

**KEILA DE SOUZA SILVA**

**DESIDRATAÇÃO DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*)  
POR MÉTODOS COMBINADOS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e  
Ciência Exatas da Universidade Estadual Paulista “Julio de  
Mesquita Filho” Câmpus 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: Profa. Dra. Maria Aparecida Mauro

Co-orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

São José do Rio Preto – SP

2009

**KEILA DE SOUZA SILVA**

**DESIDRATAÇÃO DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*)  
POR MÉTODOS COMBINADOS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,  
Letras e Ciência Exatas da Universidade Estadual  
Paulista “Julio de Mesquita Filho” Câmpus 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).

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Maria Aparecida Mauro  
(Vice Coordenadora / Orientadora – DETA/UNESP)

---

Prof. Dr. Roger Darros Barbosa  
(2º Examinador – DETA / UNESP)

---

Prof. Dr. Joel Fernando Nicoletti  
(3º Examinador – UTFPR)

## **DADOS CURRICULARES**

Keila de Souza Silva

Nascimento:

21/11/1982 – São Paulo-SP

Filiação:

Renildo Rangel da Silva  
Sonia Oliveira de Souza Silva

2000 a 2005:

Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, Câmpus de São José do Rio Preto – SP

2007 a 2009:

Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, nível Mestrado, no Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, Câmpus de São José do Rio Preto - SP

*Ao meu querido Deus que me ampara,  
aconselha, abençoa e me guia em toda  
a minha vida. Com ele sou forte e  
enfrento os desafios, sem ele nada sou.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu amado Deus por estar sempre ao meu lado, me estimulando, me escutando, me amparando e aconselhando nos momentos difíceis e por me fazer entender o sentido da palavra fé.

Aos meus pais por me apoiarem, me amarem e se doarem para que meus estudos fossem concretizados e para que a minha formação como pessoa fosse a melhor possível.

À minha querida irmã pela paciência em me ouvir e aconselhar em momentos de conflitos, pelos puxões de orelha devidos e pela amizade ímpar.

Ao meu eterno namorado, amigo e marido que me apoiou e apóia em todos os momentos, que me incentiva para concretizar os meus sonhos e que se compromete na nossa caminhada em busca dos nossos sonhos.

À minha querida madrinha Elza que tanto amo e que me acompanha, se preocupa, vibra e sofre conforme cada etapa da minha vida.

À minha querida afilhada Sara, que me ajudou pacientemente na realização da minha pesquisa.

À minha amiga Lola que me tranqüilizou, me ajudou a interpretar os resultados, me ensinou a ser auto-confiante e me incentivou em várias decisões que precisei tomar.

### III

À minha orientadora Maria Aparecida, por ter me ensinado a enxergar com outros olhos a beleza da pesquisa. Agradeço, também, a paciência, dedicação e enorme contribuição para minha formação como pesquisadora.

Ao meu co-orientador Javier que contribuiu para a minha formação como profissional.

Aos professores Roger e José Antonio pela sugestão e participação no exame de qualificação.

Aos professores Roger, Joel, Vânia e Izabel por aceitarem participar da banca examinadora da dissertação de mestrado.

Aos professores do departamento de engenharia de alimentos da UNESP (DETA) por terem me ajudado no meu mestrado e na minha formação.

Aos técnicos de laboratório por terem me auxiliado em diversas operações.

Às amigas de outros laboratório, Angélica, Kelly e Ana por terem emprestados seus ouvidos para meus desabafos e ter me ajudado na realização da pesquisa.

Aos colegas do DETA que me ajudaram esclarecendo dúvidas, emprestando material, incentivando gargalhadas e motivando conversas agradáveis.

À estagiária Lidimara por ter se empenhado e dedicado na realização de algumas análises que contribuíram para uma parte da minha pesquisa.

#### IV

À minha amiga Cassia por ter emprestado seu ouvido com muita paciência e acreditado em mim, na aprovação da minha bolsa FAPESP, de tal forma que me amparou nessa cidade e insistiu para que continuasse o mestrado quando tudo parecia dar errado.

À FAPESP pelo auxílio financeiro (Proc. 07/01879-5, Proc. 07/07586-0).

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina” (Cora Coralina)

"A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável." (Galileu Galilei)

“Tudo deveria se tornar o mais simples possível, mas não simplificado.”

(Albert Einstein)

“Se tiveres que atravessar a água, estarei contigo.

E os rios não te submergirão;

se caminhares pelo fogo, não te queimarás,

e a chama não te consumirá.

Pois eu sou o Senhor, teu Deus.

Fica tranquilo, pois estou contigo.” (Isaías, 43: 2-5)

## RESUMO

Neste trabalho, propôs-se combinar tecnologias, com intuito de obter produtos nutritivos e atrativos sensorialmente à base de abóbora, à umidade intermediária. Para tanto, os efeitos do branqueamento por etapas e da desidratação osmótica foram otimizados e, em seguida, a influência dos mesmos sobre a cinética de secagem e propriedades físico-químicas e sensoriais do produto de abóbora foi avaliado. o branqueamento por etapas foi otimizado utilizando-se um planejamento fatorial  $2^3$  com três repetições no ponto central e método de superfície de resposta. Amostras foram submetidas a temperaturas de 55, 60 e 65°C durante tempos de branqueamento de 30, 45 e 60 minutos e, em seguida, a tempos de espera 30, 45 e 60 minutos, para então serem tratadas a 97°C por 5 minutos a fim de inativar enzimas. Cor e textura foram determinadas. Os resultados obtidos para cor e textura foram divergentes, devido a isso, selecionou-se as condições ótimas para textura, branqueamento a 60°C por 60 minutos, seguido de 30 minutos de espera e 5 minutos de branqueamento a 97°C, na otimização da desidratação osmótica, empregando planejamento fatorial  $2^2$  com três repetições no ponto central. As concentrações estudadas foram 55 e 65° Brix por 1 e 4 horas. Cor, variação de conteúdo de sacarose e de água foram avaliados. As condições ótimas de DO foram encontradas nos maiores tempos e não dependeram da concentração da solução. Amostras branqueadas por etapas (na condição otimizada) e branqueada convencionalmente (97°C/5min) foram desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 50 e 65% por 0,5, 1, 2 e 3h. Determinou-se eficiência do processo (perda de água/ganho de soluto), cor, textura e difusividade de água e sacarose. Os coeficientes de difusão de água e sacarose determinados na desidratação osmótica resultaram maiores com o branqueamento por etapas e a difusividade das duas substâncias foi muito parecida, demonstrando a perda da seletividade do tecido. Todos os coeficientes diminuíram com o aumento da concentração da solução osmótica. As secagens a 60°C/9h e 70°C/7h

foram realizadas em amostras pré-tratadas com branqueamento por etapas ou branqueamento convencional e desidratação osmótica em solução de sacarose a 50% por 1 hora. Cor, textura, encolhimento, cinética de secagem e atividade de água foram avaliados. A eficiência da secagem foi alta, com elevados coeficientes de difusão, que pouco diferiram com o tipo de branqueamento e a temperatura de secagem. O branqueamento por etapas proporcionou menor encolhimento e menor intensidade de cor nas amostras secas, em comparação com o convencional. Análise sensorial foi realizada em amostras pré-tratadas com branqueamento convencional ou por etapas, seguidos de tratamento osmótico em solução de sacarose a 50% por 1 hora e secagem a 60°C/9h. Os provadores não perceberam diferenças entre os atributos avaliados nas duas amostras, exceto a cor, com preferência para a cor mais intensa das amostras pré-tratadas com branqueamento convencional. Entretanto, a aceitação geral das duas amostras foi boa, mostrando que os produtos obtidos têm possibilidade de serem comercializados.

## ABSTRACT

Combines different processing technologies to obtain an intermediate moisture product from pumpkin with good nutritional value and sensory attributes. The stepwise blanching and osmotic dehydration were optimized for color and texture and then their influence on kinetics drying and physicochemical and sensory properties were evaluated. Stepwise blanching was optimized using a  $2^3$  factorial design with three central point replicates and response surface methodology. Samples were blanched at temperatures 55, 60 and 65°C during 30, 45 and 60 minutes, then held for 30, 45 and 60 minutes followed by a secondary blanching at 97°C for five minutes to inactivate enzymes. Color and texture were determined. At the optimum texture conditions obtained, i.e. blanching at 60°C for 60 minutes, followed by a 30 minutes at holding time and then treated at 97°C/5 min, were used to conduct the osmotic dehydration, using  $2^2$  factorial design with three central point replicates was used. Sucrose concentration used were 55 and 65° Brix for 1 and 4 hours. Color, sucrose and water content variations were measured. Osmotic dehydration optimum condition was found at longer processing times and did not depend on solution concentration. Stepwise and conventionally (97°C/5min) blanched samples (at optimum condition) were osmotically dehydrated in sucrose solution at 50 and 65% during 0,5, 1, 2 and 3h. Process efficiency (water loss/solute gain), color, texture and water and sucrose diffusivity were determined. Water and sucrose diffusion coefficients were higher when stepwise blanching was applied. Similar value obtained for water and sucrose diffusivities showed that the tissue selectivity was lost. All diffusion coefficient value decreased with increasing osmotic solution concentrations. Osmotically dehydrated samples (50%, 1h) after stepwise or conventional blanching were dried at 60°C/9h and 70°C/7h. Color, texture, shrinking, drying kinetics and water activity were measured. Drying was efficient, showed by high diffusion coefficients

obtained with small variations between blanching types and drying temperatures. The stepwise blanching showed less shrinking and color intensity for dried samples when compared to the conventional blanching. Sensory analysis was performed on osmotically dehydrated samples (50%, 1h) after stepwise blanching or conventional blanching followed by drying at 60°C/9h. Sensory panelists did not notice differences between samples, except for color, for which a more intense color for conventional blanching was preferred. Nevertheless potential market for this product, the general acceptance of the samples was positive.

