

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**DISSERTAÇÃO**

**Estudo da Desidratação Osmótica de Fatias de Chuchu**  
*(*Sechium edule*, Sw.)*

**Jônatas de Aguiar Ferreira**

**2005**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FATIAS DE  
CHUCHU**

**JÔNATAS DE AGUIAR FERREIRA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Maurício Cordeiro Mancini**  
*e Co-orientação do Professor*  
**Luís Américo Calçada**

Tese submetida como requisito parcial para  
obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em  
Engenharia Química, Área de Concentração  
Tecnologia Química.

Seropédica, RJ  
Agosto de 2005

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

JÔNATAS DE AGUIAR FERREIRA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de Concentração Tecnologia Química, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, em Engenharia Química.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

---

Maurício Cordeiro Mancini, D.Sc., DEQ/UFRRJ  
(Orientador)

---

Ana Maria da Silveira, D.Sc., DEQ/UFSCAR

---

Ana Lucia Santos Barbosa, D.Sc., DEQ/UFRRJ

---

Glória Regina Wildhagen, D.Sc., IEN/UFRRJ

---

Luís Américo Calçada, D.Sc., DEQ/UFRRJ

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, meus pais, irmãos e a todos os familiares, que sempre me incentivaram e me apoiaram em meus propósitos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Maurício Cordeiro Mancini pela orientação acadêmica e amizade.

Ao professor Luis Américo Calçada pela co-orientação e grande ajuda nos momentos chaves desta dissertação.

A minha namorada Bianca Lopes de Araujo pela compreensão em alguns momentos de ausência, pela força e incentivo em todos os instantes deste trabalho.

Aos amigos de lar Adelson Leal, Fernando Serenotti e Bruno Abraira pelo companheirismo e grandes momentos de alegria passados juntos.

Aos amigos de Santa Cruz Patrick, Carlos, Átila, Vinicius, Jorge Maia, Vitor, Marcos, Wilder, Rogério, Walter e Rodrigo (Bid) pela amizade fiel e verdadeira.

Aos amigos da Rural Eduardo (Magé), Carlos Eduardo (Jameli), Rodrigo (Negão), Alessandra (Paulista), Marcone, Emilly, Luciano, Herlon, Daniele Baêta, Amauri, Hiram, Rodolfo, Paulo, Sônia e filhos, Ricardo, Alcides (Cidinho), Teppey, Breno, Rafael (Mosquito) e Livia pelos momentos especiais vividos durante a graduação e o mestrado na UFRRJ.

A meus primos Danilo, Rodrigo, Carlos Eduardo (Duda), Andressa, Loise, Daniel, Luciana e Priscila pela família unida que formamos.

A CAPES pela bolsa de estudos e auxílio financeiro.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que eu alcançasse mais uma vitória.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE FIGURAS

LEGENDA

RESUMO

ABSTRACT

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1 Efeito das Variáveis Operacionais</b> .....	4
<b>2.2 Estudo da Cinética de Desidratação</b> .....	6
<b>2.3 Modelos de Desidratação Osmótica</b> .....	8
<b>2.4 Equilíbrio Osmótico</b> .....	10
<b>2.5 Comentários Finais</b> .....	10
<b>CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	12
<b>3.1 Matéria - Prima</b> .....	12
<b>3.2 Solução Hipertônica</b> .....	12
<b>3.3 Metodologia Experimental</b> .....	12
3.3.1 Determinação da umidade de equilíbrio .....	12
3.3.2 Avaliação da cinética de desidratação .....	15
<b>3.4 Procedimento de Cálculo</b> .....	17
3.4.1 Aplicação de modelos.....	17
3.4.2 Estimativa de parâmetros.....	18
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	20
<b>4.1 Umidade de Equilíbrio</b> .....	21
<b>4.2 Avaliação Cinética</b> .....	28
<b>4.3 Estudo do Ganho de Solute do Chuchu</b> .....	32
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>SUGESTÕES</b> .....	35
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	36

<b>ANEXOS</b> .....	39
<b>Anexo I:</b> Experimentos preliminares .....	39
<b>Anexo II:</b> Experimentos de determinação da umidade de equilíbrio .....	42
<b>Anexo III:</b> Experimentos de avaliação da cinética de desidratação osmótica com determinação do percentual de perda de água, perda de peso e ganho de sólidos.....	45

## ÍNDICE DE QUADROS E TABELAS

<b>Tabela 2.1:</b> Cálculo do desvio relativo médio (DRM) para os métodos contínuo e descontínuo.....	7
<b>Quadro 2.1:</b> Modelos de isotermas .....	9
<b>Tabela 3.1:</b> Condições operacionais dos experimentos.....	14
<b>Quadro 4.1:</b> Resultado dos tratamentos realizados na desidratação osmótica.....	20
<b>Tabela 4.1:</b> Resultados da desidratação osmótica para os experimentos de equilíbrio.....	23
<b>Tabela 4.2:</b> Efeito da temperatura do sistema para os dados de umidade de equilíbrio.....	24
<b>Tabela 4.3:</b> Efeito da concentração da solução hipertônica para os dados de umidade de equilíbrio. ....	25
<b>Tabela 4.4:</b> Ajuste dos modelos de isotermas de equilíbrio .....	26
<b>Tabela 4.5:</b> Estimação de parâmetro para o modelo de secagem de Overhults .....	28
<b>Tabela 4.6:</b> : Estimação dos parâmetros da correlação para constante de secagem k .....	29
<b>Tabela 4.7:</b> Valor médio do parâmetro n e as análises estatísticas.....	30
<b>Tabela 4.8:</b> Resultados do percentual médio e máximo de ganho de sólidos .....	33
<b>Tabela A1:</b> Dados experimentais de calibração do banho – maria .....	40
<b>Tabela A2:</b> Dados de cinética de desidratação osmótica de chuchu realizados no banho – maria .....	40
<b>Tabela A3:</b> Resultados experimentais de determinação da umidade de equilíbrio – Ensaio preliminares.....	41
<b>Tabela B1:</b> Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte I).....	42
<b>Tabela B2:</b> Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte I).....	43



<b>Tabela B3:</b> Dados experimentais para determinação da unidade de equilíbrio (Parte III).....	44
<b>Tabela C1:</b> Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”. (Parte I).....	45
<b>Tabela C2:</b> Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”. (Parte II).....	46
<b>Tabela C3:</b> Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”. (Parte III) .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1:</b> Banho-maria utilizado nos experimentos .....	13
<b>Figura 3.2:</b> Visão frontal do shaker usado nos experimentos de cinética. ....	16
<b>Figura 3.3:</b> Visão interna do shaker utilizado nos experimentos de cinética. ....	16
<b>Figura 4.1:</b> Resultados experimentais para os experimentos de equilíbrio à 30% (p/v). ....	22
<b>Figura 4.2:</b> Comparação da influência da concentração da solução hipertônica na desidratação osmótica à 40°C.....	22
<b>Figura 4.3:</b> Comparação dos valores experimentais e preditos pelos dois modelo..	27
<b>Figura 4.4:</b> Valores experimentais e preditos pela isoterma de Smith.....	28
<b>Figura 4.5:</b> Análise do comportamento do parâmetro k do modelo de Overhults. ....	29
<b>Figura 4.6</b> Análise do comportamento do parâmetro n do modelo de Overhults.....	30
<b>Figura 4.7:</b> Comparação entre os resultados experimentais e calculados usando o modelo de Overhults.....	31
<b>Figura 4.8 :</b> Comparação entre resultados experimentais e simulados – validação experimental .....	32

## NOMENCLATURA

$A_1, A_2, A_3$	Parâmetros das isotermas.
C	Concentração da solução hipertônica [p/v]
CV	Coefficiente de variação.
DRM	Desvio médio relativo.
F	Estatística F.
GS	Ganho de sólidos [g].
K	Parâmetro do modelo de Overhults [ $\text{min}^{-1}$ ]
MR(t)	Razão de umidade
$M_{s0}$	Massa de sólidos no início [g]
n	Parâmetro do modelo de Overhults [-]
PA	Perda de água [g].
PP	Perda de peso [g].
R	Coefficiente de correlação.
$s_1, s_2$	Constante de Azuara para perda de água e ganho de sólidos respectivamente.
SG	Quantidade de sólidos ganhos pelo alimento no tempo t. [g]
$SG_{\infty}$	Quantidade de sólidos ganhos no equilíbrio. [g]
t	Tempo de imersão [min]
T	Temperatura do sistema [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t_{\text{calc}}, t_{\text{tab}}$	Teste t calculado e tabelado.
$t_i$	Tempo de imersão [min]
WFL	Quantidade de água perdida pelo gênero alimentício no tempo t. [g]
$WFL_{\infty}$	Quantidade de água perdida no equilíbrio. [g]
$X_i^e$	Fração mássica do i-ésimo componente do produto no equilíbrio.
$Y_i^0$	Fração mássica do i-ésimo componente da concentração inicial de solução osmótica.
$Y_{\text{seq}}$	Umidade de equilíbrio.
$Y_s(t)$	Umidade em função do tempo t
$Y_{s0}$	Umidade inicial.

## LETRAS GREGAS

$\sigma$	Desvio padrão.
$\lambda_i^e$	coeficiente de distribuição.

## RESUMO

FERREIRA, Jônatas de Aguiar. **Estudo da desidratação osmótica de fatias de chuchu (*Sechium edule*, Sw.)**. Seropédica: UFRRJ, 2005. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Química, Tecnologia Química).

Neste trabalho foi feito um estudo da desidratação osmótica de fatias de chuchu em um sistema que possibilitou a determinação da umidade de equilíbrio e dos coeficientes do modelo de Overhults para descrever a cinética de desidratação osmótica das fatias. O procedimento experimental consistiu em lavar e escovar os frutos, para a remoção de impurezas da casca, fatiar o chuchu, em fatias de 5 mm de espessura, num fatiador doméstico de alimentos, submeter o material à desidratação osmótica em solução hipertônica de sacarose a 20,30 e 40%, por até 96 horas, tomando amostras em períodos determinados para levantar a curva de desidratação do material e também determinar a umidade de equilíbrio das fatias de chuchu como uma função da concentração inicial da solução hipertônica e da temperatura. Com base nos resultados obtidos foi possível determinar os parâmetros do modelo de Overhults para as fatias de chuchu, bem como a uma correlação para a umidade de equilíbrio do material e constatar que há forte influência da temperatura e da concentração sobre a cinética de desidratação osmótica do chuchu, que cerca de 50 % da umidade das amostras é removida nas primeiras duas horas de imersão, que a umidade de equilíbrio é atingida em cerca de 48 horas de imersão e que o modelo de Overhults descreve satisfatoriamente as curvas de desidratação osmótica.

**Palavras chaves:** Desidratação osmótica, umidade de equilíbrio, cinética de desidratação

## ABSTRACT

FERREIRA, Jônatas de Aguiar. Study of osmotic dehydration of chayote Seropédica: UFRRJ, 2005. (Dissertation, Master Science in Chemistry Engineer, Chemistry Tecnology).

In this research, the drying kinetics and equilibrium conditions during osmotic dehydration of chayote (*Sechium edule*, Sw.) were studied using 20, 30 and 40 % (w/v) sucrose solutions. A thermostatic bath was built to allow the experimental evaluation of osmotic dehydration kinetics and equilibrium moisture content determination. The experiments were carried out at three different temperatures (30 °C, 40 °C and 50 °C) in order to evaluate the influence of temperature and sucrose concentration. Chayote fruits were washed and submerged in sodium hypochloride solution for ten minutes, for sanitization. Afterwards, the fruits were dried and cut into slices of about 0.5 cm thickness. Then, the slices were put into hypertonic sucrose solutions during pre-established time intervals. After osmotic dehydration, the solution was discarded and the slices were softly dried with absorbent paper to remove surface moisture. The moisture content was determined gravimetrically. Long time experiments up to 96 h were performed to provide information about the equilibrium moisture content. An specific equilibrium isotherm was selected by statistical methods. The correlation that better described equilibrium moisture content behavior was the Smith sorption isotherm, adapted to osmotic environment. The Overhults model was used to describe osmotic dehydration kinetics and estimate the drying constants  $k$  and  $n$ . Based on the results obtained in this research, it could be demonstrated that the equilibrium moisture content is strongly influenced by sucrose concentration and that  $k$  is a parameter dependent on the temperature and sucrose concentration, whereas  $n$  may be considered constant for the given experimental setup.

Keywords: Drying Kinetics, Fruits Dehydration and Drying Modelling

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A secagem de alimentos é uma importante operação unitária que visa remover o excesso de água, evitando o apodrecimento dos mesmos e conseqüentemente aumentando o tempo de vida de prateleira dos produtos nos mercados, estoques, etc.

Como o Brasil é um grande exportador de produtos agrícolas, a secagem de alimentos é de grande importância para o desenvolvimento do agronegócio no país. Em vista disto, estudos têm sido realizados no sentido de maximizar a produção e evitar perdas desnecessárias dos excedentes.

Várias técnicas de secagem vêm sendo utilizadas hoje em dia e a desidratação osmótica é uma delas, sendo um dos processos mais antigos de conservação de alimentos utilizados pelo homem. Suas vantagens são muitas, dentre as quais estão a redução do peso do produto, baixo custo em relação aos outros métodos de conservação, além do aumento no período de estocagem, pois ao diminuir a umidade do produto são criadas condições desfavoráveis para o crescimento microbiano (GAVA, 1984).

Atualmente a desidratação osmótica vem sendo usada como uma pré-etape nos processos de secagem, pois como este método consiste na remoção parcial de água do produto, o material resultante precisará de menos tempo de secagem, barateando assim o processo.

Para os processos de secagem de alimentos, a desidratação osmótica desperta interesse especial, por ser empregada em materiais de natureza animal e vegetal, além de apresentar pequeno impacto no valor nutricional do produto preservando o aspecto natural do mesmo, tal como, cor, tamanho, etc, se comparado com os métodos tradicionais de secagem.

Dentro desse contexto, algumas desvantagens são notadas, tais como, mudança no sabor e textura do produto, que são mais pronunciadas quando se trabalha em altas temperaturas, ainda pelo pouco entendimento no mecanismo envolvido nos três fluxos simultâneos, sendo eles: perda de água do produto para solução, ganho de soluto da solução para o material e perda de soluto do próprio material para solução (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, etc.)

Para realização do presente trabalho foi montado um banho – maria agitado, no qual foram realizados os ensaios de equilíbrio, e, também, foi utilizado um “shaker”, para levantamento dos dados cinéticos de desidratação, do percentual de ganho de sólido e do perda de peso do material.

Com base nos resultados experimentais obtidos, avaliou-se a influência da temperatura e da concentração da solução hipertônica sobre a umidade de equilíbrio do material e a cinética de desidratação. A partir desses dados, modelos tradicionalmente usados na secagem de grãos foram adaptados para descrever o comportamento da cinética de desidratação osmótica e, ainda, para obter as isotermas de equilíbrio.

Em uma etapa complementar, determinou-se o percentual de ganho de soluto (sacarose) e também de perda de peso do produto, variáveis importantes para desidratação osmótica, avaliando sua interferência nos dados de umidade obtidos.

A hortaliça fruto utilizado neste trabalho foi o chuchu (*Sechium edule*, Swartz), originário da América Central e ilhas vizinhas. O chuchu é uma curcubitácea assim como o pepino, as abóboras, o melão e a melancia, encontra-se entre as dez hortaliças

mais consumidas no Brasil é rica em fibras, pobre em calorias e destaca-se como fonte de potássio e fornece vitamina A e C.

O município de São José do Vale do Rio Preto, no estado do Rio de Janeiro é responsável por 60% da produção de todo o estado. Os números impressionam, são cerca de 50 mil toneladas de chuchu por ano, 680 produtores de chuchu em todo município.

É importante ressaltar que as condições climáticas do Rio de Janeiro favorecem o cultivo do chuchu, sendo que, até o momento, poucas preparações culinárias valorizam a apreciação desta curcubitácea, além disso o chuchu está no grupo de hortaliças de maior oferta do estado, havendo excedente em torno de 40%, o que se justifica a preocupação de se buscar meios de industrialização dessa matéria-prima (EMATER, 1992).

Desta forma, as fatias de chuchu desidratadas constituem um produto inteiramente novo, que pode ter aplicação até como farinha em refeições matinais. Como se trata de uma curcubitácea com altos teores de umidade, a desidratação osmótica é uma alternativa interessante, pois além do fruto ser bastante regular e homogêneo, as fatias têm consistência, facilitando a manipulação, além do fato de a desidratação puramente convectiva tornar o processo mais caro.

