

**Isabella Borin**

**CINÉTICA DE SECAGEM DE ABÓBORAS (*Curcubita  
moschata*) PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE EM  
SOLUÇÕES CONTENDO SACAROSE E NaCl**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de Concentração: Engenharia de Alimentos)

Orientadora: Maria Aparecida Mauro

São José do Rio Preto – SP  
2006

Borin, Isabella.

Cinética de secagem de abóbora (*Curcubita moschata*) pré-tratadas osmoticamente em soluções contendo sacarose e NaCl / Isabella Borin. -

São José do Rio Preto : [s.n], 2006

72 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Maria Aparecida Mauro

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,

Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos - Desidratação. 3. Abóbora - Secagem. 4. Cinética de secagem 5. Abóbora - Desidratação osmótica 6. Desidratação osmótica . I. Mauro, Maria Aparecida. II Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 664.8.047

**CINÉTICA DE SECAGEM DE ABÓBORAS (*Curcubita  
moschata*) PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE EM  
SOLUÇÕES CONTENDO SACAROSE E NaCl**

COMISSÃO JULGADORA  
DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Aparecida Mauro

---

Prof. Dr. Fábio Yamashita

---

Prof. Dr. Róger Darros Barbosa

---

Professor Dr. Luiz Antonio Viotto

---

Prof. Dr. Javier Telis Romero

São José do Rio Preto, 07 de julho de 2006.

## **DADOS CURRICULARES**

**Isabella Borin**

DATA DE NASCIMENTO: 12/01/1981 – Fernandópolis

Filiação: Altino Borin

Jacira Marin Borin

**FEF – Fundação Educacional de Fernandópolis**

Graduação em **Engenharia de alimentos**

Período: fevereiro/1999 a dezembro de 2003.

**UNESP – Universidade Estadual Paulista de São José do Rio Preto**

Mestrado **em Engenharia e Ciência de Alimentos**, com ênfase em Engenharia.

Período: março/2004 a julho/2006

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter dado forças para vencer os obstáculos, por nunca me abandonar nos momentos difíceis e permitir chegar até aqui.

Agradeço à Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Aparecida Mauro pela orientação, no qual transmitiu seus conhecimentos com paciência, dedicação e carinho.

Agradeço à Prof<sup>a</sup>. Mieko Kimura pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e ajuda na realização dos resultados da análise sensorial.

Ao Prof. Dr. Maurício Boscolo, pelo auxílio na realização das análises por espectrofotometria de chama.

Aos professores integrantes da banca examinadora, Prof. Dr. Fábio Yamashita e Prof. Dr. Roger Darros Barbosa, pelas valiosas sugestões.

À Elen Frascareli, por ter dividido bons momentos e pela amizade e ajuda fundamental durante toda a pesquisa na qual realizamos juntas.

Às colegas Priscila e Nenis por compartilhar dos momentos durante os experimentos.

À coordenação de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos pelo suporte na obtenção deste título.

Agradeço as minhas irmãs Marcella Borin e Flávia Borin pela força e motivação sempre.

Ao meu namorado Alex Stopa Cestari por compartilhar dos meus sonhos, me incentivando e me animando.

Agradeço a toda minha família e todas as pessoas que estiveram do meu lado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos Ginaldo, Jesuíno e Newton pela ajuda nos experimentos.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) (Proc. 03/10151-4) e ao CNPq pela bolsa de estudo.

Dedico este trabalho a duas pessoas: a primeira é meu **PAI** Altino Borin (*in memoriam*) que apesar de hoje não estar fisicamente junto a nós, me incentivou e deu total apoio para que esta etapa de minha vida agora se tornasse realidade; e a minha **MÃE** Jacira Marin Borin que também esteve sempre do meu lado, com amor e uma mão disposta a ajudar sempre. Agradeço pelo exemplo de dignidade e pela lição de amor!

**SUMÁRIO**

|   |             |
|---|-------------|
| <b>SUMÁRIO.....</b>                                     | <b>I</b>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                          | <b>III</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>                           | <b>VI</b>   |
| <b>NOMENCLATURA .....</b>                               | <b>IX</b>   |
| <b>RESUMO .....</b>                                     | <b>XII</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                   | <b>XIII</b> |
| <b>1.INTRODUÇÃO .....</b>                               | <b>1</b>    |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                   | <b>2</b>    |
| <b>2.1. ABÓBORA .....</b>                               | <b>2</b>    |
| <b>CARACTERÍSTICAS.....</b>                             | <b>3</b>    |
| <b>2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....</b>                  | <b>4</b>    |
| <b>2.3. SECAGEM CONVECTIVA .....</b>                    | <b>6</b>    |
| <b>3. OBJETIVOS .....</b>                               | <b>12</b>   |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                     | <b>13</b>   |
| <b>4.1. MATÉRIA PRIMA.....</b>                          | <b>13</b>   |
| <b>4.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>               | <b>13</b>   |
| 4.2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....                    | 13          |
| 4.2.2. SELEÇÃO DOS TRATAMENTOS OSMÓTICOS .....          | 14          |
| 4.2.3. PROCESSAMENTO.....                               | 16          |
| 4.2.3.1 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA .....                     | 16          |
| 4.2.3.2. SECAGEM CONVECTIVA.....                        | 17          |
| <b>4.3. MÉTODOS ANALÍTICOS.....</b>                     | <b>20</b>   |
| 4.3.1 Determinação de Açúcares Redutores e Totais ..... | 20          |
| 4.3.2 Determinação de sódio .....                       | 21          |
| 4.3.3 Determinação dos sólidos totais .....             | 21          |
| <b>4.4. AVALIAÇÃO SENSORIAL .....</b>                   | <b>21</b>   |
| <b>4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>                 | <b>22</b>   |
| 4.5.1. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....                       | 22          |
| 4.5.2. SECAGEM CONVECTIVA .....                         | 23          |



|   |           |
|---|-----------|
| <b>5. RESULTADOS</b> .....                          | <b>26</b> |
| <b>5.1. SELEÇÃO PRÉ-TRATAMENTOS OSMÓTICOS</b> ..... | <b>26</b> |
| <b>5.2 SECAGEM OSMO-CONVECTIVA</b> .....            | <b>30</b> |
| 5.2.1. ESPESSURA.....                               | 34        |
| 5.2.2. CINÉTICA DE SECAGEM.....                     | 38        |
| <b>5.3. AVALIAÇÃO SENSORIAL</b> .....               | <b>60</b> |
| <b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b> .....              | <b>63</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS</b> .....                         | <b>65</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: (a) abóbora variedade Rajada Seca Melhorada; (b) corte longitudinal em quartos; (c) fatias.....  | 14 |
| Figura 2: Processo da desidratação osmótica em incubadora. ....  | 15 |
| Figura 3: Cuba, agitador mecânico e banho termostático, utilizados para desidratação osmótica.....   | 16 |
| Figura 4: Vista geral do secador.....  | 19 |
| Figura 5: (a) bandejas com amostras dispostas no interior do secador; .....  | 19 |
| (b) amostras desidratadas. ....  | 19 |
| Figura 6: Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60°C, das fatias de abóboras sem pré-tratamento. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas.....                                      | 39 |
| Figura 7: Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60°C, das fatias de abóboras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem com ar aquecido. Ensaio de secagem até peso constante (I). ....          | 40 |
| Figura 8: Comparação entre curvas experimentais de secagem a 70°C, das abóboras sem pré-tratamento. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas. ....   | 41 |
| Figura 9: Comparação entre curvas experimentais de secagem a 70°C, das abóboras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem com ar aquecido. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas..... | 42 |
| Figura 10: Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60 e 70°C, das abóboras sem pré-tratamento. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas.....  | 43 |

- Figura 11: Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60 e 70°C, das abóboras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem com ar aquecido. Ensaio de secagem até peso constante (I). ..... 44
- Figura 12: Taxas de secagem em função da umidade ( $b_s$ ), calculadas com área inicial ( $A(0)$ ) e área variando com o tempo ( $A(t)$ ), das fatias de abóboras sem pré-tratamento. Secagem a 60°C. Ensaio de secagem até peso constante (I). ..... 45
- Figura 13: Taxas de secagem em função da umidade ( $b_s$ ), calculadas com área inicial ( $A(0)$ ) e área variando com o tempo ( $A(t)$ ), das fatias de abóboras sem pré-tratamento. Secagem a 70°C. Ensaio de secagem até peso constante (I)a. .... 46
- Figura 14: Taxas de secagem em função da umidade ( $b_s$ ), calculadas com a área inicial ( $A(0)$ ) e a área variando com o tempo ( $A(t)$ ), das fatias de abóboras tratadas em solução osmótica a 47% de sacarose e 3% de sal. Secagem a 70°C. Ensaio de secagem até peso constante (I). ..... 47
- Figura 15: Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo equação (10), durante secagem a 60°C. Ensaio de secagem até peso constante. .... 53
- Figura 16: Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo equação (10), durante secagem a 70°C. Ensaio de secagem até peso constante, (I)a. .... 54
- Figura 17: Comparação entre as umidades residuais (base seca) obtidas experimentalmente (exp) na “primeira etapa” de secagem e calculadas (calc) segundo modelo linear e exponencial (equação 3), de amostras sem tratamento (secagem a 60°C (I)b e 70°C (I)a), e de amostra tratada em solução com 47% sacarose-3% sal (secagem a 70°C (I)a). ..... 56
- Figura 18: Comparação entre as umidades residuais (base seca) obtidas experimentalmente (exp) na “segunda etapa” de secagem e calculadas (calc) pela solução da equação de Fick (equação 10), representando o início dessa etapa no instante zero. Amostras sem tratamento (secagem a 60°C (I)b e

70°C(I)a) e amostra tratada em solução com 47% sacarose-3% sal (secagem a 70°C(I)a)..... 57

Figura 19: Comparação entre as umidades residuais (base seca) obtidas experimentalmente (exp) na “segunda etapa” de secagem e calculadas (calc) pela equação de Fick (equação 10). Amostras sem tratamento (secagem a 60°C (I)b e 70°C(I)a) e amostra tratada em solução com 47% sacarose-3% sal (secagem a 70°C(I)a). ..... 58

Figura 20: Distribuição da frequência dos valores hedônicos atribuídos à cor , aparência geral ,sabor e textura das amostras sem tratamento e tratadas em solução 50% sacarose, 47% sacarose e 3% sal, 40% sacarose, 37% sacarose e 3% sal..... 62

## ÍNDICE TABELAS

**Tabela 1:** Teor de água ( $w_a$ ), variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), após uma hora de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl. 26

**Tabela 2:** Teor de água ( $w_a$ ), variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), após duas horas de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl..... 27

**Tabela 3:** Conteúdo de sacarose calculado (bs) e conteúdo de sal medido (bs) nas amostras desidratadas osmoticamente em soluções compostas de sacarose-sal, durante 1 e 2h. .... 28

**Tabela 4:** Valores da fração molar de água ( $x_1$ ) e fração molar do soluto ( $x_2$ ) e respectivas atividades de água ( $a_w$ ) das soluções contendo um único soluto (sacarose ou NaCl) e da solução final, para diferentes concentrações osmóticas. .... 29

**Tabela 5:** Conteúdo de água nas abóboras tratadas e não tratadas, em base úmida, analisado no tecido sem tratamento, após a desidratação osmótica (DO) e após a secagem (S) a 60°C..... 31

**Tabela 6:** Conteúdo de água nas abóboras tratadas e não tratadas, em base úmida, analisado no tecido sem tratamento, após a desidratação osmótica (DO) e após a secagem (S) a 70°C..... 32

**Tabela 7:** Variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), em uma hora de desidratação osmótica em

diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl, conduzida previamente à secagem a 60°C. .... 33

**Tabela 8:** Variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), em uma hora de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl, conduzida previamente à secagem a 70°C. .... 34

**Tabela 9:** Variação volumétrica das abóboras durante o processo da desidratação osmótica ( $DO$ ) e secagem ( $S$ ) a 60°C, e encolhimento total. .... 36

**Tabela 10:** Variação volumétrica das abóboras durante o processo da desidratação osmótica ( $DO$ ) e secagem ( $S$ ) a 70°C, e encolhimento total. .... 36

**Tabela 11:** Espessuras das amostras sem tratamento ou desidratadas osmoticamente, calculadas antes das secagens a 60°C e após as secagens, e média entre espessura inicial e final. .... 37

**Tabela 12:** Espessuras das amostras sem tratamento ou desidratadas osmoticamente, calculadas antes das secagens a 70°C e após as secagens, e média entre espessura inicial e final. .... 38

**Tabela 13:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 60°C, calculados segundo equação (10), utilizando as “espessuras médias”. .... 49

**Tabela 14:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 70°C, calculados segundo equação (10), utilizando as “espessuras médias”. .... 49

**Tabela 15:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 60°C, calculados segundo equação (10), utilizando as espessuras iniciais. .... 51

**Tabela 16:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 70°C, calculados segundo equação (10), utilizando as espessuras iniciais. .... 51

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 17:</b> Umidade relativa durante as secagens a 60°C. ....  | 52 |
| <b>Tabela 18:</b> Umidade relativa durante as secagens a 70°C. ....  | 52 |
| <b>Tabela 19:</b> Média e desvio padrão dos valores* atribuídos às amostras de fatias de abóbora tratadas e não tratadas, secas a 70°C. .... | 60 |

**NOMENCLATURA**

|              |  |                                  |
|--------------|--|----------------------------------|
| $E$          | eficiência   | adimensional                     |
| $D_{ef}$     | coeficiente efetivo de difusão                     | $\text{cm}^2/\text{s}$           |
| $L$          | espessura da amostra                               | cm                               |
| $M$          | massa após um tempo $t$ de desidratação osmótica   | g                                |
| $n$          | número de observações, ou resíduos                 |                                  |
| $p$          | número de variáveis independentes                  |                                  |
| $t$          | tempo  | s                                |
| $V$          | volume do sólido                                   | $\text{cm}^3$                    |
| $w_k$        | fração de massa adimensional                       | adimensional                     |
| $X$          | fração de massa de água (bs)                       | adimensional                     |
| $\bar{X}$    | umidade residual média (bs)                        | adimensional                     |
| $\bar{X}(t)$ | fração de massa de água (bs), média, num tempo $t$ | adimensional                     |
| $\Delta M$   | variação de massa em relação à massa inicial       | adimensional                     |
| $\Delta t$   | variação do tempo                                  | adimensional                     |
| $\Delta X$   | conteúdo de umidade                                | adimensional                     |
| $\rho_k$     | densidade da substância $k$                        | $\text{g}/\text{cm}^3$           |
| $Na$         | fluxo mássico                                      | $\text{g}/\text{cm}^2 \text{ s}$ |
| $h$          | coeficiente de transferência de calor              | $\text{W}/\text{cm}^2 \text{ K}$ |
| $T$          | temperatura  | $^{\circ}\text{C}$               |
| $\lambda$    | calor latente de vaporização da água               | J/g                              |
| $K$          | constante da equação exponencial (3)               | $\text{s}^{-1}$                  |



|           |                                     |              |
|-----------|-------------------------------------|--------------|
|           |                                     | X            |
| $K$       | constante da equação de Page (4)    | $s^{-n}$     |
| $K$       | constante da equação (15)           | adimensional |
| $w_a$     | teor de água                        | adimensional |
| $w_{AR}$  | teor de açúcares redutores          | adimensional |
| $w_{sac}$ | teor de sacarose                    | adimensional |
| $w_{sal}$ | teor de sal                         | adimensional |
| $S_s$     | massa de sólidos secos              | g            |
| $A$       | área de transferência da evaporação | $cm^2$       |

### Superíndices

|      |                       |
|------|-----------------------|
| 0    | inicial               |
| calc | calculado             |
| eq   | equilíbrio            |
| exp  | experimental          |
| $n$  | constante adicional   |
| DO   | desidratação osmótica |
| S    | secagem               |

### Subíndices

|     |                    |
|-----|--------------------|
| $a$ | água               |
| AR  | açúcares redutores |
| sac | sacarose           |
| sal | NaCl               |

*soluto* soluto: sacarose ou sacarose + sal

*g* ar

*bu* bulbo úmido

*bs* bulbo seco

## RESUMO

A cinética de secagem osmo-convectiva de fatias de abóbora (*Cucurbita moschata*) tratadas em soluções concentradas de sacarose e sacarose/NaCl foi estudada. As condições de tratamento osmótico mais eficientes (50% sacarose; 47% sacarose - 3% NaCl, 40% sacarose e 37% sacarose - 3% NaCl; p/p) foram selecionadas com base na relação perda de água/ganho de solutos e no conteúdo de sal no produto final. Após a desidratação osmótica (DO), as fatias de abóboras foram submetidas à secagem a 60 e 70°C. A influência dos pré-tratamentos e da temperatura sobre a cinética de secagem foi estudada através dos coeficientes efetivos de difusão de umidade determinados segundo a Lei de Fick. Os maiores coeficientes foram obtidos a 70°C. O sal contribuiu para aumentar a perda de água durante a DO. No entanto, a difusividade da água, durante a secagem, não foi afetada significativamente por esse soluto, uma vez que, para a mesma temperatura, as diferenças entre os coeficientes determinados nas diversas amostras pré-tratadas foram pequenas. Coeficientes efetivos de difusão determinados nas amostras pré-tratadas e não tratadas também foram similares. Avaliando-se as características sensoriais das fatias submetidas à secagem a 70°C, pôde-se constatar que os pré-tratamentos melhoraram a cor e a aparência geral das mesmas, quando comparadas com as amostras sem tratamento.

**ABSTRACT**

Osmo-convective drying kinetics of sliced pumpkin (*Cucurbita moschata*) treated in sucrose and sucrose-NaCl solutions was studied. Efficient conditions for osmotic dehydration (50% sucrose, 47% sucrose - 3% NaCl, 40% sucrose and 37% sucrose - 3% NaCl, w/w) were selected based on the ratio water loss/solute gain and on final salt content. After pre treatment, slices were dried at 60 and 70°C. The influence of the pre-treatments and the temperatures on air-drying kinetics of the pumpkins was studied. The effective water diffusion coefficients were determined according to Fick's second law applied to infinite slab. As expected higher coefficients were obtained at 70°C. The salt contributed to increase the water loss during osmotic dehydration. However, the water diffusivity during air-drying was not significantly affected by this solute, since the effective coefficients determined for the different pre-treated samples dried at the same temperature were very close. The effective diffusion coefficients determined in pre-treated and non-treated samples were also similar. Sensory evaluation of the samples dried at 70°C was carried out. The color and the general appearance of the dried pumpkin slices were improved by the previous osmotic dehydration treatments in comparison with non-treated samples.

## 1. INTRODUÇÃO

As principais fontes de nutrientes essenciais (vitaminas, sais minerais, açúcares, fibras, carotenóides e flavonóides) são encontradas em grande escala em frutas e hortaliças. Entretanto, estes são alimentos muito perecíveis e, por essa razão, inúmeras técnicas têm sido desenvolvidas, visando conservação e, ao mesmo tempo, preservação da qualidade nutricional e sensorial dos produtos, além da facilidade no manuseio e preparo dos mesmos.

Uma técnica simples e bastante utilizada é a secagem convectiva. Porém, se mal controlada, pode provocar danos e efeitos indesejáveis ao produto em função das temperaturas e taxas de secagem. A desidratação osmótica de frutas e hortaliças, combinada à subsequente secagem, tem recebido grande atenção, já que possibilita obter produtos finais com melhores características nutricionais e sensoriais que aqueles submetidos apenas à secagem convencional (KARATHANOS *et al.*, 1995).

As abóboras se destacam por serem boas fontes de fibras e carotenóides, sendo algumas variedades ricas em  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -caroteno (ARIMA & RODRIGUEZ-AMAYA, 1988, AZEVEDO MELEIRO; 2003). Os carotenóides são importantes na alimentação humana, pois além da atividade pró-vitáminica A, possuem função anti-oxidante (ARIMA & RODRIGUEZ-AMAYA, 1988, RODRIGUEZ-AMAYA, 2002) que, no organismo, traz benefício à saúde, sendo associados à prevenção do câncer, degeneração macular, doenças cardíacas e outras doenças degenerativas (KRINSK, 1993). Entretanto, na literatura encontram-se poucos trabalhos que tratam da preservação e obtenção de novos produtos processados com base na abóbora, tal como os estudos de desidratação osmótica (DO) usando soluções salinas (MAYOR *et al.*, 2004) ou soluções de açúcar (LENART *et al.*, 1990). Devido ao bom valor nutricional das abóboras, o aumento da ingestão de tais substâncias por parte da população poderia se dar através da oferta de fatias secas para consumo direto, ou a serem adicionadas na preparação de alimentos. Para

tanto, são necessárias mais investigações sobre processos e possíveis produtos desenvolvidos a partir da abóbora, bem como sobre a aceitação dos mesmos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ABÓBORA

A época mais comum de semeadura é na primavera-verão. Em regiões de baixa altitude, onde os invernos são suaves, pode-se plantar abóbora ao longo de todo o ano, desde que haja disponibilidade de irrigação. O ciclo é definido pela cultivar, pelas condições ambientais e pelo ponto de maturação exigido pelo consumidor. No caso da indústria, a colheita deve ser feita no final do ciclo, quando os frutos estiverem maduros, ou seja, quando apresentam pedúnculos secos e casca resistente (UFRGS, 2005).

