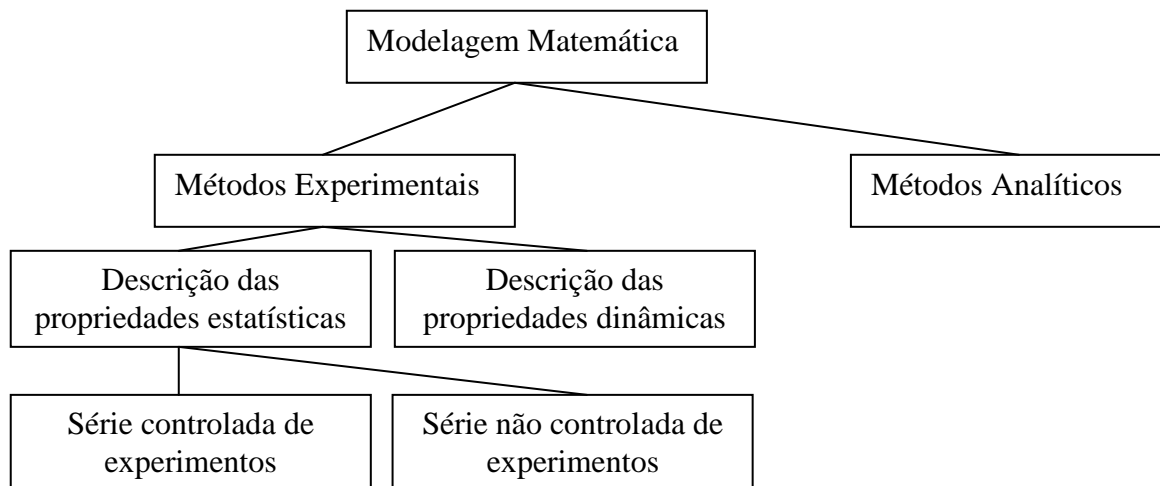


Figura 2.8. Diagrama de blocos da modelagem matemática. (Strumillo & Kudra, 1986).

O primeiro passo para se modelar é definir o processo a ser modelado, em particular a descrição dos dados de entrada que influenciam o processo e como é o comportamento desta variável.

A modelagem consiste nas seguintes etapas:

- descrição formal do processo;
- descrição matemática do processo;
- desenvolvimento e aplicação de um algoritmo de cálculo.

A descrição formal do processo consiste:

- na descrição da operação unitária (transferência de momento, calor e massa);
- relações entre as operações unitárias;
- descrição dos equipamentos utilizados;
- características físicas dos fluxos de entrada (ex. viscosidade, condutividade, etc);
- parâmetros da operação unitária (parâmetros hidrodinâmicos, taxas constantes);

- condições de contorno ou condições iniciais do sistema.

A etapa seguinte a modelagem, consiste na descrição matemática dos componentes mostrados na Figura 2.9. Um destes parâmetros deve ser totalmente familiar ao processo, de maneira que suas simplificações sejam aceitas para solucionar as equações.

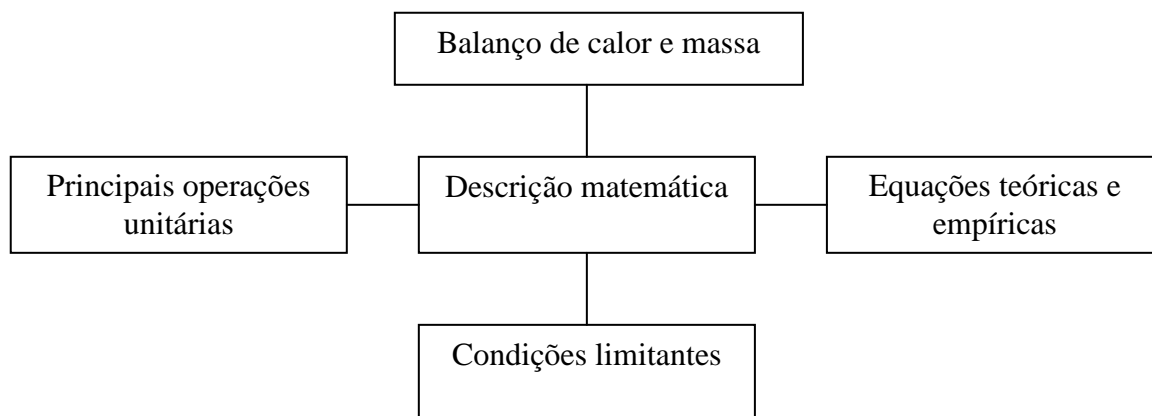


Figura 2.9. Componentes da descrição matemática. (Strumillo & Kudra, 1986).

De acordo com Baumshtein e colaboradores (Strumillo & Kudra, 1986) existem quatro maneiras distintas para se fazer à modelagem matemática.

1. Um método baseado no balanço de equações simultâneas para as transferências de calor e massa;
2. Um método baseado nas equações de taxas de secagem quando os coeficientes são determinados experimentalmente;
3. Um método baseado nas equações empíricas de transferências de calor e massa, e
4. Um método baseado nas análises das trajetórias do processo de secagem.

2.3 – Desidratação Osmótica

A água é um dos principais componentes dos alimentos e tem influência direta e decisiva na sua qualidade e durabilidade, assim como, nas mudanças ocorridas em suas características físico-química e biológica (Lenart, 1996).

A desidratação osmótica é uma técnica utilizada para a concentração de frutas e vegetais, onde os alimentos sólidos, inteiros ou em pedaços, são colocados imersos em soluções aquosas de açúcar e/ou sal com alta pressão osmótica (Torreggiani, 1993).

Ocasionalmente, desta maneira, uma perda de água do alimento.

Para se preparar uma solução osmótica pode-se usar como soluto, açúcares, álcoois polihídricos como o glicerol, ou sais neutros como o cloreto de sódio e potássio. A escolha do soluto depende da palatabilidade que se deseja dar ao produto final, sendo que se pode empregar a combinação de solutos para aumentar a velocidade da osmose, sem prejuízo das propriedades organolépticas do produto final (Mauro, 1992).

A desidratação osmótica envolve produtos sólidos ricos em água que são imersos em soluções aquosas concentradas, criando três tipos de transferência de massa em contracorrente (Figura 2.10) (Raoult-Wack, 1994):

- Uma importante saída de água do produto para a solução;
- Transferência de soluto, da solução para o produto; é possível introduzir a quantidade desejada de um princípio ativo, de um agente preservativo, de qualquer soluto de interesse alimentício, com o objetivo de melhorar a qualidade sensorial do produto;
- Algumas substâncias saem do próprio produto para o soluto (açúcares, ácido orgânico, minerais, vitaminas, etc), é quantitativamente insignificante comparada com os primeiros dois tipos de transferência, porém é essencial com respeito aos valores nutritivos e organolépticos do produto final.

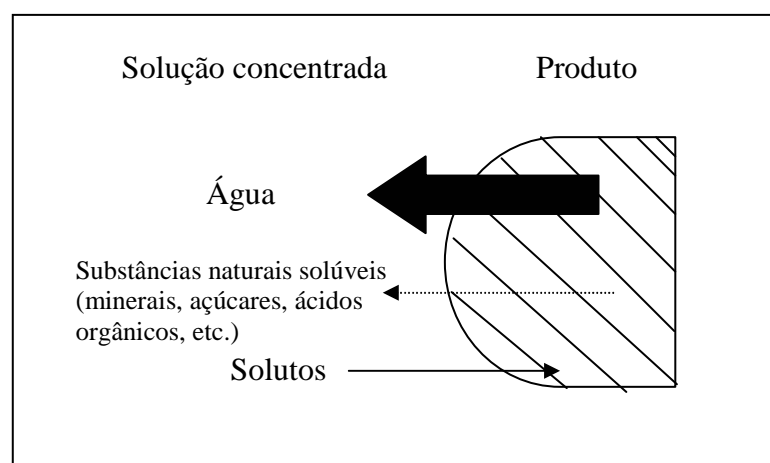


Figura 2.10. Esquema transporte osmótico. (Raoult-Wack, 1994)

O emprego da desidratação osmótica permite que muitas propriedades dos alimentos melhorem. No caso das frutas percebe-se, entre outras coisas:

- 1 - uma redução da interação térmica que influencia na diminuição das mudanças negativas da cor e das substâncias odoríferas.
- 2 - as membranas das células não são completamente impermeáveis para a substância osmótica, o que permite uma penetração parcial. Além disso parte das substâncias de baixo-peso molecular saem junto com a água. O resultado é um produto mais moderado em gosto e mais doce que a matéria-prima.
- 3 - desidratação osmótica inicial provê os meios para diminuir o tempo de secagem e aumentar o potencial do secador.
- 4 - preservação por meio da desidratação osmótica torna possível a redução do consumo de energia em torno de 20-30%, quando comparado a outro tipo de secagem. (Lenart, 1996)

2.3.1 – Cinética da Desidratação Osmótica

A velocidade de perda de água durante a desidratação osmótica sofre a influência dos seguintes fatores: características do tecido vegetal, tipo e concentração do agente desidratante, temperatura, tempo de imersão, proporção fruta/solução e agitação.

A cinética de desidratação foi estudada pelo acompanhamento perda de água (WL), do ganho de sólidos (SG) e da redução de massa (WR). Esses parâmetros foram calculados usando as equações dadas por Sacchetti; Gianotti; Rosa;(2001).

$$WL = \frac{M_o \times X_o - M_f \times X_f}{M_o} \quad (19)$$

$$SG = \frac{M_f \times Y_f - M_o \times Y_o}{M_o} \quad (20)$$

$$WR = \frac{M_o - M_f}{M_o} \times 100 \quad (21)$$

Onde:

M_o = Peso inicial (kg)

M_f = Peso final (kg)

X_0 = Umidade inicial (kg/kg)

X_f = Umidade final (kg/kg)

Y_0 = Sólido solúvel inicial (°Brix)

Y_f = Sólido solúvel final (°Brix)

Capítulo 3

Estado da Arte

3. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será apresentada uma revisão dos trabalhos pesquisados sobre desidratação osmótica de frutas. A bibliografia foi selecionada com o objetivo de se ter uma visão global do que está sendo feito nesta área, podendo se dividir em três subáreas:

- Estudos realizados sobre os avanços na desidratação osmótica, ou seja, novas tecnologias de processo, novos equipamentos, etc.;
- A influência da desidratação osmótica e de seus parâmetros na qualidade do produto final;
- O estudo matemático da desidratação osmótica, onde engloba-se, o estudo cinético do processo (transferência de massa, coeficiente de difusão, isothermas de dissorção) e a modelagem dos dados.

3.1 – Tecnologia na Desidratação Osmótica

Torreggiani (1993) escreveu sobre o processo de desidratação osmótica de frutas e vegetais, mostrando as variáveis que podem interferir no processo, como pré-tratamento, temperatura, natureza e concentração da solução desidratadora, agitação, aditivos, etc., assim como suas mais diversas aplicações. A transferência de massa também pode interferir na qualidade do produto, onde o alimento poderá perder mais água ou incorporar mais sólido. Este fator vai depender das características do material a ser tratado. Em temperaturas superiores a 45°C pode ocorrer reações enzimáticas e a deterioração do sabor, não é muito vantajoso usar a desidratação osmótica para reduzir mais de 50% da umidade, pois a maior redução acontece, geralmente, nas duas primeiras horas de secagem e o ganho de sólidos no máximo em 30 minutos. Depois de conhecido o processo as aplicações podem ser as mais diversas. A desidratação osmótica pode ser usada com um pré-tratamento para o congelamento, secagem com ar frio, apertização, secagem com ar quente, secagem a vácuo, liofilização, concentração de sucos. Os processos também podem ser combinados

O fenômeno da desidratação osmótica foi mostrado por Raoult-Wack (1994) através de um esquema com todas as transferências de massas possíveis de ocorrer. Ele mostrou também que estes mecanismos de secagem são a nível celular e não chegam a danificar a

célula, mantendo-a preservada. Os modelos propostos para a cinética no processo com a desidratação osmótica são baseadas na segunda lei de Fick para difusão em um estado variável. Vários outros modelos foram propostos, uns mais simples e outros bem mais complexos, envolvendo a transferência de massa ocorrida dentro da célula. A transferência de massa depende de variáveis como: área dos pedaços de alimentos, temperatura, tempo de duração, concentração e composição da solução osmótica, modo de contato, pressão e a razão produto/solução. A definição destes parâmetros permite otimizar a produção, evitando, assim desperdícios.

Lenart (1996) como Raoult-Wack (1994) descrevem todo o processo de desidratação osmótica, sua aplicação na indústria, como deve ser empregado, sugere até equipamentos mecânicos onde ele detalha todo o processo osmótico (Marouzé, et al, 2001 também faz um detalhamento de vários equipamentos utilizados para a desidratação osmótica). Dentro do detalhamento osmótico existe uma preocupação com o produto, ou seja com suas características finais. As mudanças nos valores nutritivos e nas propriedades organolépticas do produto final a respeito do custo do processo são os indicadores básicos para avaliar a utilidade de cada substância osmótica.

Tonon e Murr (2001) otimizaram o processo de desidratação osmótica do pedúnculo do caju em solução de sacarose e de glicose, quanto aos parâmetros de tempo, temperatura e concentração das soluções em relação às respostas de perda de água, ganho de sólidos e perda de peso. A metodologia consistiu em imergir as amostras em soluções osmóticas contidas em béqueres, com uma relação amostra/solução de 1:10, mantidas sob agitação de 100 rpm e temperaturas controladas de 30, 40 e 50°C. As amostras foram retiradas em tempos pré-determinados para se obter o conteúdo de umidade, o qual permitiu calcular os valores das respostas mencionadas. Foram realizados ensaios experimentais de acordo com um planejamento fatorial 2³, mais pontos axiais, totalizando 17 ensaios para cada agente osmótico. Os resultados foram analisados pelo pacote estatístico STATISTICA 5.0. Em ambos os processos (desidratação em solução de sacarose e glicose), evidenciaram-se a influência da temperatura, do tempo e da concentração da solução nos valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos. Os valores destas respostas aumentaram com o aumento destes parâmetros. A qualidade do produto desidratado foi avaliada pelo conteúdo de ácido ascórbico (vitamina C).

3.2 – Parâmetros que influenciam na Desidratação Osmótica

Em 1983, Bolin, et al, estudaram o efeito de agentes osmóticos na qualidade das frutas (maças, pêras e abricós). As soluções osmóticas estudadas foram de sacarose, frutose de milho-90 (HFCS) e o sorbitol. O xarope depois de utilizado era reconcentrado até atingir os 70°Brix estipulados para o estudo. As frutas eram colocadas obedecendo a proporção de 4:1 na razão xarope-fruta. Foram avaliados a cor da fruta e do xarope, a penetração do xarope na fruta e a avaliação sensorial da fruta. O xarope reconcentrado apresentou mudanças físico-químicas, como o escurecimento. No sabor não houve diferença significativa percebida pelo painel de provadores e nem no teste feito para a avaliação do corte das frutas. Observou-se, nos testes com os xaropes, que o xarope de sacarose estabilizou o ganho de açúcar em 1 hora de processo, já a perda de massa e de umidade estabilizaram em torno de 3 horas. Para o xarope de HFCS, o ganho de sólidos foi aumentando até as 7 horas finais de processo, assim como os demais parâmetros. Depois de começado o tratamento osmótico, com 3 horas as maçãs no xarope HFCS já tinha absorvido 50% mais sólidos que as do xarope de sacarose. Este fato era esperado, pois a sacarose é um dissacarídeo e sua penetração é mais lenta do que a frutose que é um monossacarídeo. De modo geral, a sacarose foi a melhor escolha, por não diferir significativamente das demais e por ter sido mais aceita pelo painel.

Lerici, et al (1985) também trabalharam com a determinação do melhor xarope, mas o diferencial foi a adição de sal (NaCl comercial) às soluções. Os agentes osmóticos foram: solução de sacarose (59°Brix); solução de frutose (60°Brix); xaropes comerciais (“F”70°Brix e “G” de 68°Brix). O sal foi adicionado ao xarope em diferentes proporções (0; 0,5; 1,0; 2,0%) e foi utilizada a maçã para os testes. A fruta foi cortada de várias formas e eram imersas em xarope por um tempo de 16 horas sob agitação constante. Em cada ensaio, foram retiradas amostras de fruta e da solução osmóticas, para serem analisadas conforme mudanças conteúdo de água. Com base nos resultados observou-se que a perda de água não depende somente do gradiente A_w da solução/fruta, como também do ganho de sólidos. Este fenômeno causou, provavelmente, uma redução no coeficiente de difusão da água na interface produto/solução. O maior aumento da perda de água foi obtido pelo xarope “G”, devido o baixo ganho de açúcar. Conclui-se então, que a A_w do produto final vai depender não somente da A_w da solução osmótica, como também do ganho de sólidos do produto, que é determinado por muitos outros fatores (a composição química do xarope, a natureza da

amostra, o corte da amostra, etc.). A adição de sal (NaCl) ao xarope facilita a diminuição da A_w da amostra.

Outros estudos de igual importância para o estudo da desidratação osmótica foram feitos. Em 1994, Saurel, et al, estudaram o fenômeno da transferência de massa durante a desidratação osmótica, para isto, foram utilizados cubos de maçã congelados. A concentração do xarope variou de 35-75%, a temperatura de 30-70°C. o objetivo era observar as transferências de massa ocorridas em diversas situações. Altas concentrações de solução, altas temperaturas e longos tempos de processo, aumentam a perda de água durante o processamento osmótico das maçãs congeladas. O modelo obtidos para os coeficientes estudados experimentalmente foram similares aos estudados para a maçã fresca. Neste caso, também, o maior número de transferências ocorreram nas primeiras horas do tratamento. Em 1995, Karathanos & Kostaropoulos, estudaram a cinética do tratamento osmótico para a maçã cortada em forma cilíndrica. As soluções usadas eram de glicose ou sacarose (15, 30 e 40%) e depois do tratamento osmótico era feita uma secagem complementar em secador de bandejas a temperatura constante de 55°C e velocidade do ar de 2m/s. O efeito da difusividade da água nas amostras durante o processo de secagem foi estimado pela aplicação da segunda lei de Fick e suas soluções analíticas para cilindros infinitos. O tratamento com o xarope de glicose se mostrou mais eficiente para o processo final de secagem, quando trabalhado a 45%, pois a 15% o seu comportamento era similar ao da fruta fresca.

Já Lewicki; Le; Pomarańska-Lazuka, (2002) estudaram o efeito do íon cálcio na secagem osmo-convectiva de tomates de duas variedades a Revermun e a Lima. Os tomates foram tratados por três processos diferentes: Processo A – os tomates da variedade Revermun foram mergulhados em solução de 2% de CaCl_2 por 24 horas a 20° C, a razão fruta:solução usada foi 1:4; Processo B – tratou os pedaços de tomates com CaCl_2 , conforme descrito no processo A e depois foram submetidos a solução osmótica contendo 61,5% de sacarose a 30°C por 180 min, a proporção usada foi a mesma 1:4; Processo C – consiste em adicionar 2% de CaCl_2 na solução osmótica descrita em B. As amostras foram submetidas a secagem convectiva a 60°C e velocidade do ar de 2 m/s por um tempo que variou de 7 a 10 horas e depois as amostras foram reidratadas na proporção de 1 g de amostra para 100 ml de água. Os resultados mostraram que o pré-tratamento com íons de cálcio afetou fortemente o movimento da água e do açúcar dentro do tecido, resultando em uma remoção mais rápida da água pela

osmose e pela convecção, na ordem de 20%. Os tomates tratados com cálcio dificultaram a reidratação. Resultados semelhantes obtiveram Barrera, et al (2004) no estudo com maçãs.

Cháfer; Pérez; Chiralt, (2003) estudaram o comportamento do ganho de açúcar e perda de água durante a desidratação osmótica de pedaços de laranja em dois tipos de solutos. Os frutos foram cortados em 5 pedaços com casca e submetidos a várias concentrações osmóticas (35, 45, 55 e 65° Brix), usando como agentes osmóticos a sacarose e a dextrose, o tempo de desidratação osmótica variou de 0 a 310 min. Foi aplicado vácuo (100 mbar) nos 10 min iniciais do processo. Foram analisados separadamente o ganho de sólidos e a perda de água na casca e na polpa. A polpa perde água, mas na casca acontece um encharcamento. Com os experimentos verificou-se que a transferência de massa ocorre de maneira distinta para a polpa e a casca. O ganho de sólidos das amostras tratadas com sacarose foram maiores que as tratadas com dextrose, visto que a perda de água por difusão era mais rápida nas amostras tratadas com dextrose. Estes fenômenos fizeram com que as amostras tratadas com sacarose tivessem um melhor resultado, independente da sua concentração.

A maçã, a manga e o melão foram submetidos à impregnação e à desidratação osmótica a vácuo (VI-VOD). O efeito da pressão do vácuo (135-674 mbar) e a concentração das soluções de sacarose (41-60°Brix) nos parâmetros de transferência massa foram avaliados. Os níveis do A_w (atividade de água) do final do processamento foram mais baixos para a maçã e a manga tratados com o xarope a 50°Brix e pressão de vácuo de 674 mbar e para o melão tratado a 57°Brix e pressão de 593 mbar. A perda de água obteve comportamento similar para o melão e para a manga, já a maçã foi um pouco menor. O ganho de sólidos (ou ganho de açúcar) (SG) na maçã foram mais elevado do que no melão e na manga. Os valores mínimos de SG foram detectados para a manga, e um valor do máximo foi observado para a maçã. O melão e a manga apresentaram perdas de peso de até 8.9% enquanto o peso da maçã aumentou. Os resultados indicaram que os fenômenos de impregnação predominaram no processo combinado de VI-VOD para a maçã e em fenômenos da desidratação osmótica para o melão e a manga (Mújica-Paz, et al, 2003).

O melão também foi objeto de pesquisa para Lima, et al (2004A). Eles avaliaram a estabilidade dos melões (variedade cantaloupe) desidratados osmoticamente a pressão atmosférica (760 mmHg) e a vácuo (660 mmHg), em solução com concentração de 65°Brix e tempos de 5 h e 3 h, respectivamente. Que depois foram submetidos a secagem em estufa com

circulação de ar a temperatura de 65°C, durante 12 horas. Os produtos foram acondicionados em embalagens plásticas, contendo 120 g, a temperatura ambiente por um período de 180 dias. Foram feitas análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais, que no decorrer do armazenamento não apresentaram diferenças significativas, na ordem de 5%. Entretanto, observou-se que as amostras tratadas com vácuo obtiveram melhores resultados para todos os parâmetros estudados. Em Lima, et al (2004B) foram estudadas as variáveis do processo sobre a cinética de desidratação osmótica, mantendo-se estas mesmas condições. A cinética de desidratação osmótica de melão é influenciada pelas condições de processo, notadamente pela pressão do sistema e concentração da solução osmótica.

Foram estudados por Giraldo, et al (2003) os efeitos da concentração de sacarose da solução na cinética e no rendimento do processo durante a desidratação osmótica de cilindros de manga (variedade *Kent*). Os processos foram realizados a 30°C, usando o xarope a 35, 45, 55 e 65 °Brix, na pressão atmosférica e aplicando o vácuo (50 mbar por 10 minutos) no começo do processo (desidratação osmótica pulsada do vácuo, PVOD). A cinética do ganho do açúcar, e da perda de água, assim como mudanças na massa e no volume da amostra foram analisados. Os coeficientes de difusão efetivos da fase líquida da fruta também foram estimados. A estrutura microscópica das amostras de manga após 15 minutos de tratamentos de PVOD foi examinada fazendo uma varredura em microscópio eletrônico. O coeficiente de difusão efetivo na fase líquida da fruta aumentou quando a concentração de sacarose diminuiu e foi sempre mais elevada em processos osmótico pulsados pelo vácuo. Estes causam a impregnação do tecido com solução da sacarose a uma extensão excepcional para o tratamento a 45°Brix, que induz uma relação muito elevada na razão perda de água - ganho de açúcar.

Sousa, et al (2003A) determinaram os parâmetros do processo de desidratação osmótica (concentração 65°Brix, por 2 horas a 65°C) da goiaba partida ao meio e secagem com e sem vácuo (temperatura de 65°C), então construíram as curvas de secagem da fruta pré-tratada através de desidratação osmótica e avaliaram as características físico-químicas e microbiológicas dos produtos. No final da secagem verificou-se que as goiabas pré-tratadas com osmose a vácuo diminuíam o tempo de secagem, reduzindo os gastos com o processo. Observou-se maior escurecimento no produto tratado com osmose sob vácuo nos processos de osmose e de secagem, enquanto a textura não apresentou diferença entre os dois tratamentos. Outro fato relevante foi a ausência de contaminação microbiológica dos dois produtos no final

da secagem, sendo a metodologia empregada efetiva na prevenção do desenvolvimento microbiano, concluindo-se que é possível obter goiaba desidratada como produto de umidade intermediária, através de pré-tratamento osmótico seguido de secagem.

A banana tem sido alvo de muitos estudos, devido a sua grande popularidade e grandes índices de produção, que acarretam em grandes desperdícios. Sankat; Castaigne; Maharaj, (1996) estudaram o comportamento da secagem da fruta fresca e com pré-tratamento osmótico. Pedacos de banana de aproximadamente 1 cm foram tratados osmoticamente em soluções de 35°, 50° e 65°Brix por 36 horas. Para secagem foram usadas 5 temperaturas, 40°, 50°, 60°, 70° e 80°C e velocidade do ar constante em 0,62 m/s. A secagem na temperatura de 60°C foi repetida para as velocidades de 0,823 e 1,03 m/s. Foi variada também a espessura da banana fresca e a desidratada osmoticamente a 65°Brix (2, 1 e 0,5 cm). Como em outros trabalhos a modelagem dos dados foi feita baseado nas equações de difusão propostas por Fick. Também foi usado o modelo proposto por Perry para tempos longos. As curvas típicas de secagem foram feitas para as temperaturas 40° e 80°C. A 80°C o tempo de secagem cai pela metade para todas as condições estudadas. A melhor condição de tratamento osmótico foi a 65°Brix, mas não há uma diferença significativa do tratamento com 50°Brix. O corte da banana tem efeito na secagem complementar, tanto para a banana fresca, como na tratada. A menor espessura (0,5cm) foi a que obteve um tempo de secagem menor. A mudança na velocidade de secagem não apresentou nenhuma mudança significativa nas curvas de secagem. As difusividades encontradas foram de $34,8 \times 10^{-10}$ m²/s para a fruta fresca e de $8,8 \times 10^{-10}$ m²/s para a banana tratada a 65°Brix, com uma espessura de 1cm.

A segunda lei de Fick para difusão em termos de coordenadas cilíndricas foi utilizada por Rastogi; Raghavarao; Niranjana, (1997) para estudarem as transferências de massa ocorridas em pedacos de banana de aproximadamente 2,5cm de diâmetro e 4,0 cm de espessura. Para este estudo foram feitos testes onde a concentração do xarope variava de 40 a 70°Brix e a temperatura da solução de 25 a 45°C. Foram calculadas as difusividades efetivas e a umidade de equilíbrio para cada ponto e através destes dados foram calculados os números de Fourier. E assim foi correlacionado o efeito que o coeficiente de difusividade efetivo empírico tem sobre a concentração e a temperatura utilizando para isto a equação do tipo Arrhenius. Desta forma é possível fazer a otimização do processo. Dandamrongrak; Young; Mason, (2002) utilizaram três modelos distintos para o estudo da desidratação da banana com vários tipos de pré-tratamento. Foram feitas amostras sem tratamento, com branqueamento (3

min em água fervendo), resfriamento (a 0°C por 24 horas), congelamento (1 hora a -35°C e 24h a -18) e branqueados e congelados. Após o tratamento as bananas eram colocadas em bandejas e levadas para secar a uma temperatura de $50 \pm 1^\circ\text{C}$, a umidade relativa do ar de secagem era de 10-35% e a velocidade de 3,1 m/s. As amostras eram secas até uma umidade final de 25% da umidade inicial. Os modelos utilizados foram, o modelo simples, onde as equações de difusão são calculadas pela segunda lei de Fick. O modelo de Glenn, que propõe melhorar os modelos de secagem utilizando uma parte das séries infinita derivada de uma solução geral da equação da difusão. Onde, este modelo assume que a difusividade é constante, não importando as condições limitantes e a geometria da partícula. E por fim o modelo de Page, que é uma modificação empírica do modelo exponencial simples. Os melhores resultados foram obtidos com o modelo de Glenn, onde os resultados teóricos foram os mais condizentes com os dados reais obtidos.