Justifica-se a realização desta pesquisa devido aos baixos valores alcançados com a comercialização do fruto *in natura*, inviabilizando a sua produção em larga escala, assim, o beneficiamento e a provável obtenção de um produto com maior valor agregado, aplicando técnicas de baixo custo, poderá vir a contribuir para o aumento de renda dos responsáveis pelas pequenas agroindústrias que serão beneficiadas com os resultados desta pesquisa e pela deficiência no que diz respeito aos modelos de desidratação osmótica, onde se procurou viabilizar uma correlação para compreensão dos fenômenos envolvidos no processo.

Objetivo desta pesquisa foi avaliar a transferência de massa na desidratação osmótica, determinação da umidade de equilíbrio do produto, bem como a avaliação da cinética de desidratação, do percentual de ganho de sólido e perda de peso, além da determinação de correlações que possibilitem a estimativa dos coeficientes do modelo de OVERHULTS para descrever a cinética de desidratação osmótica das fatias de chuchu.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DE LITERATURA

Atualmente a demanda por produtos naturais, saudáveis, saborosos e a base de frutas tem crescido muito, não apenas como produtos acabados, mas também como ingredientes a serem incluídos em alimentos mais elaborados, como sorvete, cereais, laticínios, produtos de confeitaria e panificação. O tratamento osmótico tem se apresentado como uma ferramenta tecnológica importante para se desenvolverem novos produtos derivados de frutas, com valor agregado e com propriedades funcionais (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

Tratamentos osmóticos estão sendo usados principalmente como um pré-tratamento introduzido em alguns processos convencionais, tais como secagem a ar convectivo, microondas e liofilização, a fim de melhorar a qualidade do produto final, reduzir custos de energia ou mesmo formular novos produtos (SERENO *et al.*, 2001).

Segundo MAESTRELLI *et al.* (2001), o uso da desidratação osmótica, combinada ou não a outros processos, tem sido efetivo na redução do colapso estrutural de frutos delicados, mesmo quando posteriormente se aplicam processos agressivos, como tratamento térmico.

No processo de desidratação osmótica, a estrutura da parede celular dos alimentos age como se fosse uma membrana semipermeável, que não é completamente seletiva, resultando em dois fluxos de transferência de massa em sentido contrário: a difusão da água do alimento para a solução e a difusão de soluto (sal ou açúcar que se encontra dissolvido em água) da solução para o alimento. Pode haver ainda uma pequena perda dos solutos naturais do alimento, como açúcares, ácidos orgânicos e minerais, entre outros, que pode ser desprezível do ponto de vista de transferência de massa.

Em seus estudos sobre a desidratação osmótica, RAOULT-WACK (1994) analisou os avanços que esta técnica vem tendo, suas vantagens quando comparadas com os métodos de secagem tradicionais, o pouco entendimento no que diz respeito à modelagem cinética da transferência de massa, o potencial industrial e os problemas tecnológicos de sua implementação.

O autor cita que os produtos tratados pela desidratação osmótica geralmente não são estáveis, devido à incorporação de sacarose durante a desidratação osmótica do fruto levando a uma predominância deste açúcar não redutor no produto final. Durante o armazenamento, a acidez do meio possivelmente propicia a hidrólise da sacarose, levando à formação de glicose e frutose, porém este pré-processamento melhora a qualidade dos produtos, posto que mantém o aspecto natural do material, e em certas condições, pode favorecer a retenção dos pigmentos da fruta, evitar o escurecimento enzimático e fornecer produtos mais atraentes em termos de aparência para o consumo (KROKIDA *et al.*, 2000).além de economizar gastos excessivos com energia, já que o produto obtido após o pré-tratamento tem umidade menor que o produto inicial.

Outra ponto importante mencionado pelos autores é a dificuldade de haver um modelo único que descreva a cinética de transferência de massa, ou seja, alguns modelos são baseados na segunda lei de Fick, outros usam aproximações matemáticas, desenvolvendo uma relação entre parâmetros da concentração e a raiz quadrada do tempo, entre outros. Esta falta de entendimento no mecanismo de transferência de massa



dificulta o controle tecnológico e, portanto a implementação desta técnica em escala industrial.

Em vista disso, várias pesquisas tem sido feitas com o intuito de otimizar este processo e muitos autores tem procurado estudar as principais variáveis do processo, como: a concentração e composição da solução osmótica, a temperatura de operação, o tempo de imersão, a geometria da amostra, agitação, a razão amostra/solução, etc.

## 2.1 – Efeitos das Variáveis Operacionais

No trabalho de RASTOGI *et al.* (1994) foi estudado o efeito da temperatura e da concentração da solução osmótica na desidratação de coco, neste estudo não se levou em conta a troca de soluto do material para solução e vice-versa, foi considerado que a estrutura dos poros do coco era muito pequena comparada a de outros produtos, então a difusão de sólido foi descartada.

Nessa pesquisa os autores constataram a influência destas variáveis, bem como do tempo de imersão da amostra na solução, notando que o aumento da temperatura ou da concentração da solução, favorece a perda de peso do material. A partir das considerações aplicadas neste estudo foi proposta uma correlação para redução de peso, baseada na difusão Fickiana como função da temperatura, concentração e tempo de imersão, calculando então o que chamaram de pseudo coeficiente de difusão. Tal correlação apresentou bons ajustes entre os resultados experimentais e preditos, com altos coeficientes de correlação.

Nos estudos de MAVROUDIS *et al.*(1998) foi avaliado o efeito da agitação, estabelecendo uma relação com o número de Reynolds e analisando também a influência das diferenças estruturais do material, neste trabalho a maçã foi utilizada como objeto de estudo.

Nessa pesquisa, os autores separam a estrutura do material de duas formas. A parte mais densa, ou seja, próxima a cavidade da semente denominada espécime interior. Enquanto a parte próxima a periferia do parênquima denominada espécime exterior. Em ambas as formas, o material apresentava forma de discos cilíndricos.

Os experimentos foram realizados a temperatura de 20°C por 1h e 3h, em um vaso agitado, foram definidos 8 níveis de números de Reynolds, caracterizando o regime turbulento quando o número de Reynolds foi maior que 10000.

O autor pode constatar que os dois tipos de estrutura, apresentaram comportamentos distintos, mas o ganho de sólido foi maior para espécime interior, independente do número de Reynolds, para os ensaios de maior duração, não notou-se alterações na cinética de ganho de sólido.

Já para perda de água, o efeito da estrutura não foi pronunciado como na cinética de ganho de sólido, porém o espécime interior sempre perdeu menos água do que o exterior, mesmo nos experimentos de 3 horas.

Com relação ao nível de agitação, ambas as estruturas mostraram que ocorre maior perda de água quando se trabalha em regime turbulento, para os ensaios de ganho de sólido não pode-se notar diferença estatística significativa entre os regimes.

Pela análise de trabalhos anteriores, SABLANI & RAHMAN (2002), estudaram a influência da temperatura, da concentração da solução osmótica e da geometria da amostra, durante a desidratação de manga. Os autores concluíram que a temperatura e a concentração da solução hipertônica apresentam comportamentos opostos em termos de influência no coeficiente de distribuição de equilíbrio, que é a razão das frações mássicas (em base úmida) da concentração inicial da solução hipertônica e do gênero

alimentício no equilíbrio, tal coeficiente é definido pela Equação (2.1), enquanto a geometria da amostra apresentou a menor influência no processo.

$$\lambda_i^e = \frac{X_i^e}{Y_i^0} \quad (2.1)$$

onde  $\lambda_i^e$  é o coeficiente de distribuição, e  $Y_i^0$  e  $X_i^e$  são as frações mássicas do i-ésimo componente da concentração inicial de solução osmótica e do produto no equilíbrio, respectivamente.

Os autores procuraram medir e modelar o coeficiente de distribuição de equilíbrio da água e do sólidos para manga em diferentes formas geométricas como função da temperatura e da concentração da solução hipertônica, já que poucos autores procuraram estudar o efeito da área superficial no coeficiente de distribuição.

A forma geométrica do material apresentou a menor influência, dentre as variáveis investigadas no trabalho, pois sabe-se que as taxas de transferência de massa dependem de muitas outras variáveis, tais como, estrutura do material, área superficial específica, composição da solução, pressão, pré-tratamento do produto, razão solução para amostra, portanto, a modelagem da desidratação osmótica, mostra-se ser um tanto quanto complexa, devido a gama de variáveis que interferem no entendimento do mecanismo de transferência de massa do processo, sendo assim, seria mais interessante estudar as variáveis mais comumente investigadas como, temperatura e concentração, do que tornar a modelagem do processo mais complexas, aumentando o número de variáveis a serem investigadas.

No trabalho de SHI *et al* (1997) foi apresentado o efeito da aplicação de técnicas de tratamento químico e físico na casca de tomates, seguida de desidratação osmótica, e conseqüentemente a análise da transferência de massa deste processo.

Os autores utilizaram três métodos distintos de tratamento na casca:

- Tratamento químico com soluções de NaOH + oleato de etila, HCl + oleato de etila e oleato de etila puro.
- Tratamento físico: os tomates eram furados na superfície com uma agulha, variando a densidade de furos no material, estabelecendo quatro níveis de densidade: 40, 50, 80, 120 furos/cm<sup>2</sup>.
- Descascamento manual: os tomates foram descascados manualmente após sofrerem um choque-térmico.

Após o tratamento na casca, o material foi desidratado osmoticamente em solução de sacarose (65 °B), com uma razão material/soluto de 1:10 (p/p) durante 6h a 25°C.

As soluções de NaOH causaram mais danos no tomate além de aumentar a redução de peso do que em soluções de HCl. As misturas de soluções de NaOH com oleato de etila, reduziram ainda mais o peso do material do que os tratados com NaOH apenas, e ainda o aumento da temperatura favoreceu a redução de peso do tomate.

O tratamento químico que apresentou os melhores resultados foi a mistura de 5% de NaOH com 8% de oleato de etila e comparando este com o tratamento físico, nota-se uma maior perda de água por parte dos tratados fisicamente, notando, que quanto maior o número de furos na superfície do tomate, maior é a perda de água.

Já ao comparar todos os tratamentos com o ganho de soluto, nota-se que a casca age como uma barreira para troca de soluto, e com exceção dos que foram descascados, todos os outros tratamentos tiveram ganho de menos que 1% de soluto.

Logo, o objetivo principal dos autores foi investigar um tratamento para aumentar a permeabilidade da casca, favorecendo a troca de massa.

É importante ressaltar que, os autores procuraram investigar tais variáveis, de modo a conhecer até que ponto, estas interferem na taxa de transferência de massa e nas propriedades dos produtos, como coloração, textura, sabor, etc.

## 2.2 – Estudo da Cinética de Desidratação

No trabalho de AZOUBEL *et al.* (2003), foi estudada a cinética de transferência de massa de tomate cereja, em diferentes soluções hipertônicas de NaCl (com e sem sacarose) em duas concentrações diferentes, onde os autores ajustaram os dados experimentais usando três equações diferentes: Peleg, Fick e Page. A equação de Peleg apresentou os melhores ajustes para perda de água, o modelo de Page mostrou melhor capacidade preditiva para o ganho de sólidos e a segunda lei de Fick foi usada para determinar a difusividade efetiva.

Na verdade, o que os autores verificaram foi que as taxas de transferência de massa foram fortemente dependentes da concentração de NaCl e sacarose, ou seja, o aumento na concentração da solução resulta em um aumento no gradiente de pressão, portanto uma maior perda de água durante todo período de osmose.

Nos sistemas combinados, com sal e sacarose, o comportamento cinético observado foi semelhante ao de sistemas apenas com sal, porém com menor perda de água e ganho de sal, constatando que a sacarose forma uma barreira para remoção de água.

Análise semelhante foi realizada por TELIS *et al.* (2003), que calcularam o coeficiente de difusão aparente para sacarose, NaCl e água durante a desidratação osmótica de tomates em soluções ternárias.

Neste trabalho, os ensaios foram conduzidos por 60 horas para se determinar a concentração de equilíbrio do tomate e também por 4 horas para se obter informações detalhadas da cinética de perda de água e ganho de sólido que ocorre no início do tratamento.

Os estudos de desidratação osmótica utilizando soluções ternárias, proporcionam algumas vantagens, tais como, maiores níveis de desidratação sem salgar excessivamente o produto, bem como a possibilidade de aumento da concentração total de soluto sem alcançar o limite de saturação da solução. Porém, há pouco conhecimento sobre o mecanismo envolvido nos três fluxos simultâneos (remoção de água, penetração de sal e de açúcar).

Baseado no estudo da transferência de massa, RASTOGI *et al.* (1997), analisaram o efeito da temperatura e da concentração da solução na desidratação de bananas, determinando ainda o coeficiente de difusividade efetivo de água, usando a segunda lei de Fick numa configuração cilíndrica.

É importante ressaltar, que nesse trabalho os valores para os coeficientes de difusão efetivo para as diferentes temperaturas e concentração de solução hipertônica, foram obtidos empiricamente por meio de uma equação tipo Arrhenius, deste modo, pode-se prever os valores de umidade em qualquer instante com boa precisão.

Com o intuito de minimizar os erros experimentais que ocorrem durante a desidratação osmótica, AZUARA *et al.*(1998), desenvolveram um método contínuo para avaliar a cinética do processo.

A proposta desse trabalho, foi de comparar a dispersão dos dados preditos neste método pelo método tradicional (descontínuo). O método contínuo envolve a medida de perda de peso em amostras simples, únicas, ou seja, cada amostra é pesada e retornada para solução osmótica para continuação do processo de secagem. Depois de 5 horas, a umidade final da amostra foi determinada na estufa à 70°C por 24h. Por outro lado, para o tradicional método descontínuo, 17 amostras de uma mesma batelada foram usadas, e a perda de peso e a umidade nas diferentes amostras de mesma dimensão e geometria foram medidas. Em ambos os métodos, cada tratamento experimental foi conduzido em triplicata.

Os autores procuraram reduzir a dispersão dos dados experimentais, pois amostras com mesmo grau de amadurecimento são difíceis de serem obtidas, com isso para evitar o acúmulo de erros experimentais, uma mesma amostra foi usada durante todo processo osmótico, descartando assim considerações assumidas no método descontínuo, onde todas os pedaços tem o mesmo peso, volume e umidade.

O teste t não mostrou diferença significativa entre os dois métodos, mas por outro lado, a Tabela 2.1 mostra um grande desvio relativo médio (D) para as amostras estudadas pelo método descontínuo.

Tabela 2.1: Desvio relativo médio (DRM) pelos métodos contínuo e descontínuo.

Método	Variáveis	DRM(%) intervalo de confiança de 95%
Descontínuo	Perda de massa	14,8 ± 6,5
	Perda de umidade	9,1 ± 4,0
	Perda de água	8,1 ± 4,1
	Ganho de sólidos	17,8 ± 7,1
Contínuo	Perda de massa	3,9 ± 3,5
	Perda de umidade	8,9 ± 7,7
	Perda de água	4,7 ± 2,1
	Ganho de sólidos	4,7 ± 2,1

Com base nos resultados obtidos, os autores procuraram criar um método para facilitar a interpretação, a modelagem do processo e predizer de forma mais simples as mudanças na umidade como função do tempo.

O estudo apresentado pelos autores é bem interessante, já que se trata de um método simples, onde se reduz o acúmulo de erros, além de apresentar uma menor dispersão nos resultados experimentais, tal método pode ser vantajoso para estudos futuros e para o melhor conhecimento do processo osmótico.

Deste modo, estudos têm sido conduzidos para melhorar o entendimento da transferência de massa interna, que ocorre durante a desidratação osmótica. Neste contexto muitos modelos vem sendo propostos, para melhor descrever o mecanismo do processo.

### 2.3 – Modelos de Desidratação Osmótica.

Devido ao pobre entendimento, em relação aos mecanismos de transferência de massa que ocorrem durante a desidratação osmótica, a maioria dos estudos faz uso da segunda lei Fick para relacionar os coeficientes de difusão da água e do soluto, no entanto, há ainda alguns autores que procuram elaborar outros modelos na tentativa de entender melhor este processo.

No trabalho de TELIS *et al* (2003), três diferentes aproximações são citadas para explicar as taxas de transferência de massa durante a desidratação osmótica. A primeira é baseada no tecido da estrutura celular e no transporte de água que é modelado de acordo com os processos irreversíveis de termodinâmica. A segunda é a solução analítica da segunda lei de Fick para difusão não estacionária de sólidos em diferentes geometrias, estimando o coeficiente de difusão efetivo para água e solutos. Uma terceira aproximação é baseada na expressão macroscópica da taxa, como é proposto por Hawkes e Flink (1978).