As abóboras (*Cucurbita moschata*) contêm, em média, 1,3% de proteínas, 0,2% de lipídios, 0,02% de cálcio e 4,7% de carboidratos totais, sendo que 1,9% corresponde a carboidratos disponíveis e 2,7%, a fibras (USP, 2006). Possui ainda vitamina A, numa média de 540 mcg/100g (RODRIGUEZ-AMAYA, 1996, *apud* USP, 2006).

A abóbora pode ser utilizada de diversas maneiras na culinária. Na indústria é utilizada para a produção de doces cremosos, como "schimiers". É muitas vezes adicionada a doces de outras frutas, como um ingrediente que confere maior consistência ao produto. Também é utilizada para a fabricação de doces cristalizados. Suas sementes torradas e, algumas vezes, salgadas, também possuem mercado (UFRGS, 2005).

A abóbora (*Cucurbita moschata*) é uma espécie nativa americana com significativa participação na alimentação de muitos países. Possui ampla distribuição no Sudeste do México, América Central, Colômbia e Peru (WHITAKER & CARTER, 1946; WHITAKER & CUTLER, 1965, *apud* RAMOS *et al.*, 1999). É uma espécie tropical, favorecida por temperaturas elevadas e

tolerantes a temperaturas amenas. Todas as cultivares são muito sensíveis à geada (UFRGS, 2005).

O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) não faz levantamento sistemático da produção de abóbora no Brasil. No entanto, segundo o Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo, a produção do Estado, em 2003, foi de 75.621 t (MARTIN, 2003). Muitos estados brasileiros são produtores de abóbora. Segundo o censo agropecuário realizado em 1995-96, a Região Sudeste participou com 72% da produção nacional, sendo que o Estado de São Paulo produziu 33% do total nacional, que foi 68.834 toneladas (CAMARGO FILHO *et al.*, 2003).

## **CARACTERÍSTICAS**

A abóbora é uma planta anual, em que ocorre o desenvolvimento simultâneo da parte vegetativa, da floração e da frutificação. Possui caule herbáceo, rastejante, provido de gavinhas e de raízes adventícias nos pontos de contato com o solo, que auxiliam na fixação da planta. As folhas são grandes, com longos pecíolos, de coloração verde-escura com manchas prateadas na abóbora e nos híbridos interespecíficos de cucurbitáceas, podendo ser uma característica para identificação se comparada com moranga, a qual não possui estas manchas. Quanto ao florescimento, é uma planta monóica, havendo grande predominância de flores masculinas sobre as femininas, na maioria das cultivares. As flores são amarelas, grandes e vistosas, sendo as femininas com ovário bem destacado e formato que antecipa aquele do futuro fruto. Os frutos apresentam formatos e tamanhos variados. No ponto de inserção do fruto, o pedúnculo é de seção pentagonal, formando cinco lóbulos, característica que difere de outras cucurbitáceas. Podem ser colhidos completamente maduros, em processo de amadurecimento, ou ainda imaturos, mesmo antes de atingir o tamanho definitivo (UFRGS, 2005).

## 2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A desidratação osmótica (DO) é uma técnica que envolve a imersão do produto em soluções aquosas hipertônicas (SERENO *et al.* 2001). Esse processo está diretamente relacionado à remoção de água do material celular de frutas e hortaliças (RASTOGI *et al.* 1997). Nas células vegetais a parede celular, que contém numerosos interstícios relativamente grandes, não se apresenta como a principal barreira, sendo permeável à água e a pequenos solutos. O plasmalema (membrana plasmática que envolve todo conteúdo da célula, excetuando a parede celular) pode estriar ou dilatar-se sob o aumento de pressão gerada no interior das células e, dependendo do soluto, funciona como membrana seletiva. Este tipo de membrana geralmente apresenta permeabilidade diferencial, isto é, permite que solventes a atravessem mais facilmente, mas restringe a passagem de um grande número de solutos (NOBEL, 1991).

A complexa estrutura da parede celular e das membranas celulares dos vegetais, que são parcialmente seletivas, propicia três tipos de transferência de massa com fluxo contra-corrente durante a desidratação osmótica: fluxo de água do sólido para solução, transferência de soluto da solução para o sólido e fluxo natural de solutos do sólido para a solução (RAOULT-WACK, 1994). O resultado desta transferência de massa complexa é uma diminuição do conteúdo de umidade com um incremento simultâneo de sólidos, além de uma modificação na constituição química do alimento parcialmente desidratado (LENART, 1996).

A taxa de remoção de água durante a desidratação osmótica depende de diversos fatores, tais como concentração e temperatura da solução, tempo de contato, grau de agitação da solução, forma e tamanho do sólido, razão solução/sólido e nível de vácuo, se aplicado (RASTOGI *et al.*, 1997). Os efeitos da concentração de soluto, da temperatura e do tempo de contato têm sido estudados em um grande número de produtos, como por exemplo, em banana (MAURO & MENEGALLI, 1995; RASTOGI *et al.*, 1997), pêssego (ASKAR *et al.*, 1996), abacaxi (BERISTAIN *et al.*, 1990), maçã (HAWKES & FLINK, 1978; QUINTERO-RAMOS *et al.*, 1993) e cenoura (QI *et al.*, 1998).



A escolha do soluto é uma questão fundamental por estar relacionada com as alterações nas propriedades sensoriais e no valor nutritivo do produto final, além do custo de processo (LENART, 1996, QI *et al.*, 1998). Características do agente osmótico usado, como o seu peso molecular e seu comportamento iônico, afetam fortemente a desidratação, tanto na quantidade de água removida quanto no ganho de sólidos (ERTEKIN & CAKALOZ, 1996).

A sacarose é tida como um ótimo agente osmótico, especialmente quando a DO é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva, pois previne o escurecimento enzimático e a perda de aromas (LENART, 1996, QI *et al.*, 1998). A DO em soluções de sacarose também pode prevenir perda de nutrientes, como já constatado em abóboras, onde o pré-tratamento osmótico em solução de sacarose (60%, p/p) melhorou a retenção de carotenóides durante a secagem convectiva (MAURO *et al.*, 2005).

O uso do cloreto de sódio como agente osmótico é desejável quando o sabor salgado mantém ou melhora a qualidade do produto processado. É também um excelente agente osmótico, até mesmo quando combinado com a sacarose. Essa combinação foi bastante efetiva na desidratação osmótica de maçãs, porém, seu uso como substituto da sacarose não obteve boa aceitação em testes sensoriais devido ao gosto salgado incorporado à fruta (HAWKES & FLINK, 1978). A eficiência do NaCl foi também observada na desidratação osmótica de tomate cereja, mas o seu baixo peso molecular permitiu alta penetração no tecido. Soluções combinadas de sacarose-sal reduziram a penetração do sal, porém, a taxa de perda de água também foi reduzida (AZOUBEL & MURR, 2004). Essa mesma combinação, aplicada à desidratação osmótica de tomates (tipo Santa Cruz) resultou em difusividades de cloreto de sódio e de sacarose interdependentes, sendo que elevadas concentrações de NaCl causaram maiores perdas de água (TELIS *et al.*, 2004).

O sal também pode atuar como inibidor da oxidação de carotenóides. Em cenouras desidratadas a incorporação de aditivos como NaCl reduziu a taxa de destruição dos mesmos (ARYA *et al.*, 1979).

Em geral, o objetivo da desidratação osmótica é maximizar a perda de água do alimento e, ao mesmo tempo, minimizar o ganho de soluto por parte

do mesmo (QI *et al.*, 1998). Contudo, a DO geralmente não é capaz de abaixar a atividade de água do alimento a níveis que dispensem técnicas adicionais para a sua conservação.

A principal vantagem da desidratação osmótica como pré-tratamento antes da secagem convectiva de alimentos é que ela minimiza os impactos negativos desta última, como perda de aroma, escurecimento enzimático e perda da cor natural dos mesmos (PONTING *et al.*, 1966, QUINTERO-RAMOS *et al.*, 1993), além de poder proporcionar economia de energia gasta no processo como um todo (JAYARAMAM & DAS GUPTA, 1992).

Nos anos mais recentes têm sido conduzidos estudos sobre a combinação da desidratação osmótica com posterior secagem convencional, com objetivo de obter produtos de melhor qualidade (KARATHANOS, *et al.*, 1995). Fatias de carambolas secas a 60°C podem apresentar melhor aparência e sabor, quando pré-tratadas em solução de sacarose (50%, p/p) (SHIGEMATSU *et al.*, 2005). Efeito protetor sobre a estrutura do alimento, gerando produtos mais flexíveis e macios, também tem sido observado (LENART, 1996).

### **2.3. SECAGEM CONVECTIVA**

O objetivo básico da secagem de alimentos é a remoção de água, através da evaporação, até um nível suficiente para minimizar o crescimento de microrganismos e reações de deterioração química (KROKIDA *et al.*, 2003), preservando-o durante a estocagem (MAYOR & SERENO, 2003).

A desidratação de produtos alimentícios é um processo largamente empregado com distintos propósitos como aumento da vida de prateleira, redução de custos de embalagem, transporte e armazenamento, modificação de atributos sensoriais, redução de desperdícios e até agregação de valor ao produto. A preservação de frutas e hortaliças por desidratação, no entanto, apresenta um desafio, pois a remoção de umidade deve ser realizada de maneira a fornecer um produto com os atributos de qualidade desejados, tanto sensoriais como nutricionais. Portanto, o sistema de desidratação deve levar

em conta os vários processos e mecanismos de transformação que ocorrem no produto durante a remoção de água, que são de particular importância para frutas e vegetais (SINGH & HELDMAN, 1993).

A técnica mais utilizada na produção de frutas e hortaliças desidratadas é a secagem convectiva, onde uma batelada do material a ser seco, usualmente em forma de pequenos pedaços ou fatias, é submetida a uma corrente de ar quente paralela ou perpendicular ao leito de sólidos. A exposição da amostra úmida à corrente de ar com temperatura, umidade relativa e velocidade constantes constitui uma secagem sob condições constantes. Nessa operação unitária ocorrerá, simultaneamente, transferência de calor e massa, sendo o calor suprido pelo ar, que arrasta a umidade evaporada.

O ciclo típico de secagem divide-se em períodos característicos. No início ocorre elevação da temperatura do alimento, o que corresponde a um período de adaptação, quando a taxa de secagem também aumenta. Inicia-se, então, o primeiro período, conhecido como período de secagem a taxa constante, onde ocorre a evaporação da umidade não ligada, na superfície do sólido. A taxa é estabelecida por um balanço, onde todo o calor que atinge a superfície corresponde ao calor requerido para a evaporação. A temperatura superficial é constante e igual à temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ ). A superfície do sólido permanece com uma camada de líquido constituída por água não ligada. Esta é constantemente alimentada pela migração interna de umidade, que compensa a evaporação superficial. A taxa de secagem pode ser representada segundo a equação (TREYBAL, 1980):

$$Na = \frac{h(T_g - T_{bu})}{\lambda} \quad (1)$$

onde  $Na$  = fluxo mássico,  $h$  = coeficiente de transferência de calor,  $T_g$  = temperatura do ar,  $T_{bu}$  = temperatura de bulbo úmido do ar,  $\lambda$  = calor latente de vaporização da água a  $T_{bu}$ .

Conforme a secagem prossegue, a migração interna de umidade para a superfície diminui, e se torna insuficiente para compensar a evaporação da

água. A superfície deixa de ser saturada. O conteúdo de umidade correspondente a esse ponto é denominado “umidade crítica”. Inicia-se, portanto, o segundo período de secagem, ou período de taxa decrescente. Chirife (1980) destaca que os valores da umidade crítica não são somente característicos de cada material alimentício, mas também dependentes de outros fatores tais como espessura da peça e condições do ar.

Nesse estágio, se aparecerem áreas secas pontuais sobre a superfície, isso poderá resultar num período de evaporação de superfície insaturada. A superfície, eventualmente, seca até o conteúdo de umidade de equilíbrio com o ar de secagem. A partir daí a secagem ocorre a taxas completamente controladas pelas taxas de difusão dentro do sólido, desde que estas sejam lentas a baixos conteúdos de umidade (TREYBAL, 1980). Portanto, o período de taxa decrescente pode apresentar duas etapas, uma de evaporação de superfície insaturada e outra em que a difusão interna de umidade controla a taxa de secagem.

Na secagem convectiva de frutas e hortaliças, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase, enquanto as partes externas do material estão com baixo conteúdo de umidade, o interior ainda pode conter quantidades significativas de água. O processo consome grandes quantidades de energia nessa etapa e os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados devido à elevação da temperatura (NIJHUIS, *et al.*, 1996, *apud* MURARI, 2000). A secagem se encerra quando o sólido inteiro atinge a umidade de equilíbrio.

Para se descrever o processo de secagem no período de taxa decrescente, utilizam-se modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos. Esses modelos são geralmente baseados no fenômeno de transferência de massa, negligenciando-se o efeito de transferência de calor. A teoria da difusão da umidade como líquido e/ou vapor é a principal teoria utilizada para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas (SOBRAL, 1987). Esta é representada pela segunda lei de Fick, apresentada na forma geral, a seguir;

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

onde  $X$  é a fração de massa de água, em base seca (bs),  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo e  $t$ , o tempo.

Como o fenômeno de migração é complexo, trabalha-se com uma difusividade efetiva, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas para a segunda lei de Fick aplicam-se a sólidos de formas geométricas simples e constantes ao longo do processo.

A cinética de secagem também pode ser analisada por equações semi-teóricas, como o modelo de Lewis (1921), também referido como modelo exponencial, que é uma equação análoga à lei de resfriamento de Newton. O modelo de Lewis se baseia na teoria da difusão, mas assume que a resistência ocorre na superfície das partículas e, na sua forma integrada, é comumente chamada de exponencial (SOBRAL, 1987):

$$X = \exp(-Kt) \quad (3)$$

onde  $K$  é a constante da equação, em  $s^{-1}$ .

Modelos empíricos também são largamente utilizados, como a equação de Page (DAUDIN, 1983). Esta é semelhante à equação anterior, sendo que apresenta uma constante adicional,  $n$ :

$$X = \exp(-Kt^n) \quad (4)$$

onde  $K$  é a constante da equação, em  $s^{-n}$ .

A secagem convectiva é influenciada pela desidratação osmótica prévia. Como observado por Rodrigues (2003), em geral a impregnação prévia dos tecidos reduz as taxas de secagem em comparação com o tecido fresco. Isso foi constatado em seu trabalho através da determinação da difusividade da água durante a secagem de fatias de maçã previamente tratadas em soluções de sacarose. Karathanos *et al.* (1995) também concluíram que a difusividade diminuía significativamente durante a secagem quando cilindros de maçã eram pré-tratados osmoticamente em soluções de sacarose ou de glucose (15%, 30% e 45%, p/p) por 12 horas. Simal *et al.* (1997) conduziram trabalho

semelhante também com maçãs e perceberam forte redução nos coeficientes do material tratado. Além disso, o encolhimento resultou maior para as maçãs não tratadas. Rahman & Lamb (1991) também chegaram à mesma conclusão secando fatias de abacaxi com ar aquecido a 60°C, frescas e pré-tratadas osmoticamente.

Por outro lado, alguns trabalhos não têm reportado redução das taxas de secagem devido aos pré-tratamentos osmóticos, como é o caso da secagem convectiva de tomates pré-tratados osmoticamente (30% de sacarose e 10% de NaCl, 2h), cujo tempo de secagem foi reduzido significativamente (MURARI, 2000). Colligan *et al.* (1992), por sua vez, observaram que, para maçã, banana, manga e damasco, não houve diferença significativa no período de secagem e no consumo de energia, quando a secagem (60°C, 2 m/s) das frutas frescas foi comparada com a das frutas impregnadas com sacarose. Park *et al.* (2003) obtiveram coeficientes efetivos de difusão de água maiores para cubos de pêra desidratados osmoticamente do que para cubos não tratados, quando utilizaram velocidade do ar de secagem igual a 2 m/s. A diferença entre os coeficientes aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem (40, 60 e 80°C). A rápida perda de água das amostras não tratadas provavelmente causou formação de áreas superficiais endurecidas, o que reduziu a eficiência da secagem. Isso não foi observado quando a velocidade do ar foi igual a 1 m/s, devido à menor taxa de perda de água nessa condição. O pré-tratamento reduziu esse efeito, através do menor teor inicial de umidade. Resultados semelhantes também foram obtidos em secagem de carambolas pré-tratadas em soluções de sacarose a 50%, p/p, quando a secagem foi conduzida a 70°C (SHIGEMATSU, 2004).

De maneira geral, observa-se um interesse crescente de pesquisadores em relação à secagem osmo-convectiva como uma alternativa para a obtenção de produtos desidratados de melhor qualidade que aqueles obtidos pela secagem convencional. A combinação da DO com a secagem também se mostra atrativa por envolver processos tecnologicamente simples e de baixo custo, especialmente se comparados ao processo de liofilização. No entanto, há muito que ser estudado nessa área, uma vez que tecidos vegetais são

materiais de estrutura complexa, dificultando o estabelecimento de modelos para projeto e controle desses processos.

### 3. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de pré-tratamentos osmóticos e temperaturas do ar sobre a cinética de secagem convectiva e sobre a qualidade sensorial de abóboras desidratadas na forma de fatias, utilizando sacarose e NaCl como solutos.

Para tanto, com o intuito de selecionar pré-tratamentos, foi avaliada a influência de diferentes concentrações de soluções sobre a eficiência (perda de água/ganho de soluto) da desidratação osmótica de abóboras em fatias assim como sobre a impregnação de sódio nas mesmas. Os tratamentos mais eficientes e que proporcionaram conteúdo de sódio aceitável no produto final, foram aplicados às fatias de abóbora antes das secagens a 60 e 70°C. Visando a obtenção de produtos desidratados de boa aceitação para consumo direto, a qualidade sensorial das fatias pré-tratadas e não tratadas, secas a 70°C, foi avaliada.



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. MATÉRIA PRIMA

Os experimentos foram realizados no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista/UNESP, São José do Rio Preto.

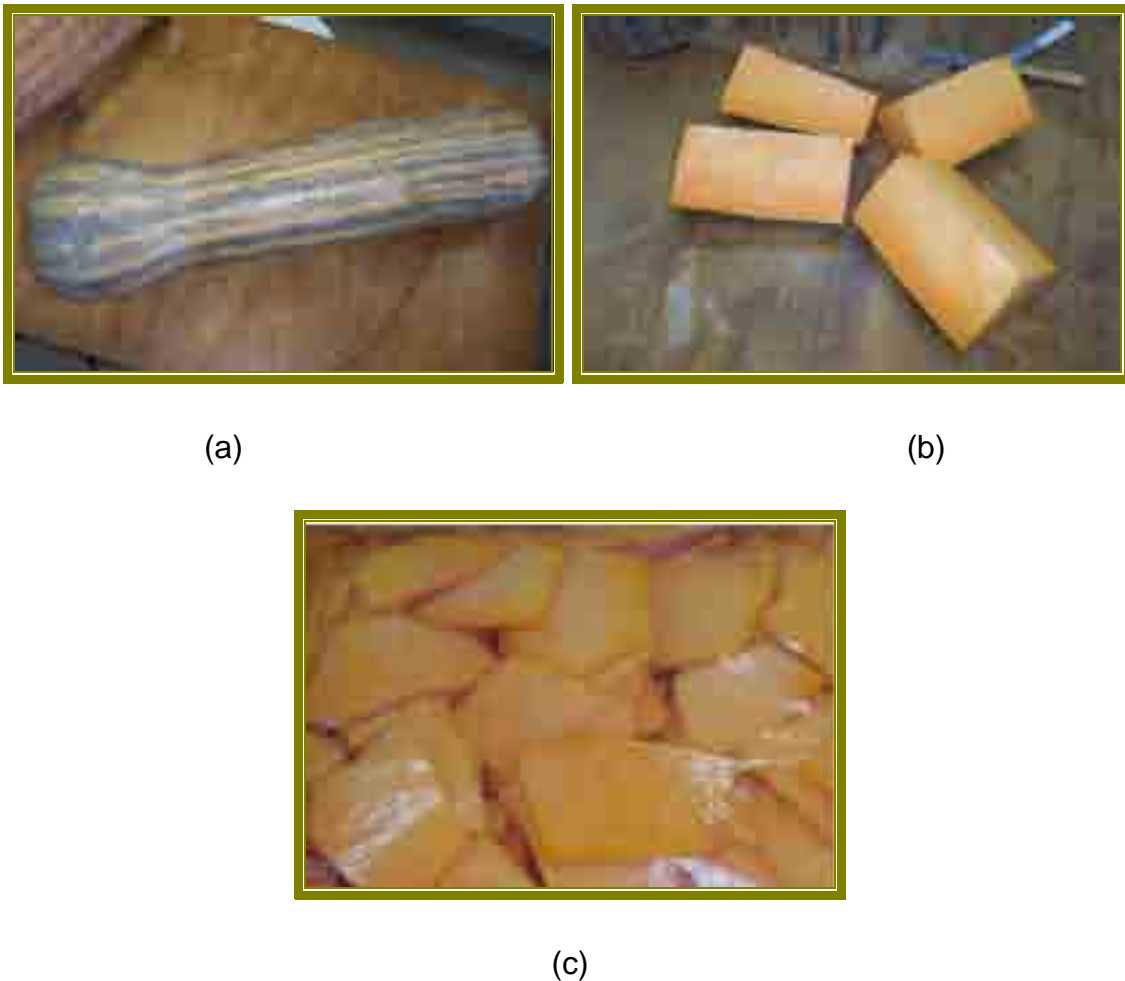
Abóbora (*Curcubita moschata*) variedade Rajada Seca Melhorada, no estágio maturo, com aproximadamente 30 kg, foram adquiridas no mercado local – CEAGESP (São José do Rio Preto) e armazenadas em temperatura ambiente. Os agentes osmóticos foram sacarose (açúcar refinado comercial) e NaCl (sal comercial).