## LISTA DE FIGURAS

| Figura                                                                                                                               | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Figura 1</b> - Abóbora <i>Cucurbita moschata</i> variedade Rajada Seca Melhorada .....                                            | 14     |
| <b>Figura 2:</b> Formato das amostras de abóbora .....                                                                               | 15     |
| <b>Figura 3:</b> Amostragem da abóbora .....                                                                                         | 15     |
| <b>Figura 4:</b> Cortador elétrico .....                                                                                             | 16     |
| <b>Figura 5:</b> Molde retangular .....                                                                                              | 16     |
| <b>Figura 6:</b> Homogeneização das amostras .....                                                                                   | 16     |
| <b>Figura 7:</b> Banho ultratermostatizado com béqueres contendo amostras .....                                                      | 17     |
| <b>Figura 8:</b> Cesto com tela usado no branqueamento a 97°C das amostras .....                                                     | 18     |
| <b>Figura 9:</b> Cesto de nylon para comportar as amostras no banho osmótico .....                                                   | 19     |
| <b>Figura 10:</b> Cesto de nylon com amostras .....                                                                                  | 19     |
| <b>Figura 11:</b> Equipamento de DO: cuba, banho ultratermostatizado e agitador mecânico .....                                       | 19     |
| <b>Figura 12:</b> Amostras sendo lavadas em água destilada por 10 segundos .....                                                     | 19     |
| <b>Figura 13:</b> Amostras sendo secas em papel absorvente .....                                                                     | 20     |
| <b>Figura 14:</b> Recipiente de vidro de 800 ml com tampa .....                                                                      | 21     |
| <b>Figura 15:</b> Incubadora com agitação orbital .....                                                                              | 21     |
| <b>Figura 16:</b> Secador piloto de leito fixo .....                                                                                 | 22     |
| <b>Figura 17:</b> Amostras cortadas e acondicionadas em cápsulas de plástico e frasco utilizado para determinação de isotermas ..... | 23     |
| <b>Figura 18:</b> Cabine de luz .....                                                                                                | 24     |
| <b>Figura 19:</b> Padrão e amostras sendo fotografados para posterior análise de cor em software acadêmico .....                     | 25     |

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 20.</b> Espectrofotômetro ColorFlex com amostra e com o copo plástico .....                                                                                                                         | 25 |
| <b>Figura 21:</b> Texturômetro utilizado .....                                                                                                                                                                | 26 |
| <b>Figura 22:</b> Picnômetro .....                                                                                                                                                                            | 28 |
| <b>Figura 23:</b> Equipamento da Novasina para análise da atividade de água .....                                                                                                                             | 28 |
| <b>Figura 24:</b> Gráfico de contorno para a relação entre a dureza da amostra branqueada e in natura em função do tempo de branqueamento e da temperatura mantendo tempo de espera constante em 45 min ..... | 41 |
| <b>Figura 25:</b> Gráfico de contorno para a relação entre dureza da amostra branqueada e in natura em função do tempo de branqueamento e do tempo de espera mantendo temperatura constante em 60°C .....     | 42 |
| <b>Figura 26:</b> Gráfico de contorno para $\Delta E$ em função do tempo de espera e do tempo de branqueamento mantendo temperatura constante em 60°C .....                                                   | 43 |
| <b>Figura 27:</b> Gráfico de contorno para $\Delta E$ em função do tempo de branqueamento e da temperatura, mantendo tempo de espera constante em 45 minutos .....                                            | 43 |
| <b>Figura 28:</b> Gráfico de contorno para $\Delta E$ em função do tempo de espera e da temperatura, mantendo tempo de branqueamento constante em 45 minutos .....                                            | 44 |
| <b>Figura 29:</b> Efeito da concentração de sacarose e tempo de DO no parâmetro $L^*$ .....                                                                                                                   | 48 |
| <b>Figura 30:</b> Efeito da concentração de sacarose e tempo de DO no parâmetro $a^*$ .....                                                                                                                   | 48 |
| <b>Figura 31:</b> Efeito da concentração de sacarose e tempo de DO no parâmetro $b^*$ .....                                                                                                                   | 49 |
| <b>Figura 32:</b> Superfície de resposta para a variação do conteúdo de água de abóbora branqueada por etapas e desidratada osmoticamente .....                                                               | 52 |

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 33:</b> Superfície de resposta para a variação do conteúdo de sacarose de abóbora branqueada por etapas e desidratada osmoticamente .....                                                                               | 52 |
| <b>Figura 34:</b> Valores da normalização de dureza e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas a dois tipos de branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos .....         | 57 |
| <b>Figura 35:</b> Valores da normalização de dureza e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas a dois tipos de branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos .....         | 58 |
| <b>Figura 36:</b> Valores do parâmetro $L^*$ e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos .....                            | 60 |
| <b>Figura 37:</b> Valores do parâmetro $L^*$ e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos .....                            | 61 |
| <b>Figura 38:</b> Valores do parâmetro $a^*$ e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos .....                            | 62 |
| <b>Figura 39:</b> Valores do parâmetro $a^*$ e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos .....                            | 63 |
| <b>Figura 40:</b> Valores do parâmetro $b^*$ e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos convencional ou por etapas e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos ..... | 64 |

|                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 41:</b> Valores do parâmetro $b^*$ e desvios padrão das amostras de abóbora aos branqueamentos convencional ou por etapas e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos .....           | 65 |
| <b>Figura 42:</b> Curvas de secagem de amostras branqueadas convencionalmente ou por etapas, tratadas osmoticamente e secas a $60^{\circ}\text{C}/9\text{h}$ , $v = 1,7\text{m/s}$ , $\text{UR} \approx 13\%$ .....              | 66 |
| <b>Figura 43:</b> Curvas de secagem de amostras branqueadas convencionalmente ou por etapas, tratadas osmoticamente e secas a $70^{\circ}\text{C}/7\text{h}$ , $v = 1,7\text{m/s}$ , $\text{UR} \approx 9\%$ .....               | 66 |
| <b>Figura 44:</b> Taxa de secagem das amostras previamente tratadas com branqueamento convencionalmente ou por etapas + DO + secagem a $60^{\circ}\text{C}/9\text{h}$ .....                                                      | 67 |
| <b>Figura 45:</b> Taxa de secagem das amostras previamente tratadas com branqueamento convencionalmente ou por etapas + DO + secagem a $70^{\circ}\text{C}/7\text{h}$ .....                                                      | 67 |
| <b>Figura 46:</b> Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo <b>equação (14)</b> , durante secagem a $60^{\circ}\text{C}/9\text{h}$ .....                                | 68 |
| <b>Figura 47:</b> Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo <b>equação (14)</b> , durante secagem a $70^{\circ}\text{C}/7\text{h}$ .....                                | 69 |
| <b>Figura 48:</b> Dados experimentais e calculados segundo equação 14 das isothermas a 30, 50 e $70^{\circ}\text{C}$ de abóboras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 50% por 1 hora ..... | 77 |
| <b>Figura 49:</b> Intenção de compra das amostras de abóbora branqueada convencionalmente ou por etapas + DO + secagem a $60^{\circ}\text{C}/9\text{h}$ .....                                                                    | 79 |