3.3 – Modelagem na Desidratação Osmótica

Pokharkar; Prasad; Das, (1997) trabalharam com bananas cortadas com 0,5 cm de espessura e 2,5 cm de diâmetro e tratadas com 0,25% de solução de metabissulfito de sódio por 15 min. Os experimentos ocorreram em três diferentes concentrações (50, 60 e 70°Brix) e três temperaturas (30, 40 e 50°C), mantendo a proporção de fruta/xarope em 1/4. Como foi observado nos demais trabalhos, eles também concluíram que quanto maior a concentração e a temperatura do xarope melhor será o desempenho da secagem, ou seja a perda de água será mais rápida. Com base nos dados obtidos foi possível modelar baseado nos coeficientes de transferência de massa experimental e teórico para todas as amostras estudadas e observou-se que não houve diferenças significativas entre eles. Já para Fernandez; Velezmoro; Zapata, (1995), a difusividade (modelo proposto por Schwartzberg & Yue) estudada para pedaços de mamão só é afetada pelo aumento de temperatura e não pela variação na concentração de sacarose. As difusividades para as temperaturas 35, 45 e 55°C foram respectivamente, $2,895 \times 10^{-9}$, $5,953 \times 10^{-9}$ e $9,072 \times 10^{-9}$.

Kaymak-Ertekin e Sultanoglu (2000) utilizaram como agentes osmóticos, além da sacarose (40, 50, 60 e 66%), a dextrose (30, 40 e 50%) e uma mistura de sacarose-dextrose (60 e 70%). O efeito da temperatura (20°, 30°, 40° e 50°C) foi testado somente para a solução de 60% de sacarose. A razão fruta:solução foi de 1/5 e agitação (130 rpm) mantida constante. O modelo desenvolvido para a difusividade também foi baseado na lei de Fick. Com os

experimentos foi possível observar que a perda de água, o ganho de sólidos e a redução de peso aumentavam com o aumento do tempo. Dependendo da composição e da temperatura do xarope, as condições de equilíbrio não são completadas em 8 horas de processo. Os resultados obtidos mostram que o xarope de dextrose obteve um melhor comportamento com concentrações mais baixas e quando misturadas à sacarose. A sacarose obteve os melhores resultados quando elevada à temperatura de 40° e 50°C. Para as situações estudadas o modelo proposto foi satisfatório, e quando se compara o modelo teórico com o experimental, as diferenças são mínimas.

Para El-Aquar; Azoubel; Murr, (2003) a segunda Lei de Fick com ajustes feitos por Crank e Azuara foram suficientes para obtenção das difusividades estudadas para o mamão em cubos, tratados com duas soluções distintas de sacarose a 70°Brix, uma com a adição de lactato de sódio 2,4% p/p e ácido láctico 0,1M e a outra com lactato de sódio 2,4% p/p e ácido cítrico 0,1M. A razão fruta:solução foi de 1:10. O modelo difusional foi realizado para geometria cúbica, utilizando os primeiros 15 termos da série, sem considerar o encolhimento mostrou um bom ajuste apenas para a amostra tratada com ácido cítrico. Os valores da difusividade encontrados para as amostras tratadas com ácido láctico e cítrico foram $4,66 \times 10^{-10}$ e $5,03 \times 10^{-10}$, respectivamente. Mas através de análises constatou-se que a amostra que preservou melhor as características da fruta fresca foi a tratada com ácido láctico.

Park e Bin (2001) estudaram a modelagem das curvas de dessecção para as pêras da variedade D'anjou cortadas em cubos de 1 cm de aresta nos estados "in natura" e desidratadas osmoticamente a 55° Brix e 40° C por 120 minutos. As isotermas de dessecção foram estudadas as temperaturas de 40°, 60° e 80°C e ajustadas pelos modelos de Langmuir, BET, BET linear, GAB, Halsey, Oswin e Peling, sem considerar a temperatura e pelos modelos de Chung e Henderson considerando a temperatura. O modelo que melhor tratou os resultados das isotermas de dessecção da pêra foi o de Henderson entre os modelos que englobam a temperatura. Em relação aos modelos que tratam as isotermas isoladamente, os modelos de Peleg, GAB e Oswin apresentaram o melhor ajuste para as pêras desidratadas osmoticamente e "in natura".

Em 2002, Park; Bin; Brod, fizeram um estudo de secagem entre a pêra com tratamento osmótico e sem, onde foram determinados os coeficientes de difusividade efetivo. Foram usadas as mesmas condições osmóticas (55° Brix e 40° C por 120 minutos) e de secagem

(40°, 60° e 80°C), com velocidade do ar de 1 e 2 m/s. As pêras tratadas osmoticamente mostraram uma velocidade de secagem muito maior que a não tratada. As difusividades efetivas variaram de $1,59 \times 10^{-10}$ a $7,64 \times 10^{-10}$ para as amostra “in natura” secas e de $1,87 \times 10^{-10}$ a $8,12 \times 10^{-10}$ para as amostras pré-tratadas osmoticamente. A difusividade efetiva e a velocidade de secagem mostraram a influência da desidratação osmótica no comportamento da secagem.

Yao & Le Maguer (1996) estudaram a modelagem matemática e simulação da transferência de massa em um processo de desidratação osmótica. Este trabalho foi dividido em três partes: modelo conceitual e matemático; modelagem, simulação e verificação, e parâmetros estudados. No primeiro trabalho foi feito um estudo do que era um modelo, as principais teorias e os parâmetros que influenciavam na transferência de massa. Todo o relato é feito a nível celular, onde são observadas as transferências ocorridas dentro da célula para o meio osmótico. O modelo fornece uma descrição matemática das mudanças com o tempo e a variação da concentração, da velocidade, do volume, das transferências ocorridas nas membranas e do encolhimento. É um modelo mecânico baseado em parâmetros físicos e não contém constantes empíricas, o modelo recria as características físicas de transferência de massa no tecido celular. No segundo trabalho, os autores apresentam um programa de computador onde é possível simular, através das equações do modelo, perfis da concentração no tecido sujeito a desidratação osmótica. Na simulação, foi usado um método de elemento finito unidimensional, mas que uma ferramenta numérica, o modelo foi validado usando dados experimentais obtidos na desidratação osmótica. Um bom acordo foi feito entre o modelo proposto e as medidas experimentais, isto indica que o mecanismo usado para descrever a transferência de massa no tecido celular sob processo osmótico é real. E o procedimento numérico da simulação para resolver a equação do modelo foi bem sucedido. O modelo é mecanismo e possui a capacidade prever os perfis da concentração do soluto e da água no tecido celular em função do tempo e do espaço. Além disso, o modelo pode fornecer informação sobre o fluxo na membrana, a velocidade deste fluxo, o volume da célula e o comportamento do tecido. Conseqüentemente, o modelo contribui como uma ferramenta útil para investigar o mecanismo dos fenômenos de transferência de massa na desidratação osmótica. O modelo pode também ser usado por fisiologistas por citologistas de plantas no estudo do transporte da água e dos solutos nas células e nas plantas. No terceiro trabalho foi feito um detalhamento dos parâmetros estudados para validar o modelo proposto. Os parâmetros usados foram a concentração da solução osmótica (“mannitol” nas concentrações

0,2675, 0,535 e 1,07 kmol/m³), peso molecular, permeabilidade da membrana celular, a razão do volume inicial (o volume do espaço extracelular dividido pelo volume total). O estudo mostrou, que a desidratação osmótica é afetada não somente pelas propriedades da célula, mas também pelas características da solução. Conseqüentemente o coeficiente de difusividade efetivo é usado no modelo da desidratação osmótica como uma propriedade macroscópica, dependente das características da célula e da concentração da solução. A simulação torna-se, então, muito importante na hora de otimizar o processo de desidratação osmótica, predizendo seus parâmetros mais importantes.

Capítulo 4

Metodologia Experimental

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 – Matéria-prima

Foram utilizadas como matéria-prima a banana da variedade “nanica” com maturação uniforme (casca verde amarelado), o mamão da variedade “formosa” com maturação uniforme (proporção de verde na casca igual a de amarelo) estabelecidos visualmente e a jaca da variedade “dura” no estágio de maturação maduro. A banana e o mamão foram adquiridos no mercado local de Natal. As jacas foram adquiridas em São José de Mipibu, município distante 30 km de Natal. Esta região foi escolhida por ser uma área com grande demanda da fruta na época de safra, que vai de novembro a fevereiro. Todas as frutas foram processadas logo que adquiridas.

4.2 – Preparo da Solução Osmótica

A solução osmótica foi preparada com sacarose (açúcar comercial) e água destilada, adquiridos em mercado local. O açúcar foi pesado em recipiente limpo e seguido da adição da água destilada.

Foram estudadas 4 condições distintas de desidratação osmótica para a banana e o mamão, com soluções de 50° e 70°Brix e temperaturas de 50° e 70°C em tempos de 1, 2, 3 e 4h e agitação constante.

Para a jaca foram estudadas 4 condições distintas de desidratação osmótica (40° e 50°Brix) com tempo de 2, 3 e 4 h com agitação e temperatura de 50°C e 24 h sem agitação a temperatura ambiente.

As amostras depois de diluídas e ajustadas suas concentrações, passavam por uma filtração, para que fossem retirados quaisquer tipos de impureza que poderiam vir a contaminar o produto. Após o processo de filtração foram adicionados ao xarope, ácido cítrico, para o ajuste do pH na faixa de 4 a 5, ainda foram adicionados metabissulfito de sódio (conservante) e cloreto de cálcio (enriquecidos com cálcio) (Lewicki; Le; Pomarańska-Lazura, (2002)).

4.3 – Processamento

4.3.1. – Seleção e preparação da matéria-prima

4.3.1.1 – Banana

As bananas nanicas após uma lavagem prévia foram colocadas em água clorada a 50 ppm (5,3ml de NaClO a 10% / 5 litros de água), por 20 minutos e lavadas novamente, para retirada do excesso de cloro. Em seguida, foram descascadas e raspadas para a retirada do mesocarpo, película que reveste toda a fruta e dificulta a transferência de massa entre a fruta e a solução osmótica. As frutas foram cortadas em pedaços de aproximadamente 1,0 cm (as pontas foram desprezadas). O processo é mostrado na Figura 4.1.

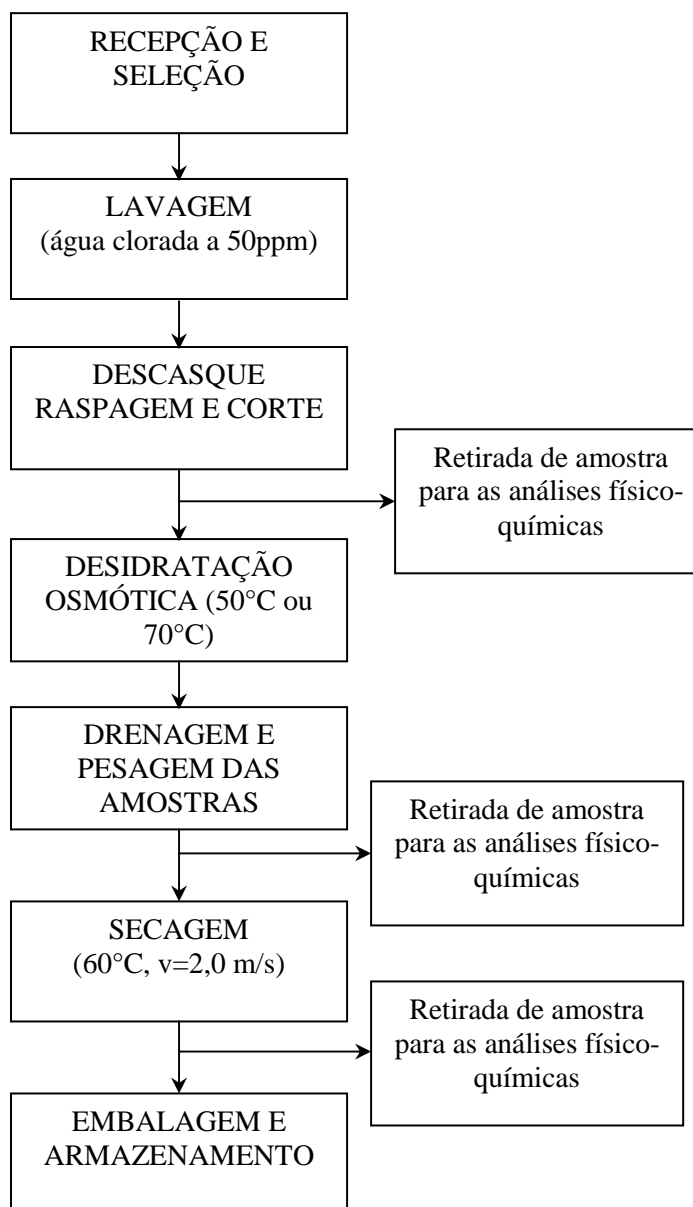


Figura 4.1 – Fluxograma do Processo de secagem da Banana nanica.

4.3.1.2 – Mamão

O mamão utilizado no processamento continha um teor de sólidos solúveis entre 10 e 12° Brix. Este estágio de maturação permitia o seu processamento mantendo sua integridade até o final do processo. Após a seleção os frutos foram lavados e colocados em água clorada a 50 ppm (5,3 ml de NaClO a 10% / 5 litros de água) por 20 minutos (ver figura 4.2). Depois de lavadas para a retirada do excesso de cloro passava-se ao descascamento manual e retirada das sementes, cortado no sentido transversal na largura de aproximadamente 1,5 cm.

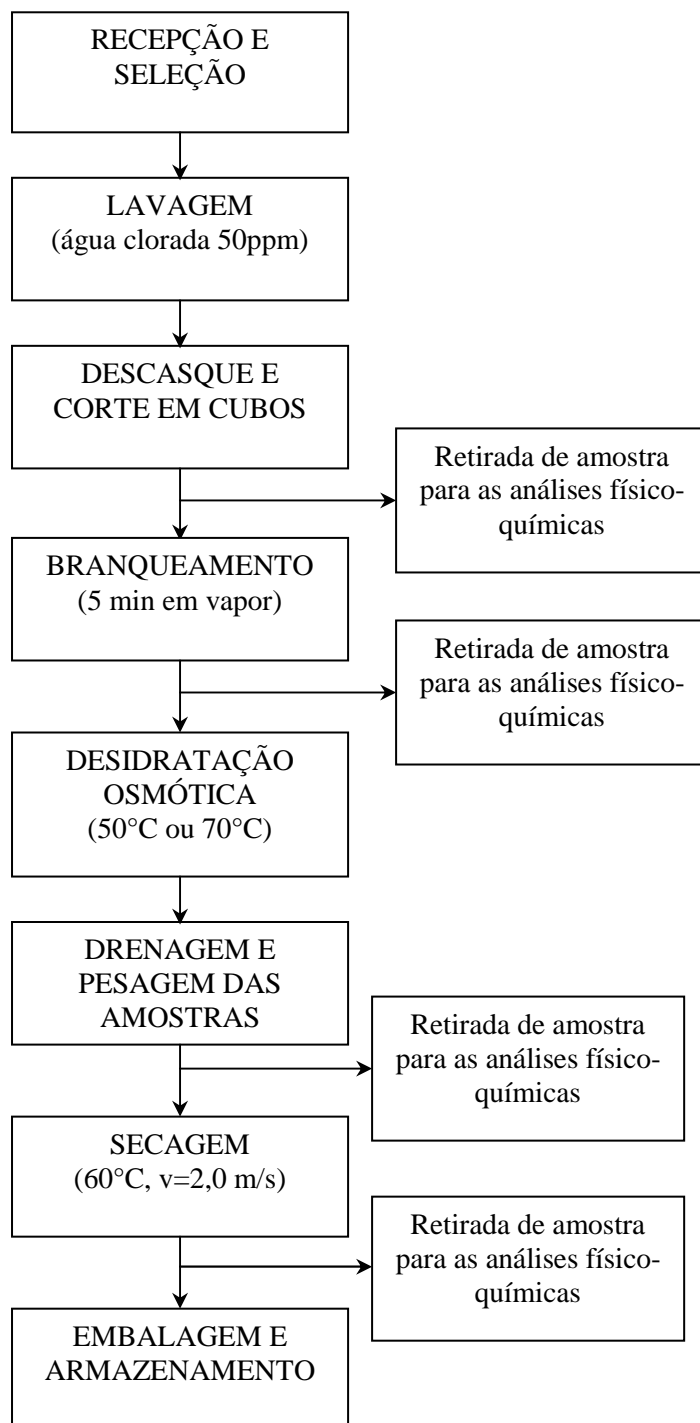


Figura 4.2 – Fluxograma do Processo de secagem do Mamão formosa.

4.3.1.3 – Jaca

A jaca utilizada neste processamento continha um teor de sólidos solúveis entre 8 e 10 °Brix. A jaca dura, mesmo madura mantém seus gomos firmes e resistentes ao processamento, ao contrário da jaca “mole”. Foi feito um teste com jaca da variedade mole no estágio de maturação “de vez”, mas a dificuldade do manuseio impediu o seu uso. A Figura 4.3 mostra o fluxograma da polpa de jaca.

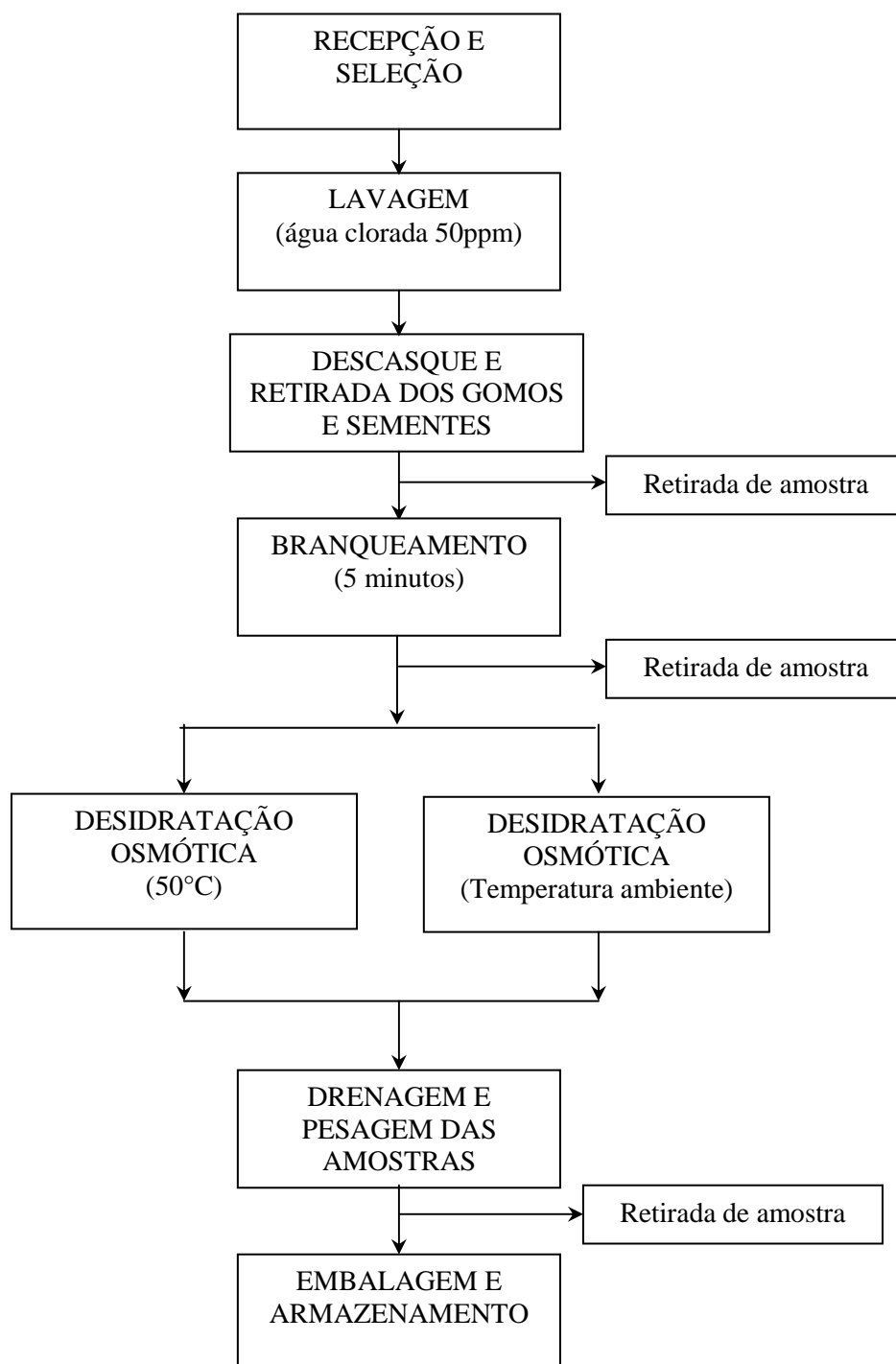


Figura 4.3 – Fluxograma do Processo de desidratação osmótica da Polpa de Jaca.

A jaca dura foi lavada com auxílio de uma escova de cerdas duras e água clorada (50ppm). Depois de enxaguada a fruta foi aberta, os gomos retirados e separados das sementes. Estas sementes foram colocadas em um recipiente e lavadas em água corrente. Depois foram selecionadas, de maneira que fossem retirados as sementes murchas e as que apresentassem qualquer tipo de problema, que viesse a comprometer a qualidade do produto final.. O fluxograma de semente da jaca esta na Figura 4.4.

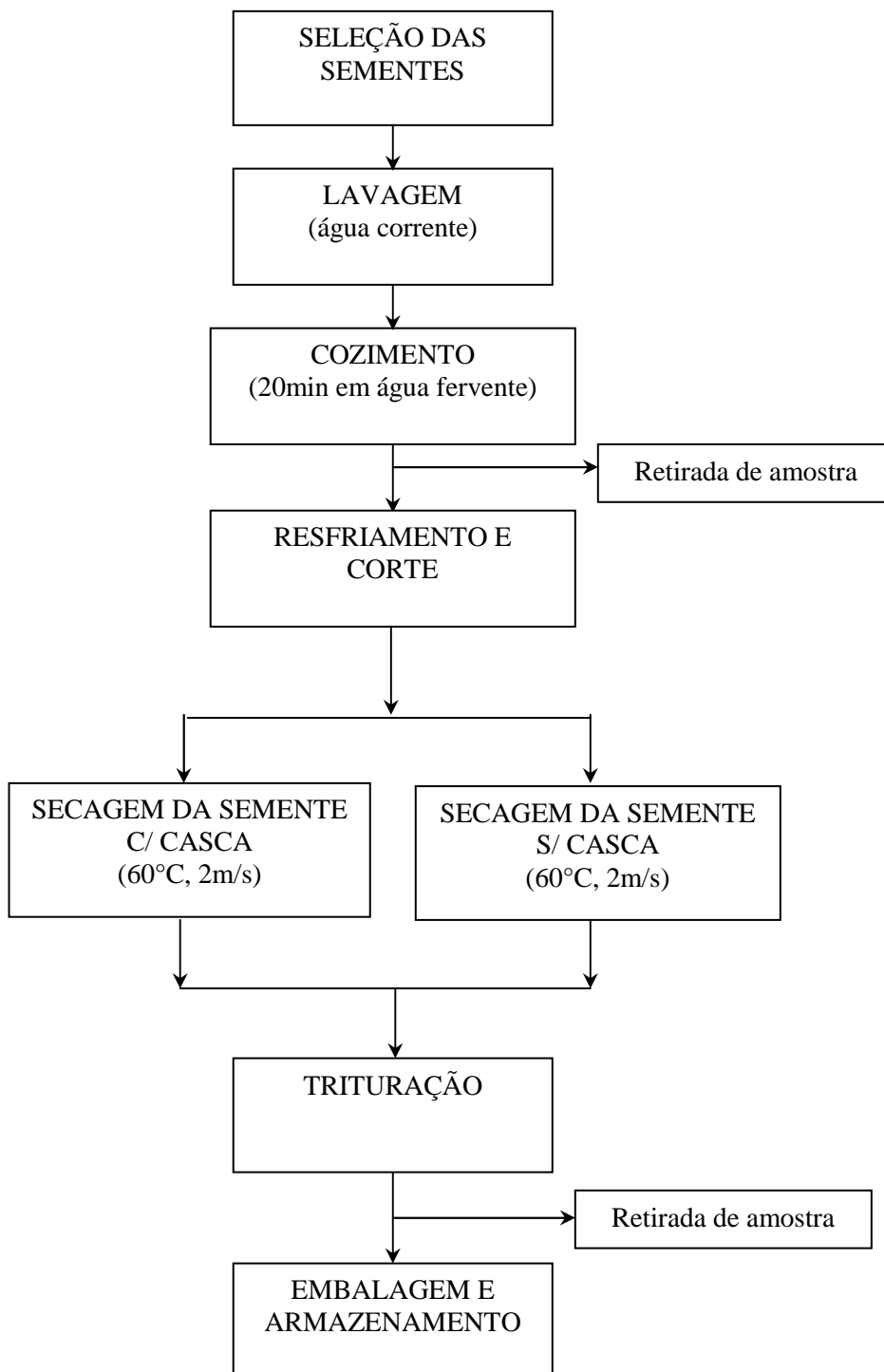


Figura 4.4 – Fluxograma do Processo de Secagem de Sementes de Jaca.

4.3.2. – Branqueamento

O branqueamento é uma técnica utilizada para a inativação enzimática. Desta maneira impede-se que algumas reações características das frutas ocorram, como por exemplo o escurecimento, o amolecimento, etc.

Os cubos de mamão e as polpas de jaca cortada em tiras foram branqueadas em vapor de água, por aproximadamente, 5 minutos, seguido de resfriamento em água corrente.

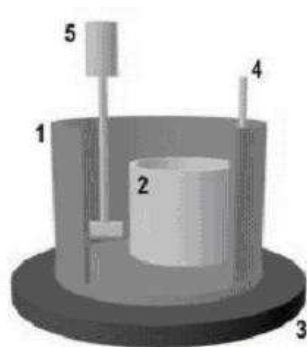
As bananas em rodela não foram branqueadas, pois o branqueamento, tornou-as um produto de consistência mole, que não resistiu ao processo osmótico.

4.3.3. –Cozimento (sementes de jaca)

As sementes de jaca depois de selecionadas foram cozidas em água fervente por 20 minutos e resfriadas em água corrente. Este procedimento foi feito com o intuito de facilitar a retirada da casca (para a secagem) e retirar o gosto amargo, observado por alguns autores (Moraes, et al, 2004), que secaram as sementes sem nenhum pré-tratamento.

4.3.4. – Desidratação Osmótica

Depois de colocar a solução osmótica na cuba de inox, a mesma foi aquecida até atingir a temperatura definida, ajustada através de controlador de temperatura. A homogeneização da solução foi feita através de agitador mecânico. Após os tratamentos iniciais, as frutas foram pesadas e colocadas em um cesto perfurado e este foi imerso na solução osmótica de concentração pré-definida, com temperatura e o tempo de imersão já pré-estabelecidos (item 4.2.3). A Figura 4.5 mostra um esquema do equipamento utilizado.



- 1- Desidratador osmótico: Cuba em aço inox para a solução osmótica.
- 2-Cesto: cesto de tela inox para acondicionamento das frutas para imersão.
- 3- Chapa de aquecimento: chapa com controlador de temperatura.
- 4- Termômetro.
- 5- Agitador mecânico.

Figura 4.5 – Esquema do equipamento utilizado para a desidratação osmótica de frutas.

Após o término da desidratação osmótica, o cesto com as frutas foi suspenso para que o excedente da solução osmótica fosse drenado. Em seguida, este foi pesado, para que se tivesse o valor da massa final, utilizada nas equações de WL, WR e SG. A solução osmótica, também foi pesada, seu volume e a quantidade de sólidos solúveis medidos. Foram retiradas amostras para as análises físico-químicas e as frutas foram colocadas nas bandejas do secador.