### 4.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

#### 4.2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Devido ao seu tamanho (média de 30 kg), as abóboras tiveram as pontas desprezadas e foram segmentadas transversalmente em três peças para facilitar a manipulação. As peças foram quarteadas no sentido longitudinal e duas partes opostas de cada uma foram combinadas e usadas para o mesmo experimento. Removeu-se a casca e o miolo, de tecido esponjoso, e os quartos foram cortados mais uma vez no sentido longitudinal para diminuir o seu tamanho. Foram então fatiados em cortador elétrico de frios (Marca Eco), regulado para espessura de 0,4 cm. As fatias foram colocadas em saco plástico e misturadas, e retiradas aleatoriamente amostras representativas.

A **Figura 1** mostra as etapas envolvidas na preparação das amostras.



**Figura 1:** (a) abóbora variedade Rajada Seca Melhorada; (b) corte longitudinal em quartos; (c) fatias.

#### 4.2.2. SELEÇÃO DOS TRATAMENTOS OSMÓTICOS

Ensaio preliminares foram realizados com o objetivo de verificar a influência das soluções de açúcar e sal, e do tempo, sobre a eficiência da desidratação osmótica. A eficiência foi medida considerando a relação entre perda de água e ganho de solutos durante a DO.

Em um primeiro ensaio, fatias de abóboras foram desidratadas em soluções aquosas com 50%, 40% e 30% de sacarose e em soluções combinadas de sacarose-NaCl, com 45%-5%, 35%-5% e 25%-5%, p/p, durante uma e duas horas a temperatura constante de 27°C, representado condição ambiente. Para a condução simultânea dos ensaios com as diversas soluções

osmóticas e com uma mesma abóbora, foram utilizados recipientes cilíndricos de vidro, de 800 ml, com tampa, em incubadora refrigerada (Marconi, modelo MA 830/A) com plataforma de agitação orbital (160 rpm) e temperatura controlada (27°C). Aproximadamente 50 g de fatias de abóbora foram desidratadas em 800 g de solução, em duplicata (**Figura 2**). A massa, os sólidos totais e o teor de sódio foram medidos antes e depois da DO. O teor de açúcares totais e redutores foi determinado nas amostras antes da DO. O teor de açúcar, após a DO, foi calculado por diferença, através de balanços de massa.

Considerou-se como valor limite de conteúdo de NaCl nas fatias de abóboras desidratadas, 6g/100g de matéria seca, o que corresponde, numa porção de 20 g do produto desidratado, aproximadamente 20% do valor diário de referência de ingestão de sódio com base em uma dieta de 2000 kcal (ANVISA, 2006).

Devido ao alto teor de sódio apresentado pelas amostras tratadas em soluções contendo 5% de NaCl, fez-se um segundo ensaio, no qual foram reduzidas as concentrações de sal nas soluções. As novas combinações de açúcar-sal foram 47%-3%, 37%-3% e 27%-3% p/p (1 e 2h, 27°C).



**Figura 2:** Processo da desidratação osmótica em incubadora.

Dentre os ensaios, foram selecionados os tratamentos osmóticos que proporcionaram maior eficiência, isto é, maior relação entre perda de água e ganho de soluto, calculada sobre a massa seca.

### 4.2.3. PROCESSAMENTO

Com os tratamentos osmóticos selecionados como os mais eficientes, realizaram-se os ensaios de secagem osmo-convectiva, onde a desidratação osmótica foi conduzida numa escala maior que a utilizada na pré-seleção.

#### 4.2.3.1 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Quatro cestos construídos em nylon (10x10x10 cm) com repartição intermediária e dispendo de tampa de aço inoxidável em cada uma das partes, foram utilizados para comportar as amostras (aproximadamente 200g em cada cesto). Estes foram dispostos dentro de uma cuba quadrada construída em aço inoxidável, de dimensões de 30x30x35 cm, com camisa externa. Utilizou-se aproximadamente 20 kg de solução aquosa preparada com açúcar e água destilada, ou com combinações de açúcar e sal. A agitação da solução foi conduzida por um agitador mecânico com 1,6 kw de potência (Marconi, modelo MA-261) com hélice naval (10 cm de diâmetro), na rotação de 1000 rpm. A temperatura da solução foi mantida em 27°C por meio de água circulando na camisa externa, bombeada a partir de um banho ultratermostatizado (Marconi, modelo MA-184) que dispõe de refrigeração.



**Figura 3:** Cuba, agitador mecânico e banho termostático, utilizados para desidratação osmótica.

O tempo de processo pré-selecionado foi uma hora, pois durante este período o ganho de sacarose e sal foi menor, além de maior eficiência nos tratamentos. Após esse tempo as amostras foram retiradas do banho osmótico e limpas com pano umedecido e papel absorvente. Após serem pesadas, retiraram-se algumas amostras aleatoriamente para realização das análises de sólidos totais, sódio, açúcares redutores e totais, homogeneizadas com um “mixer”.

#### **4.2.3.2. SECAGEM CONVECTIVA**

Amostras sem pré-tratamento e tratadas osmoticamente nas condições selecionadas foram secadas em secador de bandejas com fluxo de ar paralelo à superfície dos sólidos, empregando ar aquecido a 60 e 70°C. Os ensaios foram realizados em secador construído no departamento, que dispõe de um ventilador centrífugo (Ibram, modelo CV3600) com motor de 2 CV. A velocidade do ar é controlada por um inversor de frequência (WEG,  $\mu$ line, modelo ML-7.0/200-240) ligado ao motor do ventilador, sendo que a calibração é feita previamente aos ensaios, com anemômetro de ventoinha (Airflow, modelo LCA 6000). A câmara de secagem tem área transversal igual a 961 cm<sup>2</sup> (31x31 cm). Acoplada ao secador há uma balança semi-analítica (Gehaka, modelo BG 4000), com precisão de 0,01 g e capacidade para 4.000 g. Esta dispõe de uma interface RS232 para a transmissão de dados a um microcomputador, onde foram registrados os valores de peso a cada segundo. Foi utilizado um programa fornecido pelo fabricante da balança, compatível com planilhas eletrônicas do Excel da Microsoft. Para controle de temperatura, foi utilizado um controlador microprocessado com indicação digital (Novus, modelo N480D), com sensor tipo PT 100. O prato da balança foi substituído por uma estrutura construída para apoiar três bandejas de tela metálica, dispostas paralelamente ao fluxo de ar, nas quais foram distribuídas, em cada uma, aproximadamente 100 g de fatias de abóbora. As amostras ficavam acomodadas entre duas telas de metal, para impedir deformação exagerada durante a secagem. O processo foi conduzido com recirculação total do ar, sendo que este passava por uma barreira de dois centímetros de espessura,

constituída por esferas de sílica gel dispostas entre duas telas metálicas, homogeneizando o fluxo. Temperatura de bulbo úmido e seco foram medidas antes e depois da câmara de secagem. A velocidade do ar foi mantida relativamente alta (2 m/s), com o intuito de minimizar a influência da resistência externa. Com isso, considerou-se como condição de superfície a concentração de água de equilíbrio obtida ao fim da secagem, quando o peso não variou mais com o tempo.

Sólidos totais, açúcares totais e redutores e teor de sódio foram determinados antes e depois de cada secagem.

A **Figura 4** mostra o secador utilizado nas secagens que era ligado com uma hora de antecedência às secagens para a estabilização da temperatura e da balança. A **Figura 5** mostra a disposição das bandejas que eram colocadas uma a uma já com as amostras previamente pesadas (a) e as amostras já desidratadas que, após o término das secagens, eram colocadas dentro de vidros com tampa para evitar a entrada de umidade.

Para a análise de umidade, as amostras secas eram trituradas em um “mixer” e em seguida pesadas em pesa-filtro e colocadas na estufa a 60°C.



**Figura 4:** Vista geral do secador.



(a)



(b)

**Figura 5:** (a) bandejas com amostras dispostas no interior do secador;

(b) amostras desidratadas.

### 4.3. MÉTODOS ANALÍTICOS

#### 4.3.1 Determinação de Açúcares Redutores e Totais

Para a determinação de açúcares totais e redutores, a metodologia adotada foi titulação de óxido-redução (WILLIAM, 1970).

No método de Eynon-Lane, uma quantidade conhecida de solução alcalina de  $\text{Cu}^{2+}$ , na forma de um complexo com tartarato, é titulada com a solução de açúcar redutor, formando  $\text{Cu}_2\text{O}$  e o ácido do açúcar. O indicador utilizado é o azul metileno, que estará na forma reduzida e incolor após o ponto de viragem. A solução deve estar em ebulição durante a titulação, principalmente após a adição do indicador, para aumentara velocidade da reação e para prevenir a entrada de oxigênio, que pode re-oxidar o azul de metileno. A titulação deve durar no máximo 3 minutos, porque pode haver decomposição dos açúcares com o aquecimento prolongado.

Os açúcares das amostras previamente trituradas e pesadas foram extraídos pela adição de água destilada e agitação. A seguir as amostras foram clarificadas em volumes iguais de ferrocianeto de potássio 0,25M e acetato de zinco 1M, e filtradas. A titulação desse filtrado resultava nos açúcares redutores expressos em porcentagem de glicose na amostra. Parte dessa solução era adicionada de ácido clorídrico, aquecida a 68-70°C para hidrólise da sacarose, e titulada, resultando nos açúcares totais, também expressos em porcentagem de glicose. A diferença entre os açúcares totais e os redutores, multiplicada por 0,95, correspondia à porcentagem de sacarose presente na amostra.

Cada amostra foi preparada em triplicata, sendo analisadas duas amostras. Em caso de dúvida, a terceira amostra era também analisada. As titulações foram realizadas, no mínimo, em triplicata.



### **4.3.2 Determinação de sódio**

A concentração de sódio em cada fatia foi determinada pelo método de espectrofotometria de chama (WILLIAMS, 1984) em fotômetro (Digimed, modelo DM-61).

As amostras in natura e tratadas osmoticamente eram previamente pesadas em béquer (previamente triturada em “mixer”), em triplicata, e água destilada era adicionada para desintegração da amostra com bastão de vidro. A solução era filtrada e transferida para um balão volumétrico, completando-se o volume com água. Era feita a leitura em sódio das soluções das amostras tratadas e não tratadas através do fotômetro. Para a análise de sal foi preparada uma solução padrão de sal. Preparou-se o padrão primário de NaCl em água destilada, com 20 ppm de sódio, secando-se previamente o sal em mufla a uma temperatura de 300°C durante 1 hora.

### **4.3.3 Determinação dos sólidos totais**

A determinação dos sólidos totais foi realizada por secagem em estufa a vácuo a 60°C até peso constante, de amostras em triplicata, nos ensaios preliminares de desidratação osmótica, e de amostras em quintuplicata, nos ensaios de definitivos de secagem.

## **4.4. AVALIAÇÃO SENSORIAL**

Para avaliar o efeito dos pré-tratamentos na aceitação da cor, aparência geral, sabor e textura do produto, fatias de abóbora tratadas e não tratadas secas a 70°C durante 6 horas foram avaliadas sensorialmente por uma equipe de 26 provadores não treinados utilizando escala hedônica de nove pontos, variando entre “desgostei muitíssimo” (nota 1) e “gostei muitíssimo” (nota 9). A temperatura de 70°C foi selecionada devido à boa aparência e crocância dessas amostras, obtidas em menor tempo de secagem que a 60°C. Os resultados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey utilizando o programa Excel-Microsoft. As cinco diferentes

amostras foram servidas, ao mesmo tempo, em pires de porcelana codificados com números aleatórios de três dígitos e analisadas em cabines individuais com luz branca. Uma primeira ficha foi entregue ao provador, na qual ele avaliou a aparência geral e a cor. Em seguida, mediante concordância do provador, outra ficha foi entregue para a análise do sabor e da textura.

## 4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.5.1. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A eficiência da DO foi calculada, para cada tratamento, com base na perda de água e ganho de solutos, determinados por meio do levantamento de dados experimentais de massas, teores de sólidos totais, de sódio e, nos ensaios definitivos, açúcares totais e redutores. Com base neste levantamento, foram realizados os balanços de massa.

A variação total de massa ( $\Delta M$ ) em relação à massa inicial é representada segundo

$$\Delta M = \frac{M^0 - M}{M^0} \times 100 \quad (5)$$

onde  $M$  representa a massa após um tempo  $t$  de desidratação osmótica, e  $M^0$  a massa no tempo inicial ( $t=0$ ).

A variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ) e de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) em relação à massa inicial pode ser calculada para cada tempo de processo, segundo:

$$\Delta M_a = \frac{(M^0 w_a^0) - (M w_a)}{M^0} \times 100 \quad (6)$$

e

$$\Delta M_{sac} = \frac{(M w_{sac}) - (M^0 w_{sac}^0)}{M^0} \times 100 \quad (7)$$

com  $w_a$  e  $w_{sac}$  representando, respectivamente, o teor de água e o teor de sacarose, após um tempo  $t$  de desidratação osmótica, e  $w_a^0$  e  $w_{sac}^0$ , os mesmos teores na abóbora fresca, em  $t=0$ .

O variação de massa de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), para os experimentos que utilizaram soluções mistas de sacarose-NaCl, é calculada de forma similar, através da equação:

$$\Delta M_{sal} = \frac{(M w_{sal}) - (M^0 w_{sal}^0)}{M^0} \times 100 \quad (8)$$

onde  $w_{sal}$  representa o teor de sal após um tempo  $t$  de processo e  $w_{sal}^0$  o teor inicial de sal na abóbora fresca.

A eficiência ( $E$ ) é medida pela relação entre a variação de massa de água e o ganho de solutos:

$$E = \frac{\Delta M_a}{\Delta M_{soluto}} \times 100 \quad (9)$$

onde  $\Delta M_{soluto}$  refere-se à variação de massa de sacarose ou de sacarose + sal.

#### 4.5.2. SECAGEM CONVECTIVA

Na secagem de frutas e hortaliças, a maior parte do processo transcorre no período de taxa decrescente, considerando-se, em geral, controle interno de migração de umidade por difusão. Portanto, a cinética de secagem foi avaliada através do modelo de difusão de Fick (equação 2). As soluções analíticas dessa equação aplicam-se a sólidos de formas geométricas simples. Considerou-se que o sólido, a fatia de abóbora, é uma placa plana infinita, com ambas as superfícies expostas ao ar de secagem, que a difusividade efetiva é constante e o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra é desprezível (MURARI, 2000). Tem-se a seguinte solução analítica, na forma integrada, isto é, em termos de concentração média, na placa, num tempo  $t$  (CRANK, 1975):

$$X = \frac{\bar{X}(t) - X^{eq}}{X^0 - X^{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2}\right] \quad (10)$$

onde  $X$  é a umidade residual média, adimensional,  $\bar{X}(t)$  a fração de massa de água (bs) média, obtida na placa num tempo  $t$ .  $X^0$  e  $X^{eq}$  são as frações de massa de água (bs), onde 0 representa o instante inicial ( $t=0$ ) e eq, o equilíbrio.  $L$  é a espessura da amostra (placa plana).

O conteúdo inicial de umidade na amostra foi considerado homogêneo, desprezando-se o gradiente de concentração existente nas amostras previamente tratadas:

$$X = X^0, \quad t = 0 \quad (11)$$

A resistência externa, durante a secagem, foi considerada desprezível, devido à alta velocidade do ar. A concentração na interface é representada pelo conteúdo de água na amostra, em equilíbrio com o ar de secagem, isto é:

$$X = X^{eq}, \quad t \geq 0 \quad (12)$$

No plano central da fatia, o gradiente de concentração é nulo:

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad t \geq 0 \quad (13)$$

Foi utilizada uma “espessura média”, calculada entre a espessura inicial e a espessura ao fim da secagem, com o intuito de considerar, de forma aproximada, o encolhimento que ocorre durante a secagem, uma vez que este é considerável. As espessuras das fatias, após a DO e após a secagem, foram calculadas considerando-se que os volumes são aproximadamente aditivos. Conseqüentemente, água, sacarose e sal, principais espécies que difundiram através do sistema, foram adicionados como componentes puros. A razão entre o volume do sólido ( $V$ ) após um tempo de processo (desidratação osmótica ou secagem) e o volume inicial ( $V^0$ ), foi calculada segundo:

$$\frac{V}{V^0} \times 100 = \left( \frac{V - V^0}{V^0} + 1 \right) \times 100 = \left[ \sum_k \left( \frac{M w_k - M^0 w_k^0}{V^0 \rho_k} \right) + 1 \right] \times 100 \quad (14)$$

onde  $M$  representa a massa após um tempo de processo,  $M^0$  é a massa inicial,  $w_k$  e  $w_k^0$  representam, respectivamente, a fração de massa (bu) final e inicial da substância  $k$  ( $k = a$  (água),  $sac$  (sacarose),  $AR$  (açúcares redutores) ou  $sal$  (NaCl), dependendo do processo), e  $\rho_k$  representa a densidade dessas substâncias puras. Por fim, a variação na espessura foi calculada considerando-se que o encolhimento ocorre igualmente em todas as dimensões.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. SELEÇÃO PRÉ-TRATAMENTOS OSMÓTICOS

O teor final de umidade, a variação total de massa (equação 5), a variação de massa de água (equação 6), de sacarose, de sal (equação 8) e a eficiência do processo (equação 9) são apresentados após uma hora (**Tabela 1**) e duas horas (**Tabela 2**) de desidratação osmótica de fatias de abóbora em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl. A variação de sacarose foi calculada por diferença, subtraindo-se  $\Delta M$  de  $\Delta M_a$  e, quando pertinente, subtraindo-se também  $\Delta M_{sal}$ .

**Tabela 1:** Teor de água ( $w_a$ ), variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), após uma hora de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl.

| Concentração da solução osmótica (% p/p) |      | $w_a$ | $\Delta M$ | $\Delta M_a$ | $\Delta M_{sac}$ | $\Delta M_{sal}$ | $E$  |
|--|------|-------|------------|--------------|------------------|------------------|------|
| Sacarose                                 | NaCl | (%)   | (%)        | (%)          | (%)              | (%)              | (%)  |
| 50                                       | 0    | 72,99 | 37,30      | 46,95        | 9,65             | -                | 4,87 |
| 47                                       | 3    | 65,90 | 53,06      | 61,01        | 7,42             | 0,55             | 7,29 |
| 45                                       | 5    | 65,27 | 39,06      | 52,94        | 11,40            | 2,48             | 3,82 |
| 40                                       | 0    | 77,93 | 29,54      | 37,80        | 8,26             | -                | 4,58 |
| 37                                       | 3    | 68,93 | 48,10      | 56,19        | 7,34             | 0,74             | 6,45 |
| 35                                       | 5    | 67,92 | 40,78      | 52,49        | 9,54             | 2,17             | 4,49 |
| 30                                       | 0    | 83,08 | 25,73      | 31,01        | 5,28             | -                | 5,90 |
| 27                                       | 3    | 73,78 | 44,05      | 50,69        | 5,81             | 0,83             | 6,90 |
| 25                                       | 5    | 73,83 | 38,03      | 46,97        | 6,83             | 2,09             | 5,26 |

Composição inicial:  $w_a^0$  (%) = 92,72;  $w_{sac}^0$  (%) = 1,79;  $w_{AR}^0$  (%) = 2,26;  $w_{sal}^0$  (%) = 0,0041.