## LISTA DE TABELAS

| <b>Tabela</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Página</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Tabela 1:</b> Modelos de isotermas de sorção .....                                                                                                                                                                                                                              | 37            |
| <b>Tabela 2:</b> Resultados das razões entre amostras branqueadas por etapas e in natura para dureza e parâmetros L*, a* e b*, e da diferença total de cor $\Delta E$ entre essas amostras, segundo planejamento fatorial de terceira ordem .....                                  | 39            |
| <b>Tabela 3:</b> Dureza de amostras branqueadas a 97°C e suas respectivas amostras in natura .....                                                                                                                                                                                 | 39            |
| <b>Tabela 4:</b> Caracterização das abóboras in natura .....                                                                                                                                                                                                                       | 45            |
| <b>Tabela 5:</b> Resultados da DO a 27°C expressos em conteúdo de açúcares não redutores, açúcares redutores e água presente nas amostras in natura, branqueadas e desidratadas osmoticamente .....                                                                                | 46            |
| <b>Tabela 6:</b> Relação dos parâmetros de cor, variação do conteúdo de água e variação do conteúdo de sacarose entre as amostras processadas e as in natura para cada ensaio .....                                                                                                | 47            |
| <b>Tabela 7:</b> Croma e ângulo <i>hue</i> calculados para amostras <i>in natura</i> , branqueadas por etapas e em amostras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente .....                                                                                              | 50            |
| <b>Tabela 8:</b> Teor de água, perda de água, ganho de sacarose, variação de massa, todos em relação à massa inicial, e eficiência das amostras branqueadas (convencional e etapas) e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 50% (p/p) por diferentes tempos .....    | 54            |
| <b>Tabela 9:</b> Teor de água, perda de água, ganho de sacarose, variação de massa todos em relação à massa inicial e eficiência das amostras branqueadas (convencional ou por etapas) e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 65% (p/p) por diferentes tempos ..... | 55            |

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 10:</b> Coeficientes de difusão da água e da sacarose para amostras branqueadas convencionalmente e branqueadas por etapas, submetidas à DO em soluções de 50 e 65% de solução de sacarose ..... | 56 |
| <b>Tabela 11:</b> Valores normalizados para dureza das amostras branqueadas convencionalmente e branqueadas por etapas, sem e com posterior desidratação osmótica .....                                    | 57 |
| <b>Tabela 12:</b> Valores $L^*_{DO}/L^*_{nat}$ para amostras branqueadas de diferentes formas e branqueadas e tratadas osmoticamente em concentrações e tempos diferentes. ....                            | 60 |
| <b>Tabela 13:</b> Valores $a^*_{DO}/a^*_{nat}$ para amostras branqueadas de diferentes formas e branqueadas e tratadas osmoticamente em concentrações e tempos diferentes.....                             | 62 |
| <b>Tabela 14:</b> Valores $b^*_{DO}/b^*_{nat}$ para amostras branqueadas de diferentes formas e branqueadas e tratadas osmoticamente em concentrações e tempos diferentes .....                            | 63 |
| <b>Tabela 15:</b> Coeficiente de difusão ( $D_{efs}$ ) obtido após a secagem de abóboras, sendo BE = Branqueamento por etapas, BC = Branqueamento convencional, DO = Desidratação osmótica .....           | 68 |
| <b>Tabela 16:</b> Atividade de água de amostras in natura, submetidas aos pré-tratamentos e após secagem .....                                                                                             | 70 |
| <b>Tabela 17:</b> Densidade das amostras de abóbora após cada tratamento .....                                                                                                                             | 71 |
| <b>Tabela 18:</b> Encolhimento das amostras após cada tratamento calculado segundo a <b>equação 18</b> .....                                                                                               | 71 |
| <b>Tabela 19:</b> Firmeza das amostras submetidas a diferentes tratamentos, combinados ou não, expresso na forma de relação entre dureza das amostras tratadas sobre amostra in natura .....               | 73 |

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 20:</b> Normalização dos parâmetros de cor $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ obtidos para cada tratamento em que as amostras foram submetidas .....                                | 74 |
| <b>Tabela 21:</b> Constantes, $R^2$ e $\chi^2$ resultantes do ajuste dos dados de isotermas nos modelos matemáticos de BET e OSWIN.....                                          | 76 |
| <b>Tabela 22:</b> Média e desvio padrão dos valores** atribuídos às amostras de abóbora submetidas ao branqueamento convencional ou por etapas + DO + secagem a 60°C/9horas..... | 78 |
| <b>Tabela 23:</b> Dureza das amostras in natura e branqueadas usadas para cada tratamento osmótico do estudo da cinética de desidratação osmótica.....                           | 94 |
| <b>Tabela 24:</b> Dureza e parâmetros de cor de amostras in natura referentes a cada tratamento realizado na otimização do branqueamento por etapas.....                         | 94 |

## NOMENCLATURA

|                  |                                      |
|------------------|--------------------------------------|
| DO               | Desidratação osmótica                |
| C                | Concentração                         |
| H*               | Ângulo <i>hue</i>                    |
| Def              | Coeficiente de difusão na DO         |
| Def <sub>s</sub> | Coeficiente de difusão na secagem    |
| bs               | Base seca                            |
| e                | Espessura                            |
| N                | Newton                               |
| D <sub>b</sub>   | Dureza da amostra branqueada         |
| D <sub>n</sub>   | Dureza da amostra in natura          |
| T                | Temperatura                          |
| t                | Tempo                                |
| min.             | Minutos                              |
| h                | Horas                                |
| t <sub>b</sub>   | Tempo de branqueamento               |
| t <sub>e</sub>   | Tempo de espera                      |
| ΔE               | Variação total de cor                |
| b.u.             | Base úmida                           |
| Branq.           | Branqueamento                        |
| Convenc.         | Convencional                         |
| a <sub>w</sub>   | Atividade de água                    |
| ADM              | Adimensional                         |
| w                | Fração do componente i em base úmida |

|                           |                                                          |
|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| $w_i^0$                   | Fração do componente i no instante zero, em base úmida   |
| $w_i^{eq}$                | Fração do componente i no equilíbrio, em base úmida      |
| $w_a$                     | Teor de água                                             |
| $\bar{x}(t)$              | Fração de massa de água em base seca num tempo t         |
| $X^0$                     | Fração de massa de água em base seca no instante inicial |
| $X^{eq}$                  | Fração de massa de água em base seca no equilíbrio       |
| $\Delta P_a$              | Perda de água                                            |
| $\Delta G_{sac}$          | Ganho de sacarose                                        |
| $\Delta M$                | Variação de massa                                        |
| $M^0$                     | Massa no tempo inicial                                   |
| $M$                       | Massa após um tempo t                                    |
| $E_f$                     | Eficiência                                               |
| $a^*, b^* \text{ e } L^*$ | Parâmetros de cor                                        |
| $C^*$                     | Croma                                                    |

**Subíndice**

|     |            |
|-----|------------|
| nat | In natura  |
| b   | Branqueada |

## SUMÁRIO

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Dedicatória.....                    | I    |
| Agradecimentos .....                | II   |
| Epígrafe .....                      | V    |
| Resumo .....                        | VI   |
| Abstract .....                      | VIII |
| Índice de Figuras .....             | X    |
| Índice de Tabelas .....             | XIV  |
| Nomenclaturas .....                 | XVII |
| Sumário .....                       | XIX  |
| 1. Introdução .....                 | 1    |
| 2. Objetivos .....                  | 2    |
| 3. Revisão Bibliográfica .....      | 2    |
| 3.1. Abóbora .....                  | 2    |
| 3.2. Branqueamento por etapas ..... | 3    |
| 3.3. Desidratação osmótica .....    | 5    |
| Secagem convectiva .....            | 6    |
| 3.4. Isotermas de sorção .....      | 10   |
| 3.5. Textura .....                  | 11   |
| 3.6. Cor .....                      | 12   |
| 4. Materiais e Métodos .....        | 13   |
| 4.1. Matéria prima .....            | 13   |
| 4.2. Processamento.....             | 14   |
| 4.2.1. Ensaio preliminares .....    | 14   |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2. Seleção das abóboras e amostragem .....                  | 15 |
| 4.2.3. Branqueamento térmico por etapas .....                   | 16 |
| 4.2.4. Branqueamento térmico convencional .....                 | 18 |
| 4.2.5. Ensaios da otimização da desidratação osmótica (DO)..... | 18 |
| 4.2.6. Cinética da desidratação osmótica .....                  | 20 |
| 4.2.7. Ensaios de equilíbrio na desidratação osmótica .....     | 20 |
| 4.2.8. Ensaios de secagem .....                                 | 21 |
| 4.2.9. Isotermas de sorção .....                                | 22 |
| 4.2.10. Avaliação sensorial .....                               | 23 |
| 5. Métodos analíticos .....                                     | 24 |
| 5.1. Cor .....                                                  | 24 |
| 5.2. Textura .....                                              | 26 |
| 5.3. Sólidos totais .....                                       | 26 |
| 5.4. Análise de açúcares .....                                  | 27 |
| 5.5. Densidade das amostras .....                               | 27 |
| 5.6. Atividade de água .....                                    | 28 |
| 6. Análise de dados .....                                       | 29 |
| 6.1. Otimização do branqueamento por etapas .....               | 29 |
| 6.2. Ensaios de desidratação osmótica .....                     | 30 |
| 6.2.1. Otimização da desidratação osmótica .....                | 30 |
| 6.2.2. Cinética da desidratação osmótica .....                  | 31 |
| 6.2.3. Textura e cor .....                                      | 34 |
| 6.3. Secagem .....                                              | 34 |
| 6.3.1. Cinética de secagem .....                                | 34 |
| 6.3.2. Encolhimento .....                                       | 36 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3.3. Textura e cor .....                                                        | 36 |
| 6.4. Isotermas de sorção.....                                                     | 37 |
| 6.5. Avaliação sensorial .....                                                    | 38 |
| 7. Resultados e discussão .....                                                   | 38 |
| 7.1. Otimização do branqueamento por etapas .....                                 | 38 |
| 7.2. Otimização da desidratação osmótica de abóboras branqueadas por etapas ..... | 45 |
| 7.3. Cinética da desidratação osmótica .....                                      | 53 |
| 7.3.1. Transferência de massa .....                                               | 53 |
| 7.3.2. Análise de textura .....                                                   | 56 |
| 7.3.3. Análise de cor .....                                                       | 59 |
| 7.4. Secagem .....                                                                | 65 |
| 7.4.1. Cinética de secagem .....                                                  | 65 |
| 7.4.2. Atividade de água .....                                                    | 69 |
| 7.4.3. Encolhimento e densidade das amostras .....                                | 71 |
| 7.4.4. Textura e cor .....                                                        | 72 |
| 7.5. Isotermas .....                                                              | 75 |
| 7.6. Análise sensorial .....                                                      | 77 |
| 8. Conclusões e sugestões .....                                                   | 80 |
| 4. Referências bibliográficas .....                                               | 82 |