Na pesquisa de KAYMAK-ERTEKIN *et al* (2000), foi realizado um estudo da transferência de massa na desidratação osmótica de maçãs, onde um modelo foi desenvolvido baseado na segunda lei de Fick, para calcular a quantidade de água que sai da fruta e a difusão de sólidos solúveis do material em função do tempo. Durante a realização desta pesquisa foi constatado que o tempo de imersão não foi suficiente para se obter os valores de perda de água e ganho de sólido no equilíbrio, então o modelo desenvolvido por AZUARA *et al* (1992), como mostrado nas Equações (2.2) e (2.3), foi utilizado para determinar tais valores no ponto de equilíbrio.

$$WFL = \frac{s_1 WFL_{\infty}}{1 + s_1 t} \quad (2.2)$$

$$SG = \frac{s_2 SG_{\infty}}{1 + s_2 t} \quad (2.3)$$

Onde t - tempo,  $s_1$  - uma constante relacionada para perda de água,  $s_2$  - uma constante relacionada para o ganho de sólido, WFL - quantidade de água perdida pelo gênero alimentício no tempo t, SG - quantidade de sólidos ganhos pelo alimento no tempo t,  $WFL_{\infty}$  - quantidade de água perdida no equilíbrio e  $SG_{\infty}$  - quantidade de sólidos ganhos no equilíbrio.

AZUARA *et al.* (1992), desenvolveram um modelo de dois parâmetros cinéticos, baseados no balanço de massa, que é usado para estimar o coeficiente de transferência de massa e o ponto final de equilíbrio. Este modelo é capaz de prever a perda de água e ganho de sólidos nas condições de equilíbrio usando os dados experimentais durante um período de tempo relativamente pequeno. (Kaymak-Ertekin *et al.*, 2000).

No trabalho de SOARES *et al.* (2004), foram feitas a proposição, a avaliação e a discriminação das correlações das isotermas de sorção mais comumente utilizadas para desidratação osmótica, visando a determinação do modelo que melhor representa o comportamento da umidade de equilíbrio para maçã e pêra.

Cabe ressaltar que o ponto de partida desta pesquisa foi o modelo original de SMITH (1947), que é uma correlação normalmente utilizada para descrever as

isotermas de equilíbrio de grãos, sendo esta equação adaptada para descrever o comportamento da umidade de equilíbrio para as condições de desidratação osmótica.

Foram avaliadas ainda outras correlações, como mostra o Quadro 2.2, por modificações introduzidas no modelo de SMITH, onde também foi proposta uma correlação denominada modelo de BARROSO, ROSS Jr. & ZÓBOLI.

QUADRO 2.1: Modelos de isotermas

Modelos	Equações
Smith (1947)	$Y_{se} = A_1 - A_2 \ln(1 - C)$
Smith modificado I	$Y_{se} = A_1 - A_2 T - A_3 \ln(1 - C)$
Smith modificado II	$Y_{se} = A_1 T + A_2 T^2 - A_3 \ln(1 - C)$
Barroso, Ross Jr. & Zóboli	$Y_{se} = A_1 T + A_2 T^2 + \frac{A_3}{C}$

T em °C e C em base decimal

Muitos desses estudos foram feitos a pressão atmosférica, no entanto, alguns estudos a vácuo provam que sobre esta condição, há uma maior perda de água do produto, conseqüentemente, uma alteração na cinética de desidratação.

No trabalho de FITO (1994), o autor mostra algumas vantagens da desidratação osmótica a vácuo comparada com a desidratação osmótica atmosférica. Tais como a importância da cinética do fenômeno de transferência de massa, especialmente conhecendo a perda de água e a redução do peso durante o processo osmótico.

Merece destaque nesse trabalho, o estudo da transferência de massa e a modelagem do tratamento, onde o efeito da aplicação de vácuo foi explicado com base na difusão, no mecanismo de transporte osmótico além de um mecanismo hidrodinâmico (HDM) proposto e analisado experimentalmente.

Este mecanismo considera o poro do material como um cilindro de diâmetro e comprimento conhecido, onde o interior do poro é ocupado por gás em uma pressão  $p_i$ , enquanto no exterior existe um líquido a uma pressão  $p_e$ , que é definida como  $p_z$  mais uma pressão de capilaridade  $p_c$ .

Ao iniciar o tratamento osmótico, a fração volumétrica de líquido ocupado pelo poro é resultante do efeito da capilaridade, em seguida ao colocar o sistema na condição de vácuo, a expansão do gás fecharia os poros, até que a pressão do gás alcance a pressão do sistema, onde se pronunciaria o HDM, cabe ressaltar que esta é uma hipótese ideal, já que durante o processo osmótico ocorrem mudanças na estrutura do material (encolhimento).

Ao retornar a pressão atmosférica, o HDM age novamente, agora devido ao efeito do gradiente de pressão, onde uma fração volumétrica é transportada para o interior do material, este valor depende da pressão de trabalho aplicada, sendo ainda um fenômeno controlado e de modo reversível.

Para os ensaios de desidratação osmótica à vácuo, cabe destacar que são mais viáveis em produtos de alto valor agregado, devido a elevação no custo do processo.

## 2.4 – Equilíbrio Osmótico

O processo de desidratação osmótica pode ser caracterizado pelos períodos dinâmico e de equilíbrio. ( RAHMAN, 1992 ). No período dinâmico, as taxas de transferência de massa aumentam ou diminuem até alcançar o equilíbrio, que é o fim do processo osmótico, ou seja, quando as taxas de transferência de massa são nulas.

No trabalho de ZÓBOLI *et al.*(2004), foi realizado um estudo experimental sobre o efeito da concentração e da temperatura da solução hipertônica de sacarose, na desidratação osmótica de fatias de maçã e pêra, avaliando a cinética de desidratação dos frutos e determinando a umidade de equilíbrio.

Os autores constataram que a umidade de equilíbrio pode ser atingida em tempos de imersão inferiores a 240 minutos, e que o aumento da temperatura e da concentração da solução osmótica causam uma redução significativa da umidade de equilíbrio do material.

Na pesquisa de SABLANI *et al.* (2002), foi feito um estudo para estimar e modelar o coeficiente de distribuição de equilíbrio da água e dos sólidos para cubos de maçã em função da temperatura, da concentração e do tamanho da amostra.

Os autores concluíram que são necessárias 28 horas de desidratação para se alcançar o equilíbrio, e que a temperatura e a concentração da solução osmótica tem comportamentos opostos, ou seja, mantendo a concentração da solução osmótica constante o coeficiente de distribuição de água diminui, enquanto que para o sólido, o mesmo aumenta com a elevação da temperatura. Já se aumentar a concentração da solução, aumenta o coeficiente de distribuição da água mas diminui o coeficiente de distribuição do sólido, a influência do tamanho da amostra considerada neste trabalho foi insignificante, logo sua contribuição para modelo desenvolvido na pesquisa foi omitida.

Em virtude de todos os tópicos abordados neste capítulo, percebe-se que há uma lacuna no que diz respeito a modelagem do fenômeno de transporte que ocorre durante a desidratação osmótica, pois fatores como, alterações na estrutura do material (encolhimento), dois fluxos de transferência de massa em sentido contrário, a interferência de um pequeno fluxo de perda de soluto do próprio material desidratado (açúcares, ácidos orgânicos e minerais), variação na concentração hipertônica durante a osmose, contribuem de forma determinante para complexibilidade do mecanismo do processo.

Deste modo, a modelagem da desidratação osmótica é um assunto que requer mais estudos, neste sentido, esta pesquisa procurou avaliar a cinética de desidratação e determinar o equilíbrio osmótico, pois aí estão informações essenciais para o modelamento do processo.

Em vista de tudo que foi abordado, justifica-se a realização desta pesquisa, pela grande importância de se ter informações a respeito da desidratação osmótica do fruto, já que não foi encontrado nada em literatura em relação ao material estudado, além de se obter um produto com maior valor agregado, buscando meios de industrializar o chuchu já que é grande o excedente de produção.

## 2.5 – Comentários Finais

Conforme pode ser observado ao longo da Revisão Bibliográfica, da presente pesquisa, os estudos sobre a desidratação osmótica ainda não estão consolidados, e a modelagem do processo ainda é um fator a ser bastante investigado, pois na maioria das

vezes, os modelos desenvolvidos não refletem o fenômeno do processo, logo procura-se por modelos simplificados que descrevam bem a desidratação osmótica.

Como ainda não há um modelo padrão a ser seguido na desidratação osmótica, neste trabalho procurou-se estudar este processo usando modelos tradicionais na secagem de grão, adaptados para descrever o comportamento osmótico, estimando-se os parâmetros dos modelos e verificando o ajuste dos dados experimentais, para que a utilização deste modelo possa conduzir a resultados simulados compatíveis com a realidade experimental.

A estimação dos parâmetros dos modelos estudados nesta pesquisa, com base em avaliações das simulações das curvas de desidratação experimentais, constituem uma etapa complementar do tratamento da cinética de desidratação e da determinação da umidade de equilíbrio das fatias de chuchu, conforme será visto nos Capítulos seguintes.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização desta pesquisa, foram utilizados resultados experimentais obtidos em dois equipamentos distintos, um banho-maria agitado, construído no LSP/DEQ/IT/UFRRJ, que foi calibrado e testado para os ensaios de desidratação osmótica e um “shaker”, onde foram conduzidos os estudos efetivos da cinética de desidratação e avaliação da perda de água, perda de peso e ganho de sólidos do produto.

A descrição dos equipamentos, as condições de operação e as técnicas de medida empregadas são apresentadas a seguir.

#### 3.1 – Matéria-prima

Foram utilizadas nesta pesquisa chuchus frescos adquiridos no comércio local de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro. O grau de maturação e a umidade inicial não foram variáveis controladas neste processo. Os frutos foram submetidos a um processo de lavagem e escovação da casca sob água corrente e higienizados com uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) à 2% (v/v) imersos durante 10 minutos, após, os frutos foram fatiados em rodela de 5mm de espessura com um fatiador doméstico de alimentos.

#### 3.2 – Solução Hipertônica

Sacarose dissolvida em água filtrada foi utilizada como agente desidratante. Foram preparadas soluções hipertônicas a 20, 30 e 40% (p/v) em bequeres de 2 L, pesando 320, 480 e 640 g de sacarose, respectivamente, em uma balança eletrônica diluindo-os em água filtrada até completar o volume de 1,6 L, com um bastão de vidro as soluções foram agitadas até total dissolução.

#### 3.3 – Metodologia Experimental

A metodologia utilizada neste trabalho pode ser dividida em três etapas: determinação da umidade de equilíbrio, estudo cinético com determinação do percentual de ganho de sólidos e em uma etapa complementar fez-se a estimação de parâmetros matemáticos.

##### 3.3.1 – Determinação da umidade de equilíbrio.

O equipamento utilizado nesta etapa foi o banho-maria agitado, que foi integralmente montado e remodelado no Laboratório de Sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (LSP/DEQ/UFRRJ). Na Figura 3.1 está apresentado o aparato onde foram realizados os experimentos.

O banho-maria agitado consiste de uma caixa de ferro galvanizado de 70 cm de comprimento, 45 cm de largura e 23 cm de altura, revestida interiormente com uma camada de 2,6 cm de lã de rocha, para evitar as trocas térmicas com o ambiente. Na parte interna deste conjunto foi ajustada uma caixa de aço inoxidável para conter a água a ser usada no banho. Sobre a camada de isolante existente no fundo da caixa externa,

em contato direto com o fundo da caixa de aço inoxidável, foram dispostas duas resistências de 1000 W, uma delas, controlada por um termostato, enquanto a outra serve apenas como fonte auxiliar de calor (Constâncio *et al*, 2003), porém a utilização desta foi desnecessária. Para o aquecimento rápido do banho até a temperatura de operação foi utilizado um ebulidor. Uma vez atingida a temperatura de operação, o controle foi feito apenas com a resistência principal.

Na parte superior do equipamento há um motor com quatro agitadores, porém a utilização de apenas um foi o suficiente para deixar a temperatura homogênea no banho.



Figura 3.1: Banho-maria utilizado nos experimentos.

Depois de montado, o aparato foi submetido a testes de calibração de temperatura, pois buscava-se avaliar a homogeneidade da temperatura do banho, assim, termômetros de mercúrio devidamente calibrados, foram dispostos em pontos essenciais do banho-maria agitado, em seguida, o termostato foi ajustado para temperatura de 40°C, alcançado o equilíbrio térmico, deu-se início a calibração do equipamento, e em intervalos de 30 em 30 minutos, verificou-se as temperaturas dos termômetros, tendo os testes a duração de 6 horas.

Com base nos resultados dos testes de calibração, o equipamento desenvolvido apresentou características de estabilidade e homogeneidade bastante satisfatórias, além da sua simplicidade na montagem e operação. O ajuste de temperatura pelo termostato foi adequado e o sistema de agitação garantiu que a temperatura do banho fosse mantida homogênea em todos os pontos. O sistema montado é suficientemente estável para operação por tempos superiores a 96 horas.

Após a etapa de calibração do equipamento, foram realizados experimentos de desidratação osmótica com soluções de sacarose, para determinação da umidade de equilíbrio nas condições operacionais adotadas para esta pesquisa, como mostrado na Tabela 3.1.

Depois de preparadas as soluções hipertônicas, alíquotas de 300 mL foram vertidas em béqueres de 1 L devidamente identificados, para então serem introduzidos no banho-maria ajustado na temperatura de trabalho. Termômetros de mercúrio (-10 a

150 °C) foram utilizados para fazer as medidas da temperatura da solução contida nos béqueres. Atingido o equilíbrio térmico, os frutos já higienizados e cortados, foram pesados em balança eletrônica e separados em amostras de aproximadamente 120g, sendo, em seguida, submersas em cada frasco, posteriormente, com filme de PVC os frascos foram cobertos, para evitar a evaporação da solução hipertônica, prevenindo alterações nas propriedades osmótica e também para evitar possíveis contaminações com o meio externo. As fatias restantes foram utilizadas na determinação da umidade do material *in natura*.

Tabela 3.1: Condições Operacionais dos Experimentos.

<b>Exp</b>	<b>T (°C)</b>	<b>C (% p/v)</b>	<b>M<sub>s0</sub></b>
1	30	20	19,67
2	30	20	18,09
3	30	20	18,14
4	30	30	17,50
5	30	30	22,58
6	30	30	16,39
7	30	40	16,64
8	30	40	15,12
9	30	40	16,02
10	40	20	20,29
11	40	20	20,27
12	40	20	23,66
13	40	30	19,56
14	40	30	17,72
15	40	30	20,37
16	40	40	17,12
17	40	40	17,53
18	40	40	14,99
19	50	20	21,93
20	50	20	20,48
21	50	20	21,55
22	50	30	17,51
23	50	30	20,48
24	50	30	18,10
25	50	40	19,56
26	50	40	17,54
27	50	40	19,93

T – Temperatura; C – Concentração da solução hipertônica; M<sub>s0</sub> – Massa de sólidos no início.

Na etapa de determinação da umidade de equilíbrio, iniciava-se a desidratação com 5 béqueres, em seguida, os frascos foram removidos do sistema em intervalos de tempo pré-definidos, sendo eles, 0, 6, 24, 48, 72 e 96 horas.

Nos experimentos iniciais, aconteceram problemas, posto que, logo nas primeiras 24 horas de desidratação, todo sistema apresentava sinais de fermentação, já que as condições oferecidas favoreciam o crescimento microbiano, como a concentração da solução hipertônica, a temperatura do processo e o longo tempo do experimento (96 horas). Cuidados com a assepsia do material e com a preparação da solução osmótica foram tomados, ou seja, após a lavagem e escovação do fruto em água

corrente, este também foi lavado com água destilada para então ser higienizado em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) à 2% (v/v). Os béqueres utilizados na preparação das soluções hipertônicas, também foram lavados e escovados em água corrente, em seguida, rinsados com água destilada, para serem usados no preparo das soluções. O fatiador elétrico foi lavado e escovado antes e depois de ser utilizado, primeiro em água corrente, em seguida, rinsado com água destilada, no entanto, o sistema continuou a fermentar.

Desta forma, fez-se necessário o uso de aditivos para inibir o crescimento microbiano. Inicialmente foi utilizado ácido cítrico na tentativa de reduzir o pH e conseqüentemente inibir a fermentação, este aditivo foi utilizado em várias concentrações, variando de 0,1 até 2% (p/v), mas sem sucesso. Como teste NaOH 0,1% (p/v) também foi utilizado, na tentativa de aumentar o pH da solução hipertônica, porém o problema persistia.

Optou-se então pela utilização de conservantes de alimentos, o metabissulfito de sódio foi escolhido, já que este é usado nos processos de conservação de sucos entre outros, todos os testes realizados voltaram a fermentar.

A partir destes resultados, buscando constantemente inibir a fermentação do sistema, formaldeído foi usado como aditivo, e nos primeiros ensaios onde foi usado este aditivo em baixas concentrações na faixa de 0,1 à 0,4% (v/v), pode-se observar o crescimento microbiano, até que ao ser usado na concentração de 0,5% (v/v), o processo osmótico foi conduzido durante as 96 horas sem fermentar.