**Tabela 2:** Teor de água ( $w_a$ ), variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), após duas horas de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl.

| Concentração da solução osmótica (% p/p) |      | $w_a$ | $\Delta M$ | $\Delta M_a$ | $\Delta M_{sac}$ | $\Delta M_{sal}$ | $E$  |
|--|------|-------|------------|--------------|------------------|------------------|------|
| Sacarose                                 | NaCl | (%)   | (%)        | (%)          | (%)              | (%)              | (%)  |
| 50                                       | 0    | 65,23 | 44,90      | 56,78        | 11,87            | -                | 4,78 |
| 47                                       | 3    | 53,85 | 60,14      | 70,50        | 9,64             | 0,72             | 6,80 |
| 45                                       | 5    | 52,11 | 51,77      | 67,58        | 13,79            | 2,02             | 4,28 |
| 40                                       | 0    | 71,53 | 38,34      | 48,61        | 10,27            | -                | 4,74 |
| 37                                       | 3    | 60,26 | 53,78      | 64,11        | 9,49             | 0,85             | 6,22 |
| 35                                       | 5    | 60,26 | 46,88      | 60,71        | 11,72            | 2,10             | 4,40 |
| 30                                       | 0    | 79,29 | 30,78      | 37,83        | 7,05             | -                | 5,38 |
| 27                                       | 3    | 67,77 | 47,40      | 56,32        | 8,04             | 0,88             | 6,32 |
| 25                                       | 5    | 68,41 | 39,02      | 51,00        | 9,53             | 2,45             | 4,26 |

Composição inicial:  $w_a^0$  (%) = 91,97;  $w_{sac}^0$  (%) = 2,28;  $w_{AR}^0$  (%) = 2,07;  $w_{sal}^0$  (%) = 0,0063.

De maneira geral, a eficiência foi maior quando as fatias foram tratadas com soluções compostas de sacarose-sal que continham 3% de sal, por uma hora. A rápida perda de água, em comparação com o ganho de solutos, é freqüentemente observada nos primeiros 30 minutos de DO (KOWALSKA & LENART, 2001).

A influência do sal sobre a perda de água é significativa, o que é explicado pela capacidade de abaixamento da atividade de água por parte do NaCl. A atividade de água de uma solução de sacarose pode ser muito potencializada com a adição do sal (ROSS, 1975). No entanto, quando se compara a solução que contém 3% de sal com aquela com 5%, a perda de água em relação à massa inicial diminui na segunda solução, o que poderia ser justificado pelo elevado ganho de sólidos (**Tabela 1 e 2**). As membranas celulares que envolvem o conteúdo celular apresentam permeabilidade seletiva, permitindo a transferência de moléculas pequenas como a água ou os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , mas bloqueando a passagem de solutos de elevado peso molecular, como a sacarose (NOBEL, 1991, BIDWELL, 1979). Entretanto, quando as membranas celulares perdem essa propriedade, ocorre perda de parte do conteúdo celular para a solução osmótica e grande impregnação do

tecido com solutos provenientes da solução osmótica, uma vez que mais espaços intracelulares passam a ser disponíveis para a difusão desses solutos. Portanto, o elevado ganho de solutos observado em tratamentos com 5% de sal na solução osmótica pode ter sido causado por maiores alterações na estrutura celular do tecido em comparação com os demais tratamentos.

Na **Tabela 3** estão reportados os teores finais de sal no produto, em base seca, sendo que o teor de sódio é 2,54 vezes menor que o de NaCl. Constatase que o comportamento da impregnação de sal e açúcar pode variar bastante com o tempo e a combinação de solutos. De maneira geral, quanto maior o teor de sacarose na solução e maior o tempo de DO, maior será o conteúdo de sacarose e menor o de sal impregnado. Isso está relacionado ao ganho de soluto após uma hora (**Tabela 1**) e duas horas (**Tabela 2**) de processo. O ganho de sal acontece preponderantemente na primeira hora de DO, enquanto que o de sacarose prossegue na segunda hora de processo. Portanto, a massa de sacarose contribui para diminuir o teor de sal na massa seca total, após duas horas de DO, o que foi significativo nas composições de sacarose-NaCl com 45%-5% e 35%-5%, mas não na composição com 25%-5%, e tampouco nos tratamentos com 3% de sal na composição da solução.

**Tabela 3:** Conteúdo de sacarose calculado (bs) e conteúdo de sal medido (bs) nas amostras desidratadas osmoticamente em soluções compostas de sacarose-sal, durante 1 e 2h.

| Concentração da solução osmótica (% p/p) |      | Sacarose, g/100g de matéria seca |       | NaCl, g/100g de matéria seca |       |
|--|------|----------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| Sacarose                                 | NaCl | 1h DO                            | 2h DO | 1h DO                        | 2h DO |
| 47                                       | 3    | 60,59                            | 64,82 | 3,46                         | 3,97  |
| 45                                       | 5    | 62,31                            | 67,46 | 11,72                        | 8,77  |
| 37                                       | 3    | 59,71                            | 64,07 | 4,66                         | 4,64  |
| 35                                       | 5    | 59,65                            | 64,01 | 11,43                        | 9,97  |
| 27                                       | 3    | 55,14                            | 60,88 | 5,69                         | 5,24  |
| 25                                       | 5    | 53,20                            | 58,76 | 12,93                        | 12,73 |

Para melhor compreensão dessas variações, foi calculada a atividade de água das soluções utilizando sacarose e sacarose/sal, esta última através da



equação de predição de  $a_w$  proposta por Ross (1975), segundo a qual a  $a_w$  da solução multicomponente é simplesmente o produto dos valores de  $a_w$  das soluções preparadas com cada soluto, na mesma concentração encontrada na solução multicomponente.

Para a solução de sacarose, o cálculo da atividade de água foi feito a partir da equação (CHIRIFE *et al.*, 1980):

$$a_w = x_1 \exp(-Kx_2^2) \quad (15)$$

onde  $x_1$  = fração molar da água;  $x_2$  = fração molar do soluto;  $K = 6,47$ .

As atividades de água das soluções de sal são reportadas por Chirife & Resnik (1984).

A **Tabela 4** mostra o potencial de abaixamento da atividade de água do sal, quando este é adicionado em pequenas quantidades em soluções de sacarose. No entanto, o controle da impregnação depende de alterações estruturais no tecido, provocadas pelas soluções.

**Tabela 4:** Valores da fração molar de água ( $x_1$ ) e fração molar do soluto ( $x_2$ ) e respectivas atividades de água ( $a_w$ ) das soluções contendo um único soluto (sacarose ou NaCl) e da solução final, para diferentes concentrações osmóticas.

| Soluções Osmóticas      | Concentração da solução osmótica (% p/p) |        | $x_1$      | $x_2$       | $a_w$ solução de sacarose | $a_w$ solução de NaCl | $a_w$ solução final |
|-------------------------|--|--------|------------|-------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
|                         | Sacarose                                 | NaCl   |            |             |                           |                       |                     |
| 40% sacarose            | 40                                       | -      | 0,966      | 0,034       | 0,959                     | -                     | 0,959               |
| 50% sacarose            | 50                                       | -      | 0,95       | 0,05        | 0,935                     | -                     | 0,935               |
| 37% sacarose-<br>3% sal | 37<br>-                                  | -<br>3 | 0,969<br>- | 0,031<br>-  | 0,962<br>-                | -<br>0,972            | } 0,934             |
| 47% sacarose-<br>3% sal | 47<br>-                                  | -<br>3 | 0,953<br>- | 0,0471<br>- | 0,943<br>-                | -<br>0,966            | } 0,907             |
| 35% sacarose-<br>5% sal | 35<br>-                                  | -<br>5 | 0,970<br>- | 0,0298<br>- | 0,965<br>-                | -<br>0,952            | } 0,918             |

|                         |    |        |       |        |       |            |         |
|-------------------------|----|--------|-------|--------|-------|------------|---------|
| 45% sacarose-<br>5% sal | 45 | -<br>5 | 0,955 | 0,0452 | 0,942 | -<br>0,935 | } 0,881 |
|-------------------------|----|--------|-------|--------|-------|------------|---------|

Comparando a solução de 47% sacarose-3% sal com a de 35% sacarose-5% sal, que apresentam atividades de água próximas, observa-se menor saída de água e maior impregnação na solução mais diluída e com maior teor de sal (35% sacarose-5% sal, **Tabelas 1 e 2**). Isso corrobora a hipótese de que o sal, na concentração de 5% em solução, causa mudanças estruturais, alterando a permeabilidade das membranas, o que facilita a impregnação tanto da sacarose quanto do próprio sal.

Não se exclui o fato de que o sal pode difundir com facilidade através das membranas celulares (BIDWELL, 1979), o que acarretaria na sua maior impregnação. Porém, esse fato não explica a impregnação semelhante de sacarose observada em tecidos expostos às soluções que continham 35% e 47% dessa substância (**Tabela 3**, teores de sal e sacarose em base seca).

A partir desses resultados preliminares de eficiência e teor de sódio obtido no produto final, foram selecionadas as seguintes condições de tratamento osmótico: soluções de 50% e 40% de sacarose e soluções combinadas de açúcar-sal de 47-3% e 37-3%, com o tempo de desidratação osmótica de uma hora.

## 5.2 SECAGEM OSMO-CONVECTIVA

Abóboras em fatias, sem tratamento ou pré-tratadas em soluções osmóticas a 50% e 40% de sacarose, e 47-3% e 37-3% de açúcar-sal, por uma hora, foram submetidas à secagem a 60 e 70°C.

Na **Tabela 5** estão apresentados os teores de água (bu) da abóbora fresca, na condição inicial ( $w_a^0$ ), após a DO ( $w_a^{DO}$ ) e após a secagem ( $w_a^S$ ) a 60°C. Na **Tabela 6** são apresentados os mesmos resultados para a secagem a 70°C.

Alguns ensaios de secagem foram repetidos, sendo que os identificados pelo algarismo (I) foram conduzidos durante o tempo necessário para as

amostras entrarem em equilíbrio com as condições do ar aquecido, o que variou entre 8 e 10 horas de secagem. Ensaios identificados pelo algarismo (II), nos quais foram preparadas as amostras para a avaliação sensorial, as secagens foram conduzidas por 6 horas. Além disso, em relação aos pré-tratamentos dos ensaios (I), as análises de açúcares e sódio foram conduzidas nas amostras frescas e desidratadas osmoticamente, enquanto que nos ensaios (II), somente as amostras frescas foram analisadas e, portanto, a variação de solutos foi calculada pela diferença entre a variação de água e a variação total de massa ( $\Delta M_a - \Delta M$ ).

**Tabela 5:** Conteúdo de água nas abóboras tratadas e não tratadas, em base úmida, analisado no tecido sem tratamento, após a desidratação osmótica (DO) e após a secagem (S) a 60°C.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | $w_a^0$<br>(%) | $w_a^{DO}$<br>(%) | $w_a^S$<br>(%) | $w_a^S$<br>(%) |
|--|------|------|----------------|-------------------|----------------|----------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      |                |                   | 6 hs           | equilíbrio     |
| 50                                       | 0    | (I)  | 93,06          | 75,12             | 6,64*          | 5,41           |
| 47                                       | 3    | (I)  | 93,64          | 61,38             | 5,27*          | 4,67           |
| 40                                       | 0    | (I)  | 93,92          | 79,23             | 6,24*          | 5,22           |
| 37                                       | 3    | (I)  | 94,72          | 70,62             | 6,74*          | 5,60           |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | 93,64          | -                 | 3,33*          | 2,52           |
|  |      | (I)b | 91,20          | -                 | 4,47*          | 2,65           |
|  |      | (I)c | 94,78          | -                 | 6,43*          | 3,69           |

(I): secagem até peso constante;

\*Valores lidos nas curvas de secagem

**Tabela 6:** Conteúdo de água nas abóboras tratadas e não tratadas, em base úmida, analisado no tecido sem tratamento, após a desidratação osmótica (DO) e após a secagem (S) a 70°C.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | $w_a^0$<br>(%) | $w_a^{DO}$<br>(%) | $w_a^S$<br>(%) | $w_a^S$<br>(%) |
|--|------|------|----------------|-------------------|----------------|----------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      |                |                   | 6 hs           | equilíbrio     |
| 50                                       | 0    | (I)  | 92,63          | 76,22             | 4,18*          | 3,45           |
| 47                                       | 3    | (I)  | 93,80          | 62,51             | 3,95*          | 3,31           |
|  |      | (II) | 92,90          | 73,78             | 5,17           |                |
| 40                                       | 0    | (I)  | 93,13          | 79,14             | 4,19*          | 3,26           |
|  |      | (II) | 91,36          | 78,74             | 4,31           |                |
| 37                                       | 3    | (I)  | 94,63          | 72,72             | 4,59*          | 3,89           |
|  |      | (II) | 91,57          | 73,01             | 5,13           |                |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | 91,16          | -                 | 3,16*          | 2,53           |
|  |      | (I)b | 94,78          | -                 | 6,35*          | 2,54           |
|  |      | (II) | 92,78          |                   | 2,11           |                |

(I): secagem até peso constante; (II):secagem por 6 horas;

\*Valores lidos nas curvas de secagem

Notam-se variações entre o teor inicial de água das diversas abóboras frescas, e diferença entre o teor de água das amostras após a desidratação osmótica em solução de sacarose-sal a 47%-3%. Esse comportamento tem sido observado com abóbora em outros trabalhos (MAURO et al., 2005) e parece estar mais relacionado à estrutura do tecido, como dureza e constituição fibrosa, do que à umidade inicial.

A **Tabela 7** demonstra a variação total de massa (equação 5), a variação de massa de água (equação 6), de sacarose (equação 7), de sal (equação 8) e a eficiência do processo (equação 9), dos ensaios de desidratação osmótica que precederam as secagens a 60°C, enquanto que a **Tabela 8** refere-se aos ensaios que precederam as secagens a 70°C. Nos ensaios identificados pelo algarismo (I), as análises de açúcares e sais foram conduzidas nas amostras frescas e desidratadas osmoticamente. Nos ensaios identificados por (II) isso não ocorreu, sendo que os sólidos ganhos foram calculados por diferença entre variação de massa de água e a variação total de massa ( $\Delta M_a - \Delta M$ ).

Observa-se que o máximo de perda de água ocorreu quando o tratamento osmótico foi conduzido em soluções com a presença de sal, o que não

significou máxima eficiência em todos os casos. A eficiência obtida nos ensaios preliminares (**Tabela 1** e **Tabela 2**) é aproximadamente reproduzida nos ensaios prévios à secagem, com exceção das repetições dos ensaios 47-3% e 37-3% (**Tabela 8**). É possível observar, mais uma vez, que as duplicatas dos ensaios demonstram considerável variação. Ao mesmo tempo, os desvios padrão, dentro de um mesmo ensaio, são baixos, demonstrando que, quando é utilizada uma mesma abóbora, há pouca diferença entre as diversas amostras.

**Tabela 7:** Variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), em uma hora de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl, conduzida previamente à secagem a 60°C.

| Concentração na<br>solução osmótica (%<br>p/p) |      |     | $\Delta M$ | $\Delta M_a$ | $\Delta M_{sac}$ | $\Delta M_{sal}$ | $E$        |
|--|------|-----|------------|--------------|------------------|------------------|------------|
| Sacarose                                       | NaCl |     | %          | %            | %                | %                | %          |
| 50   | 0    | (I) | 39,10±0,67 | 47,32±0,51   | 6,82±0,09        | -                | 6,94±0,17  |
| 47   | 3    | (I) | 58,01±0,49 | 67,87±0,30   | 5,82±0,08        | 0,90±0,01        | 10,10±0,18 |
| 40   | 0    | (I) | 34,12±1,68 | 41,72±1,33   | 6,84±0,19        | -                | 6,11±0,35  |
| 37   | 3    | (I) | 49,13±0,97 | 58,79±0,69   | 7,19±0,15        | 1,10±0,02        | 7,10±0,23  |

(I): análise se açúcares e sódio nas amostras frescas e desidratadas osmoticamente.

**Tabela 8:** Variação total de massa ( $\Delta M$ ), variação de massa de água ( $\Delta M_a$ ), de sacarose ( $\Delta M_{sac}$ ) e de sal ( $\Delta M_{sal}$ ), todas em relação à massa inicial ( $M^0$ ) das amostras, e eficiência ( $E$ ), em uma hora de desidratação osmótica em diferentes soluções de sacarose e sacarose-NaCl, conduzida previamente à secagem a 70°C.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | $\Delta M$ | $\Delta M_a$ | $\Delta M_{sac}$ | $\Delta M_{sal}$ | $E$        |
|--|------|------|------------|--------------|------------------|------------------|------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      | %          | %            | %                | %                | %          |
| 50                                       | 0    | (I)  | 34,44±1,09 | 42,66±0,83   | 6,22±0,14        | -                | 6,86±0,29  |
| 47                                       | 3    | (I)  | 60,13±1,02 | 68,87±0,64   | 6,82±0,20        | 0,85±0,02        | 8,98±0,35  |
|  |      | (II) | 40,07±0,80 | 48,68±0,59   |                  | 8,61*            | -5,66±0,21 |
| 40                                       | 0    | (I)  | 33,54±0,85 | 40,53±0,67   | 6,64±0,10        | -                | 6,11±0,20  |
|  |      | (II) | 29,02±1,69 | 35,47±1,33   | 6,45*            | -                | 5,52±0,51  |
| 37                                       | 3    | (I)  | 45,92±1,07 | 55,30±0,78   | 7,25±0,16        | 1,20±0,02        | 6,55±0,23  |
|  |      | (II) | 34,84±1,35 | 43,99±0,99   |                  | 9,15*            | 4,81±0,31  |

(I): análise se açúcares e sódio nas amostras frescas e desidratadas osmoticamente; (II) análise de açúcares e sódio somente nas amostras frescas.

\*Ganho de soluto (sacarose ou sacarose+NaCl), calculado por diferença: ( $\Delta M_a - \Delta M$ ).

### 5.2.1. ESPESSURA

Na secagem de grãos, mudanças de densidade, porosidade e encolhimento durante o processo são geralmente negligenciados. Esta suposição é feita por conveniência matemática, e é uma aproximação razoável, ainda que não seja necessariamente válida para toda faixa de umidade. Por outro lado, na secagem de frutas e vegetais, há uma mudança perceptível no volume durante o processo, e por essa razão, negligenciar o encolhimento pode ser uma aproximação grosseira. A consideração do encolhimento nos modelos matemáticos requer o uso de soluções numéricas. No entanto, aproximações baseadas em soluções analíticas da equação de difusão têm sido propostas, na maioria das vezes associadas à determinação dos coeficientes de difusão em função da concentração (SARAVACOS & RAOUZEOS, 1985, RAGHAVAN *et al.*, 1995).

O encolhimento de alimentos, em alguns casos, se iguala ao volume de água removido. Esse comportamento tem sido observado em cenouras, durante todo o processo de secagem (LOZANO *et al.*, 1983, KROKIDA & MAROULIS, 1997, *apud* MAYOR & SERENO, 2004). Outros produtos, no entanto, apresentam nas etapas finais de secagem, maior volume de água removido que redução no volume da amostra. Isso foi constatado em batata e batata doce (LOZANO *et al.*, 1983, WANG & BRENNAN, 1995, *apud* MAYOR & SERENO, 2004) e em maçã (KROKIDA & MAROULIS, 1997, LOZANO *et al.*, 1980, MOREIRA *et al.*, 2000, *apud* MAYOR & SERENO, 2004). Quando o processo está na faixa de baixo conteúdo de umidade e ocorre a transição de fase do estado borracha para o estado vítreo, a rigidez do material interrompe o encolhimento do mesmo e a formação de poros pode ocorrer paralelamente.

Estudos anteriores mostraram que o encolhimento de fatias de abóbora (*Cucurbita moschata*) varia proporcionalmente com o volume de água perdido durante a secagem. A densidade do tecido de abóbora fresco, tratado osmoticamente em soluções de sacarose (60%, p/p) e seco (com e sem tratamento), foi medida experimentalmente por picnometria, utilizando toluol como fluido de preenchimento, e os resultados mostraram que a redução de volume foi sempre semelhante à soma da variação dos volumes dos componentes, tanto durante a desidratação osmótica quanto durante a secagem (MAURO *et al.*, 2005).

As espessuras das fatias, após a DO e após a secagem, foram calculadas a partir da variação de volume das amostras (equação 14), considerando-se que o encolhimento ocorreu igualmente em todas as dimensões. Também se considerou que os volumes de água, sal e sacarose podem ser adicionados como componentes puros (equação 14). As densidades utilizadas foram  $1,588 \text{ g/cm}^3$  (sacarose) e  $2,163 \text{ g/cm}^3$  (NaCl) (PERRY & CHILTON, 1980). A densidade da abóbora in natura, considerada  $1,011 \text{ g/cm}^3$  (MAURO *et al.*, 2005), assim como a variação das massas de água, de sacarose e de sal, foram utilizadas no cálculo de encolhimento (**Tabela 9** e **Tabela 10**) e subsequente cálculo de espessura, considerando que todas as dimensões do sólido encolheram igualmente. Como os conteúdos finais de sacarose e de sal não foram medidos, separadamente, após os pré-

tratamentos das amostras, nos ensaios (II), um ganho médio de sal foi estimado com base nos resultados dos ensaios (I) para calcular o encolhimento.