## 1. Introdução

Cada vez mais o consumidor se preocupa com sua alimentação e como isso pode afetar sua qualidade de vida. Entretanto, o maior desafio da indústria para atender essa exigência dos consumidores é produzir alimentos que apresentem características nutritivas próximas dos produtos naturais que sejam sensorialmente agradáveis e que apresentem estabilidade durante o armazenamento. Para garantir maior tempo de conservação do produto, uma técnica, extensivamente empregada pelas indústrias alimentícias é a secagem convectiva. As grandes inconveniências dessa técnica são a acentuada perda de nutrientes e as mudanças, algumas vezes indesejáveis, nas características físico-químicas e sensoriais do produto.

Tratamentos prévios à secagem convectiva em geral são empregados para diminuir a umidade do alimento e amenizar os efeitos provocados pela desidratação. Dentre os mais estudados estão o branqueamento térmico e a desidratação osmótica (DO).

O branqueamento térmico é um tratamento há muito tempo investigado na área de alimentos. Sua função é diminuir a carga inicial de microorganismos e, principalmente, inativar enzimas que provocam alterações de cor e sabor nos alimentos. Entretanto, o branqueamento tradicional propicia, também, efeitos indesejáveis na estrutura, cor e conteúdo de nutrientes do vegetal. Devido a isso, inúmeras pesquisas enfatizam a importância do branqueamento por etapas que consiste em um branqueamento a baixas temperaturas seguido de rápido branqueamento a alta temperatura depois de um tempo de espera.

A desidratação osmótica e o branqueamento por etapas, aplicados em frutas e hortaliças como tratamentos prévios à secagem, têm recebido atenção de pesquisadores uma vez que podem proporcionar produtos finais com melhores características sensoriais e nutritivas.

São crescentes as pesquisas com abóbora (*Cucurbita moschata*) devido a alguns fatores como sua cor atraente, seu baixo custo de armazenamento e de produção e seu potencial nutritivo. O adequado processamento da abóbora pode gerar produtos saborosos e ricos em nutrientes.

## 2. Objetivos

Avaliar o branqueamento por etapas e a desidratação osmótica como tratamentos anteriores à secagem convectiva de abóbora e a influência dos mesmos sobre a cinética de secagem e sobre propriedades físico-químicas e características sensoriais no produto final, para obtenção de fatias de abóbora a umidade intermediária impregnadas de sacarose.

## 3. Revisão Bibliográfica

### 3.1. Abóbora

A abóbora tem como centro de origem a região central do México. É uma espécie tropical, favorecida por temperaturas elevadas, tolerante a temperaturas amenas e sensível a geadas. Pertencente à família *Cucurbitaceae* e ao gênero *Cucurbita* (SASAKI et al., 2006), a abóbora apresenta formato e tamanho variado e pode ser colhida em diferentes estádios de maturação, mesmo antes de atingir o tamanho definitivo. Entretanto, para uso industrial, a colheita deve ser feita quando esta estiver madura, ou seja, quando apresentar pedúnculo seco e casca resistente (UFRGS, 2007). Além disso, os custos com transporte e armazenamento da cucurbitácea são baixos devido à facilidade com que essa hortaliça é obtida o ano todo e à alta resistência de sua casca, o que previne muitos danos físicos.

Os principais produtores desta cucurbitácea são os estados no nordeste, inclusive o Vale do rio São Francisco (UFRGS, 2007). Seu período de safra vai desde outubro até julho (COPERCAMPOS, 2007).

A abóbora possui baixa quantidade de sólidos em sua composição, cerca de 7 a 10%, onde, aproximadamente, 1,3% são fibras (HOOVER, 1973; LUENGO et al., 2000). É uma hortaliça que apresenta baixas calorias (40 calorias em 1 kg), além de ser fonte de vitaminas do complexo B e sais minerais como potássio, sódio, ferro, enxofre, cálcio e fósforo (LUENGO et al., 2000). Sua cor laranja indica alta concentração de  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -caroteno, carotenóides antioxidantes e precursores da vitamina A no corpo humano (RODRIGUEZ-AMAYA et al, 2008; WEINSTEIN et al., 2004). Cerca de 64% dessa vitamina ingerida nas

Américas é proveniente de carotenóides pró vitamínicos A (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1995). Os inquéritos bioquímicos confirmam que a deficiência dessa vitamina é um problema de saúde pública nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco, Paraíba, Ceará, Bahia e Amazonas (RAMALHO et al., 2002). Nos últimos 25 anos, foi constatado que, no Brasil, a ingestão de vitamina A de fontes naturais é extremamente baixa em 60% ou mais da população.

### **3.2. Branqueamento por etapas**

O branqueamento é um pré-tratamento muito investigado. Sua função é diminuir a carga inicial de microorganismos e, principalmente, inativar enzimas que provocam alterações de cor e sabor no alimento (ALVAREZ et al., 1995; SANJUÁN et al., 2001).

A peroxidase é uma das enzimas mais estáveis ao calor e que está presente em muitos vegetais (HALPIN & LEE, 1987), incluindo a abóbora. Para garantir uma boa qualidade dos vegetais durante a estocagem, Bahçeci et al. (2005) recomendam redução de 90% da ação dessa enzima depois do branqueamento. Gonçalves et al. (2007) identificaram que o decréscimo da atividade de peroxidase na abóbora ocorre quando o branqueamento de cilindros de 5 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura é conduzido a 90°C por 5,8 minutos ou 95°C por 3,9 minutos.

Apesar das inúmeras vantagens que o branqueamento tradicional propicia aos vegetais, ele também, pode causar efeitos adversos, muitas vezes indesejáveis, como modificações no pigmento, perda de nutrientes e alterações na estrutura do alimento que levam ao amolecimento do tecido (SANJUÁN et al., 2001; GONCALVEZ et al., 2007).

Dutta et al. (2006b) observou que o purê de abóbora branqueado possui maior concentração de  $\beta$ -caroteno que o não branqueado. Contudo, notou um escurecimento na cor desse purê após o mesmo ter sido tratado com diferentes temperaturas acima de 60°C. O autor atribuiu esse escurecimento à degradação de pigmentos sensíveis ao calor que proporcionam formação de compostos escuros. Similar comportamento foi citado por Ávila e Silva (1999) para purê de pêra.

A degradação de nutrientes e de propriedades antioxidantes, devido ao branqueamento, também foi observada por Howard et al. (1999) para cenoura, brócolis e feijões verdes; Murcia et al. (1999) para brócolis; e Oboh (2005) para algumas folhas verdes.

O tecido vegetal também é muito injuriado pela temperatura, reduzindo a sua firmeza. Todavia trabalhos sobre o branqueamento por etapas têm sido reportados na literatura, com a proposta de conservar mais a firmeza do tecido vegetal em comparação ao branqueamento convencional. O branqueamento por etapas consiste em um branqueamento a baixa temperatura, seguido de um rápido branqueamento a alta temperatura após um tempo de espera (SANJUÁN et al., 2001). O branqueamento à baixa temperatura ativa a enzima pectina-metil-esterase (PME), que desmetoxila a pectina, formando grupos carboxílicos livres. Essa pectina, por sua vez, reage com íons cálcio, presentes na lamela média, produzindo pectatos insolúveis que reforçam a parede celular e favorecem a textura do produto. A lamela média formada entre duas células, resulta da coalescência de muitas vesículas citoplasmáticas derivadas do aparelho de Golgi, consistindo basicamente de substâncias pécticas (BIDWELL, 1979). Em seguida, é realizado o branqueamento a alta temperatura para garantir a inativação da enzima peroxidase (BARTOLOME & HOFF, 1972; VAN BUREN, 1979).