Controlado o crescimento microbiano, foram realizados os experimentos efetivos de determinação da umidade de equilíbrio, levantando-se dados para as condições operacionais avaliadas.

Após o período de tratamento osmótico, os frascos foram retirados do banho-maria, a solução de sacarose foi drenada, o excesso de solução foi removido das fatias, envolvendo as mesmas em papel absorvente por 15 s, com uma faca devidamente higienizada, as fatias foram cortadas em quartos e cerca de 20g de amostra foram colocados em fôrmas, que foram pesadas, para medida da umidade pós-tratamento (Y<sub>st</sub>). A umidade inicial (Y<sub>so</sub>) das amostras *in natura* (controle), ou seja, sem tratamento osmótico, também foi avaliada. As umidades iniciais foram calculadas em base seca. Todas as fôrmas foram levadas à estufa a 110 °C, por 48 horas. Para melhor avaliação dos efeitos da desidratação osmótica, os experimentos foram feitos em triplicatas.

### **3.3.2 – Avaliação da cinética de desidratação.**

Nesta etapa de avaliação cinética, os ensaios foram conduzidos em duas partes, a primeira, consistiu nos experimentos preliminares, conduzidos no banho-maria e a outra, foi a que avaliou efetivamente os experimentos de cinética de desidratação osmótica, que foram conduzidos no “shaker”.

Nos experimentos preliminares de avaliação da cinética de desidratação, algumas mudanças na metodologia experimental adotada anteriormente foram tomadas, a primeira, foi que os ensaios foram mais curtos, duravam 8 horas, outra, foi relacionada a quantidade de amostras, nesta etapa foram utilizados 6, e por fim, os intervalos de tempo estabelecidos para remoção dos frascos do sistema foram de 0, 30, 60, 120, 240, 360 e 480 minutos, cabe ressaltar que a técnica de preparação das soluções hipertônicas e da determinação da umidade a cada instante, foi a mesma empregada nos ensaios de equilíbrio.

Esta segunda etapa, foi conduzida no “shaker”, representado nas Figuras 3.2 e 3.3, este equipamento tem controle de temperatura e agitação, e capacidade para 36 frascos, onde foram realizados os experimentos efetivos de avaliação da cinética de desidratação osmótica, sendo possível ainda determinar o percentual de ganho de sólidos, perda de água e perda de peso do material.



Figura 3.2: Visão frontal do shaker usado nos experimentos de cinética.

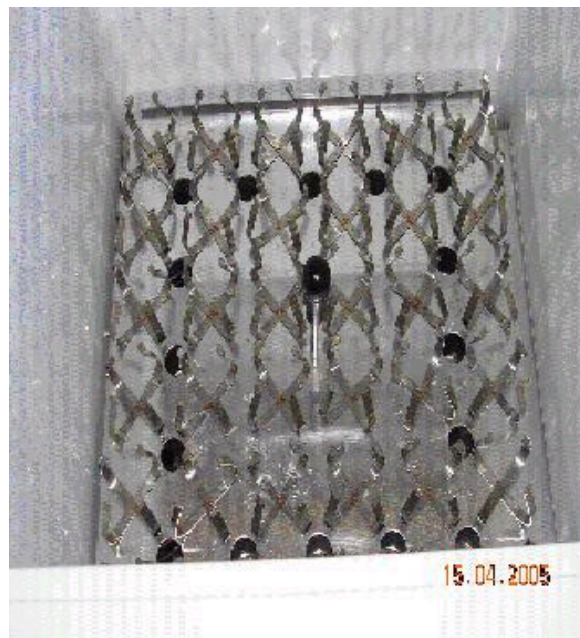


Figura 3.3: Visão interna do shaker utilizado nos experimentos de cinética.

Nos ensaios realizados no “shaker”, algumas alterações na metodologia, adotada para o banho – maria, foram tomadas, pois como a capacidade volumétrica do frasco utilizado nesta etapa diminuiu, ou seja, os bécheres de 1 L deram lugar a frascos de 500 mL. Para manter a razão solução/chuchu adotada anteriormente e minimizar alterações na concentração da solução durante o processo osmótico, passou-se então a utilizar amostras de 40g de chuchu e 100 mL de solução, sendo necessário ainda cortar as fatias de chuchu em quartos para assim serem submersas nos frascos.

As condições operacionais adotadas nesta etapa do trabalho, foram as mesmas realizadas anteriormente, com exceção do tempo de imersão, pois para obter informações detalhadas da cinética de desidratação, os ensaios foram mais curtos; com duração de 5 horas.

Antes de iniciar os experimentos, o “shaker” foi ajustado na temperatura de operação e os 18 frascos utilizados nesta etapa, devidamente identificados, foram introduzidos no aparato para estabilização da temperatura da solução neles contida. Estabilizada a temperatura, as amostras foram colocadas nos frascos, e o equipamento foi ajustado para uma rotação de 60 rpm, necessária apenas, para garantir a homogeneização da solução desidratante, deste modo, as amostras foram coletadas de 30 em 30 minutos, durante a primeira hora, e a cada 60 minutos nas horas seguintes, durante cinco horas.

Como na metodologia anterior, após o tratamento osmótico, a solução foi drenada, porém, nesta etapa, lavou-se as amostras de chuchu com água filtrada, a fim de remover o excesso de solução osmótica da superfície do material, pois como trata-se de

soluções com certa viscosidade, a lavagem é necessária, para remover uma possível película de agente desidratante (sacarose), que possa estar adsorvida na superfície do material, posteriormente as amostras foram envolvidas em papel-toalha, para remover o excesso de água de lavagem. O material desidratado foi pesado em uma balança eletrônica, para determinação da perda de peso, e parte da amostra, aproximadamente 15 g do material foram colocadas em fôrmas, que foram pesadas, para medida da umidade pós-tratamento, levado para estufa à 105 °C por 48 horas, para determinação da perda de água e ganho de sólidos a cada instante.

### 3.4 – Procedimento de Cálculo.

#### 3.4.1 – Aplicação de modelos

Ao final da etapa experimental, foi realizado um estudo da desidratação osmótica de fatias de chuchu, para determinação da umidade de equilíbrio do material e estudo da cinética de desidratação. A partir dos dados experimentais obtidos foi possível determinar os parâmetros do modelo de OVERHULTS para as fatias de chuchu, e avaliaram-se correlações que prevêm a umidade de equilíbrio ( $Y_{se}$ ) do chucu, como funções da concentração ( $C$ ) e da temperatura ( $T$ ) da solução hipertônica desidratante.

Inicialmente foram testados vários modelos classicamente apresentados na literatura para descrever as isotermas de secagem de alimentos. Os modelos que apresentaram melhores coeficientes de correlação foram posteriormente avaliados e modificados para atender às necessidades desta pesquisa. Na Tabela 2.2, do Capítulo 2, estão apresentadas as equações de isotermas avaliadas e modificadas nesta pesquisa.

Para a determinação da umidade de equilíbrio, o modelo original de SMITH (1947), apresentado no trabalho de ROA (1974), visualizado Tabela 2.2 do Capítulo 2, foi o ponto de partida para as modificações introduzidas na pesquisa, adaptando a equação à descrição do comportamento da umidade de equilíbrio com as condições operacionais da desidratação osmótica. Foram avaliados também os outros modelos de isotermas apresentados na Tabela 2.2, mas os resultados não foram satisfatórios. (SOARES *et al.*, 2004). A discriminação do modelo que melhor descreve as variações da umidade de equilíbrio com as condições de operação baseou-se na avaliação do coeficiente de correlação ( $R$ ), do valor da estatística  $F$ , da significância ou não dos parâmetros, com base no teste  $t$  de *student* (HIMMELBLAU, 1970) e no valor do desvio relativo médio ( $DRM$ ).

Para a avaliação da cinética de desidratação, sabe-se que o entendimento no mecanismo de transferência de massa é complexo, devido a gama de variáveis que interferem diretamente no processo, tais como a temperatura do processo, a concentração da solução hipertônica, a geometria da amostra, a razão amostra:soluto, agitação, tempo de imersão, etc.

Devido a este fato, a cinética de desidratação é bastante estudada pelos pesquisadores, estando aí, informações essenciais para o estudo e modelagem da cinética de desidratação.

Na maioria dos trabalhos de desidratação osmótica, geralmente utilizam a segunda lei de Fick para calcular o coeficiente de difusão de água e de sólidos, nos quais procuram determinar uma concentração ou fração de água e/ou de sólidos de equilíbrio, avaliando a perda de peso, água e o ganho de soluto, para então determinar tais coeficientes.

Para temperatura e a concentração de soluto constantes, a segunda lei de Fick pode ser usada para descrever a transferência de massa. Nos experimentos de

desidratação osmótica, a concentração varia continuamente, gerando incertezas nos resultados experimentais. Além disso, para os procedimentos de secagem, a umidade é uma variável interessante, somando-se ao fato, de ser determinada facilmente por gravimétrica. Logo a variação da umidade com o tempo pode ser escrita de acordo com a Equação 3.1

$$\frac{dY_s(t)}{dt} = -k \cdot (Y_s(t) - Y_{seq}) \quad (3.1)$$

onde  $Y_s(t)$  é a umidade no tempo  $t$ ,  $Y_{seq}$  é a umidade de equilíbrio e  $k$  é a constante de secagem. Integrando a equação (3.1), o modelo exponencial é derivado (KAJUNA *et al.*, 2001).

$$MR(t) = \frac{Y_s(t) - Y_{seq}}{Y_{so} - Y_{seq}} = e^{-k \cdot t} \quad (3.2)$$

com  $MR(t)$  como a razão de umidade e  $Y_{so}$  como a umidade inicial. A Equação 3.2 assume que a resistência ao movimento da umidade e conseqüentemente o gradiente no interior do material são negligenciáveis (COLSON E YOUNG, 1990). Para compensar as desvantagens dois modelos empíricos de Page (Equação 3.3) e OVERHULTS (Equação 3.4), hoje em dia são amplamente utilizados para descrever processos de secagem.

$$MR(t) = \frac{Y_s(t) - Y_{seq}}{Y_{so} - Y_{seq}} = e^{-k \cdot t^n} \quad (3.3)$$

$$MR(t) = \frac{Y_s(t) - Y_{seq}}{Y_{so} - Y_{seq}} = e^{-(k \cdot t)^n} \quad (3.4)$$

Após confrontação entre resultados experimentais e simulados, o modelo de OVERHULTS foi o que apresentou melhores ajustes, portanto, tal modelo foi adotado para as avaliações da cinética de desidratação das fatias de chuchu.

O modelo de OVERHULTS (1973), citado por MANCINI (1996), é essencialmente uma modificação empírica de modelos derivados do modelo de difusão. Neste caso, apenas o primeiro termo da série é considerado e os parâmetros  $k$  e  $n$  são determinados de modo a proporcionar o melhor ajuste entre resultados experimentais e simulados.

### 3.4.2 – Estimativa de Parâmetros

Adotou-se um procedimento estatístico de discriminação do modelo, que melhor se ajustou aos dados experimentais de determinação da umidade de equilíbrio, no qual foi feita a avaliação de equações utilizadas na literatura, com aplicação em secagem de grãos, modificadas para descrever o processo de desidratação osmótica, estimando também os parâmetros  $k$  e  $n$  do modelo de OVERHULTS, para os estudos cinéticos.

Os parâmetros foram estimados usando uma estimação não-linear, procedimento do software Statística (Modelo 5.1, StatSoft Inc., 1996). O método de estimação

utilizado foi o “Rosenbrock and quasi-Newton” com o valor inicial de 0,1 e tamanho de passo de 0,5. O número máximo de iterações foi ajustado para 500 e o critério de convergência para  $1,0 \times 10^{-6}$ .

A discriminação dos parâmetros das equações investigadas, baseou-se no valor do desvio padrão, na avaliação do coeficiente de correlação (**R**), do valor da estatística **F**, da significância ou não dos parâmetros, com base no teste **t** de *student* (HIMMELBLAU, 1970) e no valor do desvio relativo médio (**DRM**).



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi adotada uma metodologia diferente das tradicionais, que avalia a perda de peso, perda de água e o ganho de sólido do material estudado, procurou-se avaliar a variação da umidade com o tempo na desidratação osmótica, determinando a umidade de equilíbrio, em seguida, calculando a constante de secagem usando o modelo de OVERHULTS.

Deste modo, uma série de experimentos foi realizado para determinação da umidade de equilíbrio do material, sendo estabelecido que o equilíbrio é atingido quando não há uma variação significativa do valor entre dois ou mais pontos consecutivos, dentro do limite de incertezas experimentais de cerca de 10% (FERNANDES et al, 2004).

Durante os primeiros ensaios de equilíbrio que levavam 96 horas, pode-se notar o turvar e o escurecimento na coloração da solução osmótica, além da formação de bolhas e de um mau cheiro característico, ocasionando na fermentação do processo. Fato este, não tão inesperado, já que as condições oferecidas no sistema, temperatura e concentração da solução, favoreciam o crescimento microbiano.

Numa primeira etapa, uma série de cuidados com a assepsia no manuseio do material e também na preparação da solução foram tomados, com propósito de evitar tal crescimento, nos quais, todo material utilizado na realização dos experimentos foram lavados, higienizados e rinsados com água destilada, apesar de todos os cuidados, o sistema continuava a fermentar.

Em uma segunda etapa, além de todos os cuidados tomados anteriormente, foram realizados tratamentos, com diferentes aditivos, que foram adicionados na solução hipertônica, com a finalidade de conter o processo fermentativo, o Quadro 4.1 mostra os resultados dos tratamentos utilizados.

Quadro 4.1: Resultados dos tratamentos realizados na desidratação osmótica.

Concentração % (p/v)	Tratamento				Tempo dias
	Ac.cítrico	NaOH	Formol	Metabissulfito	
0,1		F			2
0,2			F	F	
0,25	F				
0,3			F	F	
0,4					
0,5	F		NF	F	
0,75	F				
1	F				
2	F				

Legenda : F - Fermentou; NF - Não Fermentou

Com base no Quadro 4.1, em todos os tratamentos realizados, com 48 horas de desidratação o sistema já apresentava totais características de fermentação, em outros ensaios, foi possível notar os sinais de fermentação logo no primeiro dia de experimento.

De acordo com os resultados do Quadro 4.1, pode-se notar que todas as tentativas de redução do pH usando ácido cítrico, foram frustradas, então este tratamento foi descartado.

Para efeito de teste foi realizado um tratamento aumentando o pH, utilizando NaOH, mas a solução tornou a fermentar. Então optou-se pela utilização de conservantes, como o metabissulfito de sódio é utilizado nos processos de alimentos, este foi escolhido. Como mostra o Quadro 4.1, todos os testes realizados fermentaram, isto pode ser devido ao fato deste conservante ser mais indicado para utilização em sucos, não sendo tão eficaz para as soluções osmóticas.

A partir dos resultados dos tratamentos anteriores, buscando inibir a fermentação do processo, foi utilizado formaldeído, conhecido como formol, nos primeiros ensaios, realizados em concentrações baixas, o sistema ainda apresentava sinais de fermentação, tais como, o odor, a solução turva, formação de bolhas, etc. Na concentração de 0,5 % (v/v) foi possível realizar os experimentos sem que houvesse o crescimento microbiano. Logo, para realização dos ensaios de equilíbrio, 8 mL de formol foram introduzidos na solução hipertônica, e o chuchu utilizado nestes experimentos, tinha por única finalidade a obtenção de dados experimentais, ou seja, não foram voltados para o consumo humano.

Os experimentos foram realizados na concentração osmótica de 30%, obtido o sucesso neste experimento, as outras concentrações pesquisadas (20 e 40%) também foram testadas com êxito.

#### **4.1 - Umidade de equilíbrio**

Após o estabelecimento da rotina experimental para inibir o processo fermentativo, que ocorria durante a desidratação osmótica, começaram a ser levantados os dados de equilíbrio. Conforme observado por FERNANDES *et al.*(2004), a umidade de equilíbrio de fatias de maçã, pode ser atingida em aproximadamente 48 horas de imersão, porém em relação ao trabalho de SABLANI *et al* (2002), são necessárias 28 horas para se alcançar o equilíbrio durante a desidratação de cubos de maçã. Nas Figuras 4.1 e 4.2 são apresentadas curvas de desidratação osmótica para estudo da umidade de equilíbrio e da influência da concentração hipertônica no equilíbrio.

De acordo com RAHMAN (1992), os processos de desidratação osmótica podem ser caracterizados pelo equilíbrio e períodos dinâmicos. Nos períodos dinâmicos, a taxa de transferência de massa aumentam ou diminuem até alcançado o equilíbrio. O equilíbrio é o fim do processo osmótico, a taxa de troca de massa é zero. (SABLANI *et. al*, 2001)

Na Figura 4.1 foi possível determinar a umidade de equilíbrio do material, já que através do estudo estatístico dos dados obtidos para umidade de equilíbrio em 48, 72 e 96 horas, os valores do coeficiente de variação foram inferiores a 10%, notando também que para as três temperaturas estudadas, houve quase, uma superposição das curvas de desidratação, favorecendo ainda mais a idéia de que o equilíbrio foi alcançado no tempo de imersão proposto neste trabalho.