**Tabela 9:** Variação volumétrica das abóboras durante o processo da desidratação osmótica (DO) e secagem (S) a 60°C, e encolhimento total.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | Encolhimento na DO:<br>$\frac{V^0 - V^{DO}}{V^0}$<br>(%) | Encolhimento na Secagem:<br>$\frac{V^{DO} - V^S}{V^{DO}}$<br>(%) | Encolhimento Total:<br>$\frac{V^0 - V^S}{V^0}$<br>(%) |
|--|------|------|--|--|---|
| Sacarose                                 | NaCl |      |  |  |   |
| 50                                       | 0    | (i)  | 43   | 79   | 88  |
| 47                                       | 3    | (I)  | 64   | 70   | 89  |
| 40                                       | 0    | (I)  | 37   | 82   | 89  |
| 37                                       | 3    | (I)  | 55   | 81   | 92  |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | -  | -  | 94  |
|  |      | (I)b | -  | -  | 92  |
|  |      | (I)c |  |  | 95  |

(I): secagem até peso constante.

**Tabela 10:** Variação volumétrica das abóboras durante o processo da desidratação osmótica (DO) e secagem (S) a 70°C, e encolhimento total.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | Encolhimento na DO:<br>$\frac{V^0 - V^{DO}}{V^0}$<br>(%) | Encolhimento na Secagem:<br>$\frac{V^{DO} - V^S}{V^{DO}}$<br>(%) | Encolhimento Total:<br>$\frac{V^0 - V^S}{V^0}$<br>(%) |
|--|------|------|--|--|---|
| Sacarose                                 | NaCl |      |  |  |   |
| 50                                       | 0    | (I)  | 38   | 79   | 87  |
| 47                                       | 3    | (I)  | 64   | 69   | 89  |
|  |      | (II) | 43   | 77   | 87  |
| 40                                       | 0    | (I)  | 36   | 82   | 89  |
|  |      | (II) | 31   | 81   | 87  |
| 37                                       | 3    | (I)  | 50   | 78   | 89  |
|  |      | (II) | 39   | 76   | 85  |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | -  | -  | 92  |
|  |      | (I)b | -  | -  | 96  |
|  |      | (II) |  |  | 94  |

(I): secagem até peso constante; (II):secagem por 6 horas.



As variações volumétricas durante a desidratação osmótica das fatias imersas em soluções compostas de sacarose-sal tendem a ser superiores àquelas observadas nas amostras tratadas somente com sacarose. As amostras que tiveram maior redução do volume durante a DO apresentaram menor variação na secagem. Isso resultou numa redução volumétrica total (DO + secagem) muito semelhante entre todas as amostras tratadas. A impregnação de sólidos contribuiu para reduzir o encolhimento das amostras tratadas em comparação com o volume final das amostras não tratadas.

Na **Tabela 11** e **Tabela 12** são reportadas as espessuras das amostras que foram pré-tratadas ou não e submetidas às secagens a 60 e 70°C. As espessuras foram calculadas com base na variação volumétrica (equação 14), considerando-se encolhimento semelhante em todas as dimensões. A espessura inicial se refere à dimensão antes da secagem ( $L_0$ ), medida nas amostras sem tratamento (4 mm) ou calculada após desidratação osmótica, como descrito acima.

**Tabela 11:** Espessuras das amostras sem tratamento ou desidratadas osmoticamente, calculadas antes das secagens a 60°C e após as secagens, e média entre espessura inicial e final.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | Espessura inicial, $L_0$<br>mm | Espessura após a secagem<br>Mm | Média<br>mm |
|--|------|------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      |                                |                                |             |
| 50                                       | 0    | (I)  | 3,3                            | 2,0                            | 2,6         |
| 47                                       | 3    | (I)  | 2,9                            | 1,9                            | 2,4         |
| 40                                       | 0    | (I)  | 3,4                            | 1,9                            | 2,7         |
| 37                                       | 3    | (I)  | 3,1                            | 1,8                            | 2,4         |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | 4,0                            | 1,5                            | 2,8         |
|  |      | (I)b | 4,0                            | 1,7                            | 2,9         |
|  |      | (I)c | 4,0                            | 1,4                            | 2,7         |

Espessura da amostra in natura = 4,0 mm (medida)

(I): secagem até peso constante.

**Tabela 12:** Espessuras das amostras sem tratamento ou desidratadas osmoticamente, calculadas antes das secagens a 70°C e após as secagens, e média entre espessura inicial e final.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | Espessura inicial, $L_0$<br>mm | Espessura após a secagem<br>mm | Média<br>mm |
|--|------|------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      |                                |                                |             |
| 50                                       | 0    | (I)  | 3,4                            | 2,0                            | 2,7         |
| 47                                       | 3    | (I)  | 2,8                            | 1,9                            | 2,4         |
|  |      | (II) | 3,3                            | 2,0                            | 2,7         |
| 40                                       | 0    | (I)  | 3,4                            | 1,9                            | 2,7         |
|  |      | (II) | 3,5                            | 2,0                            | 2,8         |
| 37                                       | 3    | (I)  | 3,2                            | 1,9                            | 2,6         |
|  |      | (II) | 3,4                            | 2,1                            | 2,8         |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | 4,0                            | 1,7                            | 2,9         |
|  |      | (I)b | 4,0                            | 1,4                            | 2,7         |
|  |      | (II) | 4,0                            | 1,6                            | 2,8         |

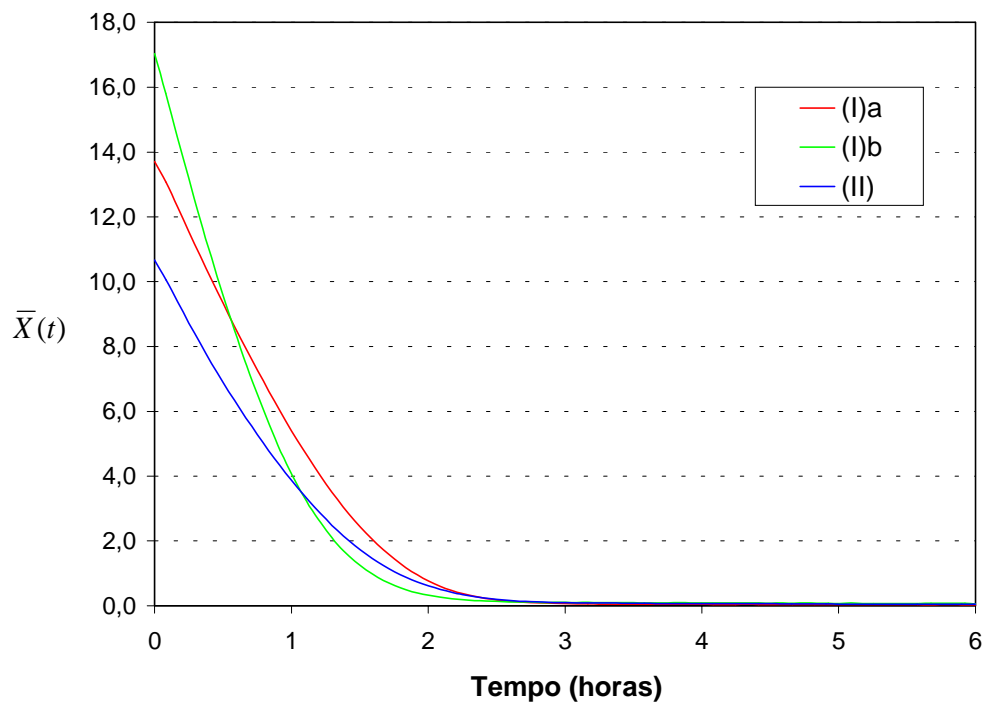
Espessura da amostra in natura = 4,0 mm (medida)

(I): secagem até peso constante; (II): secagem por 6 horas.

As espessuras foram utilizadas na determinação da difusividade da água durante a secagem, como será descrito no item a seguir.

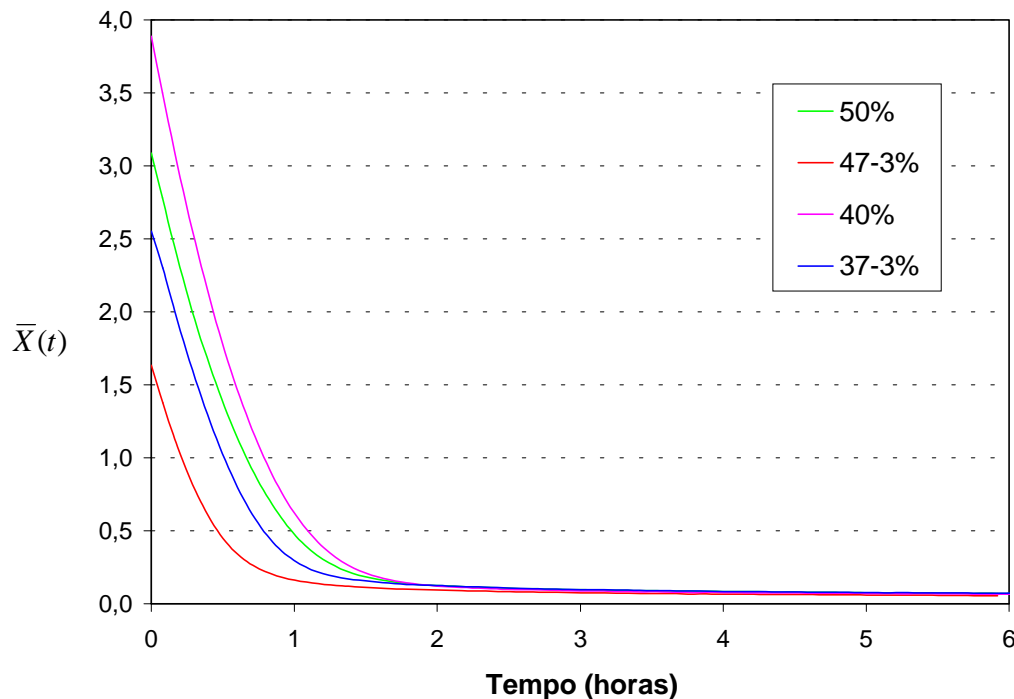
### 5.2.2. CINÉTICA DE SECAGEM

O conteúdo de umidade determinado experimentalmente em função do tempo, em base seca, é apresentado para secagem a 60°C de fatias de abóbora sem tratamento (**Figura 6**) e pré-tratadas osmoticamente (**Figura 7**). O número de pontos experimentais foi reduzido, resultando um desenho de linhas delgadas. Na **Figura 6**, constata-se a diferença da umidade inicial das abóboras utilizadas, que separa significativamente as curvas, durante as primeiras duas horas de secagem.



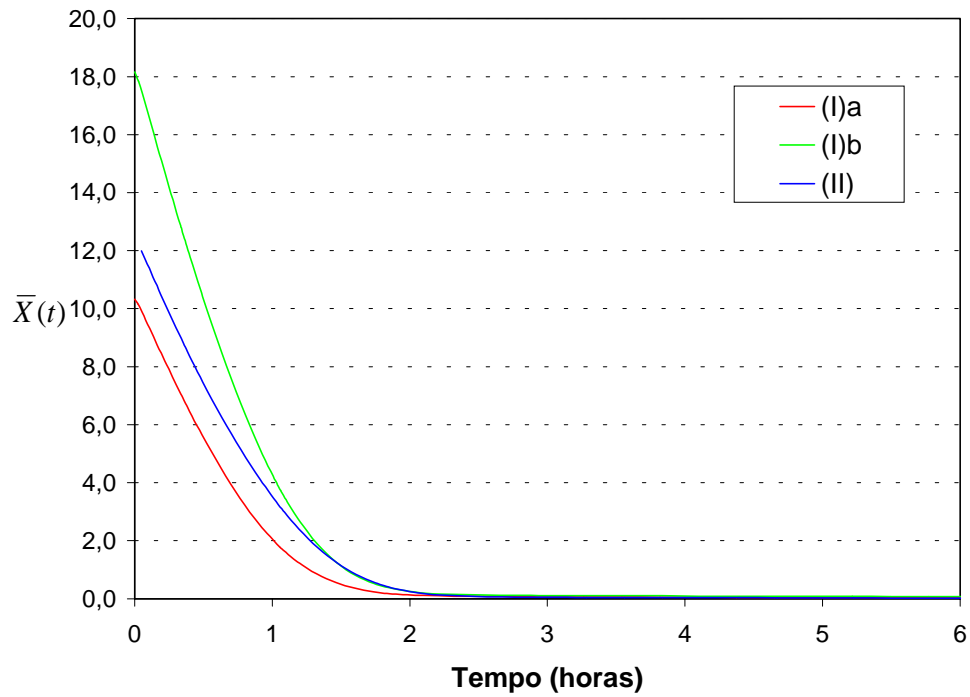
**Figura 6:** Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60°C, das fatias de abóboras sem pré-tratamento. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas.

As amostras frescas necessitam de quase 3 horas de secagem para atingirem uma umidade próxima daquela de equilíbrio. Quando as amostras são pré-tratadas (**Figura 7**), constata-se que, em duas horas de secagem, os níveis de umidade já são bastante baixos, ainda que demorem mais a estabilizar.

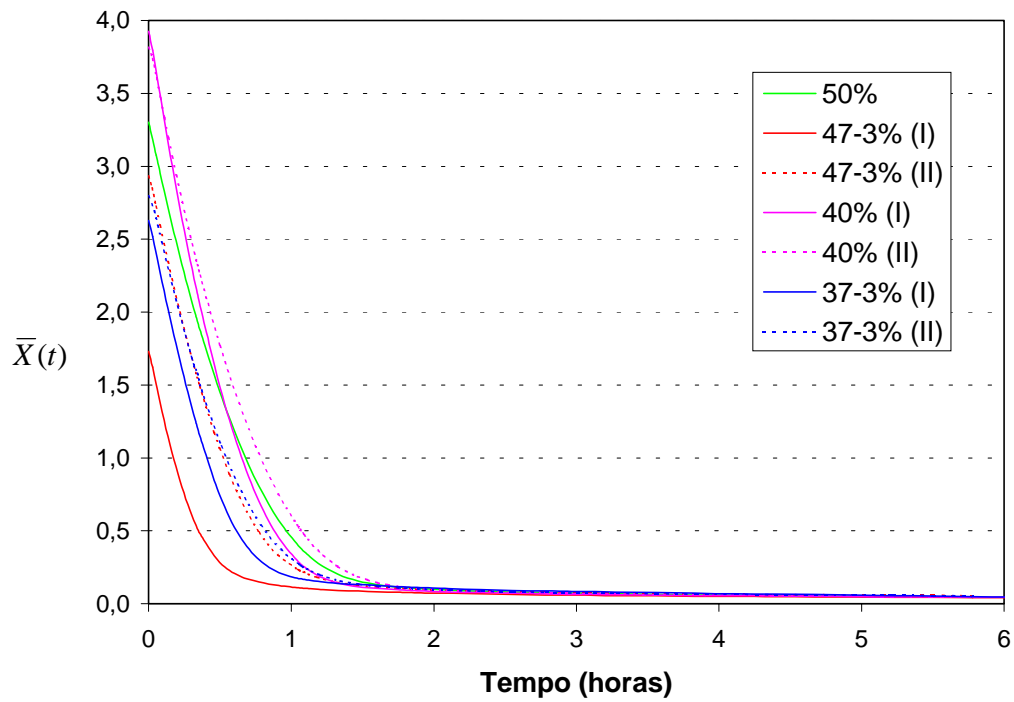


**Figura 7:** Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60°C, das fatias de abóboras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem com ar aquecido. Ensaios de secagem até peso constante (I).

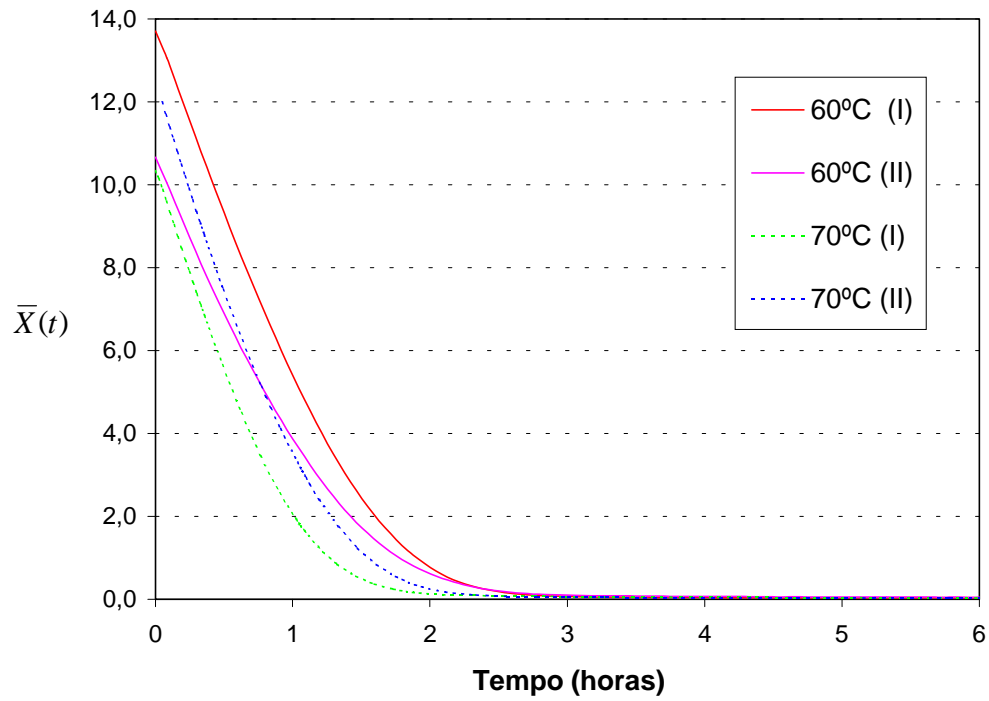
O conteúdo de umidade determinado experimentalmente em função do tempo, em base seca, também é apresentado para secagem a 70°C de fatias de abóbora sem tratamento (**Figura 8**) e pré-tratadas osmoticamente (**Figura 9**). Mais uma vez, constata-se diferença de conteúdo inicial de água entre as abóboras utilizadas (**Figura 8**), o que separa as curvas, durante as primeiras duas horas de secagem. Esse efeito é menos proeminente quando as amostras são tratadas (**Figura 9**), devido à umidade inicial ser bem menor para o tecido tratado, porém pode ser detectado nos ensaios correspondentes ao tratamento em solução de 47% sacarose-3% NaCl.



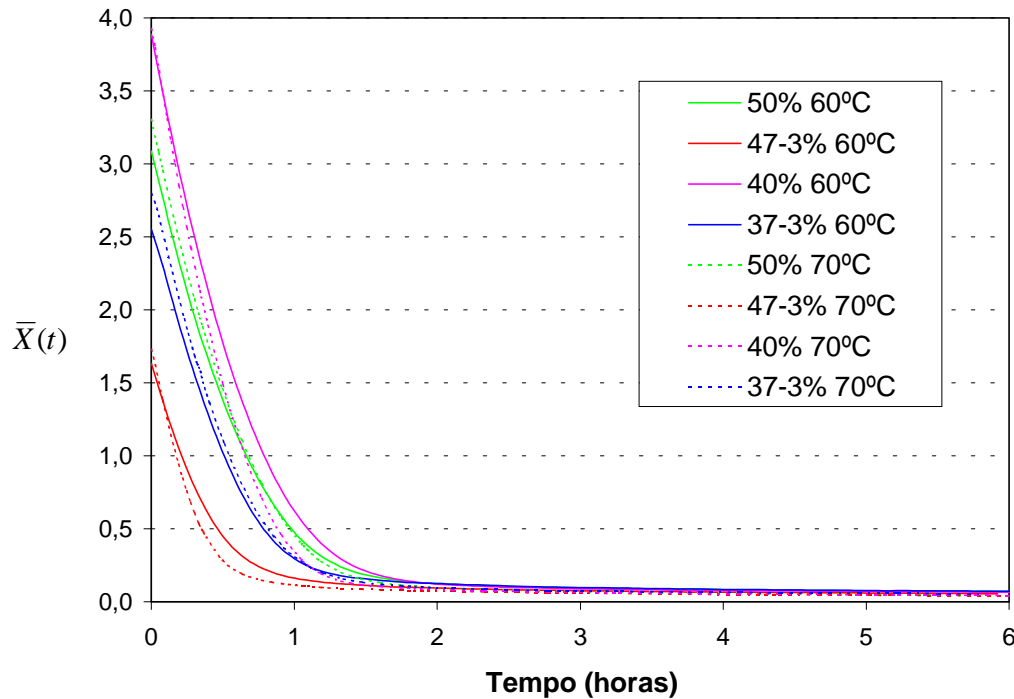
**Figura 8:** Comparação entre curvas experimentais de secagem a 70°C, das abóboras sem pré-tratamento. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas.