Sanjuán et al. (2001) observaram que o branqueamento por etapas garantia uma textura mais firme para brócolis. O mesmo comportamento foi observado por outros pesquisadores para cenoura enlatada (LEE et al., 1979), feijões verdes (BOURNE, 1987), cenoura (QUINTERO-RAMOS et al., 1992), couve-flor (GARCIA - REVERTER, 1994) e batata doce (MORENO PEREZ et al., 1996).

Dutta et al. (2006a) avaliaram abóboras (*Cucurbita moschata* cultivar Akra Chandan) tratadas termicamente a temperaturas de 50 e 100°C, por até 20 minutos. Os autores observaram que abóboras submetidas a tratamentos térmicos de 50 a 70°C em um intervalo de tempo de 3 a 20 minutos apresentavam firmeza mais próxima da inicial, enquanto as amostras submetidas acima dessas temperaturas demonstravam significativa alteração na estrutura do tecido vegetal. Esses resultados foram associados à atuação da enzima pectinesterase. Eles observaram, também, que houve mudanças na cor das amostras, ocorrendo decréscimo no parâmetro L\* (claridade) e aumento dos parâmetros a\* e b\* com o aumento da temperatura e do tempo de branqueamento, o que foi atribuído a processos de degradação, como a isomerização de carotenóides. A degradação de  $\beta$ -caroteno, também, foi maior nas temperaturas mais altas e nos tempos maiores de branqueamento.

Ao otimizar o branqueamento por etapas da abóbora cultivar Zucchini Grey, através da superfície de resposta, Quintero Ramos et al. (1998) observaram que as condições que apresentaram melhor textura e melhor retenção de cor estiveram entre temperaturas de 61

a 66°C por 52 a 56 minutos de branqueamento. Condições semelhantes foram encontradas, por Quintero Ramos et al. (1992), para cenoura: 60 – 65°C por 45-60 min.

O branqueamento a baixa temperatura, realizado nos estudos de Quintero-Ramos et al. (1992), García-Reverter (1994), Moreno Perez et al. (1996) e Sanjuàn et al. (2001), foi realizado utilizando temperaturas no intervalo de 50°C a 70°C. Bartolome & Hoff (1972) afirmam que a enzima PME é ativada a temperaturas superiores a 50°C, mas desnaturada a temperaturas acima de 70°C.

### **3.3. Desidratação osmótica**

A desidratação osmótica é um processo de transferência de massa que consiste na remoção de umidade do alimento sem mudança de fase da água (BOLIN et al., 1983). Neste processo, o alimento é imerso em uma solução hipertônica cuja pressão osmótica propicia o fluxo de água do alimento para a solução, a transferência de soluto da solução para o alimento e uma pequena transferência de solutos do alimento para a solução. A transferência de soluto dependerá da permeabilidade da membrana celular (RAOULT-WACK, 1994). Enquanto o tecido mantiver sua integridade, a membrana plasmática, pouco permeável a solutos de alto peso molecular, restringirá a transferência dessas substâncias aos espaços celulares externos à membrana plasmática. Em desidratação osmótica, soluções hipertônicas, geralmente, são constituídas por sacarídeos, cloreto de sódio, sorbitol ou glicerol (LENART, 1996). Sacarose é considerada uma ótima substância osmótica, especialmente quando a DO é aplicada como tratamento prévio à secagem, pois reduz o escurecimento enzimático e proporciona um sabor agradável (PONTING et al., 1966; LENART, 1996).

A desidratação osmótica (DO) pode reduzir a umidade de um vegetal em aproximadamente 50% de seu peso, o que fornece um processo bastante útil como pré-tratamento para a secagem. Além disso, a DO previne o escurecimento enzimático, a perda de compostos voláteis e vitaminas durante a secagem, reduz a acidez da fruta e melhora a aceitação sensorial do produto (PONTING et al., 1966; PAN et al., 2003; SHI et al., 1999; TORREGGIANI, 1993).

A desidratação osmótica não necessita de temperaturas maiores para remoção de água, pois a mesma é removida sem mudança de fase, em função apenas de um gradiente de concentração, o que pode reduzir o custo do processo como um todo.

De acordo com Raoult-Wack (1994), a perda de água ocorre, principalmente, durante as duas primeiras horas de tratamento osmótico diminuindo, progressivamente, após esse período. O ganho de solutos, entretanto, continua aumentando.

Nos primeiros 30 minutos de desidratação osmótica de cubos de 10 mm de abóbora, cultivar Melonowa, em solução de sacarose de 61,5% a 30°C, Kowalska & Lenart (2001), obtiveram 50% de redução do conteúdo de umidade em base seca. A partir daí, a desidratação se procedeu mais lentamente e a cucurbitácea teve seu conteúdo de umidade diminuído em 41% entre 60 e 180 minutos de processo. Eles observaram, também, que durante esse pré-tratamento, simultaneamente à alta perda de água, houve baixo ganho de soluto.

Estudos com desidratação osmótica de abóbora mostraram que o aumento da concentração de sacarose na faixa de 20-50% aumentou o ganho de soluto durante 6 horas de processo. Entretanto, um aumento de 50 para 65% na solução ocasionou um ganho de soluto inicial, mas após 4 horas não apresentou mudança significativa, o que foi atribuído à formação de um filme de proteção de sacarose na superfície da cucurbitácea que diminuiu a permeabilidade do soluto na mesma e, também, à baixa difusividade de água na solução de alta concentração de sacarose (PAN et al., 2003).

Nascimento (2006) relata que, embora a desidratação osmótica de abóboras *Cucurbita moschata* tenha causado alguma degradação de carotenóides durante esse processo, o pré-tratamento osmótico aumentou a retenção desses durante a secagem convectiva a 50 e 70 °C em comparação com amostras não tratadas, além de proporcionar melhor aparência às mesmas. Esse fato, explica Nascimento (2006), é devido à diminuição da degradação oxidativa causada pela exposição ao oxigênio.

### **3.4. Secagem convectiva**

Para manter a qualidade e aumentar a vida de prateleira dos produtos, é necessário utilizar algum método de preservação. Um dos métodos mais importantes de preservação de vegetais é a secagem, pois remove a umidade do alimento, reduzindo a atividade de água e o risco de desenvolvimento de microorganismos e reações de deterioração em geral. Além disso, o vegetal desidratado ocupa menos espaço e não necessita de baixas temperaturas de conservação, reduzindo, dessa forma, o custo com transporte e armazenamento (VEGA-MERCADO et al., 2001; KAVAK AKPINAR et al., 2005; MANDALA et al., 2005).

Todavia, esse método pode apresentar alterações sensoriais e nutricionais indesejáveis e por isso deve-se levar em conta as transformações ocorridas no produto durante a remoção de água.

A secagem é uma operação unitária que envolve transferência de calor, basicamente por convecção, e transferência de massa. No processo de secagem, a água se movimenta de zonas de alta umidade, encontradas no interior do sólido, para zonas de baixa umidade, presente na superfície do produto, onde é removida sob a forma de vapor. Existem muitos mecanismos que explicam como essa migração de água no interior do produto ocorre, como por exemplo, o mecanismo da difusão líquida, da difusão de vapor, da termodifusão entre outros (TREYBAL, 1980).

A secagem pode ser dividida em três períodos de acordo com o mecanismo de transferência de calor e massa:

1. Período de adaptação: aquecimento do material acarretando em aumento da taxa de secagem;
2. Período de taxa constante: evaporação da umidade não ligada que se encontra na superfície do sólido, sendo que a migração interna da água é suficiente para compensar a evaporação superficial e manter a condição de saturação na superfície. Nesse período todo o calor fornecido pelo ar aquecido que é transferido para a superfície do produto corresponde ao calor requerido para a evaporação da água.
3. Período de taxa decrescente: ocorre a redução da taxa de secagem e a elevação da temperatura do produto. Nesse período a velocidade de transferência de massa no interior do sólido é menor que a taxa de evaporação na superfície.

No período de taxa decrescente, partes externas do material já estão secas, enquanto que o interior ainda pode conter quantidades significativas de água. A partir desse ponto, o processo consome grandes quantidades de energia, o produto tem sua temperatura elevada e atributos físicos, sensoriais e nutricionais podem ser prejudicados (NIJHUIS et al., 1996). O processo é encerrado quando o produto atinge a umidade de equilíbrio com o ar de secagem (PARK et al., 2001).

Grande parte dos modelos matemáticos que descrevem os processos de secagem no período de taxa decrescente baseia-se na teoria da difusão líquida de água. Essa teoria é representada pela segunda lei de Fick (CRANK, 1975) apresentada numa forma modificada pela **equação 1**.

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

(1)

onde X = fração de massa de água em base seca,  $D_{ef}$  = coeficiente de difusão efetivo, e t = tempo.

A difusividade efetiva engloba todos os efeitos que podem intervir no fenômeno de migração da água no produto, como a dependência com a temperatura e a concentração, além de encolhimento, porosidade e tortuosidade. As soluções analíticas obtidas através da **equação 1** aplicam-se aos sólidos de geometria simples e constante ao longo do processo.