As polpas de jaca que foram tratadas por 24 horas em xaropes de 40° e 50° Brix, a temperatura ambiente (~30°C) foram colocadas diretamente em contato com a solução osmótica em becker de vidro. Passadas às 24 horas, as frutas foram drenadas e pesadas, a solução osmótica foi pesada, medida seu volume e seus sólidos solúveis.

Para a polpa de jaca não houve secagem complementar, passando diretamente para a etapa de embalagem e armazenamento.

4.3.5 – Secagem

As frutas desidratadas osmoticamente ou não, foram submetidas a uma secagem final, que foi realizada em um secador de leito fixo (Figura 4.6), constituído das seguintes partes:

- Câmara de secagem: tem formato retangular com 130 cm de altura e 35 cm de lados, com lugar para 7 bandejas perfuradas que medem aproximadamente 29,5 x 2,5 cm e distam 10 cm uma da outra. É feita em madeira revestida em chapa de alumínio, com visor de vidro localizado no lado oposto ao da porta de acesso. Possui abertura nas extremidades inferior e superior, onde é acoplado um tubo em PVC, com 10 cm de diâmetro, por onde passa o ar aquecido, entrando por baixo e após passar pelas bandejas com material úmido, deixa a câmara pelo seu topo.

- Sistema de aquecimento: consta de um trocador de calor, que possui um quadro de resistências que somam um total de 2250 Watts. As resistências podem ser ligadas em conjunto ou separadamente pelo termostato, que está interligado com o controlador de temperatura, que quando é ligado acionada a resistência de 500 W. Um soprador de 3,5 CV, fica acoplado a caixa de resistência, desta maneira o ar produzido pelo soprador é aquecido e direcionado ao secador.

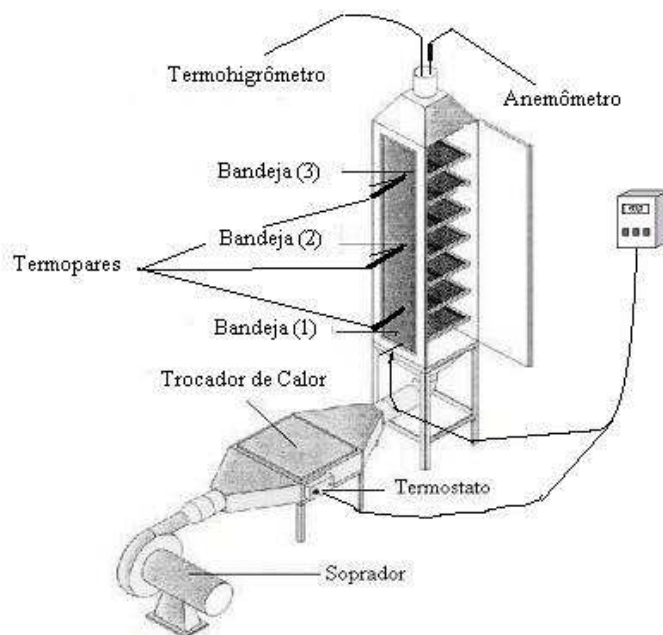


Figura 4.6 – Secador de leito fixo.

As frutas eram dispostas nas bandejas do secador da seguinte forma: 6 colunas com 5 rodela de banana ou 5 cubos de mamão, com espaçamento de 1 cm entre eles. As sementes eram partidas ao meio e arrumadas em fileiras aleatoriamente.

Foram feitos dois testes de secagem com as sementes de jaca: com casca e sem casca. Nos dois testes as sementes foram partidas ao meio para facilitar ainda mais o processo de secagem, depois colocadas nas bandejas em fileiras deixando-se um espaço de 1,0 cm entre elas.

4.3.5.1 – Operação do Equipamento

Antes do início de cada experimento o soprador era ligado e logo em seguida o controlador de temperatura. O sistema ficava ligado para estabilizar as oscilações da temperatura. Os termopares eram instalados ao longo da câmara de secagem, para que se pudesse ter o perfil da temperatura durante todo o processo. A temperatura estipulada para os processos foi de 60°C e uma velocidade do ar de 2 m/s. A escolha da temperatura e da velocidade de secagem foram baseadas em estudos feitos com secagem de frutas pré-tratadas osmoticamente (Rahman & Lamb, 1991; Karathanos & Kostaropoulos, 1995; Sankat; Castaigne; Maharaj, 1996, Honorato, et al, 2001; Oliveira, et al, 2001).

Em todos os experimentos realizados foram utilizadas três bandejas, colocadas em posições distintas, bandeja 1, bandeja 2 e bandeja 3 (Figura 4.6). Este posicionamento foi adotado para que se tivesse um perfil da temperatura e da umidade dentro do secador. Desta maneira, era possível saber se o ar úmido da primeira bandeja causava alguma interferência nas bandejas superiores.

As bandejas, com as amostras, foram colocadas na câmara de secagem, e a cada 30 minutos anotava-se as temperaturas registradas em termopares localizados na entrada da câmara, nas bandejas 1, 2 e 3 e na saída. Também se media a umidade e a velocidade do ar de saída, com o auxílio de um termohigrômetro digital e um Anemômetro digital de fio quente, respectivamente. Feitas as medições as bandejas foram retiradas do secador uma a uma, para que fossem pesadas e retornassem ao secador. O tempo de secagem dependia da fruta a ser seca, mas inicialmente estipulou-se um tempo de 540 min, visto que, as frutas já entravam no secador com uma umidade intermediária, mais baixa do que a da fruta fresca.

Ao final da secagem o sistema era desligado, tomando-se o cuidado de desligar primeiro as resistências e depois de um intervalo de tempo o soprador. As bandejas eram então retiradas e o produto seco embalado.

4.3.5.2 – Equipamentos Periféricos e Instrumentação

- Soprador marca IBRAM – Weq modelo CR-6 com 4 cv de potência.
- Controlador de temperatura marca DIGI-MEC, modelo SHM-126 com precisão de 0,1°C e controle de temperatura na faixa de $\pm 1^\circ\text{C}$.
- Termopares do tipo K (chromel-alumel) ligado a um indicador digital de temperatura, marca Cole-Parmer, Digi-Sense 91000-00, com precisão de 0,1°C.
- Termohigrômetro digital para a medida da umidade relativa e temperatura do ar na saída do secador, marca Cole-Parmer, Modelo nº 37950-10, com precisão de 0,1% e 0,1°C, respectivamente.
- Aquecedor elétrico composto por um conjunto de quatro resistências, com potência total de 2250 W.
- Anemômetro digital de fio quente para a medida da velocidade do ar na saída do secador, marca TSI, modelo 8330 VelociMeter, com precisão de 0,01 m/s.
- Balança semi-analítica marca Bel-Engineering/Mark, com capacidade de 2,0 kg e precisão de 0,1 g.

- Agitador mecânico, marca TECNAL, modelo TE-039.

4.3.6 – Acondicionamento

As rodela de banana e os cubos de mamão secos foram acondicionados em sacos plásticos e em seguida selados. As tiras de polpa de jaca e as sementes de jaca trituradas foram acondicionadas em vidros (esterilizados) de 500 ml e vedados.

4.4 – Condições de Processamento

4.4.1 – Desidratação Osmótica

Baseado em resultados de desidratação osmótica obtidos em testes e por outros autores (Lerici, 1985, Silva, 1998), foram estudadas as seguintes condições:

- Banana e Mamão
 - Concentração da solução osmótica: 50° e 70°Brix;
 - Temperatura da solução osmótica: 50° e 70° C;
 - Tempos de imersão: 1, 2, 3 e 4 horas.
- Jaca
 - Concentração da solução osmótica: 40° e 50°Brix;
 - a) Temperatura da solução osmótica: 50° C.
Com agitação
Tempo de imersão: 2, 3 e 4 horas.
 - b) Temperatura da solução osmótica: \cong 30° C (ambiente).
Sem agitação
Tempo de imersão: 24 horas.

A proporção fruta: solução osmótica foi de 1:4, sendo mantida para as três frutas estudadas.

4.4.1.1 – Variáveis estudadas

As variáveis estudadas foram a perda de água (WL), o ganho de sólidos (SG) e a

redução de massa (WR). Esses parâmetros foram calculados usando as equações, dadas no capítulo 2 item 2.2.3.

$$WL = \frac{M_0 \times X_0 - M_f \times X_f}{M_0}$$

$$SG = \frac{M_f \times Y_f - M_0 \times Y_0}{M_0}$$

$$WR = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \times 100$$

4.4.2 – Ensaios de Secagem

O secador de leito fixo utilizado nos experimentos foi o estudado por Honorato, et al (2001) e por Oliveira, et al (2001), que verificaram que as melhores temperaturas para se trabalhar com secagem de alimento seriam entre 50° e 65°C. Honorato (2002) estudou ainda a distribuição do ar de secagem dentro do secador, com base em seu estudo as bandejas foram localizadas, conforme a Figura 4.6.

A cinética de secagem depende das variáveis estudadas ao longo do processo. Para isto foram medidas as variações das temperaturas de entrada e saída e a umidade relativa do ar, a cada 15 min, durante todo o processo.

4.4.2.1 – Banana

Para as bananas foram feitos ensaios de secagem para todas as condições osmóticas estudadas. As condições operacionais mantidas nos ensaios de secagem para a banana estão mostradas na Tabela 4.1.

A Tabela 4.1 mostra os parâmetros nas condições operacionais dos ensaios de secagem no secador de leito fixo. A umidade inicial em base seca depende da umidade final da desidratação osmótica. A umidade relativa do ar e temperatura apresentaram uma pequena variação devido às condições do tempo nos dias dos ensaios. A temperatura do secador foi medida em um ponto localizado na entrada da câmara de secagem e a velocidade na saída do secador. Estes parâmetros foram medidos ao longo dos experimentos, no local onde os mesmos ocorriam.

Tabela 4.1. Condições operacionais para os ensaios de secagem em secador de leito fixo para a secagem da banana.

Pré-secagem		T _{secagem} (°C)	V _{secagem} (m/s)	U _{inicial} (b.s)	U _{relativa do ar} (%)	T _{ambiente} (°C)
50°Brix	50°C	60,2 ± 0,30	2,05 ± 0,05	1,338 ± 0,12	60,6 ± 2,86	29,9 ± 0,32
	70°C	60,2 ± 0,27	2,02 ± 0,05	1,023 ± 0,08	59,0 ± 0,54	30,1 ± 0,80
70°Brix	50°C	60,6 ± 0,40	2,02 ± 0,04	1,145 ± 0,16	57,1 ± 1,23	29,9 ± 0,23
	70°C	60,2 ± 0,34	2,01 ± 0,03	0,911 ± 0,01	74,9 ± 0,05	27,8 ± 0,05

4.4.2.2 – Mamão

As condições operacionais mantidas nos ensaios de secagem para o mamão estão mostradas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Condições para os ensaios de secagem em secador de leito fixo para a secagem do mamão.

Ensaio	T _{secagem} (°C)	V _{secagem} (m/s)	U _{inicial} (b.s)	U _{relativa do ar} (%)	T _{ambiente} (°C)
“in natura”	59,9 ± 0,28	1,99 ± 0,03	7,60 ± 0,5	66,8 ± 3,48	29,7 ± 0,66
50°Brix/70°C	60,0 ± 0,25	2,5 ± 0,09	1,33 ± 0,1	62,5 ± 3,00	31,2 ± 0,25

4.4.2.3 – Jaca (sementes)

Foram realizados ensaios de secagem nas sementes de jaca cozidas e partidas ao meio, com e sem pele, usando secador de leito fixo, as condições definidas para os ensaios estão descritas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Condições para os ensaios de secagem em secador de leito fixo para as sementes de jaca.

Ensaio	T _{secagem} (°C)	V _{secagem} (m/s)	U _{inicial} (b.s)	U _{relativa do ar} (%)	T _{ambiente} (°C)
semente	64,5 ± 0,31°	1,97 ± 0,05	1,8353 ± 0,1	62,1 ± 1,94	30,5 ± 0,52

4.4.3 - Simulação e Otimização do Processo Osmótico e de Secagem

A análise do processo de secagem, os ajustes das curvas experimentais e o cálculo da difusividade efetiva, sem considerar o encolhimento da amostra, foram realizados com base na segunda lei de Fick para uma placa plana infinita modelo difusional de acordo com a Equação 12.

Com o intuito de otimizar a operação conjunta de secagem de frutas usando primeiramente a desidratação osmótica seguida de secagem com ar em secador de leito fixo, um modelo fenomenológico foi desenvolvido para modelar os dois processos (desidratação e secagem) e otimizar o tempo de operação “ótimo” de permanência em cada um dos processos.

O modelo básico para a desidratação osmótica considera a transferência da água e do açúcar entre a fruta e a solução osmótica, e a perda de água da solução osmótica para o meio externo devido a evaporação (Figura 4.7).

A fruta perde água para a solução osmótica e ganha açúcar desta, conforme é mostrado na Figura 4.7. A taxa de transferência de massa na fruta, depende de três fatores: da resistência imposta pela parede celular à passagem de massa (coeficiente de massa da água, K_m), da área superficial da fruta por onde ocorre a transferência de massa (área de troca na fase fruta, A_{FR}) e de uma força motriz para que a transferência ocorra. No processo de desidratação osmótica, a força motriz é dada pela diferença de concentração entre a água ou açúcar presente no interior da fruta e a água ou açúcar presente na solução osmótica

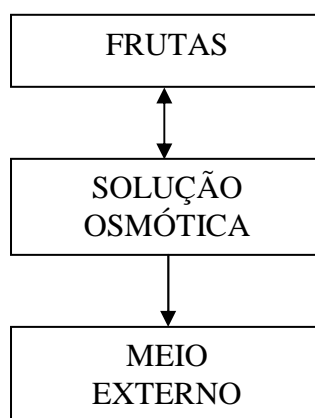


Figura 4.7. Esquema do modelo para a desidratação osmótica.

Matematicamente, a variação de massa de água e açúcar na fruta é dada pelas equações 22 e 23:

$$\frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} = -K_m^{AG} \cdot A_{FR} \cdot (C_{FR}^{AG} - C_{SO}^{AG}) \cdot V_{FR} \quad (22)$$

$$\frac{dM_{FR}^{AÇ}}{dt} = -K_m^{AÇ} \cdot A_{FR} \cdot (C_{FR}^{AÇ} - C_{SO}^{AÇ}) \cdot V_{FR} \quad (23)$$

onde:

K_m^{AG} = coeficiente específico de transferência de massa na fase água, $1/h.m^2$.

$K_m^{AÇ}$ = coeficiente específico de transferência de massa na fase açúcar, $1/h.m^2$.

A_{FR} = área de superfície de troca da fruta, m^2 .

C_{FR}^{AG} = concentração mássica de água na fase fruta, g/m^3 .

C_{SO}^{AG} = concentração mássica de água na fase solução, g/m^3 .

$C_{FR}^{AÇ}$ = concentração mássica de açúcar na fase fruta, g/m^3 .

$C_{SO}^{AÇ}$ = concentração mássica de açúcar na fase solução, g/m^3 .

V_{FR} = volume da fruta, m^3 .

Como pode ser notado pelas equações, a massa de água na fruta decresce pois o gradiente de concentração ($C_{FR}^{AG} - C_{SO}^{AG}$) para a água é positiva, havendo uma maior concentração de água na fruta do que na solução osmótica, fazendo com que o lado direito da equação, e portanto o diferencial se torne negativo. O fenômeno oposto ocorre com a massa de açúcar na fruta.

A secagem de produtos agrícolas com alto teor de umidade inicial, como as frutas, produz um considerável efeito de encolhimento. Este fenômeno foi incluído, com o objetivo de dar maior confiabilidade nos coeficientes obtidos. Neste modelo, o efeito da concentração foi fixado para ser proporcional às mudanças na massa de água na fruta. A medida que ocorre a transferência de massa úmida na fruta, a mesma proporciona a formação de espaços vazios, causando um encolhimento das células e conseqüente redução de volume. A variação no volume da fruta é proporcional à quantidade de água que deixa a fruta, porém não será igual a este valor, uma vez que devido à estrutura da parede celular e das estruturas existentes no interior da célula, haverá um encolhimento apenas parcial da célula com a deformação da

parede celular. O fator de encolhimento (α) depende da fruta e do tipo de estrutura celular que esta possui.

$$\frac{dV_{FR}}{dt} = \alpha \cdot \frac{dM_{FR}^W}{dt} \quad (24)$$

onde:

α = fator de encolhimento da fruta.

Realizando um balanço de massa na solução osmótica, teremos que a solução ganha água provinda da desidratação da fruta e perde um pouco de açúcar da solução osmótica, conforme esquema mostrado na Figura 4.7. Além da transferência de massa entre a fruta e a solução osmótica, ocorre também na solução osmótica, a perda de água por evaporação para o meio ambiente. Assim como para a fruta, a taxa de transferência de massa para a água e para o açúcar, entrando e saindo da solução osmótica, depende de três fatores: resistência imposta pela parede celular à passagem de massa, da área superficial da fruta onde ocorre a transferência de massa (A_{FR}) e de uma força motriz para que a transferência ocorra. Por existirem apenas duas fases no sistema de desidratação osmótica, a quantidade água que deixa a fruta é igual à quantidade de água que entra na solução osmótica, ou seja a taxa de acúmulo de água na solução osmótica é igual taxa de perda de água na fruta. O mesmo é válido para o açúcar, onde a taxa de perda de açúcar pela solução osmótica é igual à taxa de acúmulo de açúcar pela fruta.

$$\frac{dM_{SO}^{AG}}{dt} = - \frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} - \frac{K_m^{EVAP} \cdot A_{SO}}{\lambda} \quad (25)$$

$$\frac{dM_{SO}^{AC}}{dt} = - \frac{dM_{FR}^{AC}}{dt} \quad (26)$$

onde:

K_m^{EVAP} = coeficiente específico de transferência de massa na fase vapor, 1/h.m².

A_{SO} = área de superfície de troca da solução osmótica, m².

λ = calor de vaporização.

Sob temperaturas elevadas, a solução osmótica pode perder água por evaporação para o meio ambiente, fazendo com que este efeito tenha que ser considerado na modelagem. A taxa de evaporação, dada pelo terceiro termo da equação 25 depende de três fatores: a taxa de transferência de massa entre a solução osmótica e o ar, a área superficial da interface solução-

ar e um termo que leve em consideração a energia necessária para evaporação da água da solução (λ). Neste trabalho, as simulações realizadas com desidratação osmótica, o termo de evaporação não foi considerado devido as condições amenas de temperatura (menores que 80°C).

A variação do volume da solução osmótica é dada pela quantidade de água que deixa a fruta, sendo calculada pela massa de água transferida da fruta para a solução osmótica dividido pela densidade da água na temperatura do processo. A variação do volume de água na solução osmótica é um fator importante pois irá influenciar na concentração de água e açúcar e conseqüentemente na força motriz para que a desidratação ocorra, considerando-se assim o efeito de diluição da solução ao longo do tratamento osmótico.

$$\frac{dV_{SO}}{dt} = \frac{1}{\rho^{AG}} \cdot \frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} \quad (27)$$

onde:

ρ^{AG} = densidade da água, g/m³.

O modelo para a secagem com gás aquecido segue as equações tradicionais de secagem, que consideram o período de taxa constante e o período de taxa decrescente, sendo baseados na aplicação da lei de Fick. A equação para o período de secagem a taxa constante leva em consideração a taxa de secagem, a área superficial da fruta em contato com o ar e a massa de fruta desidratada. A equação para o período de taxa decrescente considera a difusividade da água pela fruta, a distância entre a umidade da fruta e a umidade de equilíbrio e o fator de geometria da fruta.

Região de taxa constante:

$$\frac{dU}{dt} = - \frac{R \cdot A_{FR}}{M_{SO}} \quad (28)$$

Região de taxa decrescente.

$$\frac{\bar{U} - U_e}{U_0 - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2}\right) \quad (29)$$

onde:

R = taxa de secagem no período constante, g / h.m².

L = espessura da fruta, m.

D = difusividade, m²/s.

Com os dados experimentais da banana e do mamão foi possível determinar os coeficientes de transferência de massa entre a fruta e a solução osmótica e a difusividade da água da fruta para o ar na secagem com ar quente. Com base nos dados obtidos e nos modelos descritos anteriormente foi feito um programa para realizar a estimativa de parâmetros, baseado na minimização da soma dos erros quadráticos entre os dados experimentais e a curva do modelo (apêndice A). Um programa em Linguagem Fortran foi especialmente desenvolvido para estimar os parâmetros para o modelo de desidratação osmótica e de secagem em leito fixo (apêndice B).

Uma vez que o modelo foi validado com os dados experimentais e os parâmetros de transferência de massa e a difusividade foram estimados, a otimização do tempo de processamento foi realizada, para cada processo, utilizando-se um programa desenvolvido em linguagem Fortran. A otimização foi realizada com o método de Levenberg-Marquardt utilizando-se a função objetivo:

$$\Phi = \text{MIN}(\theta_{DO} + \theta_{SC}) \quad (30)$$

onde:

Φ = tempo total mínimo de processamento, min

θ_{DO} = tempo mínimo de desidratação osmótica, min

θ_{SC} = tempo mínimo de secagem, min

onde, buscou-se pelo tempo de processamento mínimo entre os processos de desidratação osmótica e secagem em leito fixo, dado uma umidade final para a fruta. Este procedimento equivale a buscar pelo menor tempo de processamento nos dois processos, sendo que cada processo é utilizado enquanto a taxa de secagem no dado processo é maior do que no outro. Em geral, o processo de desidratação osmótica tem uma maior taxa inicial de remoção de água da fruta, mas que decresce rapidamente nas primeiras duas horas de processamento, quando então, a secagem em leito fixo passa a apresentar uma maior taxa de remoção de água da fruta. O processo de minimização procura, portanto, identificar este ponto onde a taxa para a secagem a ar passa a ser superior que a taxa para a desidratação osmótica, e assim estabelecer o tempo de permanência da fruta em cada um destes processos.

4.5 – Métodos Analíticos

4.5.1 – Análises Físico-químicas

Todas as análises foram feitas, em triplicatas, para as frutas frescas, tratadas osmoticamente e secas. No caso do mamão e da jaca foram feitos também com as amostras branqueadas e no caso das sementes de jaca foram feitas análises após o cozimento.

Todas as análises seguiram os métodos descritos nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz.

- Determinação de pH, em pHmetro digital, marca DIGIMED, modelo DMPH-2;
- Determinação de Sólidos Solúveis (°Brix), lidas diretamente em refratômetro, marca PZO WARSZAWA, modelo RL-2, NR 2720;
- Determinação de Acidez Total Titulável, expressa em mg de ácido cítrico / g de amostra;
- Umidade, determinada em estufa com circulação de ar, até peso constante.

4.5.2 – Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada somente com a polpa de jaca desidratada osmoticamente nas duas condições já apresentadas, por se tratar de um produto exótico e totalmente inovador, onde não foi encontrado produto similar para comparação. O objetivo foi comparar com a polpa de jaca fresca e verificar o índice de aceitabilidade. Os atributos sensoriais avaliados neste trabalho foram cor, aparência, textura e sabor.

Para os atributos cor e aparência as avaliações sensoriais foram conduzidas segundo o delineamento de blocos casualizados utilizando a escala hedônica de 3 pontos:

- 1 = péssimo
- 2 = bom
- 3 = excelente

Para o atributo textura foi feito um teste de intensidade, utilizando-se a escala de intensidade:

Capítulo 5

Resultados e Discussões

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – Fruta fresca

Os resultados obtidos na caracterização físico-química da fruta fresca, podem diferir dos valores da literatura, isto porque dependem da região de colheita da fruta e de seu estágio de maturação.

5.1.1 – Banana

Os resultados da caracterização físico-química da banana nanica (*Musa cavendishii*, L.) são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Caracterização físico-química da banana nanica.

Análises	Fruta fresca	Literatura
pH	4,54 ± 0,13	4,77 - 4,49
Acidez (mg de ácido cítrico/g de amostra)	0,4172 ± 0,025	4,432-6,269*
Sólidos Solúveis (°Brix)	12,44 ± 0,38	6,5 - 19,5
Umidade (%)	73,04 ± 0,05	70 - 75

* acidez titulável expressa em porcentagem de ácido málico, não podendo ser comparado com ácido cítrico.

Os resultados são condizentes com a banana no estágio de maturação verde (casca verdes amareladas). O parâmetro analisado, que teve uma maior variação foram os sólidos solúveis que estão diretamente ligados ao amadurecimento da fruta. Comparando-se com os resultados da caracterização físico-química da banana nanica (*Musa cavendishii* L.) apresentados por Ditchfield e Tadini (2002) a banana estudada ficou entre os obtidos por eles com bananas no estágio de maturação 2 (casca verde com traços amarelados) e 3 (casca mais verde que amarela) (ver Figura 2.3). O teor de umidade da banana estudada é bastante satisfatório quando comparado com valores da literatura. Segundo Mauro (1992), o conteúdo de umidade da polpa de banana verde é, em média 70%, se elevando para 75% quando completamente madura. Rastogi, et al (1997) trabalharam a banana com umidade de 72,5%.

5.1.2 – Mamão

O mamão formosa (*Carica papaya*, L.) de casca verde amarelada foi avaliado quanto suas características físico químicas de acordo com os métodos descritos anteriormente no Capítulo 4, item 4.3. Os resultados obtidos nas análises são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Caracterização físico-química do mamão formosa.

Análises	Fruta fresca	Literatura
pH	5,37	5,74
Acidez (mg de ácido cítrico/g de amostra)	0,15	0,12
Sólidos Solúveis (°Brix)	10,10	10,05
Umidade (%)	87,83	87,05

Estes resultados foram coerentes com os obtidos por Silva (1998), que trabalhou nas mesmas condições deste estudo. Assim como, com os autores El-Quar & Murr (2003), Matsuura & Folegatti (2002) e Moyano, et al (2002).

5.1.3 – Jaca

5.1.3.1 – Polpa

A polpa da jaca da variedade dura (*Artocarpus heterophyllus*, L.) foi avaliada quanto as suas características físico-químicas de acordo com os métodos descritos anteriormente no Capítulo 4, item 4.3, e estes resultados são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. Caracterização físico-química da polpa de jaca “in natura”.

Análises	Polpa fresca	Literatura*
pH	4,84	5,01
Acidez (mg de ácido cítrico/g de amostra)	0,29	0,31
Sólidos Solúveis (°Brix)	15,00	25,81
Umidade (%)	66,38	73,58

*Estes resultados são para a jaca mole.

Os resultados são condizentes com os encontrados por Lordelo (2001) para a jaca mole, onde a maior diferença se dá na quantidade de sólidos solúveis e na umidade, que era esperado, uma vez que a jaca mole é mais doce e mais úmida que a jaca dura.

5.1.3.1 – Semente

A caracterização físico-química da semente de jaca de acordo com os métodos descritos anteriormente no Capítulo 4, item 4.3, e estes resultados são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Caracterização físico-química da semente de jaca.

ANÁLISES	“in natura”	Cozidas
pH	5,32	4,95
Acidez (mg de ácido cítrico/g de amostra)	0,72	0,26
Sólidos Solúveis (°Brix)	9,00	20,25
Umidade (%)	71,79	68,98

Não foram encontrados trabalhos com a caracterização físico-química das sementes de jaca para comparação.

Observe que ocorreram algumas alterações nos parâmetros, principalmente no teor de água, nos sólidos solúveis, devido, provavelmente, ao teor de amido e na acidez. Essas alterações eram esperadas, uma vez que as sementes foram cozidas por 20 minutos.

5.2 – Desidratação Osmótica

5.2.1 –Banana e Mamão

Na Tabela 5.5 são apresentados os resultados de Perda de Água (WL), Ganho de Sólidos (SG) e Redução de Peso (WR) para cada condição de desidratação osmótica em diferentes tempos de imersão, a temperatura de 50° e 70°C.

Tabela 5.5. Resultados de WL (perda de água), SG (ganho de açúcar) e WR (redução de peso) para cada condição de processamento da banana.