**Figura 9:** Comparação entre curvas experimentais de secagem a 70°C, das abóboras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem com ar aquecido. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas.



**Figura 10:** Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60 e 70°C, das abóboras sem pré-tratamento. (I) - secagem até peso constante; (II) - secagem por 6 horas.



**Figura 11:** Comparação entre curvas experimentais de secagem a 60 e 70°C, das abóboras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem com ar aquecido. Ensaio de secagem até peso constante (I).

Para estudar a transferência de massa durante a secagem, procedeu-se à análise dos períodos de secagem. A taxa de secagem foi avaliada através dos fluxos de massa de água evaporada, expressos como massa/(área x tempo). Para tanto foram determinadas pequenas variações no conteúdo de umidade ( $\Delta X$ ) e correspondente variação no tempo  $\Delta t$  (TREYBAL, 1980):

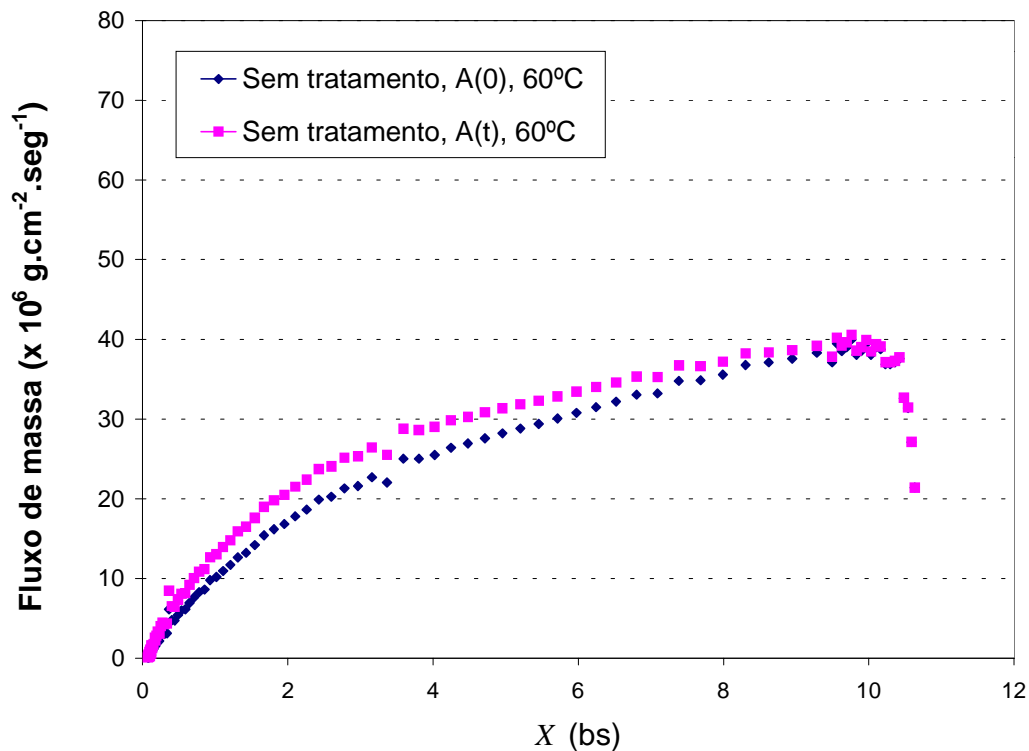
$$N = -S_s \frac{\Delta X}{A \Delta t} \quad (16)$$

$S_s$  representa a massa de sólidos secos e  $A$  é a superfície úmida através da qual a evaporação ocorre.

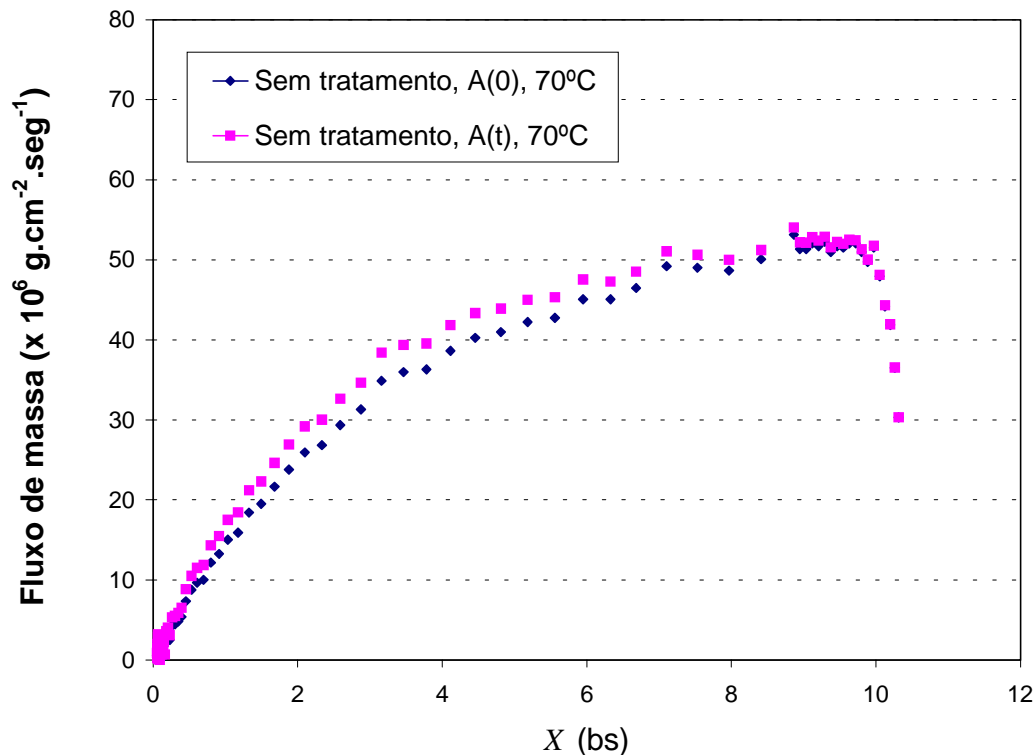
Nas **Figuras 12 e 13** estão apresentadas as taxas de secagem das amostras sem tratamento, submetidas à secagem a 60°C e 70°C. As taxas estão na forma de fluxos de água evaporada, de duas maneiras, uma



considerando que a área de transferência (área superficial das fatias) é igual à inicial durante toda a secagem, sendo representada por  $A(0)$ . Na outra forma, considerou-se que a área sofreu redução ao longo da secagem e, portanto, variou com o tempo, sendo representada por  $A(t)$ . O procedimento para o cálculo da redução de área foi similar ao da espessura, isto é, considerou-se que o encolhimento ocorreu igualmente em todas as dimensões.

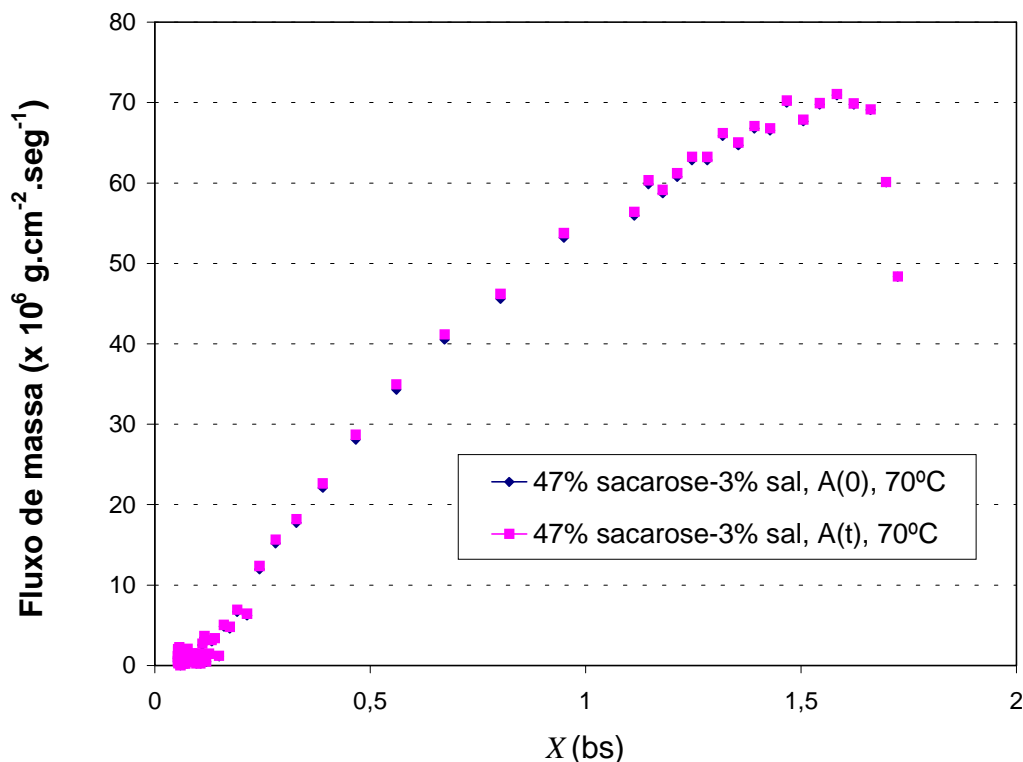


**Figura 12:** Taxas de secagem em função da umidade (bs), calculadas com área inicial ( $A(0)$ ) e área variando com o tempo ( $A(t)$ ), das fatias de abóboras sem pré-tratamento. Secagem a 60°C. Ensaio de secagem até peso constante (I).



**Figura 13:** Taxas de secagem em função da umidade (bs), calculadas com área inicial ( $A(0)$ ) e área variando com o tempo ( $A(t)$ ), das fatias de abóboras sem pré-tratamento. Secagem a  $70^{\circ}\text{C}$ . Ensaio de secagem até peso constante (I)a.

Na **Figura 12** ( $60^{\circ}\text{C}$ ) não foi detectado período de secagem constante nas amostras sem tratamento, mesmo quando se considerou que a área de transferência sofreu redução durante o processo. Na **Figura 13** ( $70^{\circ}\text{C}$ ) detecta-se um patamar na faixa de umidade ( $X$ ) de 9 a 10, o que corresponde aos primeiros 20 minutos de secagem. Testaram-se também as taxas de secagem com as amostras pré-tratadas, o que diminui a possibilidade de haver taxa constante, uma vez que essas amostras têm umidade bem mais baixa que as não tratadas. A **Figura 14** ilustra a taxa de secagem de fatias de abóbora pré-tratadas em solução com 47% sacarose - 3% de sal e secas a  $70^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 14:** Taxas de secagem em função da umidade (bs), calculadas com a área inicial ( $A(0)$ ) e a área variando com o tempo ( $A(t)$ ), das fatias de abóboras tratadas em solução osmótica a 47% de sacarose e 3% de sal. Secagem a 70°C. Ensaios de secagem até peso constante (I).

Comparando-se as **Figuras 13 e 14**, constata-se que, a 70°C, as amostras tratadas apresentam, durante a secagem, fluxo de massa de vapor de água maior que as amostras não tratadas.

No início da secagem, visualiza-se claramente, nas **Figuras 12, 13 e 14**, que as taxas de secagem se encontram em um período de acomodação, devido à amostra estar fria e, conforme a temperatura de superfície aumenta a taxa de evaporação também aumenta.

Inicialmente, para o estudo da cinética de secagem, utilizou-se o modelo de difusão, isto é, a Segunda Lei de Fick (equação 2). Considerou-se que as fatias de abóbora se aproximam de uma placa plana infinita, com ambas as

faces expostas ao ar de secagem, e que a difusividade é constante (equação 10). Os dados foram registrados a cada segundo. Portanto, para determinar os coeficientes de difusão da água (equação 10), selecionaram-se em torno de dez pontos experimentais, até uma umidade residual de 0,01, em base seca. Foi utilizado um programa comercial (Origin 3.5), que ajusta equações não lineares. A equação foi ajustada aos dados experimentais, utilizando-se quatro termos da série, com base na minimização do quadrado dos resíduos relativos. Os coeficientes efetivos foram determinados com a espessura  $L$ , calculada como uma “média” entre a final e a inicial, e também foram determinados com a “espessura inicial”, para efeito de comparação com resultados obtidos em outros trabalhos, uma vez que isso é usualmente encontrado na literatura (VACAREZZA & CHIRIFE, 1975). Ainda que a utilização da solução analítica da Equação de Fick, integrada, não compute o encolhimento, a consideração da espessura média acarretará num valor de difusividade efetiva mais próximo do valor real.

Os coeficientes determinados com a “espessura média” estão apresentados nas **Tabelas 13** (60°C) e **14** (70°C), enquanto que os determinados com a “espessura inicial” estão na **Tabela 15** (60°C) e **16** (70°C). Também são reportados os valores da Raiz Quadrada da Média dos Resíduos ( $RQMR$ ), definida por:

$$RQMR(\%) = 100 \left\{ \frac{1}{(n-p-1)} \sum_1^n \left[ \frac{(X^{\text{exp}} - X^{\text{calc}})}{X^{\text{exp}}} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (17)$$

onde  $(X^{\text{exp}} - X^{\text{calc}})$  é o resíduo, a diferença entre o valor experimental (exp) e o calculado (calc);  $n$  é o número de observações (10), ou resíduos;  $p$  é o número de variáveis independentes na equação ajustada(1) e  $(n-p-1)$  define o grau de liberdade.

**Tabela 13:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 60°C, calculados segundo equação (10), utilizando as “espessuras médias”.

| Concentração na solução osmótica<br>(%, p/p) |      |      | $D_{ef} \times 10^6$<br>(cm <sup>2</sup> /s) | RQMR<br>(%) |
|--|------|------|--|-------------|
| Sacarose                                     | NaCl |      |  |             |
| 50   | 0    | (I)  | 3,13   | 38          |
| 47   | 3    | (I)  | 3,44   | 41          |
| 40   | 0    | (I)  | 3,25   | 42          |
| 37   | 3    | (I)  | 2,84   | 37          |
| Sem tratamento                               |      | (I)a | 2,45   | 108         |
|  |      | (I)b | 2,54   | 81          |
|  |      | (I)c | 3,04   | 87          |

(I): secagem até peso constante.

**Tabela 14:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 70°C, calculados segundo equação (10), utilizando as “espessuras médias”.

| Concentração na solução osmótica<br>(%, p/p) |      |      | $D_{ef} \times 10^6$<br>(cm <sup>2</sup> /s) | RQMR<br>(%) |
|--|------|------|--|-------------|
| Sacarose                                     | NaCl |      |  |             |
| 50   | 0    | (I)  | 3,50   | 39          |
| 47   | 3    | (I)  | 4,65   | 52          |
|  |      | (II) | 3,59   | 40          |
| 40   | 0    | (I)  | 4,03   | 46          |
|  |      | (II) | 3,54   | 49          |
| 37   | 3    | (I)  | 4,05   | 47          |
|  |      | (II) | 3,82   | 38          |
| Sem tratamento                               |      | (I)a | 3,60   | 96          |
|  |      | (I)c | 3,19   | 105         |
|  |      | (II) | 3,18   | 103         |

(I): secagem até peso constante; (II):secagem por 6 horas.

Os coeficientes efetivos de difusão resultaram maiores com o aumento da temperatura, como esperado. Os solutos parecem não afetar a difusividade da água, uma vez que os valores são bastante próximos, porém alguns são um pouco superiores, e correspondem a amostras tratadas osmoticamente (**Tabela 13 e 14**). A 60°C a média dos coeficientes, com base na “espessura média”, foi  $2,96 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$  e o desvio padrão,  $0,36 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ , enquanto que a 70°C foi

$3,63 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$  e  $0,50 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ , respectivamente. No entanto, é esperado que a difusividade da água diminua com a presença dos solutos impregnados no tecido, seja pela interação dos mesmos com a água, seja pelo efeito de barreira que a solução exerce sobre o vapor de água quando preenche os poros. Portanto, uma possível explicação para a semelhança entre as difusividades, seria um encolhimento rápido da superfície da amostra sem tratamento, devido ao teor de água elevado (92 a 94%, bu). Poderia ocorrer endurecimento de partes superficiais (crostas) que reduziriam a área disponível para a transferência de água e aumentariam a resistência à difusão da mesma. Resultados semelhantes já foram observados em secagem de pêras (PARK *et al.*, 2003), abóboras (MAURO *et al.*, 2005) e carambolas (SHIGEMATSU, 2004).

Cabe também destacar que não é suficiente para antecipar se a difusividade será maior ou menor somente com base na forma das curvas de umidade em base seca, pois esta depende das umidades residuais e da espessura. Apesar das três curvas de secagem de abóboras frescas serem diferentes (**Figuras 5 e 7**), as umidades residuais das mesmas foram parecidas, especialmente nas secagens a  $70^\circ\text{C}$  e, conseqüentemente, os coeficientes efetivos de difusão apresentaram valores próximos (**Tabelas 13 e 14**).

Os coeficientes efetivos determinados com a “espessura inicial” (**Tabela 15 e 16**) são maiores que aqueles determinados com a “espessura média” (**Tabela 13 e 14**). A média dos coeficientes efetivos e os desvios-padrão passaram a ser, para secagem a  $60^\circ\text{C}$ ,  $5,20 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$  e  $0,70 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ , enquanto que a  $70^\circ\text{C}$  foram  $6,11 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$  e  $0,74 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$ , respectivamente. A difusividade nas amostras frescas resultou superior à determinada nas amostras pré-tratadas. Esses resultados demonstram a importância do encolhimento no processo de secagem, e a limitação da análise quando se utilizam as soluções analíticas da equação de difusão, na forma integrada.

**Tabela 15:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 60°C, calculados segundo equação (10), utilizando as espessuras iniciais.

| Concentração na solução osmótica<br>(%, p/p) |      |      | $D_{ef} \times 10^6$<br>(cm <sup>2</sup> /s) | RQMR<br>(%) |
|--|------|------|--|-------------|
| Sacarose                                     | NaCl |      |  |             |
| 50   | 0    | (I)  | 4,96   | 38          |
| 47   | 3    | (I)  | 4,93   | 41          |
| 40   | 0    | (I)  | 5,26   | 42          |
| 37   | 3    | (I)  | 4,44   | 37          |
| Sem tratamento                               |      | (I)a | 5,14   | 108         |
|  |      | (I)b | 4,97   | 81          |
|  |      | (I)c | 6,68   | 87          |

(I): secagem até peso constante.

**Tabela 16:** Coeficientes efetivos de difusão de umidade obtidos nas amostras tratadas e não tratadas, secas a 70°C, calculados segundo equação (10), utilizando as espessuras iniciais.

| Concentração na solução osmótica<br>(%, p/p) |      |             | $D_{ef} \times 10^6$<br>(cm <sup>2</sup> /s) | RQMR<br>(%) |
|--|------|-------------|--|-------------|
| Sacarose                                     | NaCl |             |  |             |
| 50   | 0    | (I)         | 5,50   | 39          |
| 47   | 3    | (I)<br>(II) | 6,63<br>5,73                                 | 52<br>40    |
| 40   | 0    | (I)<br>(II) | 6,53<br>5,66                                 | 46<br>49    |
| 37   | 3    | (I)<br>(II) | 6,25<br>5,80                                 | 47<br>38    |
| Sem tratamento                               |      | (I)a        | 7,04   | 96          |
|  |      | (I)b        | 7,00   | 105         |
|  |      | (II)        | 6,49   | 103         |

(I): secagem até peso constante; (II):secagem por 6 horas.

O que se percebeu, nesses experimentos, foi influência de diversas variáveis sobre as quais não se tinha controle. A falta de homogeneidade entre as diferentes abóboras, quanto à umidade inicial e estrutura do tecido, foi uma delas. As oscilações da umidade relativa também são fonte de variações. Isso pôde ser avaliado, após a secagem, através das umidades relativas, tomadas pela leitura das temperaturas de bulbo seco e úmido, antes e depois das

bandejas. A velocidade de 2 m/s foi razoável para a tomada de temperatura de bulbo úmido, como pôde-se verificar aumentando-se a velocidade a valores maiores sem se constatar variações significativas.

As umidades relativas do ar de secagem dos ensaios realizados, predominantemente, em dias bastante secos, estão apresentadas nas **Tabelas 17 e 18**.