Dentre os métodos existentes de secagem, a convectiva é a mais utilizada na indústria de alimentos (KIRANOUDIS et al., 1997), sendo estimada como responsável por mais de 90% da produção de alimentos desidratados, apesar de outros tipos de secadores proporcionarem algumas vantagens importantes em termos de eficiência energética, qualidade do produto e impacto ao meio ambiente (MUJUMDAR, 1997). Além disso, a degradação da qualidade dos alimentos durante a secagem convectiva é uma das maiores preocupações referentes à seleção, projeto e operação de secadores, devido às alterações físicas, químicas e bioquímicas decorrentes desse processo (MUJUMDAR, 1997).

Propriedades importantes dos vegetais sofrem mudanças durante essa operação, dentre elas a redução de volume externo (encolhimento), mudanças na textura, perda de cor e nutrientes (MAYOR & SERENO, 2004).

A fim de melhorar a qualidade sensorial e nutricional do produto desidratado, muitos autores (PONTING et al., 1966; TORREGGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994; LENART, 1996) sugerem a desidratação osmótica como um pré-tratamento para a secagem. Entretanto, diversos trabalhos mostram a redução da taxa de remoção de água do alimento pré-tratado ao longo da secagem quando comparado com produtos sem pré-tratamento. Esse comportamento é explicado pela formação de uma camada de sólidos na superfície do material, que pode dificultar a evaporação de água, e pela redução do teor de água livre do alimento devido à incorporação de solutos que se associam mais fortemente à água (TORREGGIANI, 1993; LENART, 1996).

Karathanos et al. (1995) e Rodrigues (2003) notaram que maçãs tratadas por osmose previamente apresentaram redução nas taxas de secagem em comparação com o produto in natura. Nicoleti et al. (2001) observaram que a taxa de difusividade da água, durante a secagem de amostras de abacaxi desidratadas osmoticamente foi menor do que daquelas in

natura. As taxas de secagem geralmente caem com a incorporação de soluto devido ao pré-tratamento. Porém mesmo que as taxas de secagem de amostras pré-tratadas sejam menores que de não tratadas, os tempos de secagem podem ser menores para as primeiras, que dependerá da umidade desejada no produto final. Estudos com abóbora (PAN et al., 2003) mostraram redução no tempo de secagem desses vegetais quando o pré-tratamento osmótico foi utilizado.

Por outro lado, pesquisadores como Park et al. (2002), Garcia et al. (2007) e Shigematsu et al. (2005), verificaram aumento da difusividade da água na secagem com o pré-tratamento osmótico em peras e carambolas, respectivamente, o que foi atribuído à desidratação superficial muito rápida das frutas não tratadas devido à alta umidade, com aparecimento de áreas endurecidas que contribuíram para a diminuição das taxas de secagem em comparação com amostras desidratadas osmoticamente.

O efeito do branqueamento a vapor e da desidratação osmótica na secagem foi avaliado em morangos por Alvarez et al. (1995), que observou um aumento na difusividade mássica e atribuíram tal fato à degradação da lamela média causada pelo branqueamento.

Uma das mais importantes mudanças físicas que ocorre com o alimento durante a secagem é o encolhimento. Além de ser considerado um indicativo da qualidade do produto desidratado, o estudo do encolhimento é de grande importância para um melhor entendimento do processo de secagem (NIJHUIS et al., 1996).

A diminuição das dimensões do produto se deve à alteração na microestrutura do tecido fresco, em que se verifica um aumento de cavidades, células alongadas, dentre outras modificações (LEWICKI E PAWLAK, 2003), promovidas pelo tratamento térmico e principalmente pela remoção de umidade.

Muitos estudos têm demonstrado que a impregnação do tecido com açúcar reduz o encolhimento indesejável que ocorre durante a secagem. Del Valle et al. (1998) observou que cilindros de maçãs pré-tratadas em diferentes concentrações de sacarose e posteriormente submetidos à secagem apresentaram menor encolhimento quando comparados aos cilindros de maçãs secas sem pré-tratamento.

Nieto et al (1998) notaram que placas de maçãs branqueadas e imersas em solução de glicose apresentaram menor encolhimento após a secagem que amostras somente tratadas com glicose. Os autores atribuíram o resultado ao fato do branqueamento potencializar a impregnação de açúcar nas maçãs.

Outro parâmetro que é afetado pela secagem é a cor. Estudos com batata e abacaxi demonstraram que amostras desidratadas osmoticamente previamente à secagem,

apresentaram menor redução da coloração durante a secagem em comparação com amostras não tratadas (TAN et al, 2001).

### 3.5. Isotermas de Sorção

As variáveis de um processo, bem como as características de um produto e seus atributos de estabilidade são fortemente influenciados pela água (PARK et al., 2001). A disponibilidade desse componente para reações bioquímicas e crescimento microbológico pode ser refletido através da atividade de água do produto que é um parâmetro muito utilizado para prever a deterioração de produtos alimentícios (VAN DEN BERG & BRUIN, 1981).

A atividade de água ( $a_w$ ) é definida pela relação entre pressão parcial de vapor exercida pela água presente no alimento e a pressão de vapor de água pura (RAHMAN, 1995). Esse parâmetro reflete a disponibilidade da água para reação de deterioração do alimento, lembrando, porém, que as substâncias que compõem o alimento também estão relacionadas à conservação do mesmo.

A relação de equilíbrio entre a atividade de água e o conteúdo de umidade no alimento a uma determinada temperatura e pressão constante pode ser expressa através das curvas de isotermas de sorção.

As isotermas podem ser divididas em três regiões. Na primeira, com umidades mais baixas, a água é fortemente ligada ao produto e inviável para reações, representando a adsorção da primeira camada de água sobre a superfície do material adsorvente. Na segunda, a água não tão fortemente ligada e presente em pequenos capilares, corresponde à adsorção de uma segunda camada de água e cobre uma faixa de  $a_w$  em torno de 0,25-0,60. Na terceira região, a água é encontrada em largos capilares e é relativamente livre para reações, agindo como solvente de compostos solúveis presentes (VAN DEN BERG & BRUIN, 1981).

As isotermas de sorção são influenciadas por vários fatores, como a estrutura física, composição química do material e a afinidade com a água, o que confere individualidade das características de sorção de umidade para os alimentos. Dessa forma, é necessário determinar experimentalmente as isotermas de cada produto, quando os dados não estão disponíveis na literatura.

O conhecimento dos dados de isotermas é muito importante para estudo da estabilidade da vida de prateleira do produto, avaliação de embalagens, modelagem da

cinética de secagem, entre outros. Existem muitos modelos matemáticos utilizados para ajustar as curvas de isotermas. Esses modelos podem ser empíricos, semi-empíricos ou teóricos (VAN DEN BERG & BRUIN, 1981).

Mayor et al. (2005) notaram que isotermas de sorção da abóbora desidratada osmoticamente se aproximaram da isoterma de sorção da sacarose à medida que o tecido foi mais impregnado com esse açúcar.

### 3.6. Textura

A textura é um importante atributo de qualidade de alimentos desidratados. Alguns pesquisadores têm estudado técnicas mais eficientes de preservação desse atributo.

Os ensaios instrumentais trazem a vantagem de fornecer dados padronizados e uma linguagem única entre pesquisadores (ABBOT, 1999). Instrumentalmente, a textura é quantificada de acordo com as propriedades mecânicas das amostras em ensaios que procuram, muitas vezes, imitar o comportamento humano (PONS & FISZMAN, 1996).

Scott-Blair (1958, *apud* ROSENTHAL, 1999) classificou em três grupos as técnicas instrumentais para medir textura em alimentos: testes empíricos, que medem algo físico sob condições bem definidas; testes imitativos, que simulam as condições em que o material é submetido à mastigação; testes fundamentais, que medem propriedades físicas bem definidas como viscosidade ou módulo elástico. Texture Profile Analysis (TPA) é um teste imitativo criado pela General Foods em meados dos anos 60. Foram definidos vários parâmetros baseados em dois ciclos de compressão axial/deformação, medindo a resistência à deformação desenvolvida na amostra conforme ela é comprimida. Após o primeiro ciclo, a carga é removida permitindo relaxação. Conforme a ponta da prova é puxada da amostra, a tensão devido à coesividade é registrada. O segundo ciclo comprime a amostra novamente antes de permitir a relaxação pela segunda vez. A resistência durante a deformação do alimento é registrada nos dois ciclos de compressão (ROSENTHAL, 1999). A técnica é claramente imitativa em relação ao que acontece na mastigação. O desenvolvimento deste teste provou ser uma valiosa ajuda para avaliar textura de alimentos (ROSENTHAL, 1999).