Conc.	T (°C)	t (horas)	WL (%)	SG (%)	WR (%)
50°Brix	50°C	1	5,25	3,96	1,85
		2	14,50	6,06	8,15
		3	18,58	8,54	12,50
		4	20,55	8,78	13,90
	70°C	1	7,61	3,55	3,40
		2	15,66	5,38	12,60
		3	25,03	6,13	21,45
		4	34,04	6,17	30,5
70°Brix	50°C	1	45,41	6,53	37,26
		2	56,71	5,98	45,17
		3	56,80	9,89	45,30
		4	57,03	10,61	42,78
	70°C	1	45,43	4,23	33,79
		2	54,04	10,88	34,59
		3	58,34	11,25	35,41
		4	58,59	12,85	33,14

Observando a Tabela 5.5, verifica-se que nos tempos de imersão de 3 e 4 horas ocorrem as maiores perdas de água, entretanto, esta variação diminui com o aumento da concentração da solução osmótica para 50° Brix.

Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados de Perda de Água (WL), Ganho de Sólidos (SG) e Redução de Peso (WR) para cada condição estudada.

Tabela 5.6. Resultados de WL, SG e WP para cada condição de processamento do mamão.

Conc.	T (°C)	t (horas)	WL (%)	SG (%)	WR (%)
50°Brix	50°C	1	16,16	7,44	10,54
		2	22,71	11,08	16,68
		3	26,42	14,50	20,86
	70°C	1	37,16	8,24	22,56
		2	48,09	13,33	30,40
		3	52,12	16,97	34,41
70°Brix	50°C	1	36,15	12,52	22,15
		2	42,76	17,25	29,41
		3	44,31	18,22	32,13
	70°C	1	42,83	14,55	28,52
		2	51,90	18,78	35,65
		3	52,73	19,17	36,44

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 mostram a variação da redução de peso, a perda de água e ganho de açúcar, nas diferentes condições de processo.

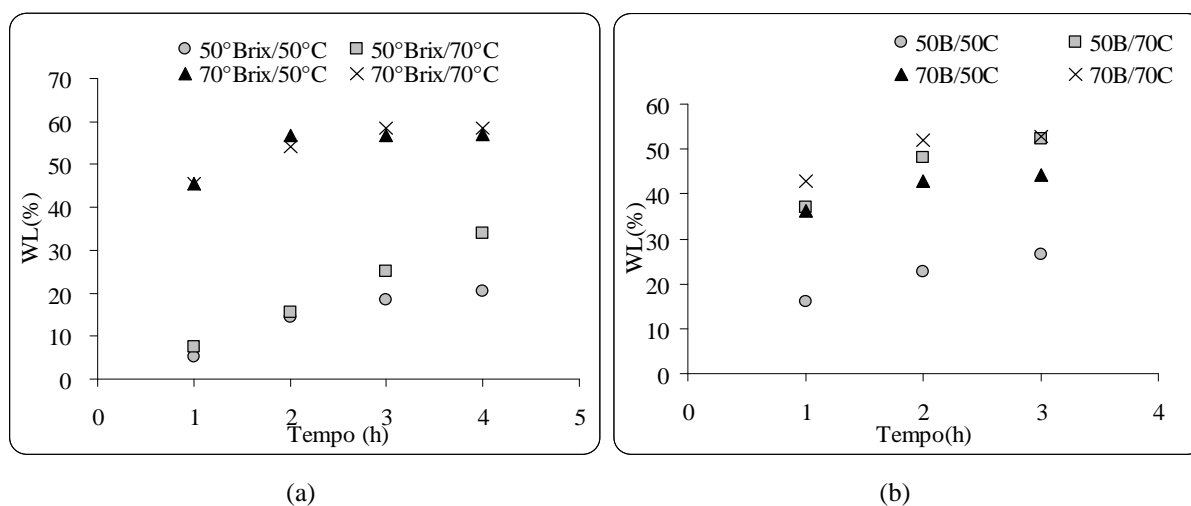


Figura 5.1. Influência do tempo de imersão na perda de água (a) das bananas em rodela e (b) dos cubos de mamões, durante a desidratação osmótica das quatro condições estudadas.

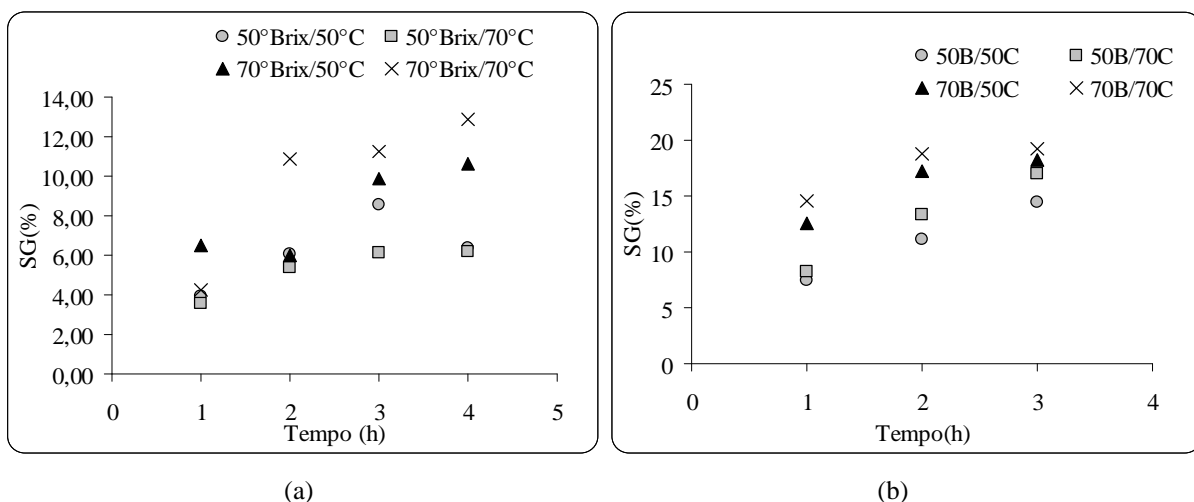


Figura 5.2. Influência do tempo de imersão no ganho de açúcar (a) das bananas em rodela e (b) dos cubos de mamões, durante a desidratação osmótica das quatro condições estudadas.

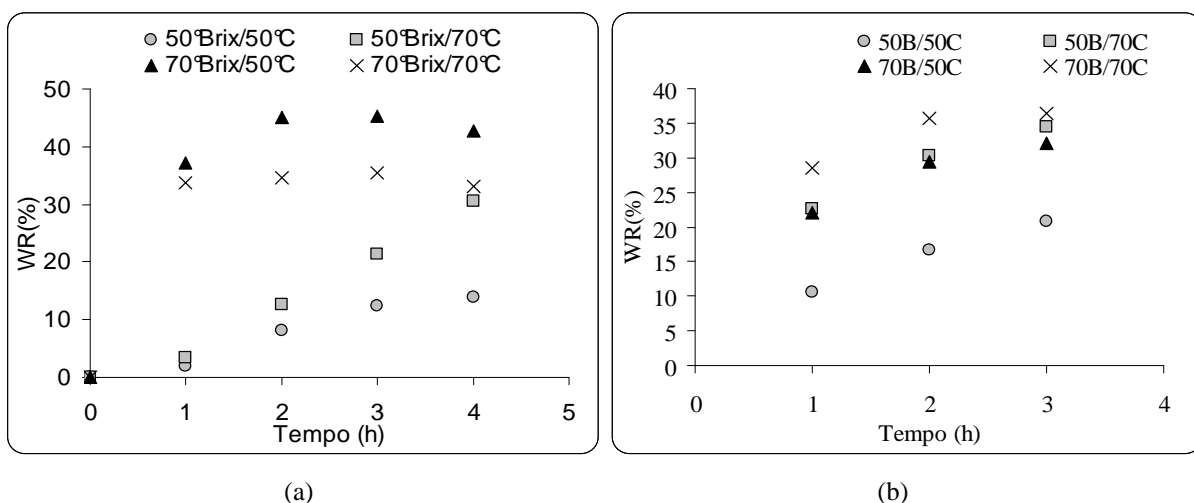


Figura 5.3. Influência do tempo de imersão na redução de peso (a) das bananas em rodela e (b) dos cubos de mamões, durante a desidratação osmótica das quatro condições estudadas.

Na Figura 5.1(a), observa-se para a banana, que a concentração de 50°Brix e 50°C há um aumento gradativo da perda de água ocorre nas três primeiras horas, não havendo alteração na última hora. A 70°C há o aumento da perda de água até a quarta hora de processamento. Já no processamento a 70°Brix há uma elevada perda de água na primeira hora, tornando-se praticamente constante ao longo do processamento. Não se verifica o efeito da Temperatura a 70°Brix. Sousa, et al (2003B), Rastogi; Raghavarao; Niranjan,(1997), Sankat; Castaigne; Maharaj, (1996), encontraram resultados semelhantes. Os processamentos feitos com soluções osmóticas de 70°Brix obtiveram valores acima de 50%, valor

recomendado pela literatura para a desidratação osmótica. Para o mamão, observou-se nos gráficos 5.1(b) e 5.3(b), que as condições 50°Brix / 70°C e 70°Brix / 70°C a medida que se aumentou a temperatura houve um aumento na perda de água e na redução de peso, mostrando a influencia deste parâmetro na desidratação osmótica.

O ganho de açúcar teve um comportamento parecido para todos os ensaios com as duas frutas. O maior ganho foi observado da primeira para a terceira hora, depois o acréscimo foi mínimo. A 70° Brix obteve maior ganho de açúcar (Figura 5.2), devido a maior pressão osmótica exercida pela solução na fruta.

A redução de peso, mostrada na Figura 5.3 para a banana, obteve um comportamento distinto para ambas as concentrações, mas similar ao mostrado na Figura 5.1. As amostras de 70°Brix tiveram grande redução de peso na primeira hora, devido a perda de água significativa, já observada. A amostra tratada a 50°Brix / 70°C, teve seu peso reduzido até a quarta hora de processamento.

Para o estudo da secagem do mamão as amostras 50°Brix / 70°C e 70°Brix / 70°C, apresentaram valores de perda de umidade de 52,12 e 52,73 e ganho de açúcar de 16,97 e 19,17, respectivamente, para um tempo de imersão de 3 horas, optou-se por escolher a condição 50°Brix / 70°C para os testes de secagem.

Os dados experimentais foram usados para determinar os coeficientes de transferência de massa nas diferentes condições de operação da desidratação osmótica das bananas. Os coeficientes de transferência de massa calculados (ver Anexo A) através das Equações 22 e 23 (capítulo 4, item 4.4.3) nas diferentes condições de processo estão mostrados na Tabela 5.7. Estes parâmetros foram determinados através do método de Levenberg-Marquardt de minimização da soma dos erros quadráticos, através de um programa elaborado para este fim.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5.7, observa-se que os coeficientes de transferência de massa mostram a influência da concentração da solução osmótica no processo, pois os coeficientes da fruta e da solução a 50° Brix aumentam com o aumento da temperatura, o que seria o esperado, mas quando se aumenta a concentração da solução os coeficientes tendem a diminuir com o aumento da temperatura. Trata-se de uma característica peculiar da fruta. Na tabela 5.8 ocorre o esperado, ou seja, o aumento da

temperatura em ambas as concentrações acarreta em um aumento do coeficiente de transferência de massa. A diferença ocorrida entre as frutas pode ser atribuída a constituição do tecido molecular da banana. O coeficiente de transferência de massa para o açúcar é em geral, menor do que o coeficiente de transferência de massa para a água, o que se deve principalmente ao tamanho da molécula de sacarose que é muito grande frente à molécula de água, tendo uma maior dificuldade de atravessar a parede celular da fruta, que por sua vez também restringe a entrada de açúcar por ser semi-permeável.

Tabela 5.7. Coeficientes de transferência de massa entre a Banana e a solução osmótica.

CONC.	TEMP.	Coef. De Transf de. Massa da água [1/h.m ²]	Coef. de Transf. de Massa do açúcar [1/h.m ²]
50°Brix	50°C	↑ 177,61	↑ 155,85
	70°C	246,88	176,46
70°Brix	50°C	1946,4	241,75
	70°C	1179,96 ↓	111,93 ↓

Tabela 5.8. Coeficientes de transferência de massa entre o mamão e a solução osmótica.

CONC.	TEMP.	Coef. de Transf de. Massa para a água [1/h.m ²]	Coef. de Transf. de Massa para o açúcar [1/h.m ²]
50°Brix	50°C	↑ 69,14	↑ 20,12
	70°C	207,45	25,89
70°Brix	50°C	↑ 304,56	↑ 24,86
	70°C	359,88	37,46

Os coeficientes de transferência de massa obtidos através de estimativa de parâmetros ajustam bem as curvas de desidratação osmótica como pode ser visto nas Figuras 5.4 e 5.5.

Observando-se as Figuras 5.4 e 5.5 para as bananas, nota-se a importante influência da temperatura na taxa de transferência de massa da água da fruta para a solução osmótica. No aumento da concentração de açúcar por sua vez, o efeito da temperatura é menos importante, sendo que a taxa de transferência de massa do açúcar da solução para a fruta não sofre grande influencia, o que é também verificado pelos valores do coeficiente de transferência de massa (Tabela 5.7). Lembrando que as massas iniciais são diferentes, por isso os termos de

comparação são difíceis. Para o mamão observa-se que o sistema é influenciado pela temperatura e pela concentração, como foi mostrado na Tabela 5.8.

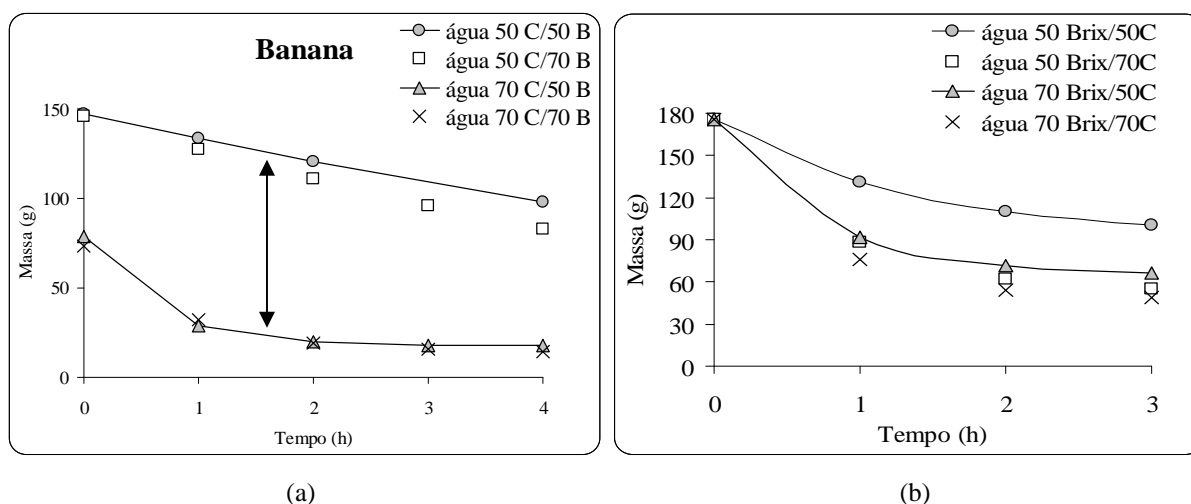


Figura 5.4. Massa de água nas condições estudadas, (a) banana e (b) mamão.

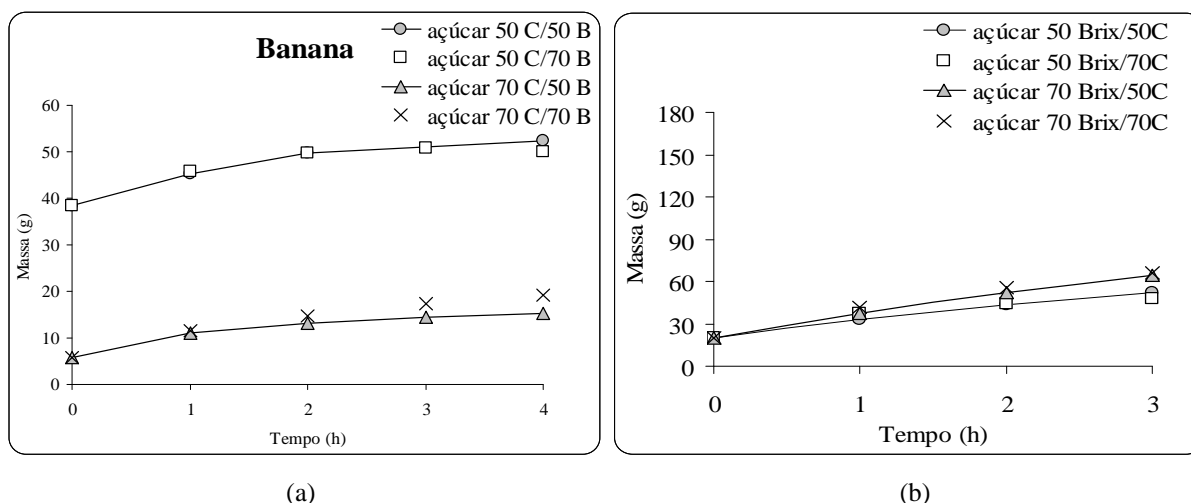


Figura 5.5. Massa de açúcar nas condições estudadas, (a) banana e (b) mamão.

No decorrer desta primeira etapa da pesquisa, observou-se que a solução osmótica que iniciava o processo com 50° Brix, ao final do processo apresentou valores mais altos de sólidos solúveis. O esperado, seria uma diminuição destes valores, uma vez que a fruta está liberando água para a solução e absorvendo açúcar para o seu interior. Para se entender melhor o que estava acontecendo, foram feitos testes com a banana em quatro diferentes temperaturas na concentração de 50° Brix, durante o intervalo de 4 horas. Este fenômeno não foi observado na concentração de 70°Brix. Os resultados podem ser observados na Figura 5.6.

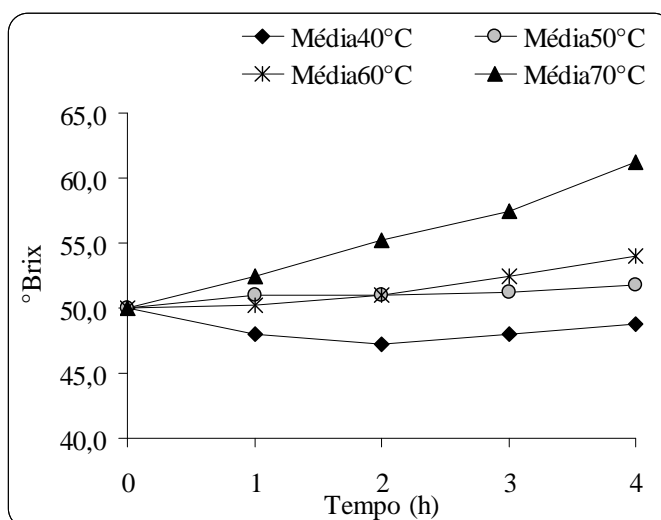


Figura 5.6. Influência do tempo de imersão nos sólidos solúveis do xarope durante a desidratação osmótica das bananas em rodela em quatro temperaturas distintas.

Analisando a Figura 5.6 observa-se que a solução osmótica a 40°C apresentou o comportamento esperado ficando com níveis de sólidos solúveis, 1,0 a 1,3°Brix, abaixo do inicial. A solução a 50°C aumenta a quantidade de sólidos na faixa de 1,0 a 1,8°Brix, o mesmo ocorrendo com 60°C, onde o aumento é de 0,3 a 4,0°Brix. Mas a quando a solução é aquecida a 70°C o ganho de sólidos solúveis é visivelmente maior, aumentando em até 11,3°Brix.

Este fenômeno pode ser justificado pelo fato da banana em estudo está no estágio de maturação verde. A banana verde tem altas concentrações de amido, que representa, aproximadamente, 20 a 25% do peso “in natura” da polpa de fruta (Matsuura e Folegatti, 2001) e quando madura este teor tende a cair para menos de 1%. Ao ser aquecida à 70°C em meio ácido este amido pode ser hidrolisado fornecendo glicose que aumenta o teor de sólidos solúveis na solução osmótica. Acredita-se que o aumento da temperatura provocou dentro das células a hidrólise do amido, o que acarretou na transformação do amido em açúcares solúveis. Como foi mostrado no Capítulo 2, item 2.2.3 a parede celular da fruta é permeável à passagem de água e de substâncias solúveis, desta maneira, permite que os açúcares solúveis produzidos, que segundo Matsuura e Folegatti (2001) seriam a sacarose, a glicose e a frutose, passassem da fruta para solução. Este assunto não foi aprofundado pois, não era o objetivo deste trabalho.

Com base nos dados obtidos determinou-se que o tempo de três horas seria suficiente, para a desidratação osmótica da banana. Desta maneira, os experimentos foram repetidos para o tempo de 3 h e o produto caracterizado (Tabela 5.9).

Para o mamão a condição escolhida foi repetida e seus parâmetros analisados, conforme é mostrado na Tabela 5.10. Depois foram submetidas à secagem no secador de leito fixo a temperatura de 60°C e velocidade do ar de 2,5 m/s, por um tempo fixo de 510 minutos e seus resultados modelados e otimizados.

Tabela 5.9. Caracterização físico-química das amostras de banana desidratadas osmoticamente.

ANÁLISES	50°Brix		70°Brix/	
	50°C	70°C	50°C	70°C
pH	4,73 ± 0,3	4,53 ± 0,21	4,80 ± 0,03	4,64 ± 0,05
Acidez* ¹	0,34 ± 0,04	0,35 ± 0,04	0,43 ± 0,01	0,48 ± 0,01
S.S.* ² (°Brix)	40,73 ± 1,1	40,40 ± 3,9	32,5 ± 0,7	49,75 ± 1,8
U _{bu} * ³ (%)	58,74 ± 1,9	49,51 ± 1,47	52,69 ± 1,51	47,68 ± 0,96

*1 - mg de ac. cítrico/100g de amostra

*2 – S.S – Sólidos solúveis

*3 – U_{bu} – Umidade em base úmida

Tabela 5.10. Caracterização físico-química das amostras de mamões tratadas osmoticamente à 50°Brix / 70°C no tempo de 3 horas.

ANÁLISES	RESULTADOS
pH	5,59 ± 0,4
Acidez (mg de ácido cítrico/100g de amostra)	0,21 ± 0,01
Sólidos Solúveis (°Brix)	42,33 ± 0,2
Umidade (%)	57,11 ± 0,9

Na Tabela 5.9 o pH teve uma pequena variação em relação ao aumento da temperatura da solução osmótica. A acidez teve um acréscimo com o aumento da concentração e da temperatura. A perda de água do material desidratado variou conforme a concentração da solução osmótica e da temperatura, como já era esperado. Visto que, ao se aumentar a concentração, a pressão osmótica também aumenta, e a temperatura facilita o processo

osmótico. Resultado similar encontrou Sousa, et al (2003B) ao estudar a influência da concentração do xarope na desidratação osmótica de bananas.

As quatro condições estudadas para a banana, na desidratação osmótica foram repetidas para o tempo de três horas e submetidas a posterior secagem em secador de leito fixo.

Os dados obtidos para o mamão (Tabela 5.10) foram compatíveis com os encontrados por Silva (1998) que encontrou pH de 5,02, acidez de 0,21, sólidos solúveis de 45,56 e umidade de 54,44 para esta mesma condição.

5.2.2 – Polpa de Jaca

Os resultados de Perda de Água (WL), Ganho de Sólidos (SG) e Redução de Peso (WR) da polpa da jaca desidratada osmoticamente em diferentes tempos de imersão, à temperatura de 50°C e ambiente, são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11. Resultados de WL, SG e WP para cada condição de processamento da polpa de jaca.

Conc.	T (°C)	t (horas)	WL (%)	SG (%)	WR (%)
40°Brix	50°C	2	15,32	10,04	2,94
		3	16,45	9,49	3,96
		4	18,17	12,80	5,45
	ambiente	24	6,77	23,39	-----
50°Brix	50°C	2	25,06	18,77	11,37
		3	29,10	19,44	12,36
		4	33,16	19,26	16,02
	ambiente	24	25,66	20,56	5,43

Observando a Tabela 5.11, pode-se ver claramente a influência da concentração da solução osmótica no processo de desidratação, pois ao aumentar a concentração de 40° para 50°Brix, a perda de água, por exemplo, aumentou cerca de 60%. O mesmo pode ser visto na amostra de 24h que ficou a temperatura ambiente (~30), confirmando a influência da concentração da solução osmótica, pois seu processo foi conduzido pela pressão osmótica

exercida pela solução osmótica.

As Figuras 5.7, 5.8 e 5.9 mostram a variação da perda de água, do ganho de açúcar e da redução de peso, nas diferentes condições de processo.

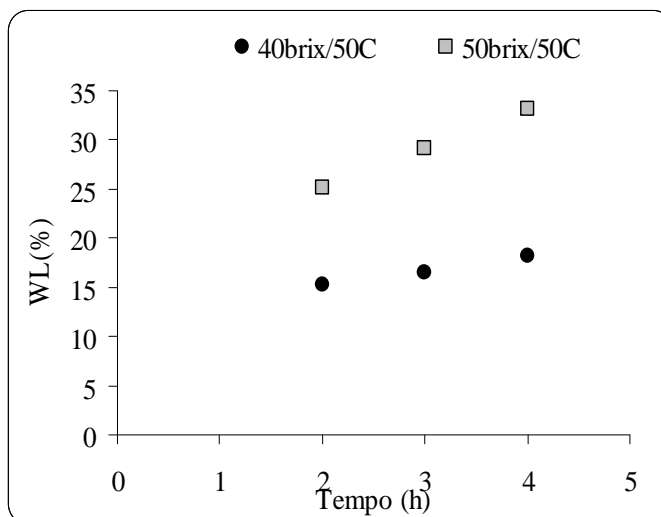


Figura 5.7. Influência do tempo de imersão na perda de água (WL) da polpa de jaca durante a desidratação osmótica das condições estudadas.

Na Figura 5.7, observa-se que a perda de água da fruta, na solução de 40°Brix varia muito pouco nas quatro horas de processamento. Verifica-se também, que a concentração de 50°Brix continua a perder água mesmo em 4 horas de processamento. Não foram encontrados estudos semelhantes para comparações.

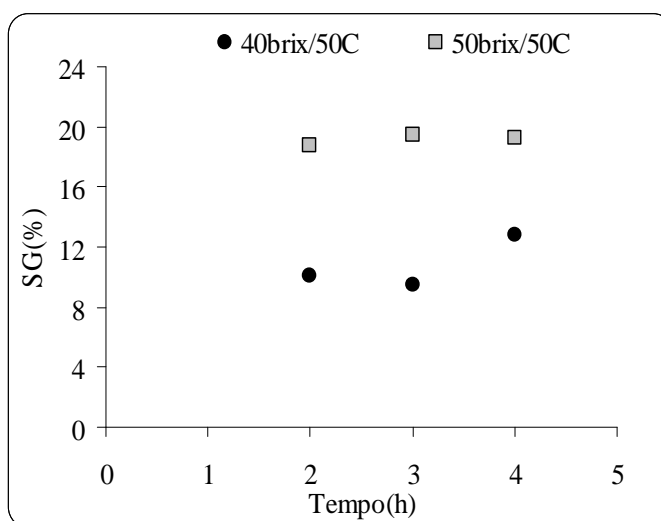


Figura 5.8. Influência do tempo de imersão no ganho de açúcar (SG) da polpa de jaca durante a desidratação osmótica das condições estudadas.

A condição 40° Brix / 50° C foi a que obteve menor ganho de açúcar (Figura 5.8) e desta maneira, manteve-se o mais próximo da fruta fresca. Em 2 horas de processamento a condição 50° Brix / 50° C obteve seu ápice tendo pouca variação no restante do processo.