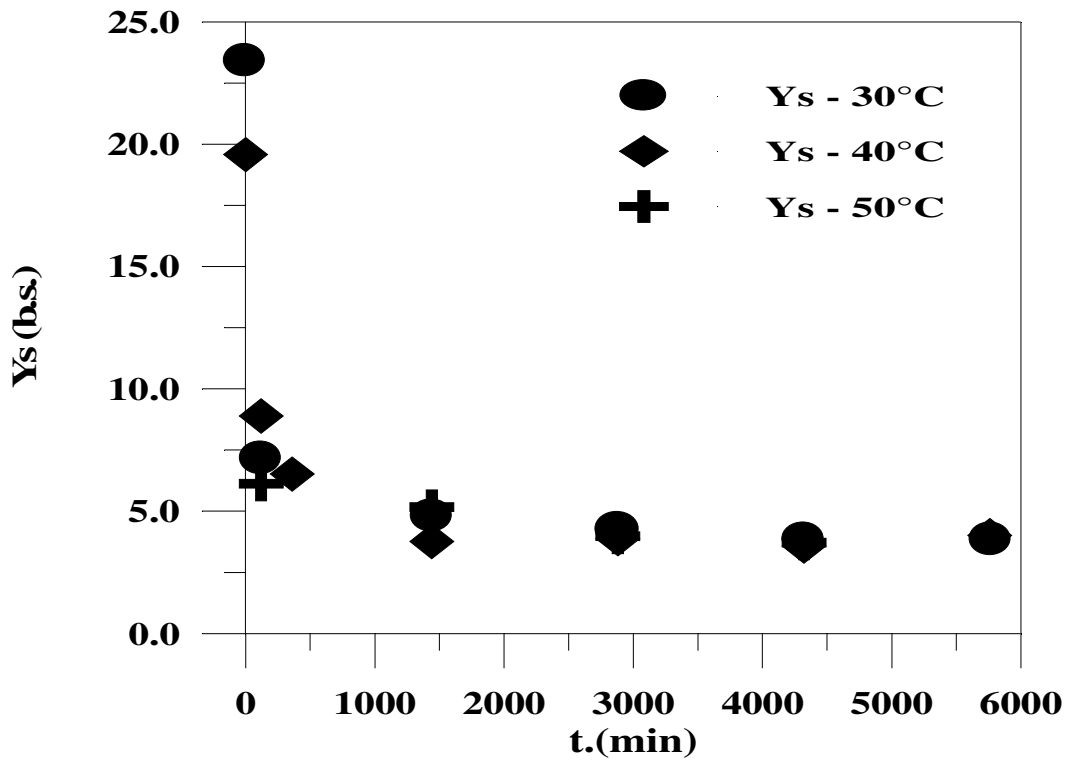


Figura 4.1: Resultados experimentais para os experimentos de equilíbrio à 30% (p/v).

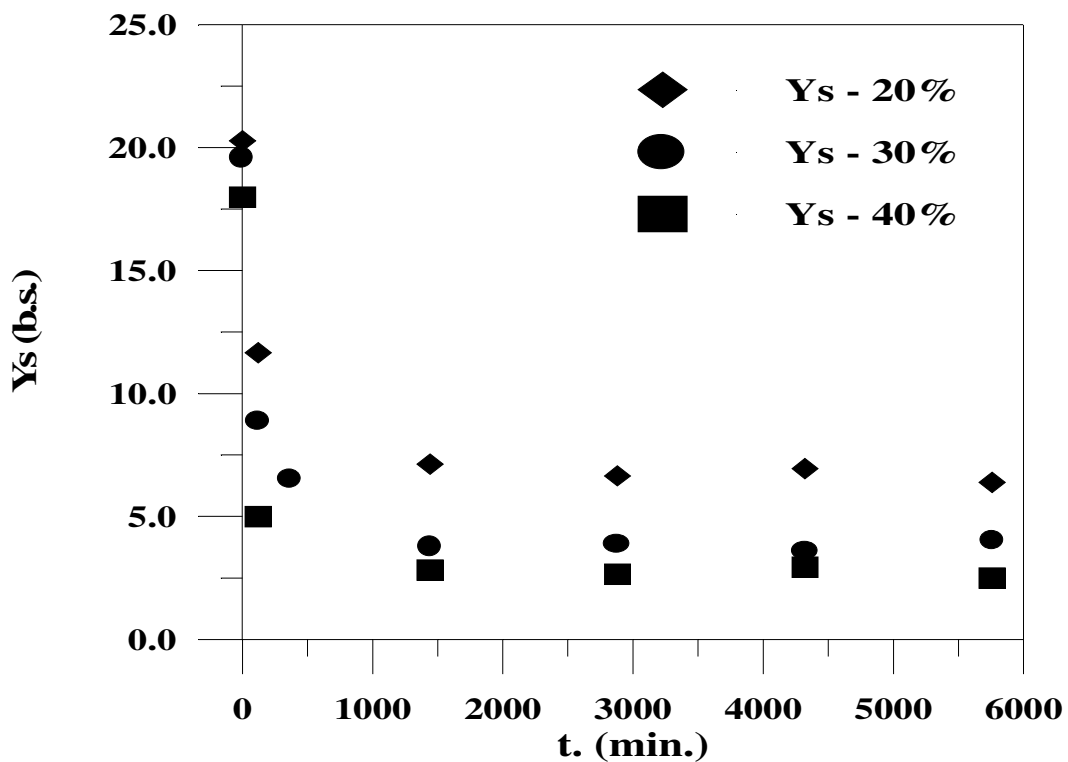


Figura 4.2: Comparação da influência da concentração da solução hipertônica na desidratação osmótica à 40°C.

Com base na Figura 4.2 pode-se constatar que para os ensaios de equilíbrio, o efeito da concentração é mais evidente para os valores da umidade de equilíbrio, se comparados com o efeito da temperatura, onde é possível notar que o

aumento da concentração da solução hipertônica ocasionou numa maior perda de água por parte do material. O aumento da concentração de soluto eleva o potencial para a desidratação (força motriz) em termos de atividade, isto é, o aumento da concentração diminui a atividade de água na solução, forçando a migração de água das fatias para a solução.

Segundo MOREIRA *et al.* (2003), o aumento na concentração da solução resulta em um aumento no gradiente de pressão osmótica, conseqüentemente uma elevada perda de água será observada, pois para meios altamente concentrados ocorre uma perda de água maior.

Tais resultados estão de acordo, com os apresentados no trabalho de AZOUBEL *et al.* (2003), onde também foi constatado que o aumento da concentração da solução hipertônica proporciona uma maior perda de água do material.

O efeito da temperatura na umidade de equilíbrio, não foi encontrado na literatura, geralmente os autores comparam o efeito da temperatura no que definiram como coeficiente de distribuição de equilíbrio, portanto diferente dos conceitos aplicados nesta pesquisa, onde foi analisada a ação térmica sobre a umidade do material até o equilíbrio.

Na Tabela 4.1, em cada conjunto de condições operacionais, são apresentadas, a média dos resultados obtidos, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 4.1: Resultados da umidade de equilíbrio da desidratação osmótica das fatias de chuchu.

T (°C)	C (p/v)	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Média	$\sigma$	CV
30	0,2	5,756	5,887	5,809	5,811	0,065	1,12
30	0,3	4,000	3,990	4,010	4,000	0,010	0,25
30	0,4	2,370	2,510	2,420	2,433	0,071	2,92
40	0,2	6,470	6,660	6,220	6,449	0,218	3,38
40	0,3	3,740	3,440	4,220*	3,590	0,212	5,91
40	0,4	2,690	2,600	2,800	2,697	0,100	3,71
50	0,2	5,593	5,608	5,225	5,475	0,217	3,96
50	0,3	3,785	3,580	3,782	3,716	0,118	3,17
50	0,4	2,509	2,829	2,655	2,664	0,160	6,01

(\*) – Resultado descartado.

Pela análise da Tabela 4.1, os resultados apresentados para os experimentos de equilíbrio, para os quais pelo estudo estatístico dos dados, pode-se verificar que não há influência significativa da temperatura sobre o valor da umidade de equilíbrio, posto que, o coeficiente de variação dos valores obtidos a 30, 40 e 50 °C foram inferiores a 10%, indicando um maior efeito da concentração na determinação do valor da umidade de equilíbrio.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados a 40°C e na concentração de solução hipertônica de 20%, pode ser devido ao grau de amadurecimento do produto, a estocagem, entre outros, pois, tais fatores contribuem para determinação da umidade de equilíbrio, gerando diferença significativas nos resultados obtidos para a mesma concentração, porém, nas outras temperaturas estudadas nesta pesquisa.

O terceiro experimento conduzido à 40 °C e na concentração de 30%, foi descartado por ser muito discrepante, com relação aos dois primeiros pontos, desta forma este ponto não foi considerado para as análises estatísticas.

A partir dos dados obtidos na Tabela 4.1, foi realizado um estudo, para avaliar o efeito específico da condição estudada na determinação da umidade de equilíbrio, mantendo um parâmetro constante (concentração) e variando os valores do segundo, os valores de temperatura estudados, tratando o experimento em questão como sendo de mesmas condições experimentais. Desta forma, podemos avaliar a variabilidade do conjunto de dados, em que se varia apenas uma das condições experimentais, e determinar se o coeficiente de variação é maior ou não que as incertezas experimentais do processo.

Para realizar este teste, foi necessária a média dos dados apresentados na segunda e quarta coluna respectivamente, conhecer o valor do teste t tabelado e pela análises estatísticas dos resultados experimentais, obter o teste t calculado, comparar o resultado do teste t calculado com o tabelado, verificando se o tratamento teve efeito significativo. A análise do coeficiente de variação (CV) é um método que se pode avaliar, preliminarmente, a variabilidade dos experimentos, verificando se a alteração de um parâmetro das condições operacionais realmente muda as características dos dados.

Tabela 4.2: Efeito da temperatura do sistema para os dados de umidade de equilíbrio.

<b>C (% p/v)</b>	<b>30°C</b>	<b>Média</b>	<b>40°C</b>	<b>Média</b>	<b>CV</b>	<b>t<sub>calc</sub></b>	<b>t<sub>tab</sub></b>	<b>Avaliação</b>
0,2	5,7560	5,8173	6,470	6,4500	6,1284	4,7580	2,776	S
	5,8870		6,660					
	5,8090		6,220					
0,3	4,0000	4,0000	3,7400	3,5900	6,4769	3,6590	3,182	S
	3,9900		3,4400					
	4,0100		4,2200					
0,4	2,3700	2,4333	2,690	2,6967	6,3859	3,7158	2,776	S
	2,5100		2,600					
	2,4200		2,800					
<b>C (% p/v)</b>	<b>30°C</b>	<b>Média</b>	<b>50°C</b>	<b>Média</b>	<b>CV</b>	<b>t<sub>calc</sub></b>	<b>t<sub>tab</sub></b>	<b>Avaliação</b>
0,2	5,7560	5,8173	5,5930	5,4753	4,1779	2,6128	2,776	NS
	5,8870		5,6080					
	5,8090		5,225					
0,3	4,0000	4,0000	3,8750	3,7157	4,4759	4,1762	2,776	S
	3,9900		3,5800					
	4,0100		3,7820					
0,4	2,3700	2,4333	2,5090	2,6643	6,5987	2,2835	2,776	NS
	2,5100		2,8290					
	2,4200		2,6550					
<b>C (% p/v)</b>	<b>40°C</b>	<b>Média</b>	<b>50°C</b>	<b>Média</b>	<b>CV</b>	<b>t<sub>calc</sub></b>	<b>t<sub>tab</sub></b>	<b>Avaliação</b>
0,2	6,470	6,4500	5,5930	5,4753	9,5358	5,4555	2,776	S
	6,660		5,6080					
	6,220		5,225					
0,3	3,7400	3,5900	3,8750	3,7157	4,1277	0,8848	3,182	NS
	3,4400		3,5800					
	4,2200		3,7820					
0,4	2,690	2,6967	2,5090	2,6643	4,5067	0,2964	2,776	NS
	2,600		2,8290					
	2,800		2,6550					

Nas Tabelas 4.2 e 4.3, estão apresentados os resultados das análises estatísticas para temperatura e concentração respectivamente, analisadas dois a dois para

verificação da significância estatística, onde (S) – significativo e (NS) – não significativo.

Na Tabela 4.2 manteve-se constante a concentração da solução hipertônica para ser feita a avaliação dos efeitos da temperatura na determinação da umidade de equilíbrio das fatias de chuchu, pela análise dos resultados pode-se verificar, que tais efeitos foram significativos em cinco dos casos, e não significativos em outros quatro, portanto, nos ensaios de equilíbrio, os resultados foram inconclusivos para temperatura, no qual, não pode-se observar uma tendência clara de efeito desta variável. Tal análise está de acordo com os resultados apresentados na Figura 4.1, onde não foi possível notar efeito da temperatura nos experimentos de determinação da umidade de equilíbrio.

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados do efeito da concentração da solução hipertônica nos experimentos de equilíbrio, onde para realização das análises manteve-se constante a temperatura em que ocorreu a desidratação osmótica, analisando os efeitos da concentração dois a dois.

Tabela 4.3: Efeito da concentração da solução hipertônica para os dados de umidade de equilíbrio.

<b>T (°C)</b>	<b>20%</b>	<b>Média</b>	<b>30%</b>	<b>Média</b>	<b>CV</b>	<b>t<sub>calc</sub></b>	<b>t<sub>tab</sub></b>	<b>Avaliação</b>
30	5,7560	5,8173	4,0000	4,0000	20,2965	47,2269	2,776	S
	5,8870		3,9900					
	5,8090		4,0100					
40	6,4700	6,4500	3,7400	3,5900	29,7363	14,3801	3,182	S
	6,6600		3,4400					
	6,2200		4,2200					
50	5,5930	5,4753	3,7850	3,7157	21,2459	12,3542	2,776	S
	5,6080		3,5800					
	5,2250		3,7820					
<b>T (°C)</b>	<b>20%</b>	<b>Média</b>	<b>40%</b>	<b>Média</b>	<b>CV</b>	<b>t<sub>calc</sub></b>	<b>t<sub>tab</sub></b>	<b>Avaliação</b>
30	5,7560	5,8173	2,3700	2,4333	44,9540	60,5327	2,776	S
	5,8870		2,5100					
	5,8090		2,4200					
40	6,4700	6,4500	2,6900	2,6967	45,0763	26,8247	2,776	S
	6,6600		2,6000					
	6,2200		2,8000					
50	5,5930	5,4753	2,5090	2,6643	38,0621	18,0546	2,776	S
	5,6080		2,8290					
	5,2250		2,6550					
<b>T (°C)</b>	<b>30%</b>	<b>Média</b>	<b>40%</b>	<b>Média</b>	<b>CV</b>	<b>t<sub>calc</sub></b>	<b>t<sub>tab</sub></b>	<b>Avaliação</b>
30	4,0000	4,0000	2,3700	2,4333	26,7138	37,8737	2,776	S
	3,9900		2,5100					
	4,0100		2,4200					
40	3,7400	3,5900	2,6900	2,6967	16,5569	6,6448	3,182	S
	3,4400		2,6000					
	4,2200		2,8000					
50	3,7850	3,7157	2,5090	2,6643	18,4761	9,1655	2,776	S
	3,5800		2,8290					
	3,7820		2,6550					

Pela análise da Tabela 4.3, pode-se verificar que em todos os casos estudados, o efeito da concentração da solução hipertônica foi significativo, análise que vai ao encontro dos resultados apresentados na Figura 4.2 e nos estudos realizados por SABLANI *et al.*(2002) e TELIS *et al.* (2003), pois constata-se que o aumento da concentração da solução osmótica, reduz a atividade de água na solução, ocasionando no aumento de remoção de água das fatias para solução para equilibrar o potencial químico da água nos dois meios, portanto, conduz a valores de umidade de equilíbrio baixos.

Ao final das análises experimentais, os parâmetros das correlações propostas na presente pesquisa, para determinação da umidade de equilíbrio ( $Y_{se}$ ) das fatias de chuchu, foram estimados utilizando resultados obtidos experimentalmente para a umidade de equilíbrio. Os modelos estimados são apresentados no Capítulo 2, Tabela 2.2.

A partir dos dados da Tabela 4.1, foi feita uma estimativa de parâmetros usando um programa computacional STATISTICA for Windows (STATSOFT, 1999) que possibilitou o ajuste de uma correlação para melhor descrever as variações na umidade de equilíbrio do material nas condições operacionais admitidas na pesquisa.