O comportamento mecânico ou reológico de alimentos é dependente de fatores relacionados à estrutura e suas propriedades. A textura em vegetais é fortemente influenciada pelas condições da lamela média da parede celular (BIDWELL, 1979). As forças de ligação

entre as células são predominantemente dependentes do material péctico na lamela média, que se encontra na forma de protopectina, insolúvel em água, sustentando as paredes celulares. Com o amadurecimento, o armazenamento ou a ruptura do vegetal devido a choques ou a processamentos, a pectina é enzimaticamente solubilizada tanto pela redução do tamanho da cadeia quanto pela desesterificação parcial do polímero (remoção dos grupos metílicos). Isso causa a perda da rigidez do material estrutural (POMERANZ AND MELOAN, 2000; PILNIK AND VORAGEN, 1993; EL-BULUK et al., 1995).

Torreggiani (1993) coloca que a textura da fruta desidratada está associada com a plasticidade e o efeito de inchaço produzido pela água sobre a matriz celulósica e péctica do tecido, dependendo principalmente dos sólidos insolúveis, da quantidade de água em solução com os sólidos solúveis e da atividade de água.

### 3.7. Cor

A importância da cor como um parâmetro de qualidade de alimentos tem sido demonstrada extensivamente na literatura (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2007, SÁNCHEZ-MORENO et al., 2006, ANDREU-SEVILLA et al., 2006, ORNELAS-PAZ et al., 2008). Consumidores frequentemente julgam a qualidade de um alimento baseado na aparência global e, principalmente, na cor (ORNELAS-PAZ et al., 2008). Produtos de cor forte e brilhante são os preferidos sendo que a preferência se deve à correlação visual entre frescor e sabor (CHUA et al., 2000). Alimentos expostos a tratamento térmico sofrem mudanças de cor devido a muitas reações, dentre as quais a degradação de pigmentos, especialmente de carotenóides, reações de escurecimento tal como a reação de Maillard e a oxidação do ácido ascórbico (MASKAN, 2001, BARREIRO et al. 1997).

Para uma padronização mais efetiva, vários pesquisadores vêm avaliando as alterações de cor através de sistemas de cor por determinação instrumental, uma vez que a importância tecnológica da cor reside na possibilidade de utilizá-la como índice de transformações naturais de alimentos frescos ou de mudanças ocorridas durante o processamento industrial (CALVO & DURAN, 1997).

Uma comissão fundada em Viena em 1913 por pesquisadores, chamada CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), ou Comissão Internacional de Iluminação,

padronizou termos relativos à iluminação com o objetivo de aumentar a uniformidade das cores percebidas pelo sistema visual humano (LEÃO et al., 2007).

O modelo de cor uniforme definido pela CIE usa os valores conhecidos como  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  e o sistema é chamado CIE  $L^*a^*b^*$  (ou CIELAB). O valor  $L^*$  é a dimensão da claridade e representa as variações do branco ( $L^*=100$ ) ao preto ( $L^*=0$ ). O valor  $a^*$  representa as variações do verde ( $-a^*$ ) ao vermelho ( $+a^*$ ). O valor  $b^*$  representa as variações do amarelo ( $+b^*$ ) ao azul ( $-b^*$ ).

Para duas cores diferentes, variáveis  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  podem ser representadas como  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  ou ainda  $\Delta E^*$ , definido como a raiz quadrada de  $(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})$ .  $\Delta E^*$  representa a magnitude da diferença em cor, mas não indica a direção da diferença, podendo detectar alguma diferença imperceptível para a visão, mas perceptível em outra parte do espectro. Dois atributos qualitativos de cor, baseados em  $a^*$  e  $b^*$ , são ângulo *hue* e *croma*. O primeiro determina a tonalidade da cor, permitindo que qualquer cor seja graduada como avermelhado, esverdeado, etc., para uma mesma claridade, e o segundo, determina a saturação da cor, representando a intensidade ou pureza do tom, para uma mesma claridade (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2007, PÉREZ-LÓPEZ et al., 2006).

## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Matéria prima

Abóboras (*Curcubita moschata*) variedade Rajada Seca Melhorada (**Figura 1**), provenientes do estado da Bahia, foram adquiridas na CEAGESP (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais do Estado de São Paulo) de São José do Rio Preto. A sacarose (açúcar refinado) foi adquirida no mercado local.



**Figura 1:** Abóbora *Cucurbita moschata* variedade Rajada Seca Melhorada

## 4.2 Processamento

### 4.2.1 Ensaios preliminares

Após testes preliminares com vários formatos de amostras, concluiu-se que as mesmas fossem cortadas no formato de placas de 5 cm de comprimento, 4 cm de largura e 1 cm de espessura (**Figura 2**).

Inicialmente, realizaram-se estudos preliminares a fim de determinar o tempo necessário de inativação da peroxidase existente nas fatias. Para tanto, amostras com o formato fixado foram branqueadas por imersão em água a 97°C em diferentes tempos. Foi realizada análise de atividade enzimática através do teste de peroxidase (PREGNOLATTO & PREGNOLATTO, 1985) e verificado que o tempo necessário para inativar totalmente a peroxidase nas amostras deveria ser de 5 minutos a 97°C (água em ebulição em São José do Rio Preto, SP).



**Figura 2:** Formato das amostras de abóbora

#### 4.2.2 Seleção das abóboras e amostragem

Para facilitar o manuseio, as abóboras foram cortadas transversalmente em três peças e em seguida, longitudinalmente em quatro partes, tendo suas pontas descartadas (**Figura 3**). Duas partes opostas de cada peça transversal foram combinadas e usadas para o mesmo experimento. Os pedaços que não foram utilizados no mesmo dia foram recobertos com filmes plásticos, inseridos em sacos plásticos e armazenados em câmara fria (5°C) por até 48 horas. Após o descascamento, remoção das sementes e do tecido mais interno, esponjoso, as peças foram fatiadas (1 cm) utilizando um cortador elétrico (**Figura 4**). As fatias foram então cortadas nas dimensões de comprimento e largura da placa pré-definida nos ensaios preliminares, com auxílio de um molde retangular (**Figura 5**) construído em metal e afiado. As amostras foram colocadas em saco plástico, homogeneizadas e selecionadas, aleatoriamente, para os ensaios (**Figura 6**).



**Figura 3:** Amostragem da abóbora



**Figura 4:** Cortador elétrico



**Figura 5:** Molde retangular



**Figura 6:** homogeneização das amostras

#### **4.2.3. Branqueamento térmico por etapas**

Branqueamento por etapas foi otimizado tendo em vista a minimização das alterações de cor e textura.

As amostras homogeneizadas foram imersas em béqueres de 600 ml, contendo água, inseridos em um banho ultratermostatizado (Marconi, modelo MA-184) por um tempo pré-determinado (**Figura 7**). Cada béquer conteve 5 amostras. A seguir, as fatias foram retiradas dos béqueres e colocadas em um dessecador a temperatura ambiente, sem sílica, por um

tempo de espera pré-determinado. Imediatamente, após o tempo de espera, as amostras foram submetidas à segunda etapa do branqueamento que consistiu em imersão em água a 97°C (em ebulição) por 5 minutos e resfriamento por 2 minutos em água corrente. Em seguida as fatias foram secas com papel absorvente para a retirada do excesso de umidade da superfície. Essa segunda etapa garantiu a inativação de enzimas peroxidases prejudiciais à qualidade do produto. As amostras submetidas ao branqueamento a 97 °C foram dispostas em um cesto cilíndrico de material inoxidável com diâmetro de 40 cm e altura de 25 cm (**Figura 8**) e submersas em uma panela de alumínio (diâmetro aproximado de 50 cm), contendo cerca de 14 L de água destilada cujo aquecimento era realizado em fogão industrial a gás GLP. Uma tela de nylon foi utilizada para cobrir as fatias, evitando que estas boiassem. Devido à grande quantidade de água fervente, a temperatura do conjunto não diminuiu ao se colocar as amostras.

As variáveis estudadas foram temperatura da primeira etapa do branqueamento (55 e 65°C), tempo da primeira etapa do branqueamento (30 e 60 minutos) e tempo de espera (30 e 60 minutos), sendo que os pontos centrais foram 60°C por 45 minutos de branqueamento e 45 minutos de espera. Cor e textura foram avaliados.



**Figura 7:** Banho ultratermostatizado com béqueres contendo amostras

#### 4.2.4. Branqueamento térmico convencional

Foi realizado o branqueamento térmico das amostras em água em ebulição (97° C) durante 5 minutos. O procedimento foi o mesmo realizado na segunda etapa do branqueamento por etapas citado no item 4.2.3. Esse tratamento foi conduzido com o propósito de comparar o seu efeito com o branqueamento por etapas.



**Figura 8:** Cesto com tela usado no branqueamento a 97°C das amostras.

#### 4.2.5. Ensaio da otimização da desidratação osmótica (DO)

A otimização da desidratação osmótica ocorreu após as amostras serem submetidas ao melhor processo de branqueamento por etapas para melhorar a textura (maior dureza).