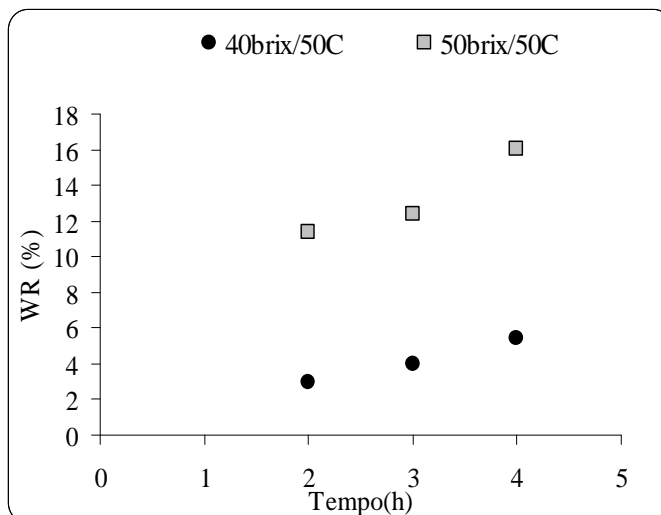


Figura 5.9. Influência do tempo de imersão na redução de peso da polpa de jaca durante a desidratação osmótica nas condições estudadas.

Na Figura 5.9, verifica-se que a redução máxima de peso, ocorre na amostra desidratada a 50°Brix / 50°C, em 4 horas de processamento. Também se pode observar que na condição 40°Brix / 50°C houve baixa redução de peso.

As amostras desidratadas por 24 horas, a temperatura $\cong 30^{\circ}\text{C}$ (ambiente) e sem agitação não foram utilizadas devido o seu baixo rendimento, perante as outras condições.

Com base nos dados obtidos e nas análises físico-químicas, mostradas na Tabela 5.12 determinou-se que o tempo de 4 horas seria suficiente, para a desidratação osmótica da polpa de jaca.

Verifica-se na Tabela 5.12, que o pH teve uma pequena variação em relação ao aumento da temperatura da solução osmótica. A acidez diminuiu com o aumento da concentração e da temperatura. A perda de água do material desidratado variou conforme a concentração da solução osmótica, o tempo de imersão e da temperatura, como já era esperado. Visto que, ao se aumentar a concentração, a pressão osmótica também aumenta, e a

temperatura facilita o processo osmótico. Por isso verifica-se uma alta umidade na condição de 24 horas.

Tabela 5.12. Caracterização físico-química da polpa de jaca desidratada osmoticamente.

AMOSTRAS		ANÁLISES		pH	Acidez* ¹	S.S* ² (°Brix)	U _{bu} * ³ (%)
40°BRIX	50° C	2h		4,70±0,01	0,18±0,01	25,8±2,5	55,28±0,1
		3h		4,76±0,01	0,17±0,01	25,5±2,1	54,7±0,37
		4h		4,62±0,05	0,13±0,02	29,4±2,5	53,8 ±0,22
	≈30° C	24h		4,86±0,04	0,16±0,04	36,0	58,32 ±0,02
50°BRIX	50° C	2h		4,81 ±0,1	0,18±0,01	38,1±1,27	48,9±0,1
		3h		4,8±0,03	0,15±0,01	39,3±0,4	45,5±0,04
		4h		4,78±0,06	0,14±0,01	40,8±1,69	43,23±0,05
	≈30° C	24h		5,01±0,06	0,14±0,02	37,5±0,42	45,81±2,39

*1 - mg de ac. cítrico/100g de amostra;*2 – S.S – Sólidos solúveis;*3 – U_{bu} – Umidade em base úmida.

Essas amostras depois de devidamente caracterizadas foram submetidas à análise sensorial, para que fosse determinada a melhor condição.

5.2.2.1 – Análise Sensorial

Com o intuito de verificar a aceitação da polpa de jaca desidratada osmoticamente, visto se tratar de uma fruta considerada por muitos, “exótica” e de sabor e aroma fortes, foi realizada a análise sensorial da polpa de jaca desidratada osmoticamente e a polpa de jaca “in natura”.

Foram efetuadas avaliações sensoriais da polpa de jaca nas seguintes condições:

A = polpa de jaca “in natura”;

B = polpa de jaca tratada a 40° Brix e 50° C;

C = polpa de jaca tratada a 50° Brix e 50° C;

Foi utilizado um painel composto por 20 provadores e os resultados da análise sensorial para os atributos aparência, cor, textura e sabor são apresentados nas Tabelas 5.13 a

5.14. As tabelas com as notas dos provadores e os cálculos realizados para se chegar aos resultados podem ser visto no Apêndice C.

Os resultados para os testes da aparência são apresentados nas Tabelas 5.13 e 5.14.

Tabela 5.13. Análise de variância para o atributo aparência (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C1, apêndice C).

Fontes de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Provadores	17,00	3,50		
Tratamentos	2,00	16,33	8,17	39,67
Resíduos	34,00	7,00	0,21	
Total	53,00	26,83		

$F_{\text{tabelado}(3,34)} = 2,89$ ($\alpha = 0,05$) e $4,43$ ($\alpha = 0,01$).

O resultado da análise de variância da Tabela 5.14, mostrou que houve diferença significativa entre as amostra. Através do teste de Tukey é possível identificar as amostras.

Tabela 5.14. Resultados do Teste de Tukey para o atributo aparência das três amostras de polpa de jaca.

Amostras	Média das notas
A	2,83 a
B	1,67 b
C	1,67 b

Obs: As médias com letra em comum não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$); $dms = 0,38$

Pelos resultados da Tabela 5.14, pode-se afirmar que a amostra A apresentou melhor aparência do que as amostras B e C que não apresentaram diferenças significativas.

Os resultados para os testes da cor são apresentados nas Tabelas 5.15 e 5.16.

O resultado da análise de variância da Tabela 5.15, mostrou que houve diferença significativa entre as amostra. A Tabela 24 mostra o teste de Tukey feito para identificar as amostras diferentes na ordem de 5%.

Tabela 5.15. Análise de variância para o atributo cor (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C3, apêndice C).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Entre provadores	17,00	4,14		
Entre amostras	2,00	16,13	8,07	25,80
Resíduos	34,00	10,63	0,31	
Total	53,00	30,90		

$F_{\text{tabelado}(3,34)} = 2,89$ ($\alpha = 0,05$) e $4,43$ ($\alpha = 0,01$).

Tabela 5.16. Resultados do Teste de Tukey para o atributo cor das três amostras de polpa de jaca.

Amostras	Média das notas
A	2,89 a
B	1,89 b
C	1,83 b

Obs: As médias com letra em comum não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$); $dms = 0,46$

Pelos resultados da Tabela 5.16, pode-se afirmar que as amostras B e C não apresentaram diferença significativa no quesito cor, sendo a amostra A a melhor, pois obteve melhor média.

Os resultados para o quesito textura são apresentados nas Tabelas 5.17 e 5.18.

Tabela 5.17. Análise de variância para o atributo textura (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C4, apêndice C).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Entre provadores	17,00	29,48		
Entre amostras	2,00	16,56	8,28	1,47
Resíduos	34,00	191,52	5,63	
Total	53,00	237,60		

$F_{\text{tabelado}(3,34)} = 2,89$ ($\alpha = 0,05$) e $4,43$ ($\alpha = 0,01$).

O resultado da análise de variância da Tabela 5.17, mostrou que não houve diferença significativa entre as amostra.

Tabela 5.18. Resultados do Teste de Tukey para o atributo textura das três amostras de polpa de jaca.

Amostras	Média das notas
A	7,33 a
B	6,06 a
C	6,00 a

Obs: As médias com letra em comum não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$); $dms = 1,94$.

Pelos resultados da Tabela 5.18, pode-se afirmar que não há diferença significativa entre as amostras A, B e C.

O atributo Sabor foi estudado também o índice de aceitabilidade, além da análise de variância e o teste de Tukey, e os resultados são apresentados nas Tabelas 5.19, 5.20 e 5.21.

Tabela 5.19. Análise de variância para o atributo textura (obtido a partir dos dados da tabela na Tabela C5, apêndice C).

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F
Entre provadores	17,00	12,14		
Entre amostras	2,00	16,79	8,39	4,45
Resíduos	34,00	64,19	1,89	
Total	53,00	93,10		

$F_{\text{tabelado}(3,34)} = 2,89$ ($\alpha = 0,05$) e $4,43$ ($\alpha = 0,01$).

As amostras apresentaram diferença significativas entre si, conforme foi apresentado na Tabela 5.19.

Tabela 5.20. Resultados do Teste de Tukey para o atributo textura das três amostras de polpa de jaca.

AMOSTRAS	MÉDIA DAS NOTAS
A	7,78 a
B	6,67 ab
C	6,17 b

Obs: As médias com letra em comum não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$); $dms = 1,12$

Pelos resultados da Tabela 5.20, pode-se afirmar que não há diferença significativa

entre as amostras A e B e entre as amostras B e C, mas as amostras A e C diferem significativamente.

Foi calculado o IA (índice de aceitabilidade) para o atributo sabor, mostrado na Tabela 5.21.

Tabela 5.21. Resultados do calculo do IA para o atributo sabor.

AMOSTRA	INDICE DE ACEITABILIDADE
A	89,44
B	73,44
C	68,56

A amostra “A” foi definida como a melhor sendo aceita no atributo sabor com 89,44% da aprovação dos provadores, o mesmo aconteceu com a amostra “B”, que foi aceita com 73,44% dos provadores. Somente a amostra “C” foi rejeitada neste atributo, isto porque, foi considerada por muitos, muito doce, chegando a mudar o paladar da fruta.

5.3 – Secagem em secador de leito fixo

Considerando os resultados a serem apresentados neste item, que tratam das curvas de secagem e da verificação da difusão efetiva do processo, os dados experimentais foram tratados com base na solução do modelo difusional (2ª Lei de Fick), descrito no Capítulo 02, que depois foram simulados e otimizados pelo método de Levenberg-Marquardt.

5.3.1 –Banana

O secador de leito fixo utilizado apresentou uma boa distribuição de ar em sua câmara de secagem, fato também analisado por Honorato (2002) obtendo os mesmo resultados. Isto pode ser observado na Figura 5.10, que mostra a curva de umidade das três bandejas estudadas. Observa-se que as curvas praticamente se sobrepõem e a média das curvas coincide com as demais.

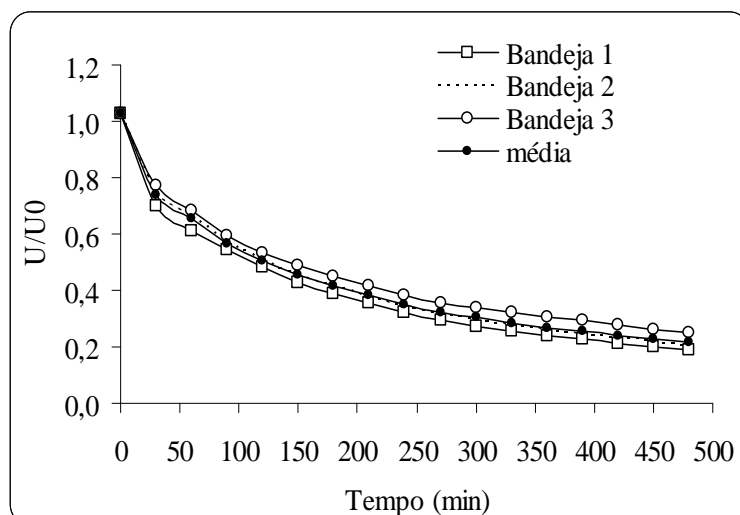


Figura 5.10. Umidade em função do tempo de secagem para a condição 50°Brix e 50°C.

Nas Figuras a seguir (5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16) são observadas as curvas de secagem das amostras de bananas pré-tratadas por desidratada osmoticamente durante três horas nas quatro condições de estudo, a partir das condições apresentadas na Tabela 4.1, onde a abscissa corresponde ao tempo de secagem expresso em minutos e a ordenada a umidade adimensional.

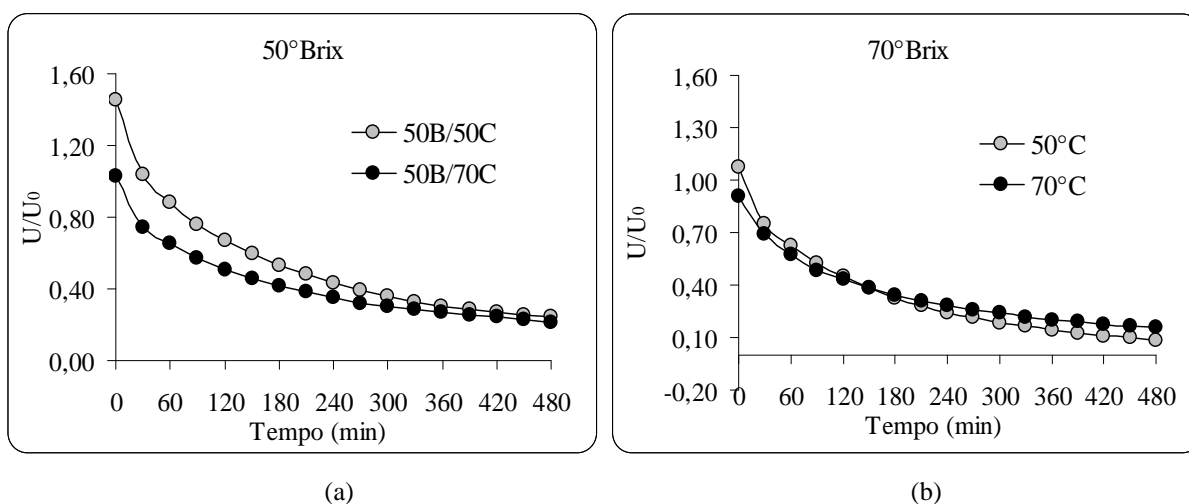


Figura 5.11. Variação da umidade em função do tempo: (a) amostras tratadas em solução 50°Brix nas temperaturas 50 e 70°C e (b) amostras tratadas em solução 70°Brix nas temperaturas 50 e 70°C.

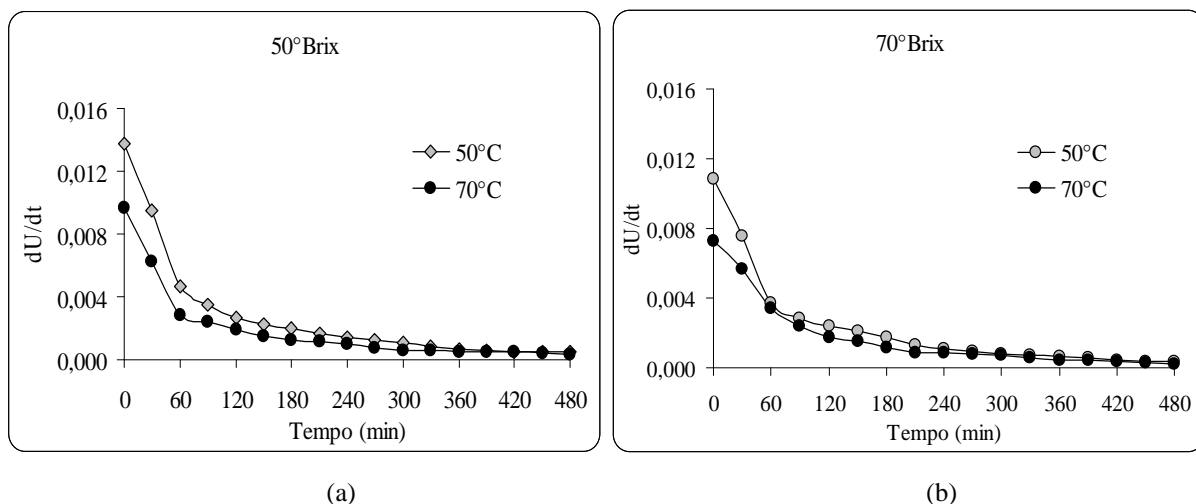


Figura 5.12. Variação da velocidade de secagem em função do tempo: (a) amostras de bananas tratadas em solução 50°Brix nas temperaturas 50 e 70°C e (b) amostras de bananas tratadas em solução 70°Brix nas temperaturas 50 e 70°C.

Na Figura 5.11 todas as amostras apresentaram um período de aquecimento de aproximadamente 30 minutos. Nas Figuras 5.11 e 5.12 (a) observa-se que mesmo para as diferentes umidades iniciais de processo, a temperatura (do pré-tratamento osmótico) não influenciou a velocidade de secagem. Visto que, a partir dos 360 min de processamento as duas curvas se equivalem. Para as Figuras 5.11 e 5.12 (b) vem confirmar que a velocidade de secagem não é influenciada pela temperatura da desidratação osmótica. Isto porque, a velocidade de secagem de 50°C é maior do que a de 70°C a partir de 150 min de processamento.

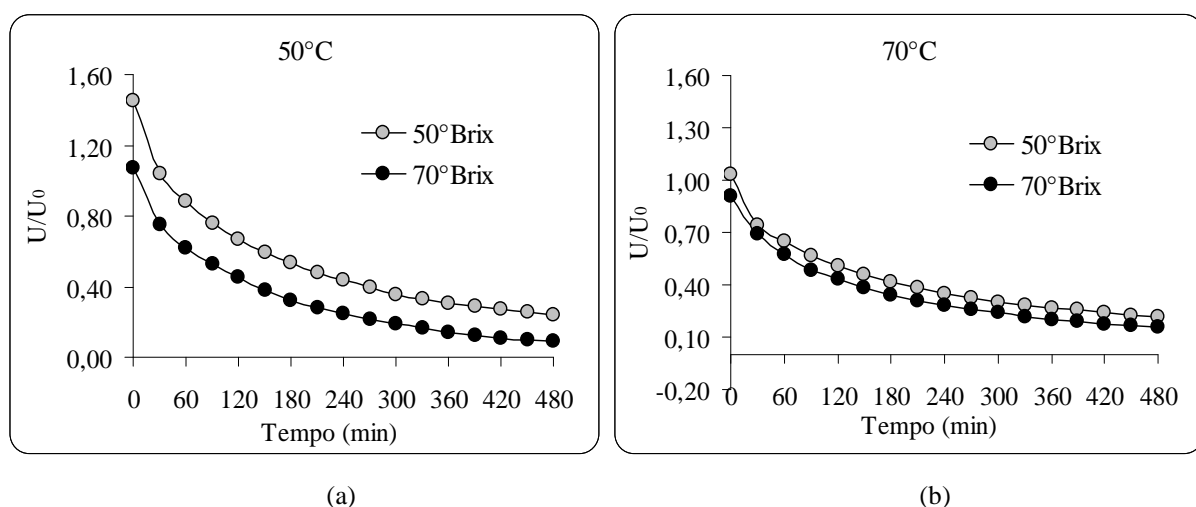


Figura 5.13. Variação da umidade em função do tempo: (a) amostras tratadas na temperatura de 50°C e em soluções de 50 e 70°Brix e (b) amostras tratadas na temperatura de 70°C e em soluções de 50 e 70°Brix.

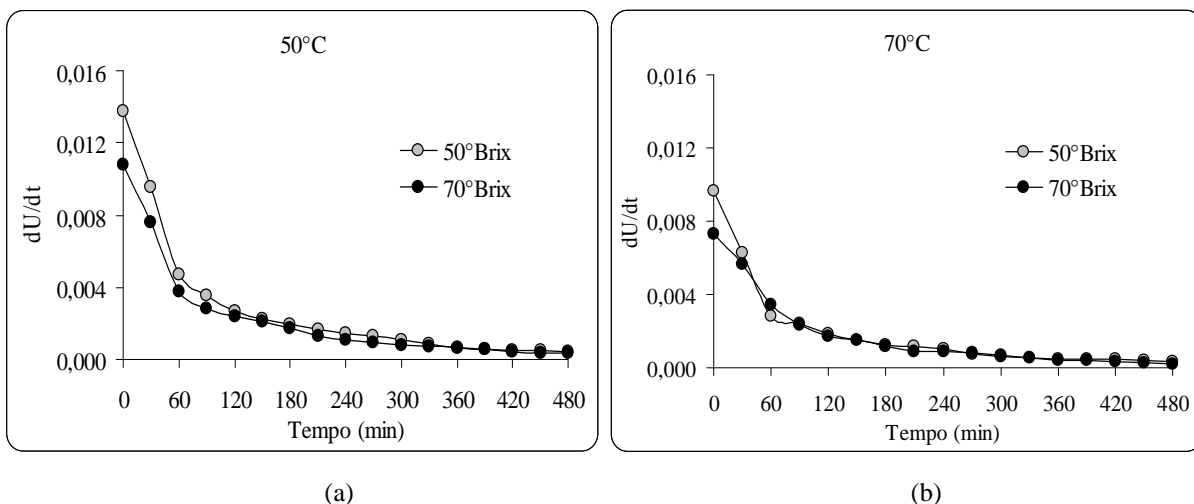


Figura 5.14. Variação da velocidade de secagem em função do tempo: (a) amostras tratadas na temperatura de 50°C e em soluções de 50 e 70°Brix e (b) amostras tratadas na temperatura de 70°C e em soluções de 50 e 70°Brix.

Das figuras 5.13 e 5.14 (a) pode-se afirmar, a partir dos 120 min de processo, que a velocidade de secagem é a mesma para as duas concentrações. Assim como, nas Figuras 5.13 e 5.14 (b) a velocidade de secagem apresenta o mesmo comportamento a partir dos 90 min.

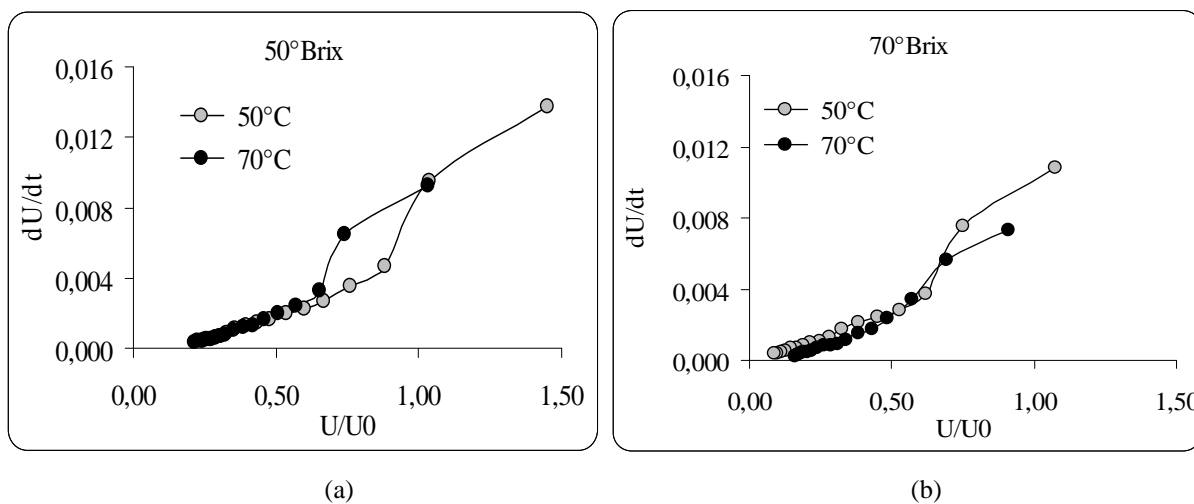


Figura 5.15. Variação da velocidade de secagem em função da umidade: (a) amostras tratadas na temperatura de 50°Brix e em soluções de 50 e 70°C e (b) amostras tratadas na temperatura de 70° Brix e em soluções de 50 e 70° C.

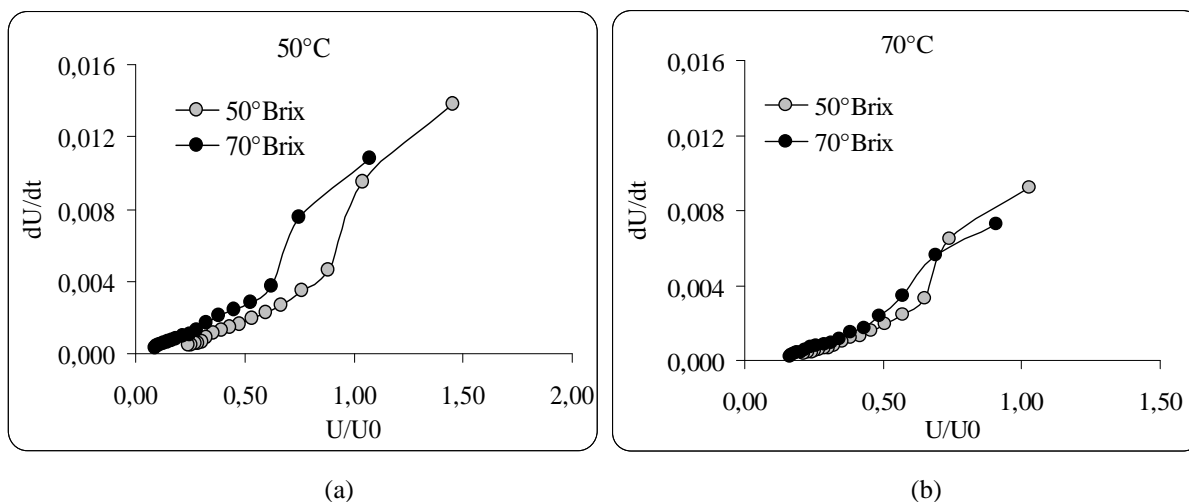


Figura 5.16. Variação da velocidade de secagem em função da umidade: (a) amostras tratadas na temperatura de 50° C e em soluções de 50 e 70° Brix e (b) amostras tratadas na temperatura de 70° C e em soluções de 50 e 70° Brix.

Analisando as Figuras 5.15 e 5.16, gráficos (a) e (b), conclui-se, que o processo de secagem apresenta um período de aquecimento e um período de taxa decrescente.

Com base na linearização das curvas de velocidade de secagem em função da umidade foram calculadas as umidades de equilíbrio (cálculo das U_{eq} , ver apêndice A). De acordo com as Figuras (5.11 e 5.12) as umidades de equilíbrio não foram atingidas nos 480 min de processo. Esta mesma característica foi encontrada por Sankat; Castaigne; Maharaj (1996) ao tratar rodelas de banana.

Os dados da Figura 5.11 (a) e (b) foram representados, respectivamente, na Figura 5.17 gráficos (a), (b), (c) e (d).

Pode-se confirmar, com relação aos coeficientes angular e linear das retas mostradas nos gráficos da Figura 5.17, que a temperatura da desidratação osmótica não tem influência na velocidade de secagem.