**Tabela 17:** Umidade relativa durante as secagens a 60°C.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | UR                               |                               |
|--|------|------|----------------------------------|-------------------------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      | Varição média na primeira hora % | Média ao final da secagem (%) |
| 50                                       | 0    | (I)  | 12,7-10                          | 10                            |
| 47                                       | 3    | (I)  | 14-11                            | 10,5                          |
| 40                                       | 0    | (I)  | 14-9                             | 9                             |
| 37                                       | 3    | (I)  | 17-15                            | 14                            |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | 13-10                            | 9                             |
|  |      | (I)b | 14-11                            | 10                            |
|  |      | (I)c | 17-14,5                          | 15                            |

(I): secagem até peso constante.

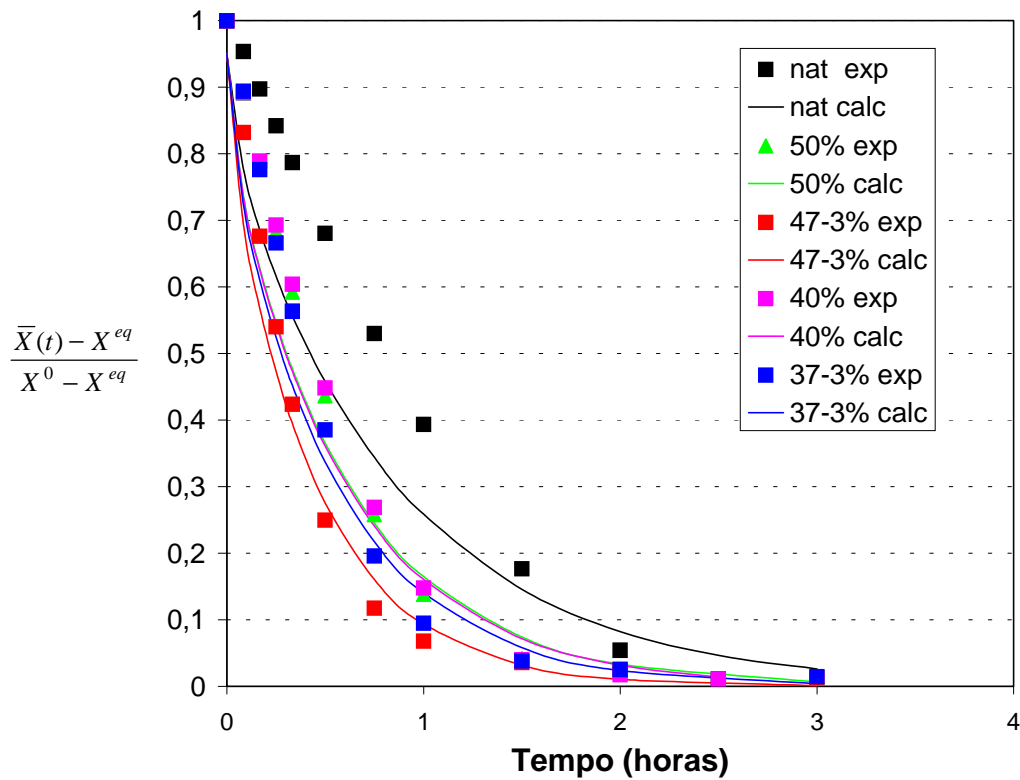
**Tabela 18:** Umidade relativa durante as secagens a 70°C.

| Concentração na solução osmótica (% p/p) |      |      | UR                               |                               |
|--|------|------|----------------------------------|-------------------------------|
| Sacarose                                 | NaCl |      | Varição média na primeira hora % | Média ao final da secagem (%) |
| 50                                       | 0    | (I)  | 13-10                            | 9                             |
| 47                                       | 3    | (I)  | 12-8                             | 8                             |
| 40                                       | 0    | (I)  | 10-8                             | 7                             |
|  |      | (II) | 12,5-8,3                         | 8,3                           |
| 37                                       | 3    | (I)  | 13-10                            | 10                            |
|  |      | (II) | 12-8                             | 8                             |
| Sem tratamento                           |      | (I)a | 10,5-8                           | 8                             |
|  |      | (I)b | 10-9                             | 9,5                           |
|  |      | (II) | 13-9                             | 7                             |

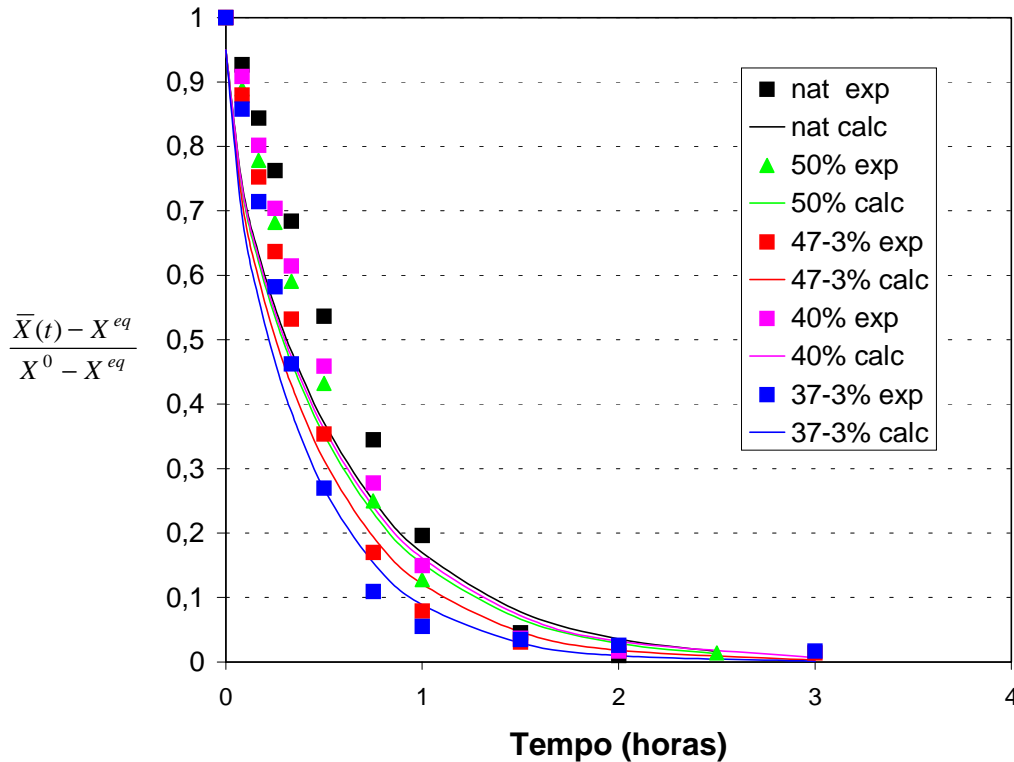
(I): secagem até peso constante; (II):secagem por 6 horas.



Nas **Figuras 15 e 16**, os dados experimentais são comparados com os calculados empregando a solução analítica da equação de Fick (equação 10) para placas infinitas, para as secagens a 60 e 70°C, respectivamente.



**Figura 15:** Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo equação (10), durante secagem a 60°C. Ensaio de secagem até peso constante.



**Figura 16:** Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo equação (10), durante secagem a 70°C. Ensaios de secagem até peso constante, (I)a.

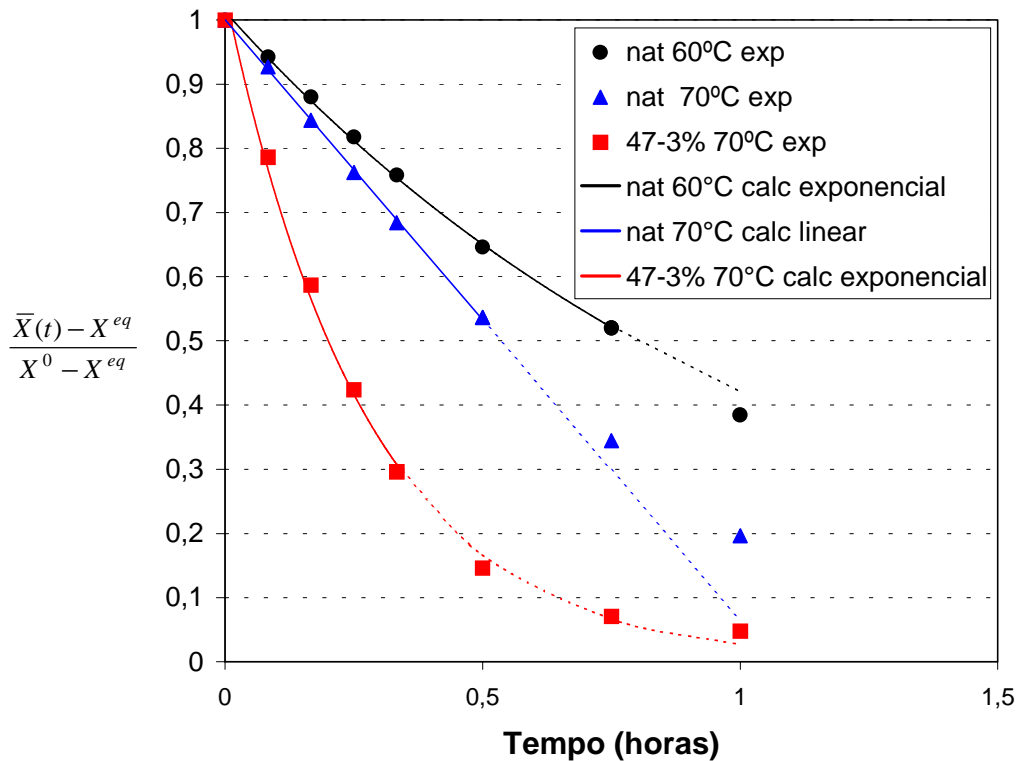
O ajuste do modelo de difusão (equação 10) aos dados experimentais de secagem a 60 e 70°C foi ineficiente, principalmente quando as amostras não eram pré-tratadas, o que se constata nas **Figuras 14 e 15**, assim como nos desvios medidos pela *RQMR* (**Tabelas 13 a 16**). Neste caso considerou-se que apenas a difusão controlou o processo de secagem, tanto das amostras tratadas quanto das não tratadas. Apesar dos ajustes mostrarem que a transferência não é bem representada por tal modelo, a determinação dos coeficientes de difusão é útil como comparação com outros trabalhos reportados na literatura. Equações empíricas como a de Page (equação 4) ou semi-empíricas como a de Lewis (equação 3), podem acomodar melhor os dados experimentais, porém, dificultam esse tipo de comparação. No presente trabalho, ainda existe um agravante, que é o fato da espessura das amostras tratadas e não tratadas ser diferente entre diferentes ensaios no início da

secagem. Portanto, modelos que não incluem as dimensões da amostra e suas variações também não são adequados para avaliar os processos estudados neste trabalho.

Analisou-se a hipótese de que a secagem das amostras sem pré-tratamento tenha sido totalmente controlada pela difusão interna, no início da secagem. Entretanto, pode existir um período de taxa constante e um período de taxa decrescente, este último referido como período de evaporação de superfície insaturada, durante o qual a taxa de secagem varia linearmente com o conteúdo de umidade  $X$  (TREYBAL, 1980). Neste caso é esperada uma curva de umidade residual representada por uma equação cuja funcionalidade é descrita por uma expressão exponencial (TREYBAL, 1980).

Assumindo-se uma analogia com o modelo exponencial de Lewis representado pela equação 3, aplicou-se o mesmo ao que se denominou de “primeira etapa” de secagem, para amostras sem pré-tratamento. Conforme pode se observar na **Figura 17**, a equação se ajustou bem aos valores experimentais, durante os primeiros 45 minutos da secagem a 60°C. A 70°C, no entanto, a umidade residual foi bem representada por uma equação linear nos primeiros 30 minutos de secagem, o que corresponderia a uma taxa constante de secagem. Também foi avaliado o caso de amostras pré-tratadas em solução a 47% sacarose-3% sal e secagem a 70°C, sendo que o modelo exponencial foi eficiente para os primeiros 20 minutos.

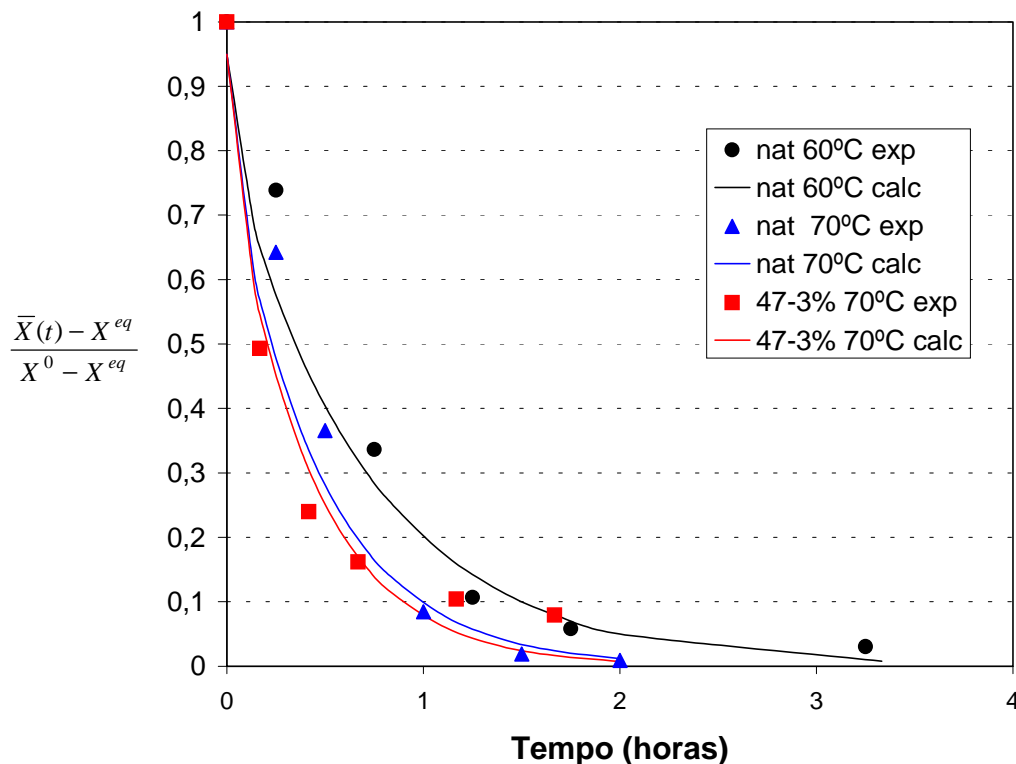
A partir daí, considerou-se uma “segunda etapa” de secagem, na qual a equação de Fick foi ajustada aos dados experimentais, assumindo-se que a umidade inicial, nessa fase do processo, é aquela registrada ao final da “primeira etapa” de secagem. As umidades residuais foram recalculadas para a “segunda etapa”. Isso significa que a segunda parte da curva foi trazida para um hipotético tempo inicial (zero) de secagem. Com essa nova umidade inicial também foi estimada uma correspondente “espessura inicial”, utilizada, por sua vez, no cálculo da “espessura média” das fatias nessa segunda etapa de secagem.



**Figura 17:** Comparação entre as umidades residuais (base seca) obtidas experimentalmente (exp) na “primeira etapa” de secagem e calculadas (calc) segundo modelo linear e exponencial (equação 3), de amostras sem tratamento (secagem a 60°C (I)b e 70°C (I)a), e de amostra tratada em solução com 47% sacarose-3% sal (secagem a 70°C (I)a).

Na segunda etapa de secagem a 70°C das amostras sem tratamento, o resultado foi um ajuste melhor, onde se obteve um coeficiente efetivo de difusão igual a  $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ , semelhante ao obtido anteriormente, quando o controle difusivo era considerado sobre toda a secagem (**Tabela 14**, ensaio (I)a). O *RQMR* igual a 47%, por outro lado, resultou inferior ao anterior, que estava em torno de 100%. O mesmo procedimento, aplicado à secagem a 60°C de fatias não tratadas (**Tabela 13**, ensaio (I)b) resultou numa redução do coeficiente efetivo de difusão, de 2,5 para  $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Porém a eficiência do ajuste, medida através do *RQMR*, foi melhorada, ficando em torno de 43% (**Figura 18**), em comparação com 81% anterior. O teste também foi feito com

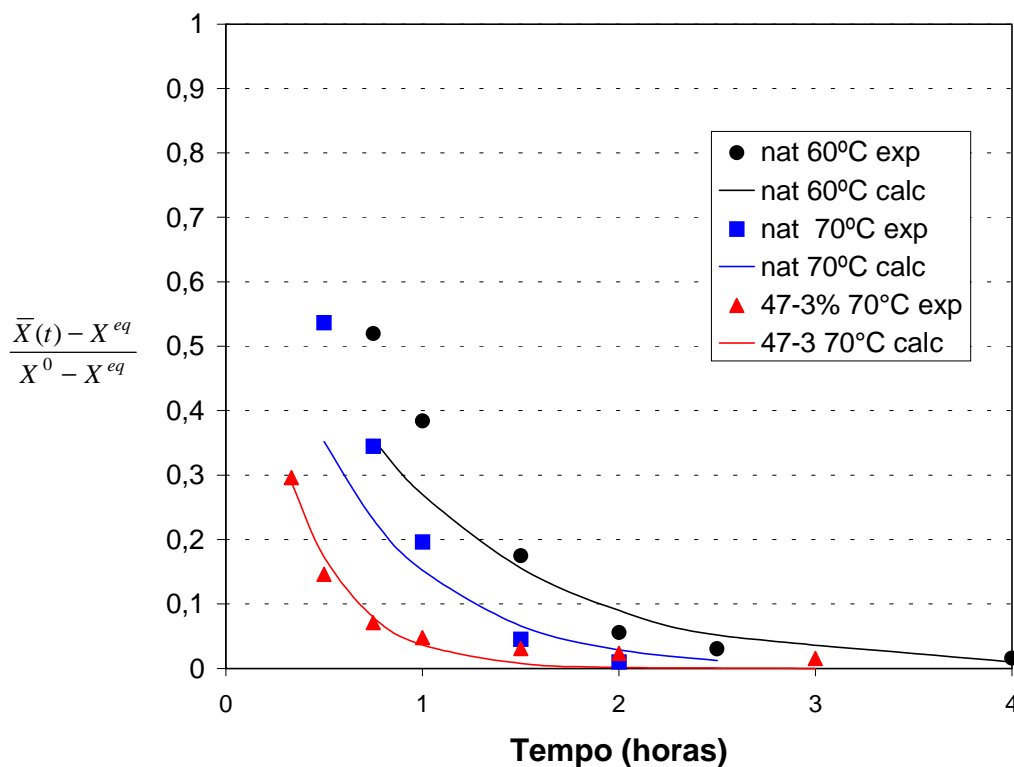
material tratado. Para secagem a 70°C de material pré-tratado em solução de 47% sacarose-3% sal, o coeficiente foi  $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ , bem inferior ao valor  $4,7 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ , previamente obtido nesse ensaio (**Tabela 14**, ensaio (I)a). A aplicação do modelo, entretanto, pouco alterou o *RQMR*, que resultou em 57%.



**Figura 18:** Comparação entre as umidades residuais (base seca) obtidas experimentalmente (exp) na “segunda etapa” de secagem e calculadas (calc) pela solução da equação de Fick (equação 10), representando o início dessa etapa no instante zero. Amostras sem tratamento (secagem a 60°C (I)b e 70°C(I)a) e amostra tratada em solução com 47% sacarose-3% sal (secagem a 70°C(I)a).

Uma outra tentativa para avaliar essa “segunda etapa” de secagem foi não trazer a segunda parte da curva para o tempo pseudo-inicial (zero) de secagem, mas sim, ajustar a equação de Fick diretamente e a partir da umidade residual previamente calculada da primeira etapa. Os resultados são mostrados na **Figura 19**. Observa-se que as umidades residuais sempre foram

menores que 0,6. Para as amostras sem pré-tratamento, o ajuste a esse modelo gerou erros maiores que os obtidos quando a curva foi deslocada para o tempo zero. A comparação entre os valores experimentais e os teóricos pode ser observada na **Figura 19**. A 70°C, o coeficiente de difusão foi  $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  e o *RQMR* superou 110%. A 60°C, o coeficiente foi  $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  e o *RQMR* ficou em torno de 60%. A amostra pré-tratada apresentou coeficiente igual a  $3,7 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  e *RQMR* em torno de 70%, valor alto devido aos resíduos correspondentes às menores umidades que, por serem calculados relativamente ao valor experimental, amplificam o erro total.



**Figura 19:** Comparação entre as umidades residuais (base seca) obtidas experimentalmente (exp) na “segunda etapa” de secagem e calculadas (calc) pela equação de Fick (equação 10). Amostras sem tratamento (secagem a 60°C (I)b e 70°C(I)a) e amostra tratada em solução com 47% sacarose-3% sal (secagem a 70°C(I)a).

Portanto, conclui-se que o início da secagem (primeira etapa), mesmo nos ensaios em que as amostras foram pré-tratadas, poderia ser representado por um período de taxa decrescente com superfície insaturada ou, como no caso das amostras não tratadas e secas a 70°C, por um período de taxa constante.