A estimativa dos parâmetros dos modelos de isoterma selecionados, estão apresentadas na Tabela 4.4, onde tem-se os valores do desvio relativo médio, R, teste F, teste t calculado e Tabelado.

Tabela 4.4: Ajuste dos Modelos de Isotermas de Equilíbrio.

MODELO	DRM (%)	R	Teste F	PARÂMETRO			
				Valor estimado	Desvio	$t_{99,0}$ Calculado	$t_{99,0}$ Tabelado
<b>Smith</b>	6,71	0,9635	146,03	A1=7,902 A2=10,678	0,42814 1,12057	18,45 9,53	2,998
<b>Smith modificado I</b>	169,33	0,9635	146,11	A1= 7,861 A2= -0,001 A3= 10,6786	0,83622 0,01742 1,21002	9,40 -0,06 8,82	3,143
<b>Smith modificado II</b>	69,64	0,9609	137,89	A1= 0,420 A2= -0,005 A3= -11,245	0,03128 0,00056 1,24692	13,40 -9,34 -9,02	3,143
<b>Barroso, Ross Jr &amp; Zóboli</b>	4,80	0,9775	235,62	A1= -0,0173 A2= 0,0002 A3= 1,21346	0,0255 0,00044 0,10731	-0,68 0,45 11,31	3,143

Com base na Tabela 4.4, as isotermas de Smith modificado I e II foram logo descartadas, por apresentar desvio médio elevado e não ter significância em alguns dos seus parâmetros, segundo o teste t, pois apresentam valores de teste calculados menores que o tabelado, em vista disso não são considerados significativos. O modelo de BARROSO, ROSS JR & ZÓBOLI, chamou atenção pelo baixo desvio médio apresentado, porém este, não apresentou significância nos parâmetros de temperatura, isto pode ser devido, ao que foi analisado anteriormente, Tabela 4.2, onde pode-se constatar que para determinação da umidade de equilíbrio das fatias de chuchu, a temperatura não apresentou efeito conclusivo. Por outro lado, a concentração da solução osmótica, apresenta influência determinante, pois, além de apresentar efeito significativo na análise realizada anteriormente, como mostra a Tabela 4.3, o parâmetro da concentração foi o único significante deste modelo.

Em vista dos resultados apresentados pelos modelos de SMITH E BARROSO, ROSS JR & ZÓBOLI, foi plotado um gráfico com os dois conjunto de dados, no qual, foi avaliado o que melhor se ajustou aos resultados experimentais obtidos. Na Figura 4.3 são apresentados os valores experimentais e observados pelos dois modelos.

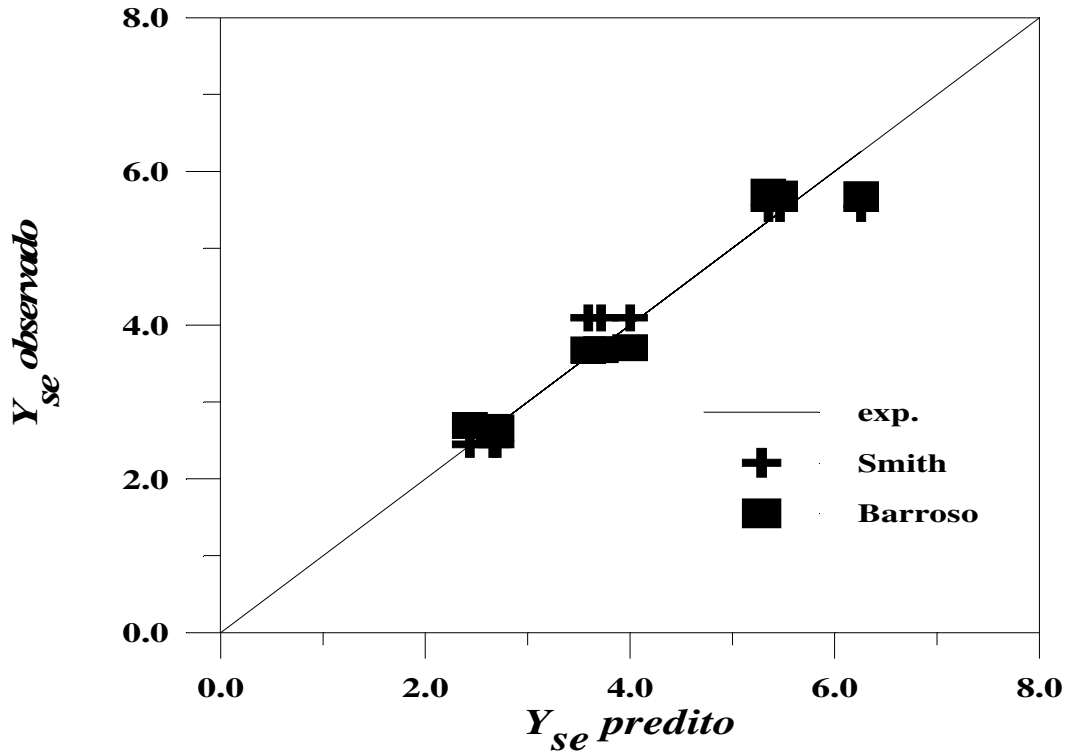


Figura 4.3: Comparação dos valores experimentais e preditos pelos dois modelo

Pela análise do Figura 4.3, pode-se notar que ambos os modelos ajustam os resultados experimentais obtidos, porém pelo teste t calculado, apresentado na Tabela 4.5, dois parâmetros do modelo de BARROSO, ROSS JR & ZÓBOLI não foram significativos, deste modo, este modelo não foi utilizado para determinação da umidade de equilíbrio do material, devido a incertezas que este modelo poderia gerar nos resultados preditos.

Em vista disso, apenas o modelo de SMITH (1947), que é uma correlação utilizada para descrever as isotermas de equilíbrio de grãos, apresentou parâmetros e análises estatísticas significativas, sendo esta então adaptada para que descreva o comportamento da umidade de equilíbrio durante a desidratação osmótica.

Pela análise da Tabela 4.4, verifica-se que a isoterma de SMITH foi, dentre as analisadas, a que apresentou o menor valor para o coeficiente de correlação, apresentando também um dos menores valores para o teste F. Porém ao compara-la com as outras, percebe-se que a isoterma de Smith é a única que apresenta parâmetros significativos, com desvio relativo médio baixo, da ordem de 7%, as outras isotermas ou não possuem parâmetros significativos, segundo o teste t, ou apresentam desvios elevados.

A partir dos resultados da Tabela 4.4, pode-se verificar que a isoterma de SMITH, apresentou ajuste com coeficiente de correlação de aproximadamente 97%, todos os parâmetros são significativos com 99% de confiança, segundo o teste t, um valor alto da estatística F, que também é um indicador da qualidade do ajuste, além de um desvio relativo média inferior a 7%.



Na Figura 4.4 são apresentados os resultados preditos e observados para a isoterma de equilíbrio das fatias de chuchu, obtidos com o modelo de SMITH, pode-se constatar a pequena dispersão entre os resultados preditos e observados, demonstrando a capacidade preditiva do modelo selecionado para descrever a isoterma de equilíbrio das fatias de chuchu.

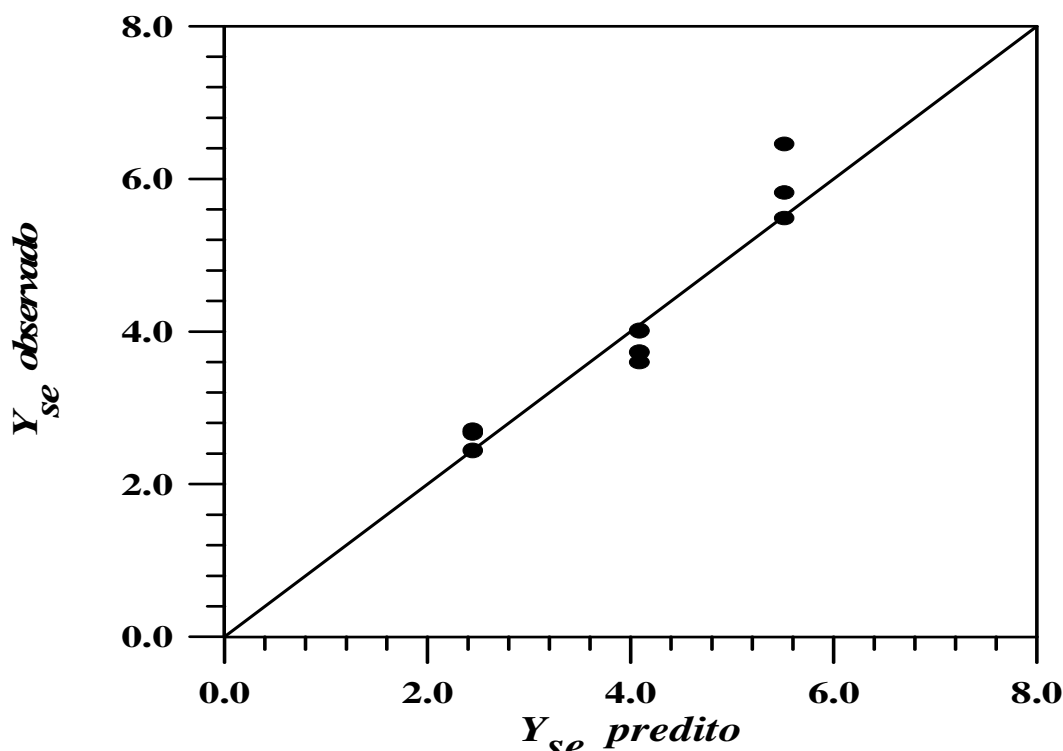


Figura 4.4: Valores experimentais e preditos pela isoterma de Smith

#### 4.2 – Avaliação Cinética

Para realização do estudo cinético, experimentos mais curtos, de 8 horas de duração, foram realizados no banho-maria agitado, apresentados nos ANEXOS I, II E III, a fim de se obter dados para validação de uma correlação proposta no trabalho, e também para iniciar as estimações dos parâmetros do modelo e experimentos de 5 horas, que foram conduzidos no “shaker”, para obtenção de dados para estimativa dos parâmetros do modelo de OVERHULTS, os parâmetros do modelo foram estimadas, e os resultados para o valor de  $k$  e  $n$ , para cada temperatura e concentração estudada podem ser vistos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Estimação de parâmetro para o modelo de secagem de OVERHULTS.

T (°C)	C (p/v)	$k(t^{-1})$	n
30	0,2	0,0053	0,3960
40	0,2	0,0054	0,2916
50	0,2	0,0095	0,5029
30	0,3	0,0131	0,4473
40	0,3	0,0133	0,2970
50	0,3	0,0252	0,4377
30	0,4	0,0185	0,2725
40	0,4	0,0149	0,3866
50	0,4	0,0244	0,3686

Por meio de um programa computacional STATISTICA for windows (STATSOFT, 1999), através de métodos de regressão, pode-se obter uma correlação para constante de secagem  $k$ , como mostrado na equação 4.1, em função da temperatura e concentração, o valor dos parâmetros, o desvio padrão, o teste  $t$ , o coeficiente de correlação ( $R$ ) e o desvio relativo médio, estão apresentados na Tabela 4.6.

$$k = \frac{A_1 T}{C} + A_2 TC + \frac{A_3}{T} + A_4 T^2 \quad (4.1)$$

Tabela 4.6: Estimação dos parâmetros da correlação para constante de secagem  $k$

Parâmetro	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
Valor	- 0,00028	- 0,00196	0,929876	3,23*10 <sup>-5</sup>
$\sigma$	5,89*10 <sup>-5</sup>	0,00075	0,212603	7,19*10 <sup>-6</sup>
t(5) calc.	- 4,71977	- 2,6097	4,373763	4,493317
T (5). tab	2,571	2,571	2,571	2,571
R = 0,97477		DRM = 12,84%		

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.6, pode-se observar que a correlação proposta para a constante de secagem  $k$ , apresentou ajustes com coeficiente de correlação acima de 97%, desvio relativo médio inferior a 13%, e tem todos os parâmetros significativos com 95% de confiança, segundo o teste  $t$ .

A correlação proposta para  $k$ , corroborou ao fato, de que o parâmetro  $k$  do modelo de OVERHULTS, é função das condições operacionais propostas. Na Figura 4.5 estão apresentados, os valores estimados de  $k$ , usando o modelo de OVERHULTS, para as condições operacionais usadas nesta pesquisa.

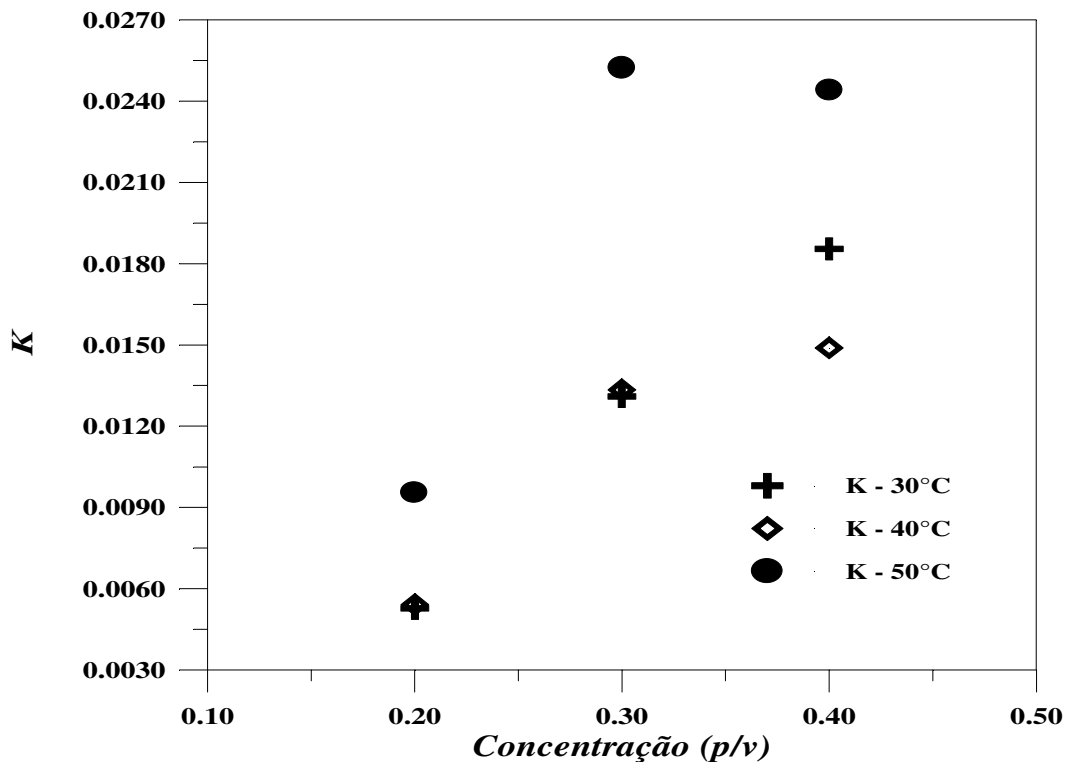


Figura 4.5: Análise do comportamento do parâmetro  $k$  do modelo de Overhults.

Pela análise da Figura 4.5, foi possível notar uma tendência do efeito das variáveis estudadas (temperatura e concentração da solução hipertônica) sobre o comportamento do parâmetro  $k$  do modelo de Overhults, notando que para o parâmetro  $k$ , o aumento da temperatura e da concentração, tende a aumentar o valor do parâmetro, para presente pesquisa, este comportamento da constante de secagem, está representado na equação 4.1.

As análises estatísticas realizadas para o parâmetro  $n$ , não apresentaram nenhuma tendência, deste modo, para simulação dos resultados experimentais obtidos, foi usado o valor médio do parâmetro, na Tabela 4.7, estão apresentados o valor médio de  $n$ , o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 4.7: Valor médio do parâmetro  $n$  e as análises estatísticas.

<b>Média</b>	0,37781
<b><math>\sigma</math></b>	0,07875
<b>CV</b>	20,8427

Pela análise da Tabela 4.7, pode-se verificar que o coeficiente de variação para  $n$  é superior a 20%, porém todas as tentativas de estimação de uma correlação para este parâmetro, não apresentaram qualquer tendência, com as variáveis pesquisadas, na Figura 4.6, estão apresentados os resultados das estimações do parâmetro nas condições operacionais deste trabalho, contudo, foram realizados cálculos com os valores estimados de  $n$  em cada situação estudada e com o valor médio do parâmetro  $n$ , em todos os casos analisados, os desvios médios apresentados não foram significativos, e portanto, o parâmetro  $n$  foi assumido no valor médio de 0,37781.