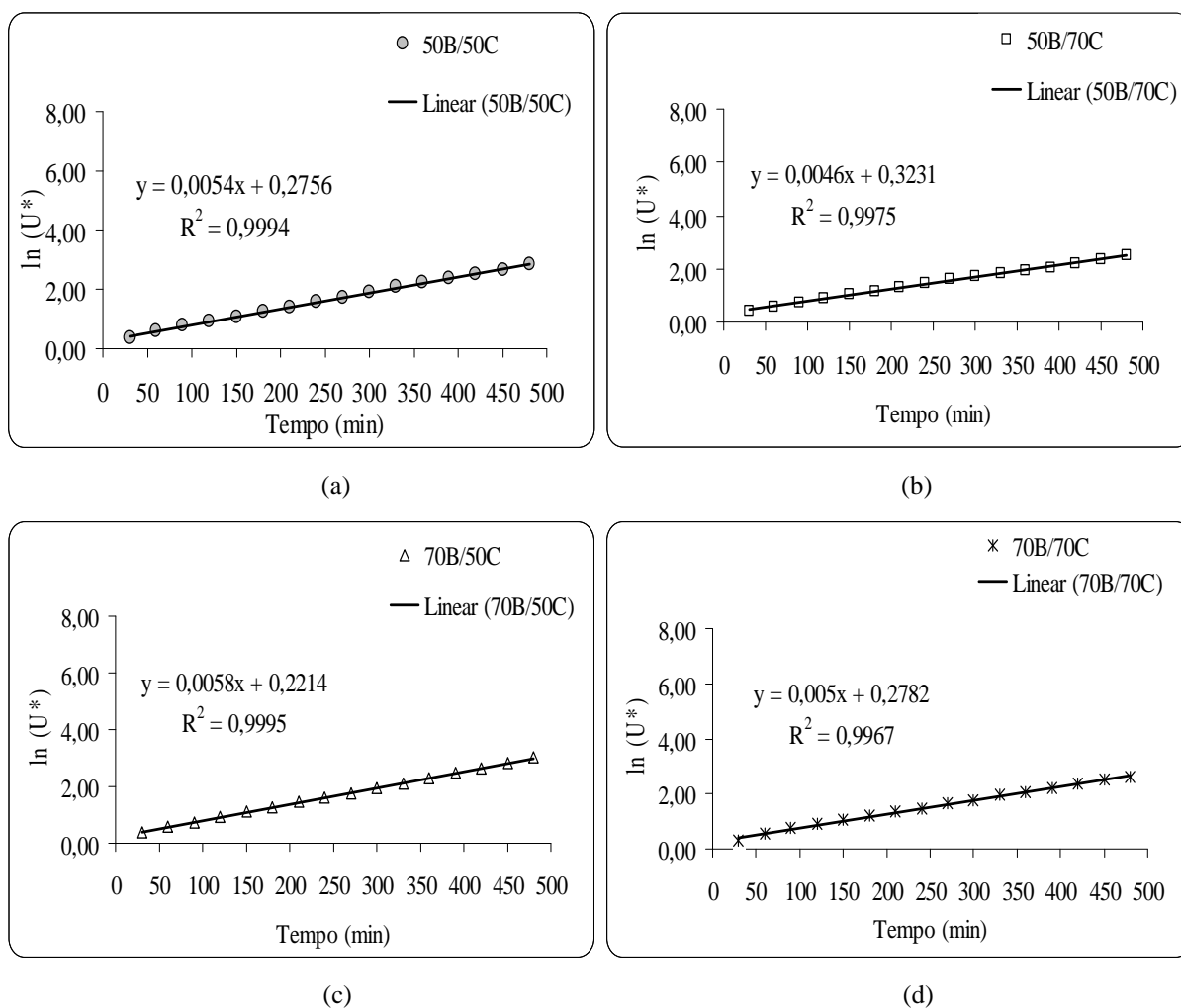


Figura 5.17. Gráficos de $\ln U^*$ em função do tempo de secagem, linearizadas e com suas respectivas equações, para cada condição de processamento estudada, (a) 50°Brix/50°C, (b) 50°Brix/70°C, (c) 70°Brix/50°C e (d) 70°Brix/70°C.

Na Tabela 5.22 são mostrados os resultados dos parâmetros obtidos no secador de leite fixo nas condições estabelecidas na Tabela 4.1. A variação de umidade entre as amostras ocorre devido às diferenças de concentrações e temperaturas dos xaropes. O coeficiente linear “B” foi característico de uma placa plana para todas as amostras estudadas. O modelo difusional dado pela Equação 13, descreve satisfatoriamente o processo experimental com R^2 superior a 99,0%, por tanto permite a determinação dos coeficientes de difusão efetivo para as condições operacionais de trabalho. Observa-se também, que os valores da difusão efetiva indicam que a temperatura e a concentração não influenciam na cinética de secagem do produto. Com os dados desta tabela é possível traçar as curvas dos valores teóricos e compará-los aos experimentais obtidos (ver Apêndice A).

Tabela 5.22. Dados experimentais obtidos do modelo difusional da cinética de secagem da banana.

PARÂMETROS	50°Brix		70°Brix/	
	50°C	70°C	50°C	70°C
U _{inicial}	1,4522	1,0300	1,0760	0,9113
U _{equilíbrio}	0,1667	0,1429	0,0370	0,1020
R ² (%)	99,94	99,75	99,95	99,67
Def (m ² /s)	1,2887x10 ⁻⁹	1,5653x10 ⁻⁹	1,3689x10 ⁻⁹	1,6231x10 ⁻⁹

Os resultados experimentais mostraram valores satisfatórios e estão condizentes para placa plana. Resultados similares encontrados por Rastogi; Raghavarao; Niranjan, (1997), mostraram valores de difusão efetiva entre 1,14 a 1,65x10⁻⁹ m²/s, estudando a secagem de banana, em forma cilíndrica, tratados a 50°Brix e temperatura variando entre 25 a 45°C e difusão efetiva entre 1,93 a 2,43x10⁻⁹ m²/s, para 70°Brix e temperatura variando entre 25 a 45°C. Sankat; Castaigne; Maharaj, (1996), encontrou para a banana tratada a 39°C e seca em secador a 60°C com velocidade do ar de 0,62m/s, uma difusão efetiva de 0,88x10⁻⁹ m²/s.

Foram feitas análises físico-químicos nas amostras secas e seus resultados são mostrados na Tabela 5.23

Tabela 5.23. Caracterização físico-química das amostras de bananas secas em secador de leito fixo.

ANÁLISES	50°Brix		70°Brix/	
	50°C	70°C	50°C	70°C
pH	4,64 ± 0,012	4,42 ± 0,03	4,54 ± 0,006	4,84 ± 0,01
Acidez* ¹	0,71 ± 0,047	0,59 ± 0,007	0,74 ± 0,06	0,72 ± 0,01
S.S* ² (°Brix)	71,43 ± 0,051	78,03 ± 1,41	67,80 ± 1,31	70,00 ± 1,00
U _{bu} * ³ (%)	18,28 ± 0,21	18,46 ± 0,82	14,80 ± 1,07	18,24 ± 0,83

*1 - mg de ac. cítrico/100g de amostra; *2 - S.S - Sólidos solúveis; *3 - U_{bu} - Umidade em base úmida

A acidez manteve seus valores bem próximos com exceção da amostra pré-tratada a 50° Brix / 70°C que obteve um valor menor, mas essa diferença pode se dar pelo fato dos experimentos terem sido feitos com bananas adquiridas, nem sempre no mesmo estágio de

maturação. A perda de água do material seco variou conforme a concentração da solução osmótica e da temperatura, como já era esperado.

5.3.2 – Mamão

As condições de secagem usadas para a banana foram mantidas para o mamão, com o objetivo de acompanhar o comportamento dos parâmetros de secagem de outra fruta com características diferentes. Como fator comparativo de tempo de secagem, o mamão “in natura” foi submetido a secagem diretamente em secador de leito fixo sem passar por nenhum pré-tratamento.

As Figuras 5.18, 5.19 e 5.20 mostram as curvas de secagem para o mamão desidratado osmoticamente a 50°Brix e 70°C por 3 horas e do mamão “in natura”, secos em secador de leito fixo nas condições mencionadas na Tabela 4.2.

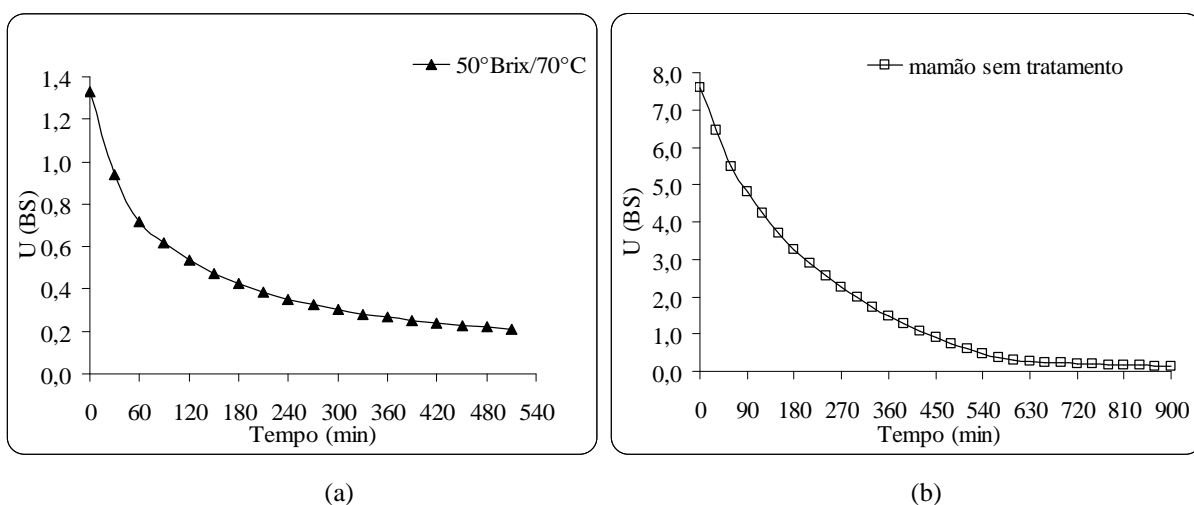


Figura 5.18. Curva de umidade em base seca em função do tempo (a) amostras tratadas na temperatura de 70° C e em soluções de 50 Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico.

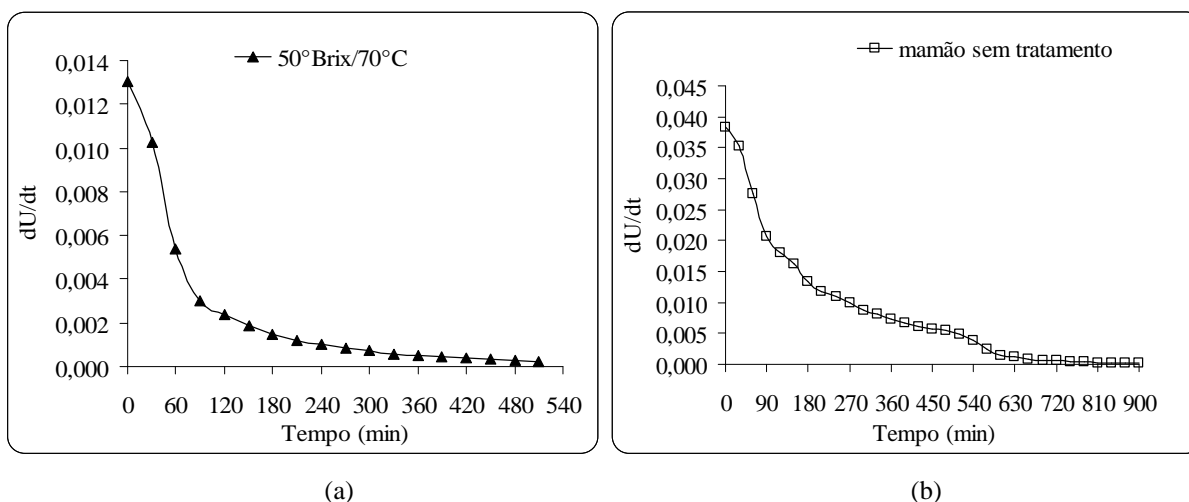


Figura 5.19. Curva de velocidade de secagem em função do tempo (a) amostras tratadas na temperatura de 70° C e em soluções de 50 Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico.

Nas Figuras 5.18 e 5.19 (a) é possível observar um período de aquecimento, seguido de dois períodos de taxa decrescente. Devido à baixa umidade inicial da fruta desidratada, o processo inicia com o um pequeno período de aquecimento, seguido do primeiro período de taxa constante, responsável pela evaporação da água livre restante e o segundo período de taxa decrescente que retira a água mais intrínseca do alimento por difusão. Quando se comparam os gráficos (a) e (b) verifica-se que o pré-tratamento osmótico, diminui a umidade inicial, tornando o tempo de secagem menor. Com base nos resultados obtidos, para o mamão pré-tratado o tempo de secagem para atingir umidade menor que 20% foi de 420 min, enquanto para o mamão “in natura” esse tempo foi de 780 min. Comportamentos semelhantes encontraram El-Quar & Murr (2003) e Fernandez; Velezmore; Zapata, (1995). As Figuras 5.18 e 5.19 (b), mostram um período de aquecimento, seguido de um período de taxa constante e os dois períodos de taxa decrescente. O mamão “in natura” apresenta todas as etapas de secagem vista no Capítulo 2, isto porque a fruta entra no processo de secagem com sua umidade alta, natural da fruta. A Figura 5.20 pode confirmar o comportamento já mencionado.

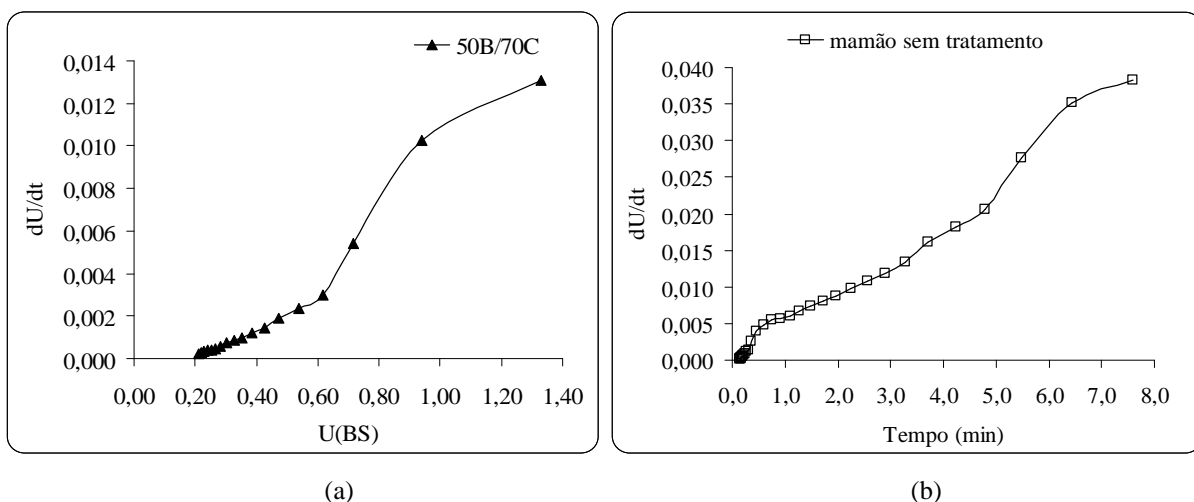


Figura 5.20. Curva de velocidade de secagem em função da umidade (a) amostras tratadas a 70° C / 50° Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico.

A linearização do gráfico de $-\ln(U^*)$ do mamão sem tratamento foi feito para o tempo compreendido entre 600 e 900 min, este tempo corresponde a 2º período de taxa decrescente. Estes parâmetros são dados na Tabela 5.24, onde se encontram também os coeficientes de difusão efetivos calculados para os dois processos. Com estes resultados foi possível traçar as curvas dos valores teóricos e compará-los com os experimentais obtidos.

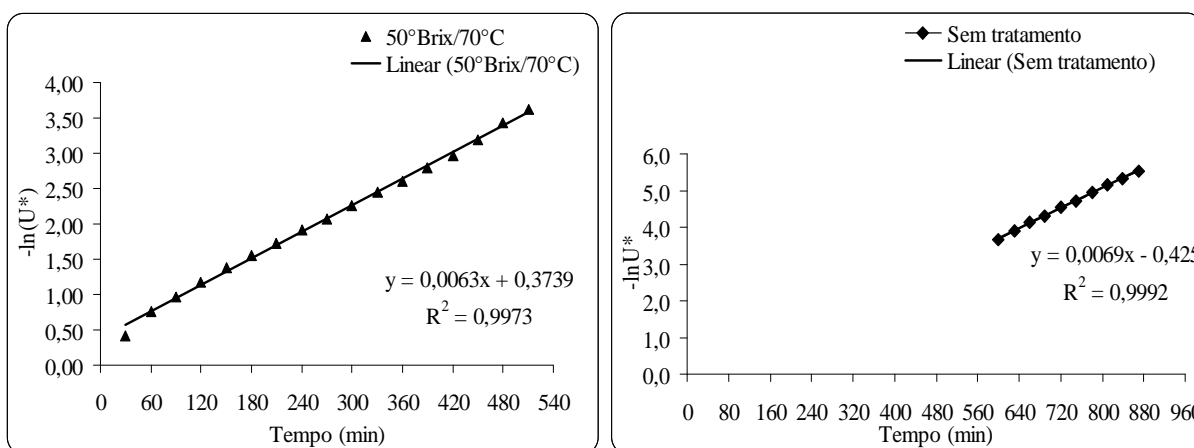


Figura 5.21. Gráfico de $\ln U^*$ em função do tempo de secagem, linearizada e com sua equação, (a) amostras tratadas a 70° C / 50° Brix e (b) amostras sem tratamento osmótico.

Na Tabela 5.24 são mostrados os resultados dos parâmetros obtidos da cinética de secagem, baseada na 2ª Lei de Fick. As condições de secagem foram as estabelecidas na Tabela 4.2.

Tabela 5.24. Dados obtidos pelos cálculos feitos da cinética de secagem do mamão.

Parâmetros	Mamão tratado a 50°Brix / 70°C	Mamão sem tratamento
U _{inicial}	1,3315	7,5985
U _{equilíbrio}	0,1754	0,1200
B	1,4534	0,6538
A	0,0063	0,0069
R ² (%)	99,73	99,92
Def (m ² /s)	2,393 x 10 ⁻⁹	2,6217 x 10 ⁻⁹

A variação de umidade entre as amostra ocorre devido ao fato do tratamento recebido pelo mamão antes da secagem. O coeficiente linear “B” do mamão sem tratamento deu próximos ao valor que caracteriza uma placa plana. O valor encontrado para coeficiente linear do mamão com tratamento osmótico foi bem maior que o predito pelo modelo difusional de uma placa plana, isto pode ser justificado pela falta de precisão nos cálculos dos coeficientes lineares e por outros fatores que podem influenciar na sua estimativa. Utilizando o modelo difusional dado pela Equação 14, com um processo experimental com R² superior a 99,0% para ambos os processos, permite a determinação dos coeficientes de difusão efetivos para as condições operacionais de trabalho. Observa-se também, que os valores da difusão efetiva nos indicam que o mamão sem pré-tratamento apesar de ter um tempo de secagem maior, leva menos tempo para que ocorra a difusão interna da água. Pode-se atribuir a este fenômeno, o fato do mamão in natura não está impregnado de açúcar, podendo causar algum tipo de barreira física para a saída da água. Os resultados experimentais mostraram valores satisfatórios, quando comparados a estudos similares. El-Quar et al (2003), encontraram valores de difusão efetiva entre 1,48 a 1,78x10⁻⁹ m²/s, para amostras de mamão, cortados em cubos e desidratados osmoticamente; e 2,71 a 4,78x10⁻⁹ m²/s, para o mamão in natura cortado em cubos, amostras secas a 60°C.

A Tabela 5.25 mostra os resultados das análises físico-químicos das amostras secas em secador de leito fixo.

Tabela 5.25. Caracterização físico-química das amostras de mamões secos com pré-tratamento osmótico e sem tratamento.

Análises	Amostras com pré-tratamento	Amostras sem pré-tratamento
pH	5,205 ± 0,26	4,93 ± 0,54
Acidez (mg de ácido cítrico/100g de amostra)	0,24 ± 0,06	0,75 ± 0,05
Sólidos Solúveis (°Brix)	75,36 ± 3,87	46,20 ± 2,00
Umidade (%)	19,78 ± 0,79	8,45 ± 0,56

Analisando a Tabela 5.25, nota-se que o pH da amostra pré-tratada teve um pequeno aumento em relação a sem tratamento. Em relação a acidez o comportamento foi o oposto, talvez isso se dê pela fato da fruta in natura não ter passado pelo tratamento osmótico, onde pela variação de pressão esses ácidos podem ser transferidos para a solução osmótica, havendo neste caso uma concentração dos mesmos. Os sólidos solúveis na amostra pré-tratada apresenta um valor bem maior devido o tratamento que recebeu, onde há a absorção de açúcares, que no caso da umidade, pode dificultar a saída de água, formando uma película externa.

5.3.3 – Otimização do processo conjunto

Com base nos parâmetros estimados para o processo de desidratação osmótica e secagem com ar, foi realizada uma otimização do tempo em que a fruta deve permanecer em cada um dos processos, utilizando a função objetivo apresentada na Equação 30. Os resultados mostram que o uso da desidratação osmótica antecedendo a secagem convectiva é vantajosa quando se utilizam concentrações altas de sacarose nas soluções osmóticas, como para as condições operacionais 70°Brix / 50°C e 70°Brix / 70°C.

As Tabelas 5.26 (para a banana) e 5.27 (para o mamão) apresentam os tempos de processamento e a quantidade de sólidos solúveis (°Brix) para o produto final: secagem convectiva sem desidratação osmótica; com desidratação osmótica a 50°Brix e 50°C e 70°Brix e 50°C seguidas de secagem convectiva até uma umidade final de 20%. Os tempos de processamento foram obtidos por meio de simulações, feitas em um programa desenvolvido para este fim (ver Anexo A).

Tabela 5.26. Otimização do tempo total de secagem de banana e os sólidos solúveis do produto.

Condição		Tempo total de secagem (min)	Sólidos solúveis (°Brix)
Sem tratamento		730	58,2
50°Brix	50°C	697	59,2
	70°C	536	64,6
70°Brix	50°C	597	60,7
	70°C	404	63,4

Tabela 5.27. Tempo total de secagem otimizado e quantidade de sólidos solúveis (°Brix) do mamão seco.

Condição		Tempo total de secagem (min)	Sólidos solúveis (°Brix)
Sem tratamento		1130	66,5
50°Brix	50°C	733	72,8
	70°C	621	72,2
70°Brix	50°C	490	73,0
	70°C	450	73,9

Analisando as Tabelas 5.26 e 5.27, verifica-se que o tempo de processamento para a operação de desidratação osmótica seguida de secagem em leito fixo apresenta uma redução significativa quando uma concentração alta de xarope é utilizada no processo de desidratação osmótica, podendo reduzir o tempo de processamento em até 180 minutos para a banana e em 680 minutos para o mamão, quando comparado ao processo que utiliza somente secagem em leito fixo.

As Tabelas 5.28 e 5.29, mostram o tempo de desidratação e o tempo total de secagem simulado para as várias condições experimentais. Logo com a utilização do modelo é possível simular condições e otimizar o tempo de cada uma.

Comparando os dados experimentais com os dados simulados e otimizados (Tabela 5.28), verifica-se que os ensaios 50°Brix/70°C e 70°Brix/70°C são os melhores, visto que há para a banana uma diminuição de 124 e 256 min, respectivamente, em relação aos ensaios feitos em laboratório. Para o mamão (Tabela 5.29) os melhores ensaios foram 70°Brix / 50°C

e 70°Brix / 70°C, com uma diminuição de 200 e 240 min, respectivamente, em relação aos ensaios feitos em laboratório.

Tabela 5.28. Tempo de secagem otimizado comparado ao tempo de secagem experimental e quantidade de sólidos solúveis (°Brix) da banana seca.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	Tempo de Desidratação Osmótica (min)		Tempo total de secagem (min)	
		Experimental	Otimizada	Experimental	Otimizada
50	50	180	52	660	697
	70	180	97	660	536
70	50	180	67	660	597
	70	180	109	660	404

Tabela 5.29. Tempo de secagem otimizado comparado ao tempo de secagem experimental e quantidade de sólidos solúveis (°Brix) do mamão seco.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	Tempo de Desidratação Osmótica (min)		Tempo total de secagem (min)	
		Experimental	Otimizada	Experimental	Otimizada
50	50	180	200	690	733
	70	180	151	690	621
70	50	180	133	690	490
	70	180	125	690	450

Com base nos resultados experimentais e otimizados, observou-se, que a melhor condição encontra-se na maior concentração (70°Brix), que no caso da otimizada foi a 70°Brix/70°C, que apresentou 404 min e 450 para o tempo total de processamento da banana e do mamão, respectivamente. Apesar dos bons resultados das condições da concentração 70°Brix, esta solução apresenta um problema de ordem prática ou seja sua dissolução é difícil, sendo necessário aquecimento e agitação por um tempo mínimo de 240 min.

Com o intuito de comparar os processos e desta maneira avaliar qual seria o mais rentável economicamente, calculou-se o consumo energético para as condições estudadas, tanto para a banana (Figuras 5.22), como para o mamão (Figura 5.23). O calculo foi feito baseado no consumo energético gasto, na quantidade de equipamentos necessários e no tempo

de processamento.

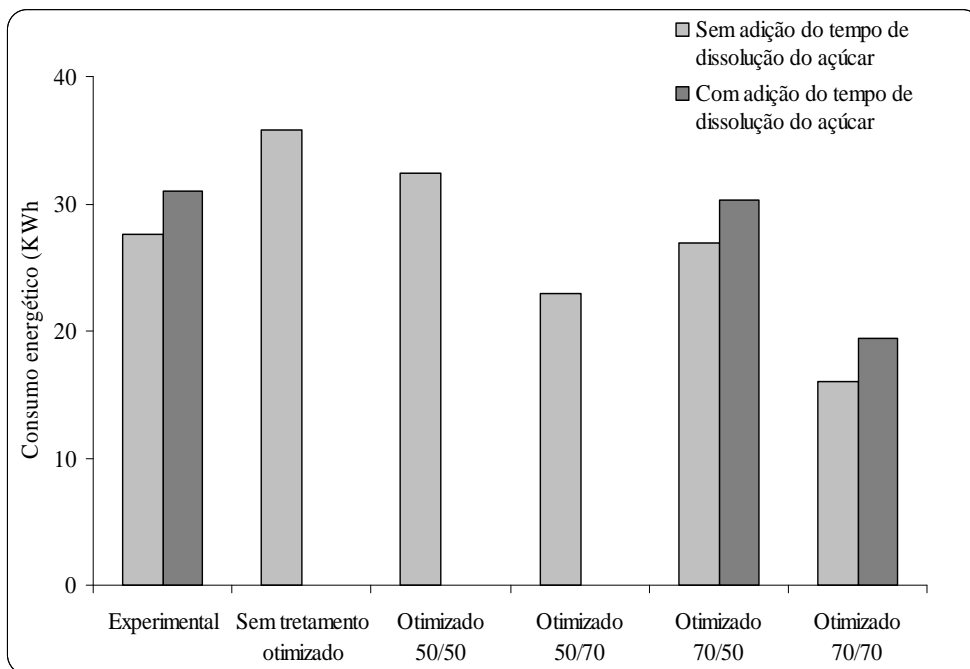


Figura 5.22. Gráficos de consumo de energia para cada condição de processamento da banana.

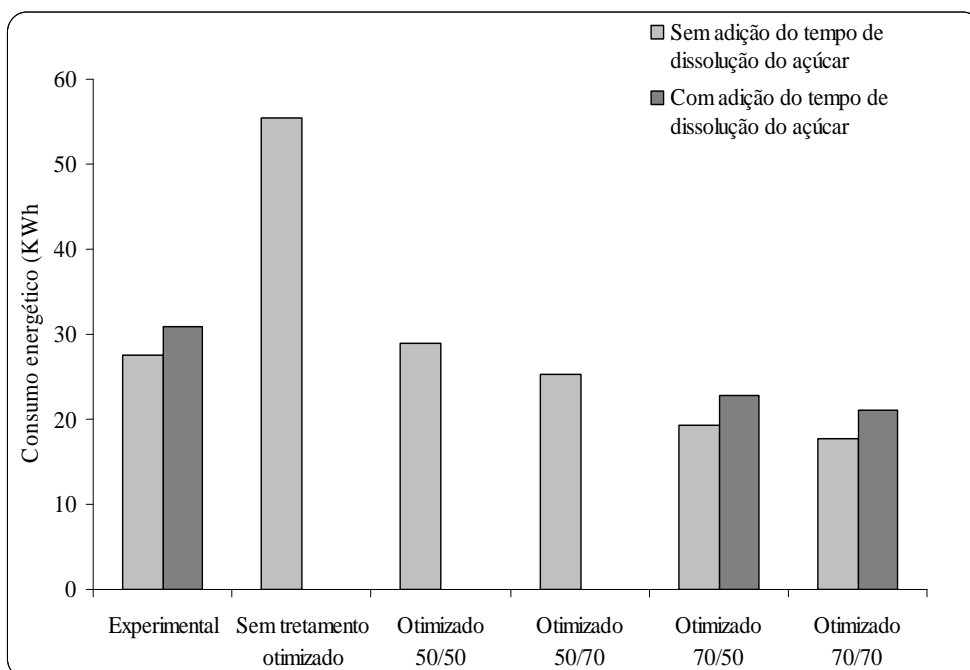


Figura 5.23. Gráficos de consumo de energia para cada condição de processamento do mamão.

Observando as Figura 5.22 e 5.23, nota-se que as amostras otimizadas de concentração 70°Brix/70°C, mesmo com o acréscimo de 240min, referente ao tempo necessário para a dissolução do açúcar, ainda assim, é a mais viável economicamente para o processamento das duas frutas.