No período referido como segunda etapa e com a consideração de que a curva parte de um tempo pseudo-inicial (**Figura 18**), o ajuste da equação de Fick foi melhor para as amostras sem pré-tratamento, se comparado ao ajuste aos dados experimentais da curva completa de secagem. No entanto para a amostra pré-tratada, o ajuste piorou em relação àquele feito anteriormente, com a curva completa. Também piorou quando a curva não foi deslocada para o tempo pseudo-inicial (**Figura 19**), ainda que, quando comparado com as amostras não tratadas, tenha apresentado o melhor resultado.

### 5.3. AVALIAÇÃO SENSORIAL

As médias e desvios padrões dos valores atribuídos pelos provadores para aparência geral, cor, sabor e textura das fatias de abóbora secas a 70°C, sem pré-tratamento osmótico e com pré-tratamento em soluções 50% sacarose, 47% sacarose-3% NaCl, 40% sacarose e 37% sacarose-3% NaCl são apresentados na **Tabela 19**.

As amostras tratadas obtiveram aceitação significativamente maior que as não tratadas tanto para o atributo cor quanto para aparência geral, mas não afetaram significativamente a aceitação do sabor e da textura.

**Tabela 19:** Média e desvio padrão dos valores\* atribuídos às amostras de fatias de abóbora tratadas e não tratadas, secas a 70°C.

| Atributo        | DMS** | sem tratamento         | 50% sacarose           | 47% sac - 3% NaCl       | 40% sacarose            | 37% sac - 3% NaCl      |
|-----------------|-------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Cor             | 1,1   | 4,7 ± 2,2 <sup>a</sup> | 6,1 ± 1,7 <sup>b</sup> | 6,1 ± 1,7 <sup>b</sup>  | 6,4 ± 1,5 <sup>bc</sup> | 7,3 ± 1,2 <sup>c</sup> |
| Aparência geral | 1,1   | 4,2 ± 2,5 <sup>a</sup> | 5,8 ± 1,6 <sup>b</sup> | 6,3 ± 1,5 <sup>bc</sup> | 6,8 ± 1,3 <sup>bc</sup> | 7,2 ± 1,3 <sup>c</sup> |
| Sabor           | 1,3   | 5,1 ± 2,1 <sup>a</sup> | 6,0 ± 2,0 <sup>a</sup> | 5,5 ± 2,5 <sup>a</sup>  | 6,4 ± 1,3 <sup>a</sup>  | 5,5 ± 2,0 <sup>a</sup> |
| Textura         | 1,4   | 5,0 ± 2,6 <sup>a</sup> | 5,6 ± 2,0 <sup>a</sup> | 4,3 ± 2,1 <sup>a</sup>  | 5,5 ± 2,3 <sup>a</sup>  | 4,5 ± 2,0 <sup>a</sup> |

\* escala hedônica não estruturada (1=desgostei muitíssimo, 9= gostei muitíssimo).

\*\*DMS diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%

Médias na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ao nível de 5%.

Com relação à cor, os provadores reagiram indiferentemente à amostra sem tratamento, ou seja, nem gostaram ou desgostaram da amostra, enquanto as amostras tratadas obtiveram médias acima de 6,0 (gostei ligeiramente). Resultados similares foram encontrados para o atributo aparência. Os provadores observaram uma aparência mais rugosa na amostra não tratada e uma coloração mais intensa e brilhante nas amostras tratadas.

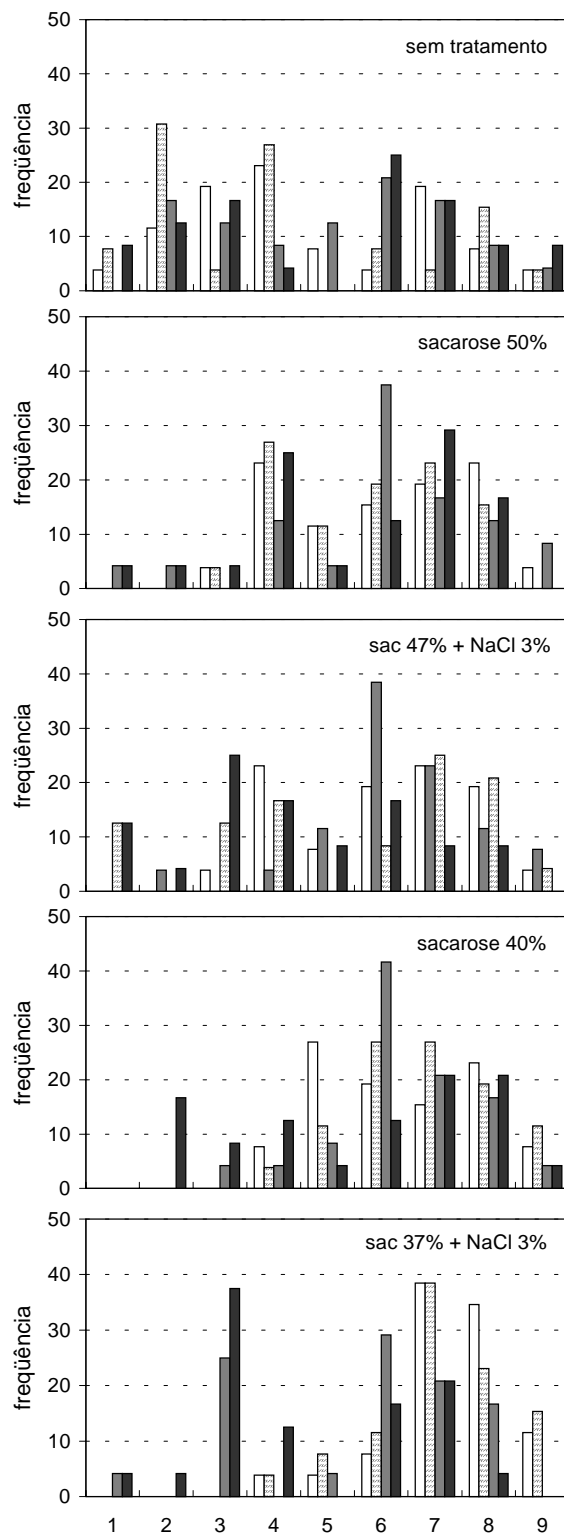
Ao se analisar a textura, houve dúvidas quanto à ocorrência de alguma transferência de umidade, durante o armazenamento das amostras,



anteriormente à análise, assim como quanto à exposição prolongada das amostras ao ambiente, no dia da análise. Os resultados não demonstraram diferenças significativas, sendo que em geral, os provadores reagiram indiferentemente às amostras. Porém há alguma incerteza em função das razões mencionadas. Em futuros trabalhos, recomendam-se cuidados com a embalagem, que deve proporcionar barreira efetiva ao vapor de água, e com a amostra, que deve ser servida rapidamente ao provador.

Embora a diferença entre a aceitação das amostras tratadas tenha sido significativa entre poucos tratamentos (tratamentos a 50% e 47-3% diferiram significativamente de 37-3% em cor e tratamento a 50% diferiu significativamente de 37-3% em aparência geral), a distribuição de valores hedônicos atribuídos às amostras (**Figura 20**) mostra uma tendência para maior aceitação da cor e aparência geral daquelas submetidas ao pré-tratamento com solução 37% sacarose + 3% NaCl.

A baixa aceitação do sabor das amostras parece ser devido ao fato das amostras apresentarem um sabor estranho de vegetal cru ao provador. O tratamento com sacarose, além de mascarar o sabor de abóbora crua, conferiu um sabor adocicado, que normalmente causa uma sensação agradável aos provadores. Por outro lado, o tratamento com sacarose e NaCl conferiu um gosto indefinido ao produto, ou seja, nem doce nem salgado, o que também parece não agradar aos provadores.



**Figura 20:** Distribuição da frequência dos valores hedônicos atribuídos à cor □, aparência geral ▨, sabor ■ e textura ■ das amostras sem tratamento e tratadas em solução 50% sacarose, 47% sacarose e 3% sal, 40% sacarose, 37% sacarose e 3% sal.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### CONCLUSÕES

Através de ensaios preliminares de desidratação osmótica de fatias de abóboras foi possível selecionar o tempo (1h) e a concentração de sacarose e sacarose+sal (50% sacarose; 47% sacarose e 3% sal; 40% sacarose; 37% sacarose e 3% sal) que maximizam a redução da quantidade de água e minimizam o ganho de sólidos.

O ajuste da equação de Fick aos dados experimentais de secagem de amostras não tratadas foi ineficiente e inferior ao ajuste aos dados experimentais de amostras pré-tratadas. Houve indícios de que na primeira etapa da secagem de amostras não tratadas ocorreu um período de taxa de evaporação de superfície insaturada (60°C) ou um período de taxa de evaporação constante (70°C).

Os coeficientes efetivos de difusão de umidade determinados nas secagens a 60 e 70°C resultaram semelhantes entre amostras tratadas e não tratadas. Diferenças observadas entre as curvas experimentais de secagem foram associadas, principalmente, às menores espessuras das amostras tratadas em comparação com as não tratadas.

A determinação de coeficientes de difusão a partir da solução analítica integrada da equação de Fick, considerando “espessura inicial” e “espessura média”, apresentou resultados diversos, mostrando a relevância do encolhimento nos processos de secagem de materiais de alta umidade.

As umidades de equilíbrio foram afetadas pela incorporação de solutos ao material e resultaram maiores que as umidades das abóboras não tratadas.

Os pré-tratamentos com sacarose ou sacarose + NaCl melhoraram significativamente a cor e a aparência geral da abóbora em fatias secas.

## SUGESTÕES

Estudar o efeito da resistência externa e a possível formação de crostas sobre a superfície de pedaços de abóboras, variando as condições de secagem (velocidade do ar, temperatura, umidade relativa).

Padronizar as condições da matéria-prima verificando seu ponto de maturação, através da análise de sólidos solúveis e umidade. Para comparações, proceder a ensaios simultâneos com a mesma matéria prima.

Utilizar modelos mais rigorosos para estudar a difusividade nesses tecidos, levando em consideração a resistência externa e o encolhimento do material.

Estudar a influência dos pré-tratamentos e do armazenamento sobre a retenção de carotenóides nesses produtos secos à base de abóbora.

Estudar outros pré-processamentos como aplicação de coberturas comestíveis, visando proteger o tecido vegetal dos efeitos adversos da secagem convectiva sobre características físicas e nutricionais do mesmo.

Estudar embalagens apropriadas para os produtos secos, aos pedaços ou moídos após a secagem, e avaliar as alterações dos mesmos durante o armazenamento.

## 7. REFERÊNCIAS

- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde, Brasil. 2006. Disponível em [http://www.anvisa.gov.br/rotulo/rotulo\\_produto\\_LST.asp?vCDCategoria=Psal](http://www.anvisa.gov.br/rotulo/rotulo_produto_LST.asp?vCDCategoria=Psal). Acesso em 15 julho 2006.
- ANZALDÚA-MORALES, A. **La evaluation sensorial de los alimentos en la teoria y la práctica**. Zaragoza: Acribia, 1994.
- ARIMA, H. K.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. **Journal of Micronutrient Analysis**, v. 4, p. 177-191, 1988.
- ARYA, S. S., NATESAN, V., PARIHAR, D. B.; VIJAYARAGHAVAN, P. K. Stability of carotenoids in dehydrated carrots. **Journal of Food Technology**, v. 14, p. 579-586, 1979.
- ASKAR, A.; HEIKAL, Y.; GHONAIM, S. M.; ABDEL-FADEEL, M. G.; ALI, A. M.; ABD EL-GAIED, I. O. Osmotic and solar dehydration of peach fruits. **Fruit Processing**, v.7, p.258-262, 1996.
- AZEVEDO-MELEIROS, C.H. **Análise de carotenóides em alimentos brasileiros por cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato, **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 291-295, 2004.
- BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E., CORTES, R.; GARCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food Science and Technology**. V. 25, p. 576-582, 1990.
- BIDWELL, R. G. S. **Plant physiology**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Macmillan. 1979.
- CAMARGO FILHO, W. P.; MAZZEI, A. R.; ALVES, H. S. Mercado de abóboras nas cidades de São Paulo e Buenos Aires: oportunidades de expansão. São

Paulo: IEA, Instituto de Economia Agrícola, 2003. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=910>>. Acesso em 20 fev. 2006.

CHIRIFE, J. Fundamental of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUNDAR, A. S. (Ed.) **Advances in drying**. Washington: Hemisphere, 1980. p. 73-102.

CHIRIFE, J.; RESNIK, S.L. Unsaturated solutions of sodium chloride as reference sources of water activity sources of water activity at various temperatures. **Journal of Food Science**, v. 49, p. 1486-1488, 1984

CHIRIFE, J.; FERRO FONTAN, C.; BENMERGUI, E. A. The prediction of water activity in aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods. IV. aw prediction in aqueous non electrolyte solutions. **Journal of Food Technology**, v. 15, p. 59-70, 1980.

COLLIGAN, A.; RAOULT-WACK, A.L.; THEMELIN, A. Energy study of food processing by osmotic dehydration and air drying. **Agricultural Engineering Journal**. v. 1, n. 3, p. 125-135, 1992.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Clarendon Press-Oxford, 1975. 414 p.

DANIEL, C.; WOOD, F. S. **Fitting equations to data**, 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley, 1980.

DAUDIN, J.D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. **Sciences de Aliments**, v. 3, p. 1-36, 1983.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 85-91, 2003.

ERTEKIN, F. K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, p. 87-104, 1996.

HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, p. 265-284, 1978.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, K. K. Dehydration of fruits and vegetables: Recent developments in principles and techniques, **Drying Technology**. v. 10, n. 1, p.1-50, 1992.

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

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 137-140, 2001.

KRINSK, N. I. Actions of carotenoids in biological systems. **Annual Review of Nutrition**, v. 13, p. 561-568, 1993.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, A.B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v. 15, n. 10, p. 2441-2458, 1997.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, A.B.; MARINOS-KOURIS D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 391-403, 2003.

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

LENART, A.; LEWICKI, P. P.; KARANDYS, S. Osmotic dehydration of pumpkin. In INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS' 90), 7, 1990, Prague, Czechoslovakia. **Proceedings...**1990.

LEWIS, W.K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. V. 13, p. 427-432, May 1921.

LOZANO, J. E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. **Journal of Food Science**, v. 45, p. 1403-1407, 1980.

LOZANO, J. E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture content. **Journal of Food Science**, v. 48, p. 1497-1502, 1983.

MARTIN, N.B. Valor da produção agropecuária paulista em 2003 atinge R\$ 24,55 bilhões. São Paulo: IEA, Instituto de Economia Agrícola, 2003. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=870>>. Acesso em 20 fev. 2006.

MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas (*Musa Cavendish* Lambert), **International Journal of Food Science and Technology**. v. 30, p. 199-202, 1995.

MAURO, M. A.; GARCIA, C. C.; KIMURA, M. Effects of osmotic dehydration on air-drying and on characteristics of dried pumpkin (*Cucurbita moschata*) In: ENPROMER 2005 - 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering / 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Anais do Enpromer 2005**. 1 CD-ROM.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 373-386, 2003.

MAYOR, L.; SERENO, A. M.; MOREIRA, R.; CHENLO, F. Dehydration of pumpkin using salt as osmotic agent: evaluation of water and salt coefficients of diffusion. In INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, São Paulo. **Proceedings...** Campinas: UNICAMP, 2004, vol C., p. 2157-2164.

MORAES, M. A. C. **Métodos para avaliação sensorial dos alimentos**. 8. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1993, 93 p.

MURARI, R. C. B. D. L. **Cinética da desidratação osmo-convectiva de tomates**. 2000. 109 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2004.



MOREIRA, R.; FIGUEIREDO, A.; SERENO, A. Shrinkage of apple disks during drying by warm air convection and freeze drying. *Drying Technology*, v. 18, n. 1&2, p. 279-294, 2000.

MURKOVIC, M.; MÜLLEDER, U.; NEUNTEUFL H. Carotenoid content in different varieties of pumpkins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.15, p. 633-638, 2002.

NIJHUIS, H. H.; TORRINGA, E.; LUYTEN, H.; RENÉ, F.; JONES, P.; FUNEBO, T.; OHLSSON, T. Research needs and opportunities in the dry conservation of fruits and vegetables. **Drying Technology**, v. 14, p.1429-1457, 1996.

NOBEL, P.;S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1991, 635 p.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 97, 2002.

PERRY R. H.; CHILTON C. H. **Manual de Engenharia Química**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, v. 1, 1980.

PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FOREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20, p. 125-128, 1966.

QI, H.; SHARMA, S. K.; LE MAGUER, M. Modeling multicomponent mass transfer in plant material in contact with aqueous solutions of sucrose and sodium chloride during osmotic dehydration. **International Journal of Food Properties**, v. 2, n. 1, p. 39-54, 1999.

QI, H.; LE MAGUER, M.; SHARMA, S. K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Processing and Engineering**, v. 21, p. 75-88, 1998.

QUINTERO-RAMOS, A.; DE LA VEJA, C., HERNANDEZ, E.; ANZADUA-MORALES, A. Effect of conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple dices. **Aiche Symposium Series**, v. 89, p. 108-103, 1993.

RAGHAVAN, G. S. V.; TULASIDAS, T. N.; SABLANI, S. S.; RAMASWAMY, H. S. A Method of determination of concentration dependent effective moisture diffusivity. **Drying Technology**, v. 13, n. 5-7, p. 1477-1488, 1995.

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

RAMOS, S. R. R.; QUEIROZ, M. A.; CASALI, V. W. D.; CRUZ, C. D. Recursos genéticos de *Cucurbita moschata*: caracterização morfológica de populações locais coletadas no Nordeste brasileiro. In: QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Org.); **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. 1999. v.1. Disponível em <<http://www.herbario.com.br/dataherb13/2312recgeneabobora.htm>>. Acesso em 07, julho 2005.

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

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: fickian diffusion in cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**. v. 31, p. 423-432, 1997.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v. 23, n. 1, p. 91-105, 1994.

RODRIGUES, A. E. **Desidratação osmótica e secagem de maçãs. I- Comportamento do tecido em soluções osmóticas. II- Modelagem matemática da difusão**. 2003. 122 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Assessment of the provitamin A contents of foods - the Brazilian experience. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 3, p. 196-229, 1996.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B., Effects of processing and storage on food carotenoids. **Sight and Life Newsletter**, v. 3, p. 25-35, 2002.

ROSS, K. Estimation of water activity in intermediate moisture foods. **Food Technology**, v. 29, n. 3, p. 26-34, 1975.

SARAVACOS, G. D.; RAOUZEOS, G. S. Diffusivity of moisture in air-drying of raisins. In MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Drying '86**. Washington: Hemisphere. v. 2, p. 487-491. 1986.

SERENO, A. M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 43-49, 2001.

SHIGEMATUSU, E. **Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica e a secagem de carambolas**. 2004. 105 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2004.

SHIGEMATSU, E.; EIK, N.; KIMURA, M.; MAURO, M.A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.

SIMAL, S.; DEYA, E.; FRAU, M.; ROSSELLO, C. Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 139-150, 1997.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to food engineering**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1993, p. 502.

SOBRAL, P. J. A. **Secagem de sangue bovino incorporado a proteína texturizada de soja em leite fluidizado e em leite fixo**. 1987. 171f. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 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**, v. 61, p. 253-259, 2004.

TREYBAL, R. E. **Mass-transfer operations**. 3 ed. New York: McGraw-Hill. 784 p, 1980, 784p.

UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL; disponível em <http://www.ufrgs.br/Alimentus/feira/mpfruta/abobora/index.htm>, Acesso em Junho, 2005.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/BRASILFOODS. **Tabela brasileira de composição de alimentos - USP**. Versão 4.1. 1998. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela>. Acesso em: 20, fev.2006.

VACAREZZA, L. M.; CHIRIFE, J. On the mechanism of moisture transport during air drying of sugar beet root. **Journal of Food Science**, v. 40, p. 1286-1289, 1975.

VAGENAS, G. K; MARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G. D. An analysis of mass transfer in air-drying of foods. **Drying Technology**, v. 8, p. 323-342, 1990.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 24, n.1, p. 61-76, 1995.

WHITAKER, T. W.; CARTER, G. F. Critical notes on the origin and domestication of the cultivated species of *Cucurbita*. **Journal of Botany**, v. 33, n.1, p. 10-15, 1946.

WHITAKER, T. W.; CUTLER, H. C. Cucurbits and cultures in the Americas. **Economic Botany**, v. 19, p. 344-349, 1965.

WILLIAM, H. (Ed.). **Official methods of analysis**. 11th ed. Arlington: AOAC, 1970.

WILLIAMS, H. (Ed.). **Official methods of analysis**. 14th ed. Arlington: AOAC, 1984.