A partir dos resultados das análises estatísticas, pode-se constatar que o parâmetro  $n$  é uma função do tipo de material estudado, pois, no trabalho de MARTINS 2000, o autor constatou análise semelhante em relação ao comportamento dos parâmetros do modelo de OVERHULTS para o feijão.

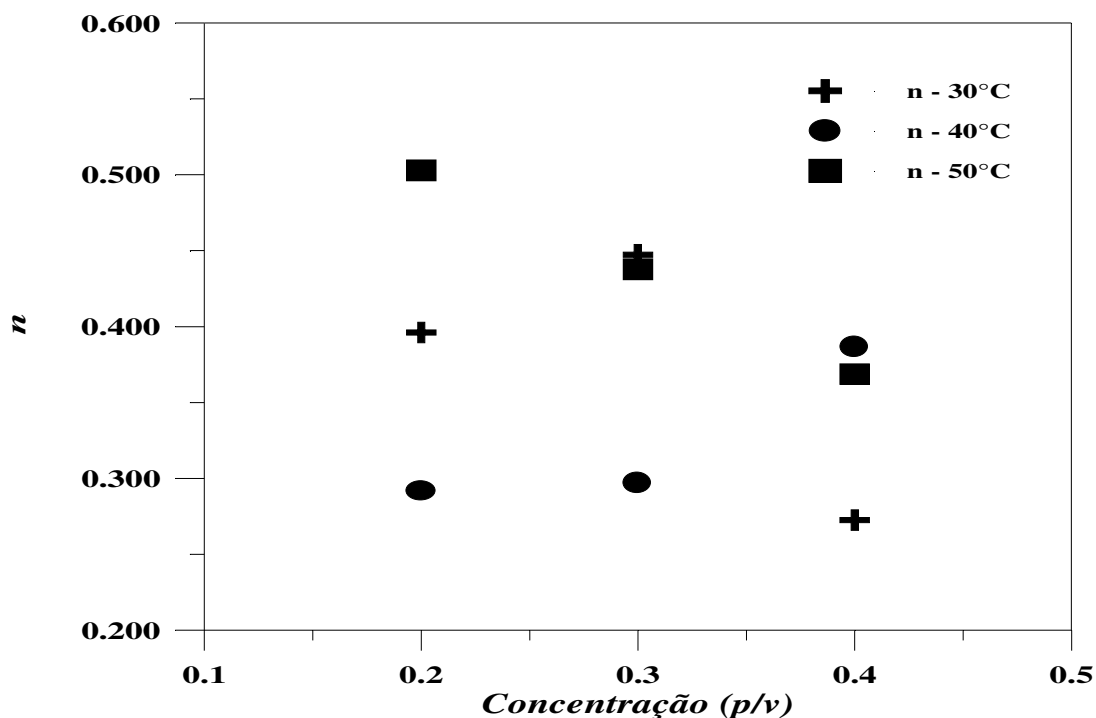


Figura 4.6: Análise do comportamento do parâmetro  $n$  do modelo de Overhults.

Pela análise da Figura 4.6, fica evidente que o parâmetro  $n$  não apresentou qualquer tendência com as condições operacionais adotadas para esta pesquisa, reforçando a idéia, de que este parâmetro é função do tipo de material.

A partir dos estudos estatísticos, foi feita a comparação entre os resultados experimentais e calculados usando os valores da constante de secagem  $k$ , obtidos pela correlação proposta na pesquisa, Equação 4.1, o valor médio de  $n$ , a umidade de equilíbrio calculada pelo modelo de SMITH e o modelo de OVERHULTS, como pode ser visto na Figura.4.7.

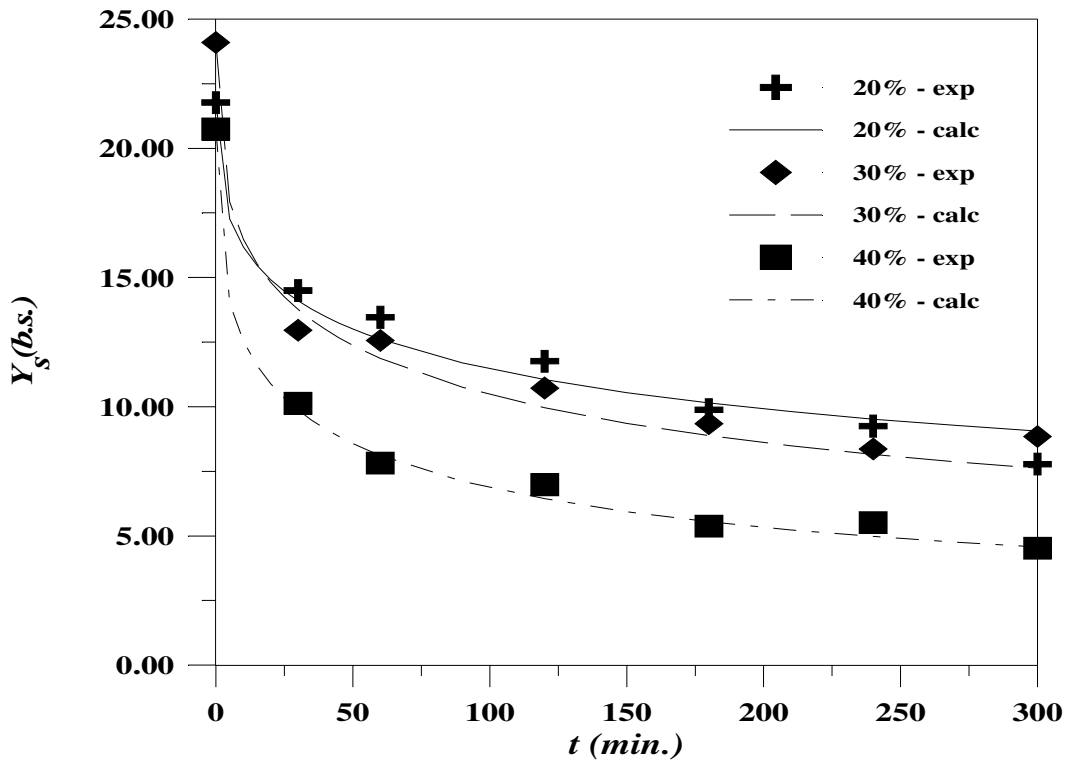


Figura 4.7: Comparação entre os resultados experimentais e calculados usando o modelo de Overhults.

Pela análise da Figura 4.7, pode-se notar que o modelo de OVERHULTS, ajusta de forma satisfatória os resultados experimentais, podendo-se verificar ainda a influência da concentração sobre a cinética de desidratação osmótica, pois para um mesmo intervalo de tempo, observa-se que a taxa de desidratação foi maior, para concentração de 40%, comportamento este também verificado, em outros trabalhos da literatura, como em TELIS *et al* (2003), ZÓBOLI *et al* (2004), entre outros, comprovado experimentalmente que a taxa de desidratação, principalmente nas primeiras horas, é bem mais intensa em concentrações maiores.

Para validar as equações propostas nesta pesquisa, através de dados de experimentos preliminares de cinética, que foram realizados no banho-maria, foi feita a simulação dos dados, usando a correlação para constante de secagem  $k$ , o valor médio do parâmetro  $n$ , a umidade de equilíbrio via modelo de SMITH e o modelo cinético de OVERHULTS, como mostrado na Figura 4.8.

Com base no dados experimentais utilizados para simulação, o estudo estatístico apresentou um desvio máximo inferior a 19% e os resultados preditos tiveram um desvio relativo médio da ordem de 7%, proporcionando um bom ajuste entre os resultados experimentais e simulados.

Os resultados apresentados mostram que as equações desenvolvidas no trabalho, podem ser vantajosas para os estudos cinéticos do processos de desidratação osmótica e ainda para calcular a umidade de equilíbrio do material, apresentando valores próximos da realidade experimental, tais equações merecem destaque, devido a simplicidade nos cálculos, diferente dos modelos tradicionalmente utilizados, como a solução analítica da Segunda lei de Fick em diferentes geometrias.

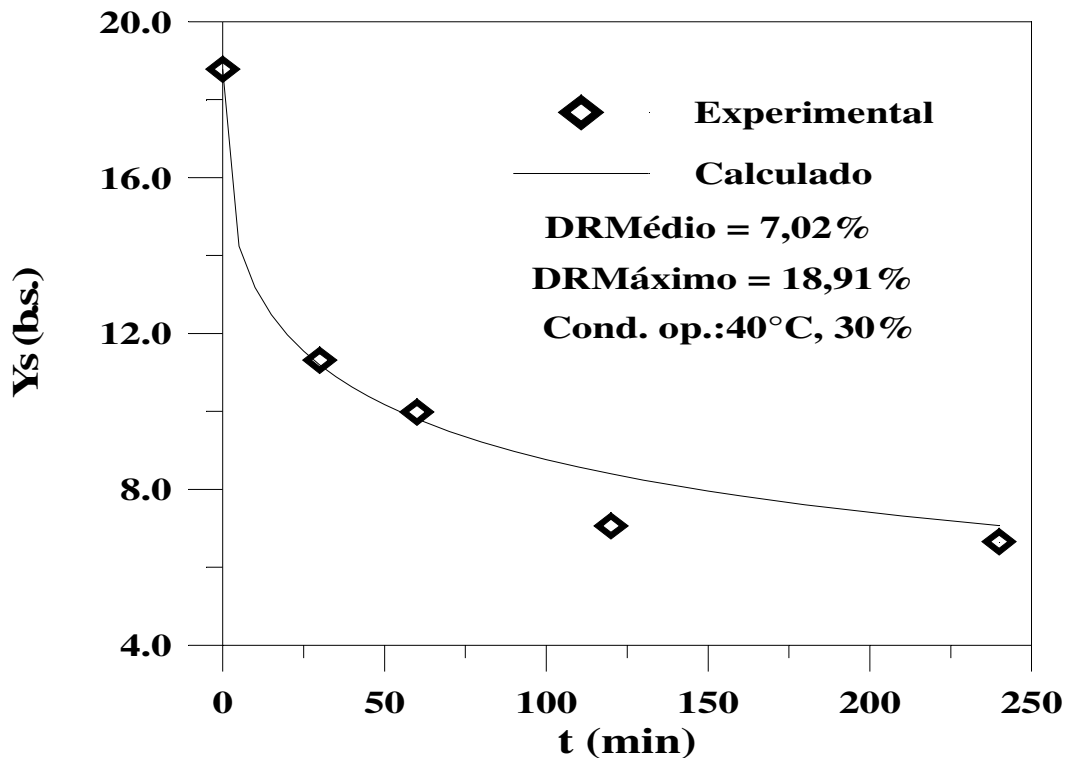


Figura 4.8: Comparação entre resultados experimentais e simulados – validação experimental.

#### 4.3 – Estudo do ganho de soluto do chuchu

Variáveis como a perda de peso, perda de água e ganho de soluto do material, que são comuns nas investigações de outros autores, também foram estudadas no presente trabalho, no entanto, apenas o ganho de sólido foi abordado com maior ênfase, devido a importância de uma das considerações aplicadas na pesquisa.

Na pesquisa de RASTOGI *et al* (1994), o autor investigou o efeito da temperatura e da concentração da solução osmótica na desidratação de coco, onde foi verificado que o percentual de ganho de sólidos no fruto foi de 2 a 3%, ou seja, em seus estudos os autores consideraram este ganho como superficial, e ao lavar o material com água e em seguida enxugá-lo, o soluto adsorvido superficialmente, seria removido, logo, os autores não consideraram o ganho de soluto em seus cálculos, desprezando a difusão de sólidos, como na presente pesquisa trabalhou-se com uma razão amostra/solução baixa, de 1:2,5, procurou-se determinar o percentual de ganho de sólidos e a partir dos resultados obtidos avaliar a possibilidade de realizar o estudo da desidratação osmótica de fatias de chuchu de forma semelhante a apresentada por RASTOGI *et al.* (1994), descartando a difusão de sólidos.

Em vista do que foi exposto acima, foi feito um estudo com a finalidade de determinar o percentual de ganho de sólidos, analisando se tais valores, são significantes para os cálculos de umidade das fatias de chuchu a cada instante.

Na Tabela 4.8, são apresentados os dados da média percentual e o valor máximo de ganho de soluto das fatias de chuchu.

Tabela 4.8: Resultados do percentual médio e máximo de ganho de sólidos.

<b>Exp</b>	<b>C (p/v)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Média (%)</b>	<b>Máximo (%)</b>
1	0,2	30	0,99	2,03
2	0,2	40	1,31	1,97
3	0,2	50	2,23	4,65
4	0,3	30	2,77	4,92
5	0,3	40	2,32	3,80
6	0,3	50	4,39	8,56
7	0,4	30	2,66	3,28
8	0,4	40	2,76	3,75
9	0,4	50	3,95	7,17

Pela análise da Tabela 4.8, pode-se constatar que em todos os experimentos o percentual médio de ganho de sólido foi inferior a 5%, enquanto que o percentual máximo foi inferior a 9%, resultado este esperado, já que, nesta pesquisa, a razão amostra para solução foi de 1 / 2,5, logo bem baixa se comparada com todos os trabalhos citados na Revisão de Literatura, portanto, os percentuais médios de ganho de sólidos obtidos foram menores que as incertezas experimentais, que são superiores a 5%, logo tal ganho foi considerado desprezível.

Em vista dos resultados apresentados para o ganho de sólidos, para a técnica adotada neste pesquisa, este percentual pode ser desprezado, não contribuindo em erros nos cálculos de determinação da umidade de equilíbrio e da avaliação da cinética de desidratação.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Os estudos realizados possibilitaram avaliar a influência da temperatura e concentração no processo. Através das observações experimentais, constatou-se que para o equilíbrio a concentração exerce forte influência no processo, enquanto a temperatura é negligenciável.

Também foi possível observar a influência de tais variáveis na cinética de desidratação, onde ambas influenciam diretamente no processo.

A rotina experimental adotada possibilitou a determinação da cinética e da umidade de equilíbrio das fatias de chuchu submetidas a desidratação osmótica em solução hipertônica de sacarose.

A isoterma de SMITH foi a correlação que melhor descreveu as variações da umidade de equilíbrio das fatias de chuchu, já que esta apresentou parâmetros significativos, com 99% de confiança segundo o teste t, com coeficiente de correlação de aproximadamente 97%.

As correlações obtidas para  $k$  e  $Y_{se}$  possibilitam a simulação da desidratação osmótica por até 240 minutos com desvio médio da ordem de 7% e desvio máximo de 18%.

O modelo de OVERHULTS descreve de forma satisfatória as curvas de desidratação osmótica, tendo pequena dispersão entre resultados experimentais e calculados.

O ganho de sólidos médio observado foi inferior a 5 % e o máximo inferior a 10 %, o que indica que este fenômeno pode ser desconsiderado face às incertezas experimentais.

Como sugestões para trabalhos futuros, novos estudos devem ser feitos para se avaliar melhor a influência do ganho de soluto na desidratação osmótica.

Também seria necessário avaliar a combinação de soluções mistas de sacarose e NaCl, ou outros agentes osmóticos.

Avaliar a combinação de desidratação osmótica seguida de secagem convectiva, estudando os efeitos da desidratação osmótica e da secagem convectiva sobre a composição química e as características físicas dos alimentos.

Avaliar com maior ênfase o efeito da agitação, além de um estudo mais detalhado do efeito da temperatura e da concentração sobre os parâmetros do modelo de OVERHULTS.

## SUGESTÕES

- Avaliar a desidratação osmótica com outros tipos de soluções hipotônicas.
- Avaliar o efeito da agitação na cinética de D.O. de alimentos fatiados.
- Ampliar as faixas de condições de operação e reavaliar as correlações obtidas para a isoterma de equilíbrio e a constante  $k$  do modelo de Overhults.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZUARA, E., BERISTAIN, C.I., GUTIÉRREZ, G.F. A method for Continuous Kinetic Evaluation of Osmotic Dehydration. **Lebensmittel Wissenschaft and Technology**, 31, 317 – 321, 1998.

AZUARA, E., CORTES, R., & BERISTAIN, C.I. Kinetic model for osmotic dehydration and relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science and Technology*, 27, 239 – 242. Citado por KAYMAK – ERTEKIN, F., SULTANOGLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, 46, 243-250, 2000.

AZOUBEL, P.M., MURR, F.E.X.. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, 61, (3), 291-295, 2003.

COLSON, K.H & YOUNG, J.H. Two-component thin layer drying model for unshelled peanuts. **TRANS. ASAE**, 33, (1), 241-246, 1990.

CONSTÂNCIO, C.F.V., JANNIBELLI, B.V., PADAR, S , FERREIRA, J.A., CALÇADA, L.A. & MANCINI, M.C. Desenvolvimento de uma Unidade Experimental para Desidratação Osmótica de Alimentos. **Anais da XII Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ**, v.13, nº 2, Anais em CD-ROM.