5.3.4 – Sementes de Jaca

Nas Figuras 5.24, 5.25 e 5.26 são observadas as curvas de secagem das sementes de jaca pré-cozidas, partidas ao meio, com e sem casca, com as condições apresentadas na Tabela 4.3.

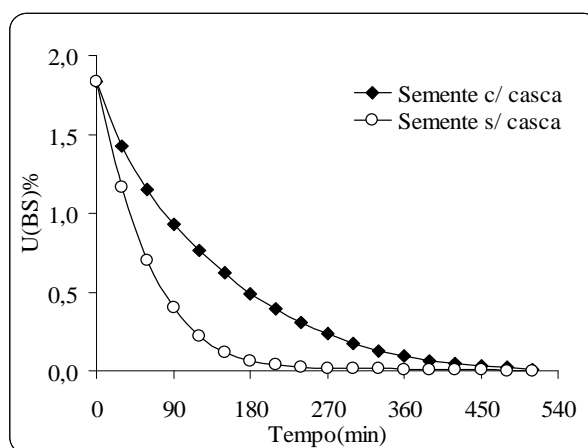


Figura 5.24. Variação da umidade em função do tempo de secagem para as amostras de sementes de jaca com e sem casca.

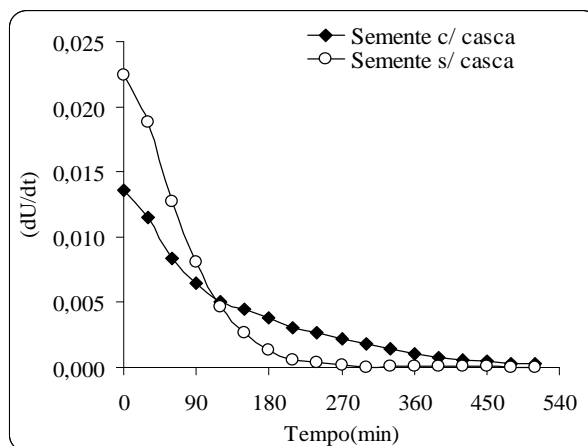


Figura 5.25. Velocidade de secagem em função do tempo, para as amostras de sementes de jaca com e sem casca.

Conforme se pode observar nas curvas ilustradas na Figura 5.24, para as sementes de jaca, a ausência de casca exerce importante efeito na secagem. A perda de umidade ocorre com maior intensidade, diminuindo conseqüentemente o tempo de processamento. Enquanto a semente sem casca atinge uma umidade inferior a 20% aos 120 min, a semente com casca leva 270 min. Este resultado pode ser justificado pelo fato da casca formar uma barreira a penetração do calor.

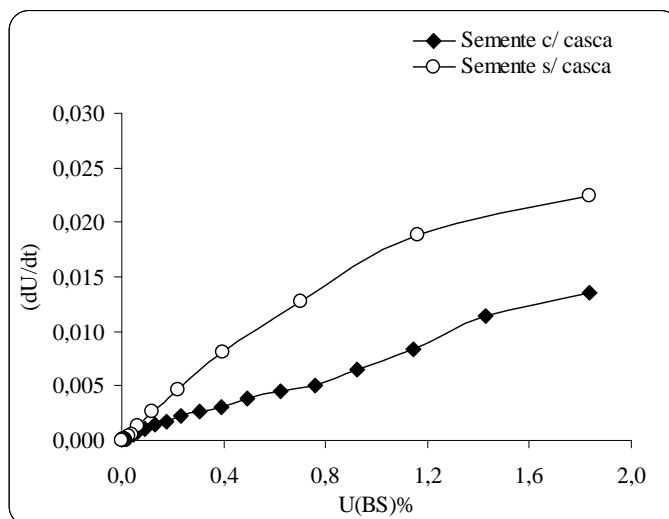


Figura 5.26. Velocidade de secagem em função da umidade, para as amostras de sementes de jaca com e sem casca.

Os efeitos das cascas sobre as taxas de secagem das sementes encontram-se evidenciados nas Figuras 5.25 e 5.26. Em condições similares de umidade inicial, a velocidade de secagem da semente sem casca, foi sensivelmente mais elevada. Em torno de 200 min de secagem, a taxa de secagem das sementes sem casca foi praticamente nula, enquanto para as sementes com casca, a taxa se anulou por volta dos 420 min de processamento.

As curvas de velocidade versus umidade foram linearizadas para que fossem calculadas as umidades de equilíbrio para ambos os processos. Desta maneira foi possível calcular os parâmetros empíricos dos processos pela Equação 13, plotando o gráfico $\ln U^*$ em função do tempo de secagem (Figura 5.27 (a) e (b)), foi possível determinar o coeficiente angular “A” e o coeficiente linear “B”. Para o cálculo dos coeficientes foi desprezados os dados finais da secagem da semente sem casca, pois os dados tornaram-se inconstantes devido o baixo grau de umidade em se encontravam, desta maneira trabalhou-se até os 270 min. Estes

parâmetros são dados na Tabela 5.30, onde se encontram também os coeficientes de difusão efetivos calculados.

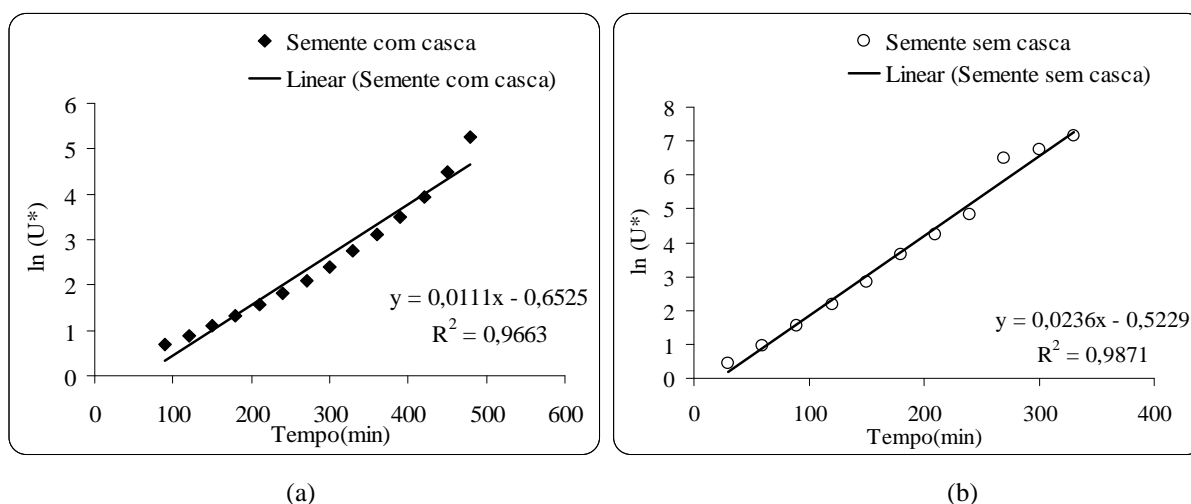


Figura 43. Gráfico de $\ln U^*$ em função do tempo de secagem, linearizada e com sua equação, (a) amostras com casca e (b) amostras sem casca.

Tabela 5.30. Dados experimentais obtidos do modelo difusional da cinética de secagem das sementes de jaca com casca e sem casca.

PARÂMETROS	SEMENTE COM CASCA	SEMENTE SEM CASCA
U_{inicial}	1,8353	1,8353
$U_{\text{equilíbrio}}$	0,0103	0,0119
B	0,5207	0,5928
A	0,0111	0,0236
R^2 (%)	96,63	98,71
Def (m^2/s)	$1,874 \times 10^{-9}$	$3,985 \times 10^{-9}$

Na Tabela 5.30 são mostrados os resultados dos parâmetros obtidos em secador de leito fixo nas condições estabelecidas na Tabela 4.3. O modelo difusional dado pela Equação 14, descreve satisfatoriamente o processo experimental com R^2 superior a 96,0%, para as duas amostras, por tanto permite a determinação dos coeficientes de difusão efetivo para as condições operacionais de trabalho. Observa-se também, que os valores da difusividade efetiva nos indicam que a mostra sem pele possui uma velocidade de secagem superior a amostra com pele, visto que ambas tiveram o mesmo tipo de pré-tratamento. Os coeficientes de difusão foram calculados a partir da modelagem definida para placas planas, mas

observando os dados nota-se que os coeficientes lineares sofreram importantes desvios, quando comparados com o valor predito para placa plana, que é de $\approx 0,81$. Como já foi mencionado para o mamão, esses desvios podem ocorrer por vários motivos, que poderiam ser pertinentes ao processo, como por exemplo, as condições da umidade inicial, o tipo de material a ser seco, etc.

Com os dados da Tabela 5.30 é possível traçar as curvas dos valores teóricos e compará-los aos experimentais obtidos (ver Apêndice C).

A Tabela 5.31 mostra os resultados das análises físico-químicas das amostras de sementes de jaca secas, com casca e sem casca, em secador de leito fixo.

Tabela 5.31. Caracterização físico-química das amostras de sementes de jaca secas com casca e sem casca.

PARÂMETROS	SEMENTE COM CASCA	SEMENTE SEM CASCA
pH	$5,79 \pm 0,001$	$5,83 \pm 0,007$
Acidez (mg de ácido cítrico/100g de amostra)	$0,823 \pm 0,015$	$0,753 \pm 0,02$
Sólidos Solúveis ($^{\circ}$ Brix)	$15,00 \pm 0,001$	$15,30 \pm 0,42$
Umidade (%)	$4,93 \pm 0,007$	$2,58 \pm 0,13$

A umidade da semente de jaca (Tabela 5.31), mostra a influência da casca, visto que a amostra sem casca atingiu um valor muito baixo, 2,58 %. Os outros parâmetros não tiveram diferenças significativas entre eles.

Capítulo 6

Conclusões

6. CONCLUSÕES

Este trabalho atingiu seu objetivo, quando atestou que o secador do Laboratório de Fenômenos de Transporte, desenvolvido por uma aluna de mestrado, foi utilizado para frutas de características físico-químicas diferentes e obteve resultados satisfatórios. O secador funcionou bem para todas as frutas, mas o processo foi otimizado por um programa criado para determinar os melhores tempos de desidratação osmótica e secagem.

Alguns resultados importantes deste trabalho são listados a seguir:

- **Com relação ao pré-tratamento osmótico e a secagem:**
1. Os melhores resultados experimentais da desidratação osmótica foram 70°Brix e 50° C para as bananas em rodela e 50°Brix e 70° C para o mamão em cubos, ambos com tempo de imersão de 3 horas e 50°Brix e 50° C com tempo de imersão de 4 horas para a polpa de jaca;
 2. Nas condições referidas acima se obteve perdas de água (WL) 60,58% e 52,12%, ganhos de açúcar (SG) 16,49% e 16,97% e redução de peso (WR) 45,30% e 34,41%, para rodela de banana e mamão em cubos, respectivamente. Para a polpa de jaca os valores foram 33,16% para perda de água, 19,26% para ganho de açúcar e perda de peso 16,02%.
 3. Observou que a elevação na concentração da solução osmótica provocou um aumento da perda de água, em proporção bem maior do que o ganho de sólidos, o que evidencia a importância deste parâmetro no processo de desidratação osmótica.
 4. A secagem da banana e do mamão se verifica sob condições de controle interno, com resistência externa ao transporte de umidade desprezível.
 5. Na secagem, a redução do conteúdo inicial de água promovida pela desidratação osmótica, favoreceu a obtenção de rodela de bananas e cubos de mamão com teores intermediários de água, em tempos de processamentos mais curtos.
 6. Não se identificou nas curvas características de secagem um período de taxa constante, verificando-se dois períodos de taxa decrescente.

7. O modelo difusional baseado na 2ª Lei de Fick aplicado aos dados experimentais obtidos no período de taxa decrescente, permitiu a determinação dos coeficientes de difusão da água nas bananas, nos cubos de mamão e nas sementes de jaca.
8. De acordo com os resultados obtidos, as sementes de jaca sem casca obteve uma maior velocidade de secagem atingindo a umidade de equilíbrio por volta dos 350 min.
9. A modelagem e a simulação baseada no método de Levenberg-Marquardt de minimização da soma dos erros quadráticos, permitiu a otimização do tempo de secagem total, englobando a desidratação osmótica e a secagem em secador de leito fixo.
10. A melhor condição encontrada na otimização dos dados foi à solução de 70°Brix a uma temperatura de 70°C, para as rodela de banana e para os cubos de mamão, fato este confirmado com o cálculo do consumo energético.

- **Com relação a análise sensorial:**

1. As amostras de polpa de jaca “in natura” e desidratadas em solução osmótica de 40° e 50°Brix a 50°C no tempo de 4 horas, não apresentaram diferenças significativas nos atributos aparência, cor e textura, mas diferiram significativamente da amostra “in natura”.
2. No atributo sabor a amostra tratada a 40°Brix não diferiu significativamente da amostra “in natura” e da tratada osmoticamente a 50°Brix, mas estas diferiram entre si.
3. O índice de aceitabilidade do atributo sabor foi superior a 70% para as mostras “in natura” (89,44%) e desidratadas em soluções osmóticas de 40°Brix (73,44%). A amostra desidratada a 50°Brix foi rejeitada, pois foi considerada muito doce, mascarando o sabor da fruta.

- **Sugestões para trabalhos futuros:**

1. Testar outras frutas nos dois processos de secagem;
2. Testar as condições otimizadas relacionadas neste trabalho.

Capítulo 7

Referências Bibliográficas

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. M.; SILVEIRA, A. M. Estudo da secagem de tomates desidratados e não desidratados osmoticamente. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra*, v. 21, n.1, p.021-030, 2002.

AZOUBEL P. M.; MURR, F. E. X. Optimisation of Osmotic Dehydration of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) in Sugar Solutions. *Food Science Technology International*, v.9, n. 6, p.427-433, 2003.

AZOUBEL P. M.; MURR, F. E. X. Mass Transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. *Journal of Food Engineering*, v. 61, p.291-295, 2004.

BARRERA, C.; BETORET, N.; FITO, P. Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, v. 65, p.9-14, 2004.

BOLIN, H. R.; et al. Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. *Journal of Food Science*, v.48, 202-205, 1983.

CARNEIRO, M. J. M. *Modelagem matemática da secagem de pescado*. 1995, 74f Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de alimentos, Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

CHÁFER, M.; PÉREZ, S.; CHIRALT, A. Kinetics of Solute Gain and Water Loss During Osmotic Dehydration of Orange Slices. *Food Science Technology International*, v.9, n. 6, p.359-396, 2003.

CHIRIFE, J. Fundamental of the drying mechanism during air dehydration of food. In: MUJUMDAR, A. S. *Advances in Drying*, 1983.

CRANK, J. *The mathematics of diffusion*. 2ªed. Claredon Press, 1975, 114p.

DANDAMRONGRAK, R.; YOUNG, G.; MASON, R. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. *Journal of Food Engineering*, v. 55, p.139-146, 2002.

DITCHFIELD, C. *Estudo dos Métodos para a Medida da Atividade de Água*. 2000, 146f Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C. Acompanhamento do processo de amadurecimento da banana nanicão (*Musa cavendishii* Lamb). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XVIII, 2002, Porto Alegre – RS. **Trabalhos Técnicos**, Porto Alegre - UFRGS, 2002. p.1629-1632, CD-ROM.

EL-AQUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya. *Journal of Food Engineering*, v. 59, p.085-091, 2003.

FERNANDEZ, D.; VELEZMORO, C.; ZAPATA, C. Determinación de la difusividad efectiva de la sacarosa en papaya (*Carica papaya* L.) inmersa en soluciones azucaradas. *Ciência. Tecnologia de Alimentos*, v.16, n.3, p.246-250, 1995.

FILHO, P. F.; ORMOND, J. G. P.; DE PAULA, S. R. L. *Fruticultura Brasileira: A Busca de um modelo Exportador*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro - RJ, 1999. n. 9, p. 191-226.

GASPARETO, O. C. P. *Manga Espada: Produção de geléia a partir da polpa e aproveitamento do bagaço para o enriquecimento de farinhas*. 1999, 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN.

GASPARETO, O. C. P.; et al. Estudo da secagem do mamão formosa em secador convencional com pré-tratamento osmótico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XVIII, 2002, Porto Alegre – RS. **Trabalhos Técnicos**, Porto Alegre - UFRGS, 2002A. p.1257-1260, CD-ROM.

GASPARETO, O. C. P.; et al. Avaliação sensorial dos bagos de jaca (*Artocarpus integrifolia*) in natura e desidratado osmoticamente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XIX, 2004, Recife – PE. **Trabalhos Técnicos**, Recife - UFC, 2004A. n.1177, CD-ROM.

GASPARETO, O. C. P.; et al. Influencia del tratamiento Osmótico en el secado de la Banana “Nanica” (*Musa cavendishii*. L) en Secador de Lecho Fijo. *Informacion Tecnologica*, v.15, n.6, p.09-16, 2004B.

GIRALDO, G., et al. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Science*, v. 58, p.033-043, 2003.

HONORATO, G. C., et al. Processamento de farinha a partir do rejeito do camarão (cefalotórax e exoesqueleto) para complemento alimentar. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, IV, 2001, Campinas - SP, **Resumos**, Campinas - UNICAMP, 2001. p.357.

HONORATO, G.C. *Aproveitamento do Cefalotórax de Camarão na Produção de Farinha para Complemento Alimentar*. 2002, 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN.

KARATHANOS, V. T.; KOSTAROPOULOS, A. E. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology*, v.13, n. 5-7, p.1503-1521, 1995.

KARMAS, E. Techniques for measurement of moisture content of foods. *Food Technology*, v. 34, n.4, p. 52-59, 1980.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, v. 46, p.243-250, 2000.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. *Drying Technology*, v. 14, n. 2, p.391-413, 1996.

LERICI, C. R., et al. Osmotic dehydration of fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*, v. 50, p.1217-1226, 1985.

LEUNG, H. K. Structure and properties of water. *Cereal foods World*, v. 26, n.7, p. 350-352, 1981.

LEWICK, P. P.; LE, H. V.; POMARANSKA-LAZURA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, v. 54, p.141-146, 2002.

LIMA, A. S.; et al. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, n.1, p.107-109, 2004A.

LIMA, A. S.; et al. Estudo das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de melão. *Ciência. Tecnologia de Alimentos*, v.24, n.2, p.282-286, 2004B.

LO SCALZO, R. Influence of cultivar and Osmotic dehydration time on aroma profiles of muskmelon (*Cucumis melo*, cv. Reticulates Naud.) spheres. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p.261-264, 2001.

LORDELO, L. S. Caracterização de Jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus Lam*). 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Departamento de Ciências Agrárias, escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas – BA.

MANICA, I. *Fruticultura tropical: mamão*. 3. ed. São Paulo - SP: Agronômica Ceres, 1982.

MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S. *Frutas do Brasil: Banana Pós-colheita*. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

MAURO, M. M. *Cinética da Desidratação Osmótica de Banana Nanica*. 1992, 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de alimentos, Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

MAUROZÉ, C., et al. Equipment desing for osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p.207-221, 2001.

MEDEIROS, M. F. D. *Influencia da Composição Química dos Materiais no Desempenho do Processo de Secagem de Polpas de Frutas em Leito de Jorro*. 2001, 247f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

MENEZES, H.C.; et al. *Aspectos Tecnológicos. Série Frutas Tropicais, ITAL*, Campinas - SP, 1980, v. 10.

MORAES, G. M. D., et al. Utilização tecnológica da farinha das sementes de jaca como fonte alternativa de carboidratos na elaboração de pães. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, XIX, 2004, Recife – PE. **Anais**.

MOYANO, P. C., et al. Effect of Combined Processes of Osmotic Dehydration and freezing on Papaya Preservation. *Food Science & Technology*, v. 8, n. 5, p.295-297, 2002.

MÚJICA-PAZ, H., et al. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, v. 57, p.305-314, 2003.

MUKPRASIRT, A.; SAJJAANANTAKUL, K. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. *International Journal of Food Science and Technology*, v.39, p.217-276, 2004.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3 ed. São Paulo - SP, 1985.

OLIVEIRA, E. L., et al. Efeito do pré-tratamento osmótico na secagem de abacaxi usando um secador de bandejas. Estudo de alguns parâmetros cinéticos. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, IV, 2001, Campinas – SP. **Resumos**, p.357.

PARK, K. J.; BIN, A. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica. *Ciência. Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.1, p.073-077, 2001.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, v. 56, p.097-103, 2002.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. *Manual de Engenharia Química*, 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1980.

PINEDO, A. A. *Secagem a vácuo de cenoura (Daucus carota) e abóbora (curbita máxima): Estudo das características do processo*. 2003, 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de alimentos, Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP

POKHARKAR, S. M.; PRASAD S. Water Desorption Isotherms of Osmotically Concentrated Pineapple. *Journal Food Science & Technology*, v.35, n. 6, p.518-520, 1998A.

POKHARKAR, S. M.; PRASAD S. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Banana Slices. *Journal Food Science & Technology*, v.35, n. 4, p.336-338, 1998B.

POKHARKAR, S. M.; PRASAD S.; DAS, H. A Model for Osmotic Concentration of Banana Slices. *Journal Food Science & Technology*, v.34, n.36, p.230-232, 1997.

RAHMAN, S. & LAMB, J. Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, v.14, p.163-171, 1991.

RAHMAN, M. S. & LAMB, J. Osmotic Dehydration of Pineapple. *Journal Food Science & Technology*, v. 27, n. 3, p.150-152, 1990.

RAOULT-WACK. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, v.5, p.255-260, 1994.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Banana: Fickian Diffusion in Cylindrical Configuration. *Journal of Food Engineering*, v. 31, p.423-452, 1997.

RELATÓRIO IDEMA, 2000, FIERN, Natal – RN.

ROSSETTO, M. R. M.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Influência do ácido giberélico na degradação do amido durante o amadurecimento da banana. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v.24, n.1, p.076-081, 2004.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; ROSA, M. D. Sucrose-salt Combined effects on Mass Transfer kinetics and product acceptability. Study on Apple Osmotic Treatments. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p.163-173, 2001.

SANKAT, C.; CASTAIGNE, F.; MAHARAJ, R. The Air Drying Behaviour of fresh and Osmotically Dehydrated Banana Slices. *International Journal of Food Science and Technology*, v.31, p.123-135, 1996.

SAUREL, R., et al. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple II. Frozen plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, v.29, p.543-550, 1994.

SHIROSE, I.; MORI, E. E. M. Estatística aplicada à Análise Sensorial (Módulo 1), Campinas: ITAL, 1994.

SILVA, S. F.. *Desidratação Osmótica do Mamão Formosa*. 1998, 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN.

SILVA, A. G. O Pólo Fruticultor Açú/Mossoró (RN). Instituto de Economia, 2000. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/nea/rurbano/textos/congrsem/iisemina/aldenorg.htm>>. Acessado em 10/02/2002.

SOUSA, P. H. M., et al. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, n.3, p.414-416, 2003A.

SOUSA, P. H. M., et al. Influencia da concentração e da proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.23, n.1, p.126-130, 2003B.

SOUZA, J. S. *Estudo da Desidratação de Tomates (Lycopersicum esculentum) em Pedacos com Pré-tratamento Osmótico*. 2002, 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN.

SOUZA, A. T.; PEIXOTO, A. N.; WACHHOLZ, D. *Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. Banana* (Estudo de economia e mercado de Produtos agrícolas, 2). Florianópolis - SC, 1995. 103p, 2002.

STRUMILLO, C. and KUDRA. *Topics in Chemical Engineering; Drying: principles, applications and desing*. Gordon and Breach Science Publishers S.A., 1986.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E. M.; BARBETTA, P. A. *Análise Sensorial de Alimentos*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1987.

TONON, R. V. E MURR, F. E. X. Otimização do processo de desidratação-impregnação por imersão do pedúnculo do caju (*anacardium occidentale* L.). CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 2001, Campinas - SP. **Trabalho técnico**

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p.247-253, 2001.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, v. 26, p.59-68, 1993.

YAO, Z.; LE MAGUER, M. Mathematical Modelling and Simulation of Mass Transfer in Osmotic Dehydration Processes. Part I: Conceptual and Mathematical Models. *Journal of Food Engineering*, v. 29, p.349-360, 1996.

Apêndices

APÊNDICE A

Banana

As unidades de equilíbrio foram calculadas com base na linearização dos gráficos de velocidade de secagem versus umidade.

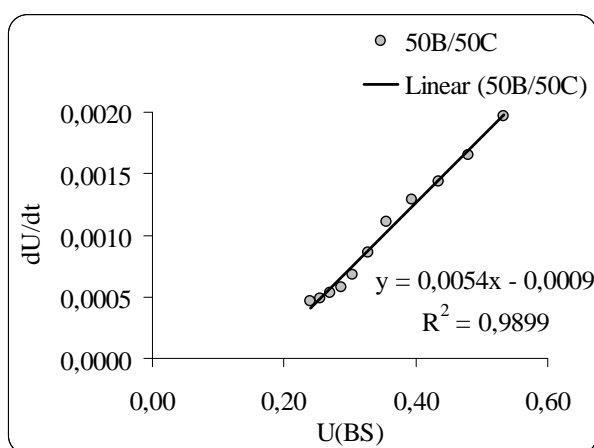


Figura A1. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição 50°Brix/50°C.

Equação obtida da linearização:

$$y = 0,0054x - 0,0009, R^2 = 0,9899$$

$$U_{eq} = 0,1667$$

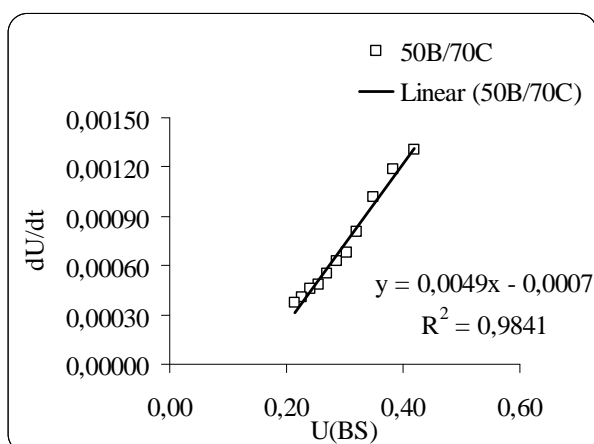


Figura A2. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição 50°Brix/70°C.

Equação obtida da linearização:

$$y = 0,0049x - 0,0007, R^2 = 0,9841$$

$$U_{eq} = 0,1429$$

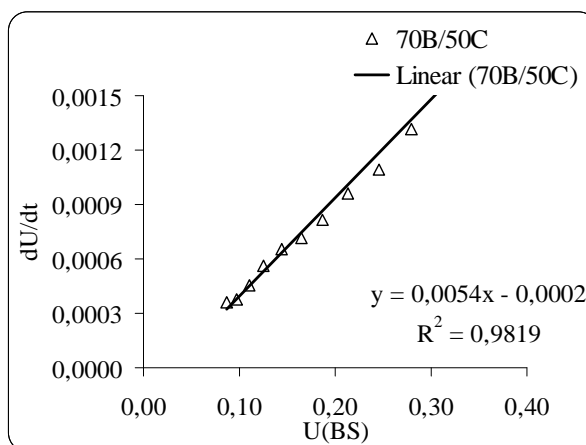


Figura A3. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição 70°Brix/50°C.

Equação obtida da linearização:

$$y = 0,0054x - 0,0002, R^2 = 0,9819$$

$$U_{eq} = 0,0370$$

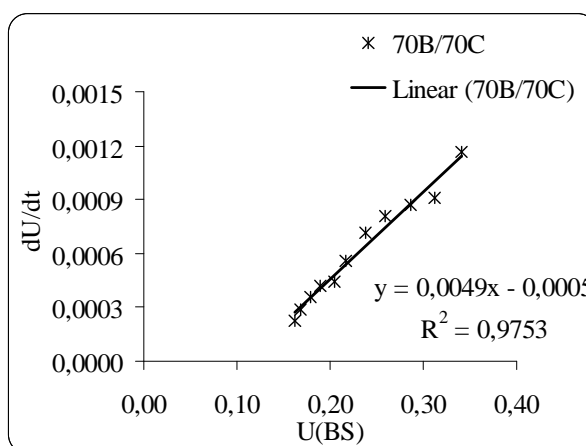


Figura A4. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição 70°Brix/70°C.

Equação obtida da linearização:

$$y = 0,0049x - 0,0005, R^2 = 0,9753$$

$$U_{eq} = 0,1020$$

Com base nos dados experimentais foi possível calcular o teórico e compará-los. As Figuras A5, A6, A7 e A8 mostram as curvas experimental e teórica.

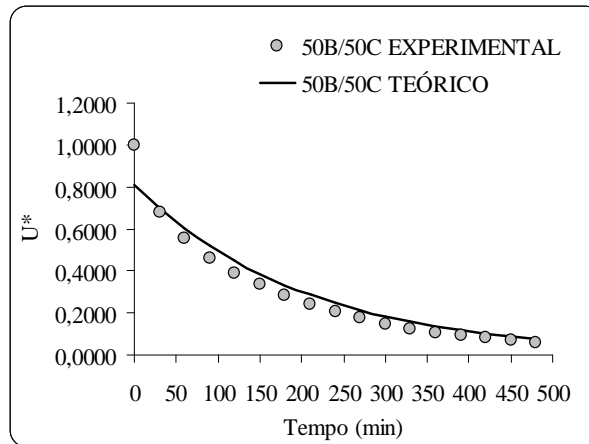


Figura A5. Curva de U^* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição 50°Brix / 50°C.

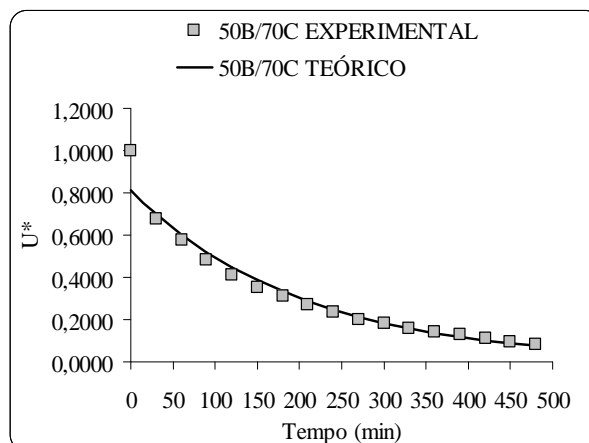


Figura A6. Curva de U^* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição 50°Brix / 70°C.

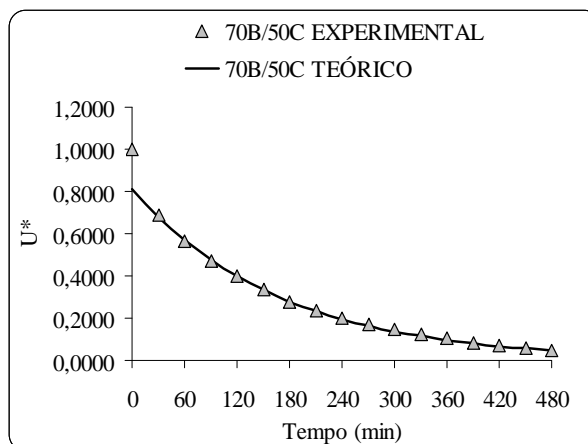


Figura A7. Curva de U^* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição $70^\circ\text{Brix} / 50^\circ\text{C}$.

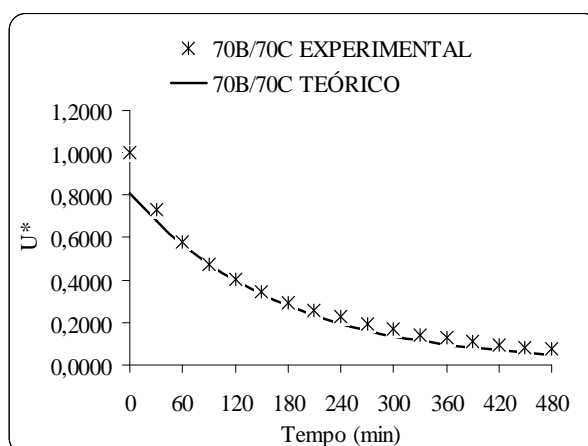


Figura A8. Curva de U^* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição $70^\circ\text{Brix} / 70^\circ\text{C}$.

APÊNDICE B

Mamão

A umidade de equilíbrio do processo de secagem do mamão formosa na condição 50°Brix / 70°C foi calculada com base na linearização da curva de velocidade x umidade.

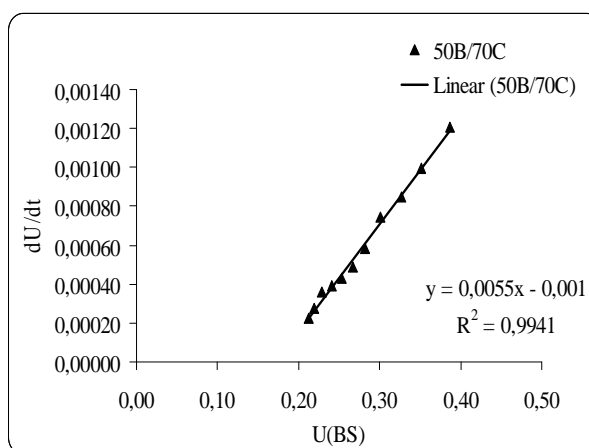


Figura B1. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição 50°Brix / 70°C.

Equação obtida da linearização, medido a partir dos 210 min:

$$y = 0,0055x - 0,001, R^2 = 0,9941$$

$$U_{eq} = 0,1818$$

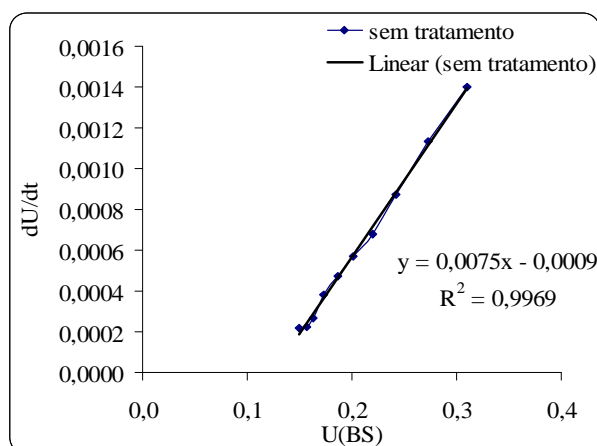


Figura B2. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição sem tratamento osmótico.

Equação obtida da linearização, medido a partir dos 600 min:

$$y = 0,0075x - 0,0009, R^2 = 0,9969$$

$$U_{eq} = 0,1200$$

Com base nos dados experimentais foi possível calcular o teórico e compará-los. As Figuras B3 e B4 mostram as curvas experimental e teórica.

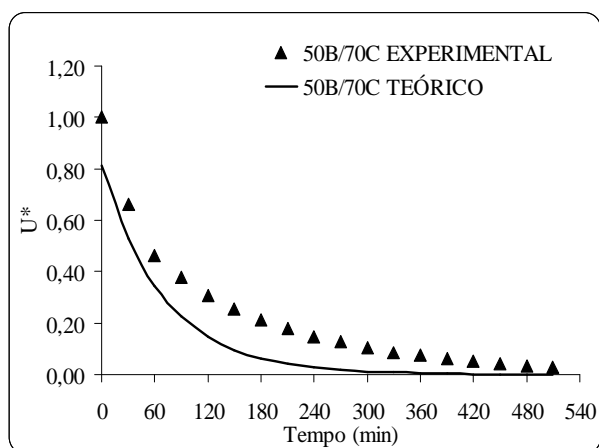


Figura B3. Curva de U* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição 50°Brix / 70°C.

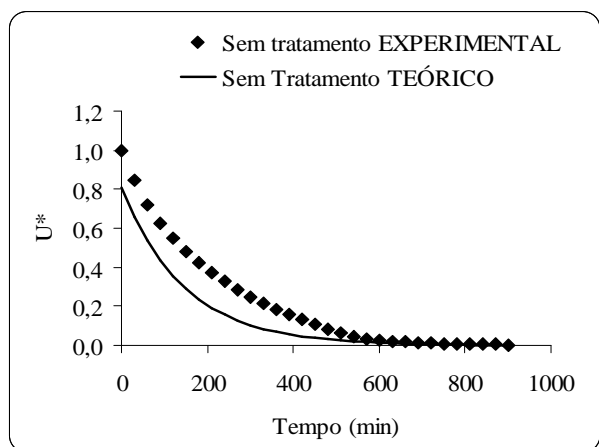


Figura B4. Curva de U* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição sem tratamento osmótico.

APÊNDICE C

Jaca

Cinética de secagem da semente de jaca.

A umidade de equilíbrio do processo de secagem das sementes de jaca nas condições estudadas foram calculadas com base na linearização das curvas de velocidade x umidade.

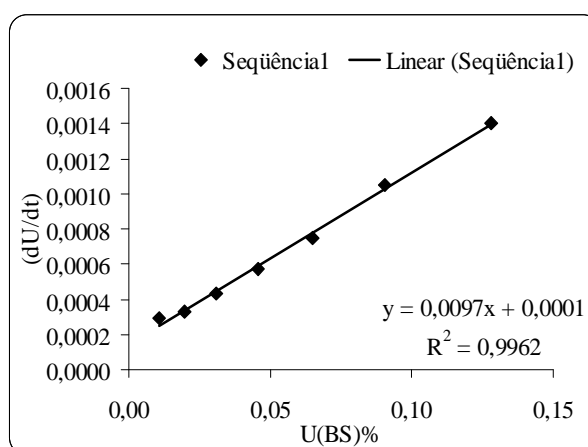


Figura C1. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição com casca.

Equação obtida da linearização, medido a partir dos 330 min:

$$y = 0,0097x - 0,0001, R^2 = 0,9962$$

$$U_{eq} = 0,0103$$

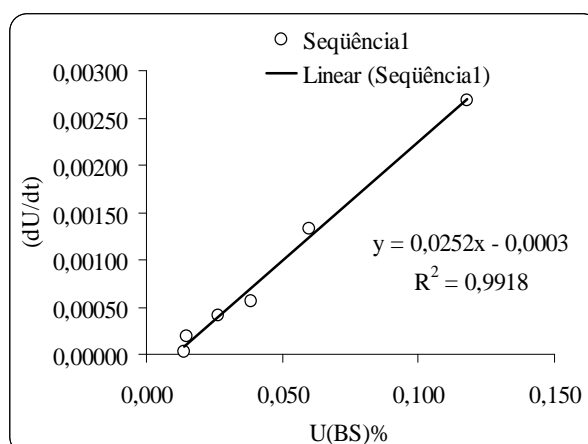


Figura C2. Variação da velocidade de secagem em função da umidade para a condição sem casca.

Equação obtida da linearização, medido no intervalo de 150 a 300 min:

$$y = 0,0252x - 0,0003, R^2 = 0,9918$$

$$U_{eq} = 0,0119$$

Os gráficos a seguir (Figuras C3 e C4) mostram um comparativo entre as curvas experimentais e as teóricas determinadas a partir dos coeficientes de difusão efetivos calculados.

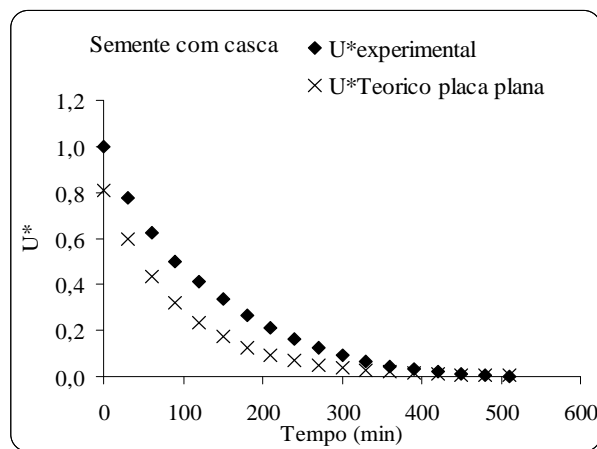


Figura C3. Curva de U* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição com casca.

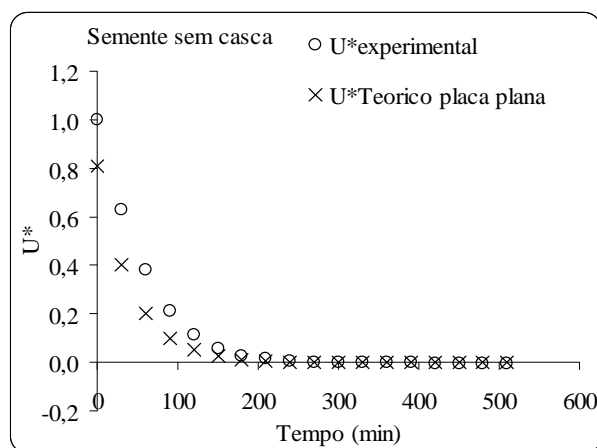


Figura C4. Curva de U* em função do tempo para os dados experimentais e teóricos, condição sem casca.

Análise Sensorial da Polpa de Jaca.

Na Tabela C1 encontram-se as notas referentes ao atributo Aparência.

Tabela C1. Notas relativas à Aparência para três amostras de polpa de jaca.

Provador	Tratamento			Total de Provador
	A	B	C	
1	3,00	1,00	2,00	2,00
2	3,00	2,00	2,00	2,33
3	3,00	2,00	1,00	2,00
4	3,00	2,00	2,00	2,33
5	3,00	1,00	2,00	2,00
6	3,00	2,00	2,00	2,33
7	3,00	2,00	1,00	2,00
8	2,00	2,00	2,00	2,00
9	3,00	1,00	1,00	1,67
10	3,00	2,00	2,00	2,33
11	3,00	2,00	1,00	2,00
12	3,00	1,00	2,00	2,00
13	3,00	1,00	2,00	2,00
14	2,00	1,00	1,00	1,33
15	3,00	2,00	2,00	2,33
16	3,00	2,00	2,00	2,33
17	2,00	2,00	2,00	2,00
18	3,00	2,00	1,00	2,00
Total de tratamento	51,00	30,00	30,00	111,00
Média de tratamento	2,83	1,67	1,67	

O primeiro passo dado na análise de variância foi determinar os valores de t (numero de tratamentos), p (numero de provadores) e N (numero total de observações). O esquema da análise de variância de um experimento em blocos casualizados é dado na Tabela C2.

Neste experimento:

t	número de tratamentos	3
p	numero de provadores	18
N	numero total de observações	54

Tabela C2. Obtenção da Análise de variância.

Fontes de variação (FV)	Graus de liberdade (GL)	Soma de quadrados (SQ)	Quadrado médio (QM)	F
Provadores	(p-1) = 17,00	SQ _{Provadores} = 3,50		F = QM _{Trat} /QM _{Res} = 39,6667
Tratamentos	(t-1) = 2,00	SQ _{Tratamentos} = 16,33	QM _{Trat} = SQ _{Trat} / (t-1) = 8,1667	
Resíduos	(p-1). (t-1) = 34,00	SQ _{Resíduos} = 7,00	QM _{Res} = SQ _{Res} / (p-1). (t-1) = 0,2059	
Total	p.t-1 = 53,00	SQ _{Total} = 26,83		

As somas dos quadrados foram obtidos dos seguinte cálculo:

y = valor observado;

$$G = \text{total geral} = \sum y = 3 + 3 + 3 + \dots + 1 = 111;$$

$$C = \text{fator de correção} = \frac{G^2}{N} = \frac{(111)^2}{54} = 228,1667;$$

$$\bar{y} = \text{média geral} = \frac{G}{N} = \frac{111}{54} = 2,0556.$$

Com o conhecimentos deste fatores passou-se ao cálculo do coeficiente de variação (CV) do experimento que é dado por:

$$CV = \frac{100\sqrt{QM_{\text{Residuo}}}}{\bar{y}} = \frac{100\sqrt{0,2059}}{2,0566} = 22,0739$$

A significância ($\alpha < 0,05$) do valor da estatística F para tratamentos indica que pelo menos duas médias de tratamento diferem significativamente entre si ao nível de erro de 5%.

O teste de Tukey foi aplicado as médias. Determinaram-se as médias dividindo o total de tratamento pelo número de provadores ($111/18 = 6,166667$). A partir daí foi calculado o *dms* (diferença mínima significatica) do teste de Tukey:

$dms = q \sqrt{\frac{QM_{Residuo}}{r}}$, onde q é tabelado (para $p = 18$ e $GL_{Residuo}=34$) e igual a 3,47 (ao nível de 5%) e r é o número de repetições de cada tratamento = 18, logo $dms = 0,3711$.

Para obter a significância das médias calculou-se a diferença de duas médias, no caso de serem superior ao dms é significativo ao nível de erro de 5%, isto é, as duas médias diferem significativamente entre si. Quando isto acontece, estas médias são acompanhadas de letras diferentes; caso contrário, de letras iguais.

Tratamento	Média
A	2,83 a
B	1,67 b
C	1,67 b

Na Tabela C3 encontram-se as notas referentes ao atributo Aparência.

Tabela C3. Notas relativas à Cor para três amostras de polpa de jaca.

Provedores	Tratamento			Total do provedor
	amostra 1	amostra 2	amostra 3	
1	3	2	3	8,00
2	3	2	2	7,00
3	3	2	1	6,00
4	3	1	2	6,00
5	3	2	2	7,00
6	3	2	3	8,00
7	2	3	1	6,00
8	3	2	3	8,00
9	3	2	1	6,00
10	3	2	2	7,00
11	3	2	1	6,00
12	3	2	2	7,00
13	3	1	2	6,00
14	3	1	1	5,00
15	3	2	2	7,00
16	3	3	2	8,00
17	2	2	2	6,00
18	3	1	1	5,00
média de tratamento	2,89	1,89	1,83	119,00
Total de tratamento	52,00	34,00	33,00	119,00

t	numero de tratamentos	3
p	numero de provedores	18
N	numero total de observações	54

$$CV = \frac{100\sqrt{QM_{Residuo}}}{\bar{y}} = \frac{100\sqrt{0,3126}}{2,2037} = 25,3727$$

$$dms = 0,4573$$

Na Tabela C4 encontram-se as notas referentes ao atributo Textura.

Tabela C4. Notas relativas à Textura para três amostras de polpa de jaca.

PROVADORES	TRATAMENTO			TOTAL DO PROVADOR
	A	B	C	
1	7	6	6	19,00
2	7	7	7	21,00
3	6	9	4	19,00
4	7	6	5	18,00
5	9	5	8	22,00
6	10	6	4	20,00
7	7	8	11	26,00
8	9	10	6	25,00
9	4	3	10	17,00
10	6	5	2	13,00
11	9	8	5	22,00
12	7	2	6	15,00
13	4	9	6	19,00
14	6	3	2	11,00
15	8	6	8	22,00
16	10	6	6	22,00
17	6	3	10	19,00
18	10	7	2	19,00
Média de tratamento	7,33	6,06	6,00	
Total de tratamento	132,00	109,00	108,00	349,00

t	numero de tratamentos	3
p	numero de provadores	18
N	numero total de observações	54

$$CV = \frac{100\sqrt{QM_{\text{Residuo}}}}{\bar{y}} = \frac{100\sqrt{5,6329}}{6,4629} = 36,7227$$

$$dms = 1,9412$$

Na Tabela C5 encontram-se as notas referentes ao atributo Sabor.

Tabela C5. Notas relativas à Sabor para três amostras de polpa de jaca.

PROVADORES	TRATAMENTO			TOTAL DO PROVADOR
	amostra 1	amostra 2	amostra 3	
1	8	4	5	17,00
2	9	5	6	20,00
3	8	7	6	21,00
4	9	6	7	22,00
5	9	6	6	21,00
6	7	7	6	20,00
7	7	8	3	18,00
8	8	6	4	18,00
9	8	6	9	23,00
10	8	8	7	23,00
11	9	5	6	20,00
12	7	6	6	19,00
13	8	6	3	17,00
14	7	7	9	23,00
15	7	9	7	23,00
16	8	9	8	25,00
17	7	8	6	21,00
18	6	7	7	20,00
Média de tratamento	7,78	6,67	6,17	
Total de tratamento	140,00	120,00	111,00	371,00

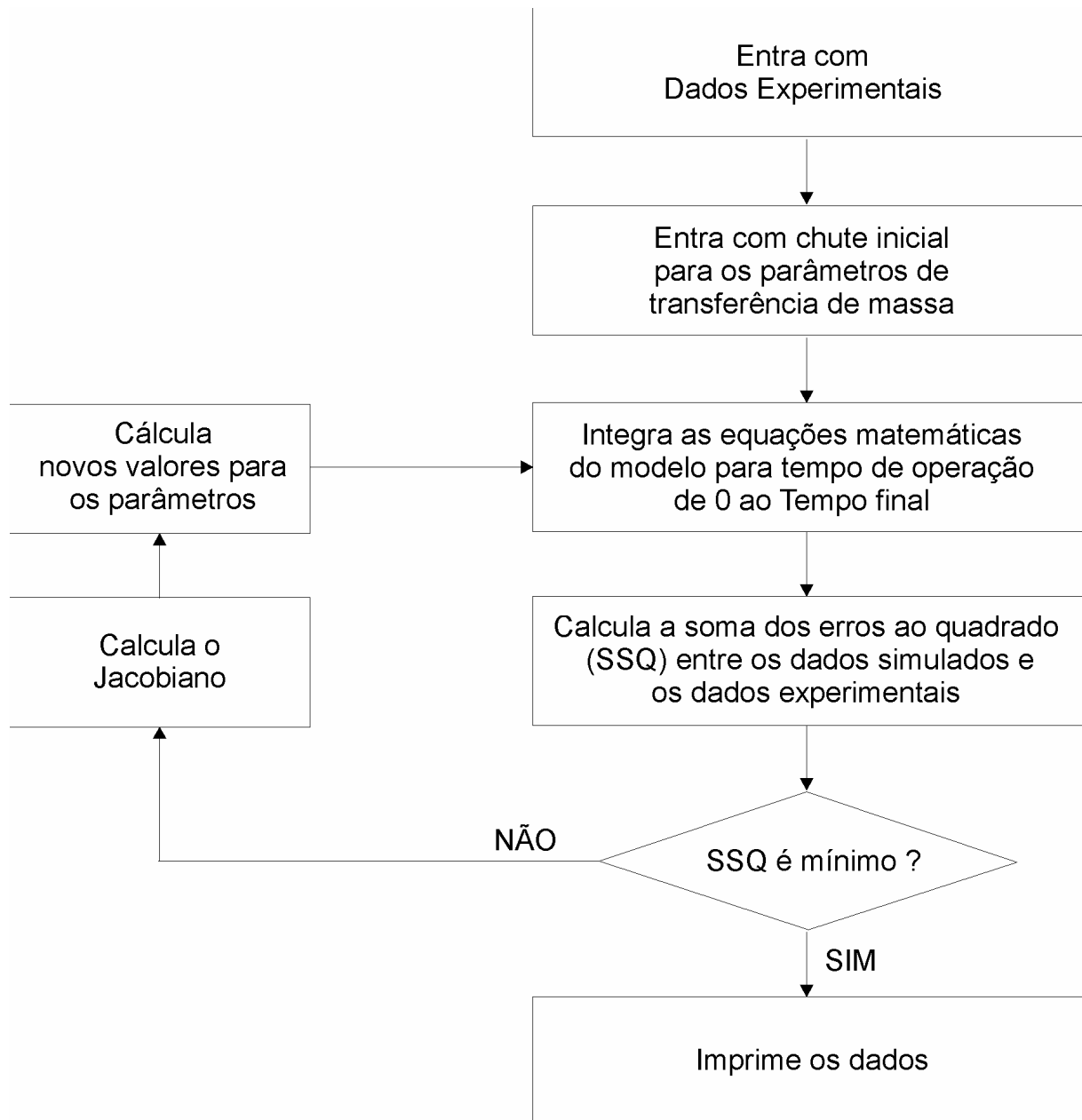
t	numero de tratamentos	3
p	numero de provadores	18
N	numero total de observações	54

$$CV = \frac{100\sqrt{QM_{\text{Residuo}}}}{\bar{y}} = \frac{100\sqrt{1,8878}}{6,8704} = 19,9985$$

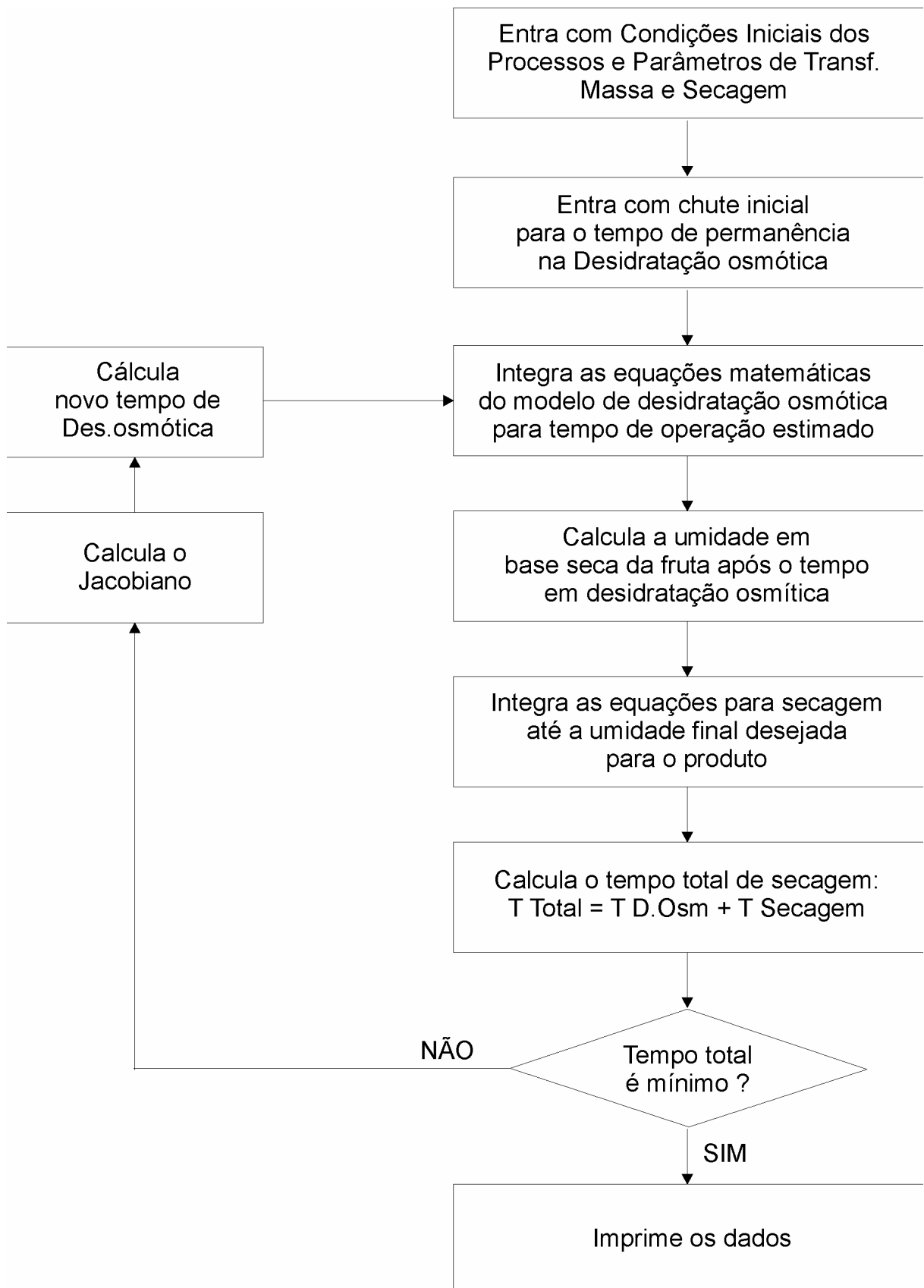
$$dms = 1,1238$$

Anexos

Programa desenvolvido para a modelagem da desidratação osmótica.



Programa desenvolvido para a otimização dos dados simulados para a desidratação osmótica e secagem final.



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)