EMATER, 1992, Manual de produção e industrialização de frutas e hortaliças, v.1, Rio de Janeiro, 56p citado por OLIVEIRA; L.F.; SRUR; A.U.O.S, VACARI; F. Aproveitamento do chuchu pelo processamento de saturação com açúcar – Uma alternativa alimentar, *Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida*, Vol. 22, p. 09-14, 2003.

FERNANDES, L.M., ZÓBOLI, A.P.C., ROSS Jr., I.R., BASSANE, J.F.P. & MANCINI, M.C. Avaliação Preliminar da Produção de Alimentos Fatiados Desidratados Osmoticamente e Convectivamente. **Anais da XIV Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ**, v.14, 2004.

FITO, P. Modelling of Vacuum Osmotic Dehydration of Food. **Journal of Food Engineering**, 22, 313-328, 1994.

GAVA, A.J. **Princípios da tecnologia de alimentos**. 2 ed., Editora Nobel, 254p, 1984.

GROSS, J.-B. & DUSSAP, C.G. Estimation of equilibrium properties in formulation or processing of liquid foods. **Food Chemistry**, 82, 41-49, 2003.

KAJUNA, S.T.A.R., SILAYO, V.C.K., MKENDA, A. & MAKUNGU, P.J.J. Thin – layer drying of diced cassava roots. *African Journal of Science and Technology, Science and Engineering Series*, 2 (2), 94-100, 2001.

KROKIDA, M . K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOSKOURIS, D. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, New York, v.18, n. 6, p. 937 – 950, 2000.

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

LEWICKI, P.P., LE, V.H. & POMARANSKA-LAZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, 54, 141-146, 2002.

MAESTRELLI, A.; SCALZO, R.; LUPI, D.; BERTOLO, G.; TORREGGIANI, D. Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv. *reticulatus* Naud). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 2, p. 255 – 260, 2001.

MARTINS, M.G. **Adaptação de um Equipamento de Secagem em Camada Delgada para Determinação de Isotermas de Equilíbrio de Grãos**. Tese de M. Sc, UFRRJ, Seropédica, 2000.

MANCINI, M.C. **Transferência de Massa em Secadores de Grãos**. Tese de D.Sc, UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

MAVROUDIS, N.E., GEKAS, V. & SJÖHOLM, I. Osmotic Dehydration of Apples – Effect of Agitation and Raw Material Characteristics. **Journal of Food Engineering**, 35, 191-209, 1998.

MÚJICA-PAZ, H., VALDEZ-FRAGOSO, A., LÓPEZ-MALO, A., PALOU, E. & WELTI-CHANES, J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of vacuum pressure and syrup concentration. **Journal of Food Engineering**, 57, 305-314, 2003.

PARJOKA, M., RAHMAN, S., BUCKLE, K. A. & PERERA, C.O. Osmotic Dehydration Kinetics of Pineapples Wedges using Palm Sugar. **Lebensmittel Wissenschaft and Technology**, 29, 452-459, 1990.

RAOULT-WACK, A.L. A. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science & Technology**, 5, 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**, 31, 423-432, 1997.

RASTOGI, N.K. & RAGHAVARAO, K.S.M.S. Effect of Temperature and Concentration on Osmotic Dehydration of Coconut. **Lebensmittel Wissenschaft and Technology**, 27, 564-567, 1994.

SABLANI, S.S. & RAHMAN, M.S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution of mango. **Food Research International**, 36, 65-71, 2003.

SABLANI, S.S., RAHMAN, M.S. & AL-SADEIRI, D.S. Equilibrium distribution data for osmotic drying of apples cubes in sugar-water solution. **Journal of Food Engineering**, 52, 193-199, 2002.

SERENO, A. M.; HUBINGER, M. D.; COMESAÑA, J. F.; CORREA, A. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 103-114, 2001.

SHI, J.X., LE MAGUER, M., WANG, S.L. & LIPTAY, A. Application of osmotic treatment in tomato processing – effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. **Food Research International**, Vol. 30. N° 9, 669-674, 1997.

SOARES, V.B., ZÓBOLI, A.P.C., FERNANDES, L.M., ROSS Jr, I.G., BASSANE, J.F.P & MANCINI, M.C. Discriminação de Modelos de Isoterma de Equilíbrio na Desidratação Osmótica de Fatias de Pera e Maçã. **Anais da XIV Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ**, v.14, 2004.

TELIS, V.R.N., MURARI, R.C.B.D.L. & YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, 61 (1), 253-259, 2003.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, Monticello, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruits processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, n. 2, p. 247-253, 2001.

YAO, Z. & LE MAGUER, M. Finite element modelling of osmotic dehydration processes. **Food Research International**, 27, 211-212, 1994.

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**, 29, 349-360, 1996.

YAO, Z. & LE MAGUER, M. Mathematical Modelling and Simulation of Mass Transfer in Osmotic Dehydration Processes. Part II: Simulation and Model Verification. **Journal of Food Engineering**, 32, 33-46, 1997.

YAO, Z. & LE MAGUER, M. Mathematical Modelling and Simulation of Mass Transfer in Osmotic Dehydration Processes. Part III: Parametric Study. **Journal of Food Engineering**, 32, 21-32, 1997.

ZÓBOLI, A. P. C.; FERNANDES, L. M.; ROSS JR, I. G.; BASSANE, J. F. P.; SOARES, V. B.; MANCINI, M. C. Determinação Experimental da Umidade de Equilíbrio de Fatias de Pera e Maçã submetidas à Desidratação Osmótica. **Anais da XIV Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ**, v.14, 2004.

## INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

### ANEXOS

<b>Anexo I:</b> Experimentos preliminares .....	40
<b>Tabela A1:</b> Dados experimentais de calibração do banho – maria .....	40
<b>Tabela A2:</b> Dados de cinética de desidratação osmótica de chuchu realizados no banho – maria .....	40
<b>Tabela A3:</b> Resultados experimentais de determinação da umidade de equilíbrio – Ensaios preliminares .....	41
<b>Anexo II:</b> Experimentos de determinação da umidade de equilíbrio .....	42
<b>Tabela B1:</b> Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte I) .....	42
<b>Tabela B2:</b> Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte I) .....	43
<b>Tabela B3:</b> Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte III). .....	44
<b>Anexo III:</b> Experimentos de avaliação da cinética de desidratação osmótica com determinação do percentual de perda de água, perda de peso e ganho de sólidos ....	45
<b>Tabela C1:</b> Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”. (Parte I) .....	45
<b>Tabela C2:</b> Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”. (Parte II) .....	46
<b>Tabela C3:</b> Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”. (Parte III) .....	47

## ANEXO I

### EXPERIMENTOS PRELIMINARES

**Tabela A1:** Dados experimentais de calibração do banho – maria

Temperatura (°C)	Concentração (% p/v)	Tempo (min)	Y <sub>s</sub> (t) (b.s.)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Y <sub>s</sub> (t) (b.s.)
50	0,3	0	17,9961	40	0	18,3927
		30	10,1375		30	11,5773
		60	7,4073		60	9,6406
		120	5,4821		90	8,4332
					120	7,5294
					180	6,5585
					240	5,5310

**Tabela A2:** Dados de cinética de desidratação osmótica de chuchu realizados no  
banho–maria

Temperatura (°C)	Concentração (% p/v)	Tempo (min)	Y <sub>1s</sub> (t) (b.s.)	Y <sub>2s</sub> (t) (b.s.)	Y <sub>3s</sub> (t) (b.s.)
30	0,3	0	17,7928	18,3885	17,5964
		30	10,9852	11,9358	12,2909
		60	8,8428	10,6038	10,6577
		120	7,4409	8,3908	9,1657
		240	5,6161	6,7652	7,3461
		360	5,1339	5,5717	6,3684
		480	4,6630	5,1778	5,6244
40	0,3	0	16,8168	17,6532	18,7763
		30	10,2711	10,6326	11,3147
		60	7,8230	9,5543	9,9824
		120	5,9744	7,5286	7,0623
		240	4,5517	5,6691	6,6552
		360	3,8840	4,2803	4,8479
		480	3,4660	4,1525	4,4485
50	0,3	0	18,6245	18,1445	19,2740
		30	10,3759	9,7298	10,6869
		60	7,9372	7,6749	8,7559
		120	6,1541	5,8453	6,5244
		240	4,7873	4,3017	5,1913
		360	3,6170	3,5193	4,1135
		480	2,7520	2,6625	3,0089

**Tabela A3:** Resultados experimentais de determinação da umidade de equilíbrio –  
Ensaio preliminares

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Concentração (%p/v)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Y<sub>1s</sub>(t) (b.s.)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Y<sub>2s</sub>(t) (b.s.)</b>	<b>Y<sub>3s</sub>(t) (b.s.)</b>
30	0,3	0	17,596	0	19,608	16,890
		30	12,29	30	12,920	11,042
		60	10,66	60	12,380	9,342
		120	9,17	240	7,122	6,312
		240	7,35	480	5,789	5,470
		360	6,37	1440	4,374	3,835
		480	5,62	1800	4,409	3,647
		1440	4,03	2880	3,292	3,045
		1800	3,73			
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Concentração (%p/v)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Y<sub>1s</sub>(t) (b.s.)</b>	<b>Y<sub>2s</sub>(t) (b.s.)</b>	<b>Y<sub>3s</sub>(t) (b.s.)</b>	
40	0,3	0	17,312		17,575	18,789
		30	11,213		11,505	11,364
		60	9,678		10,097	10,204
		240	6,329		5,889	6,355
		480	5,127		4,428	5,299
		1440	3,588		3,339	3,613
		1800	3,692		3,256	3,659
		2880	3,080		3,133	3,021
50	0,3	0	16,765		19,458	19,313
		30	9,848		10,770	11,420
		60	8,070		9,342	8,561
		240	4,894		6,775	5,377
		480	3,837		4,837	3,768
		1440	3,078		3,286	3,110
		1800	3,021		3,153	3,063
		2880	2,955		3,109	3,049

## ANEXO II

### EXPERIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

**Tabela B1:** Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte I).

Temperatura (°C)	Concentração (%p/v)	Tempo (min)	Y <sub>1s</sub> (t) (b.s.)	Y <sub>2s</sub> (t) (b.s.)	Y <sub>3s</sub> (t) (b.s.)
30	0,2	0	19,68	19,04	18,66
		120	10,46	10,31	9,59
		1440	8,62	7,61	7,53
		2880	6,34	6,19	5,86
		4320	5,49	6,00	6,36
		5760	5,41	5,44	5,21
40	0,2	0	21,36	20,27	23,27
		120	11,00	11,66	10,89
		1440	6,91	7,13	7,69
		2880	6,30	6,65	6,16
		4320	6,97	6,94	6,82
		5760	6,14	6,38	5,69
50	0,2	0	21,93	20,49	20,39
		120	10,16	9,69	8,87
		1440	6,08	5,64	6,76
		2880	4,94	5,47	4,95
		4320	6,33	5,81	5,38
		5760	5,51	5,54	5,35

**Tabela B2:** Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio (Parte II).

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Concentração (%p/v)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Y<sub>1s</sub>(t) (b.s.)</b>	<b>Y<sub>2s</sub>(t) (b.s.)</b>	<b>Y<sub>3s</sub>(t) (b.s.)</b>
30	0,3	0	17,50	23,41	17,22
		120	9,10	7,18	6,35
		360	7,15	-----	-----
		1440	4,23	4,81	5,08
		2880	3,75	4,26	3,76
		4320	4,03	3,83	4,59
		5760	4,00	3,87	3,69
-----					
40	0,3	0	19,57	21,91	17,66
		120	8,90	5,59	5,97
		360	6,52	-----	-----
		1440	3,76	4,52	-----
		2880	3,88	3,36	3,43
		4320	3,57	3,07	3,67
		5760	4,00	3,14	3,22
-----					
50	0,3	0	17,71	18,41	20,48
		120	6,13	5,53	6,57
		1440	5,17	4,52	5,10
		2880	3,98	4,06	3,84
		4320	3,72	3,52	4,35
		5760	3,66	3,16	3,73



**Tabela B3:** Dados experimentais para determinação da umidade de equilíbrio  
(Parte III).

Temperatura (°C)	Concentração (%p/v)	Tempo (min)	Y <sub>1s</sub> (t) (b.s.)	Y <sub>2s</sub> (t) (b.s.)	Y <sub>3s</sub> (t) (b.s.)
30	0,4	0	16,55	14,71	16,46
		120	5,60	5,79	6,33
		1440	2,87	2,97	2,85
		2880	2,44	2,59	2,48
		4320	2,37	2,44	2,47
		5760	2,31	2,52	2,30
40	0,4	0	17,98	17,53	14,69
		120	4,99	5,17	4,69
		1440	2,82	2,65	2,98
		2880	2,65	2,76	2,96
		4320	2,93	2,71	2,68
		5760	2,49	2,32	2,75
50	0,4	0	19,56	19,08	19,47
		120	5,07	4,42	6,31
		1440	2,86	3,16	2,83
		2880	2,70	3,10	2,77
		4320	2,64	2,73	2,81
		5760	2,32	2,56	2,54

### ANEXO III

#### EXPERIMENTOS DE AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE PERDA DE ÁGUA, PERDA DE PESO E GANHO DE SÓLIDOS

**Tabela C1:** Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”.  
(Parte I)

Temperatura (°C)	Concentração (% p/v)	Tempo (min)	Y <sub>S0</sub> (b.s.)	GS (%)	PA (%)	PP (%)
30	20	0	18,04	0	0	0
		30	13,68	0,39	14,80	14,21
		60	11,49	0,97	22,90	21,57
		120	11,14	0,73	27,43	26,66
		180	8,73	1,73	31,39	30,06
		240	9,07	1,01	32,53	31,42
		300	10,47	0,70	31,48	30,49
40	20	0	19,86	0	0	0
		30	12,95	1,43	17,84	16,58
		60	13,30	1,19	20,86	19,91
		120	11,01	1,70	28,10	26,70
		180	11,41	1,31	29,11	27,94
		240	10,32	1,48	33,51	31,94
		300	9,71	1,90	29,38	29,90
50	20	0	21,77	0	0	0
		30	14,49	0,90	18,02	17,06
		60	13,46	1,14	21,05	20,09
		120	11,76	1,84	24,49	22,82
		180	9,88	2,53	26,50	24,16
		240	9,25	3,21	25,40	22,40
		300	7,78	4,61	26,93	22,60

**Tabela C2:** Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”.  
(Parte II)

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Concentração (% p/v)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Y<sub>S0</sub> (b.s.)</b>	<b>GS (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>PP (%)</b>
30	30	0	21,75	0	0	0
		30	12,35	1,79	19,77	17,89
		60	12,09	1,64	25,01	23,44
		120	9,80	2,49	30,24	27,83
		180	8,70	2,46	37,22	34,86
		240	6,89	4,13	38,67	34,65
		300	6,24	4,75	38,78	34,65
40	30	0	24,09	0	0	0
		30	12,96	1,79	21,20	19,64
		60	12,56	1,59	26,01	24,42
		120	10,72	2,08	31,00	28,92
		180	9,35	2,59	35,92	33,47
		240	8,36	3,30	36,47	33,33
		300	8,85	2,77	36,24	32,92
50	30	0	20,69	0	0	0
		30	11,05	1,90	22,38	20,67
		60	8,72	2,45	29,73	27,14
		120	7,70	3,67	32,74	29,20
		180	6,61	5,22	30,45	25,23
		240	6,16	5,59	31,34	25,56
		300	5,09	7,91	28,98	22,44

**Tabela C3:** Experimentos de avaliação da cinética de secagem realizados no “shaker”.  
(Parte III)

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Concentração (% p/v)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Y<sub>S0</sub> (b.s.)</b>	<b>GS (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>PP (%)</b>
30	40	0	20,61	0,00	0,00	0,00
		30	10,74	2,20	27,39	25,41
		60	8,14	2,80	34,17	31,54
		120	7,81	2,58	40,04	37,59
		180	6,73	3,09	42,74	39,85
		240	6,66	3,03	45,26	42,37
		300	6,37	3,24	45,77	42,87
40	40	0	17,95	0,00	0,00	0,00
		30	10,27	1,79	23,51	21,72
		60	8,15	2,31	28,91	26,37
		120	6,62	2,65	38,92	36,40
		180	5,52	3,55	43,54	40,30
		240	5,75	3,23	44,24	41,02
		300	5,51	3,01	46,88	43,21
50	40	0	20,74	0,00	0,00	0,00
		30	10,13	1,98	30,51	28,40
		60	7,81	2,57	38,33	35,61
		120	6,98	3,08	44,30	41,22
		180	5,38	4,73	44,04	39,62
		240	5,51	4,48	45,31	40,83
		300	4,52	7,14	46,40	38,93