As amostras foram dispostas em quatro cestos construídos em tela de nylon e divididos em dois compartimentos pela mesma tela (**Figura 9**). Cada compartimento continha cinco amostras (**Figura 10**). Os cestos foram totalmente mergulhados em 20Kg de solução de sacarose em uma cuba construída em aço inoxidável de dimensões 30x30x35 cm, com camisa externa (**Figura 11**). As soluções foram mantidas sob agitação constante de 1000 rpm conduzida por um agitador mecânico com potência de 1,6KW (Marconi, modelo MA-261) e hélice naval (10 cm de diâmetro). Água circulando na camisa externa, bombeada a partir de

um banho ultratermostatizado (Marconi, modelo MA-184) que dispõe de refrigeração manteve a temperatura da solução em 27°C. Após o tempo de processamento, as fatias foram retiradas das soluções, lavadas em água destilada por 10 segundos (**Figura 12**) e secas em papel absorvente (**Figura 13**). As concentrações estudadas foram 50 e 65°Brix por 1 e 4 horas, tendo como ponto central 57,5°Brix por 2 horas e 30 minutos. Análise de sólidos totais, cor, açúcares totais e redutores foram realizados após trituração, em mixer, das fatias antes e após cada tratamento.



**Figura 9:** Cesto de nylon para comportar as amostras no banho osmótico.



**Figura 10:** Cesto de nylon com amostras.



**Figura 11:** Equipamento de DO: cuba, banho ultratermostatizado e agitador mecânico.



**Figura 12:** Amostras sendo lavadas em água destilada por 10 segundos.



**Figura 13:** Amostras sendo secas em papel absorvente.

#### 4.2.6. Cinética da desidratação osmótica

A cinética de desidratação osmótica foi conduzida após a otimização da desidratação osmótica onde amostras submetidas ao melhor tratamento do processo de branqueamento por etapas para melhorar textura e amostras branqueadas convencionalmente foram desidratadas osmoticamente. Para tanto, a faixa de concentração da solução de sacarose foi de 50 e 65°Brix e o processo foi conduzido por 0,5, 1, 2 e 3 horas. Análise de sólidos totais, cor, textura, açúcares totais e redutores foram realizados antes e após cada tratamento. Os resultados obtidos para os dois tipos de branqueamentos estudados foram comparados entre si a fim de investigar seus efeitos junto à desidratação osmótica no produto.

#### 4.2.7. Ensaios de equilíbrio na desidratação osmótica

Amostras de abóbora branqueadas foram fatiadas no sentido longitudinal (2 mm de espessura) e, em seguida, pesadas em balança semi-analítica. Aproximadamente, 60 g de amostras foram imersas em recipientes de vidro de 800 ml (**Figura 14**) contendo 600 g de solução de sacarose em concentrações de 50 e 65% p/p. Em seguida, o conjunto era colocado em incubadora (Marconi, modelo MA 830/A) com agitação orbital (23,5 rpm) à temperatura de 27°C por 48 horas (**Figura 15**), tempo necessário para que o sistema atingisse o equilíbrio. Ao final desse período, as fatias eram lavadas por 10 segundos em água destilada, secas com papel absorvente e pesadas. Foi determinado teor de água e teor de açúcares nas amostras.



**Figura 14:** Recipiente de vidro de 800 ml com tampa.



**Figura 15:** Incubadora com agitação orbital.

#### 4.2.8. Ensaios de secagem

Para os ensaios de secagem foi utilizado um secador piloto construído no departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da UNESP (**Figura 16**), que dispõe de resistências elétricas e um controlador digital de temperatura do ar de secagem, e de um sistema de registro contínuo da massa das amostras, através de um software capaz de ler e armazenar os dados gerados por uma balança analítica com precisão de 0,01 g. As amostras, paralelas ao fluxo de ar, foram distribuídas em bandejas construídas em tela metálica, adaptadas ao local do prato da balança. Parte do ar de secagem era recirculado. Uma barreira de sílica, que também funcionava como difusor, mantinha o fluxo de ar homogêneo e com umidade relativa aproximadamente estável durante a secagem. Um ventilador centrífugo com potência de 2 CV com rotações controlada por um inversor de frequência (2,0 CV-220V), possibilitando a variação da velocidade do ar. Temperatura de bulbo úmido e seco foram medidas em diferentes momentos da secagem. A velocidade do ar foi fixada em 1,7m/s.

Com o objetivo de obter amostras com umidade intermediária e atividade de água abaixo de 0,750, testes preliminares com amostras branqueadas (por etapas ou

convencionalmente) e tratadas osmoticamente (condições previamente selecionadas) foram realizados com as temperaturas 60 e 70°C para determinar o tempo necessário de secagem. Os tempos selecionados para cada temperatura foram 9 e 7 horas, respectivamente. O processo de secagem foi então realizado com as amostras pré-tratadas pelo branqueamento convencional ou por etapas (na condição otimizada para textura) + desidratação osmótica (na condição decidida após a otimização e a cinética de desidratação osmótica). Antes e após as secagens, foram analisados atividade de água, textura, cor, densidade e encolhimento. Curvas de secagem foram construídas.



**Figura 16:** Secador piloto de leito fixo.

#### **4.2.9. Isotermas de sorção**

Foram construídas isotermas de sorção de umidade para amostras branqueadas por etapas e tratadas osmoticamente, baseando-se no método estático gravimétrico proposto por Jowitt et al. (1987). Após a desidratação osmótica, as amostras foram lavadas por 10 segundos, secas em papel absorvente, embrulhadas em filme plástico e armazenadas na câmara fria a 4°C por 24 horas, para melhorar a homogeneização das amostras, uma vez que perfis de concentração são desenvolvidos durante a DO. A fim de garantir semelhança entre amostras, cada placa foi cortada em quatro e seus quartos foram homogeneizados e selecionados aleatoriamente. Cada quarto foi fatiado no formato de placas finas que foram pesadas, aproximadamente 2 gramas, em cápsulas de plástico. As amostras foram expostas a ambientes

com  $a_w$  na faixa de 0,02 a 0,90, em triplicata. As umidades relativas foram obtidas a partir de dez soluções aquosas saturadas (NaOH, LiCl,  $\text{CH}_3\text{COOK}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , NaBr,  $\text{NaNO}_2$ , NaCl, KCl e  $\text{BaCl}_2$ ), preparadas em frascos previamente limpos com algodão embebido em formol, a fim de evitar contaminações da amostra (**Figura 17**). Os frascos continham estruturas em acrílico sobre as quais as cápsulas com amostras foram dispostas, acima da solução. Os frascos foram fechados hermeticamente e acondicionados em incubadoras a 30 e 50 °C e estufa a 70°C, todos com temperatura controlada. Pesagens periódicas das cápsulas foram realizadas até as amostras entrarem em equilíbrio com o ambiente. As amostras tiveram seus sólidos analisados, de forma que o conteúdo de umidade de equilíbrio foi correlacionado com a atividade de vapor de água de cada ambiente.



**Figura 17:** Amostras cortadas e acondicionadas em cápsulas de plástico e frasco utilizado para determinação das isotermas.

#### 4.2.10. Avaliação sensorial

Para avaliar o efeito dos pré-tratamentos na aceitação da cor, aparência geral, sabor e textura do produto, fatias de abóbora branqueadas convencionalmente e branqueadas por etapas seguidas de desidratação osmótica em solução de sacarose (50°Brix/1hora) e submetidas a secagem convectiva a 60°C durante 9 horas foram avaliadas sensorialmente por uma equipe de 36 provadores não treinados utilizando escala hedônica de nove pontos, variando entre “desgostei muitíssimo” (nota 1) e “gostei muitíssimo” (nota 9). As duas 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

ficha foi entregue ao provador, na qual foram anotadas as avaliações para aparência geral, cor, sabor, aroma, textura e intenção de compra do produto (APÊNDICE A).

## 5. Métodos Analíticos

### 5.1 Cor

Para avaliar a mudança de cor das amostras devido ao branqueamento e à DO foi utilizado capturador de imagens com câmera digital instalada em cabine de luz (**Figura 18**) e software acadêmico V-01 LensEye conforme metodologia de Luzuriaga et al. (1997). As amostras foram dispostas ao lado do padrão (**Figura 19**) e a medida de cor foi feita em quadruplicata. Foram determinados os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .



**Figura 18:** Cabine de luz.



**Figura 19:** Padrão e amostras sendo fotografados para posterior análise de cor em software acadêmico.

Para os experimentos de secagem, a cor das fatias de abóbora foi determinada através do espectrofotômetro modelo ColorFlex (HunterLab, Estados Unidos), adquirido após o início dos estudos desta dissertação. Para a análise de cor no espectrofotômetro, cerca de 8 fatias de frutas frescas ou processadas foram encaixadas no visor ótico, de maneira a não sobrar espaços não cobertos pela amostra, e tampadas por um copo plástico preto para a leitura da cor das amostras (**Figura 20**). O software Universal versão 4.10 foi o utilizado nas análises do ColorFlex, com as configurações: iluminante D65, observador a 10° e leitura dos valores absolutos de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .



**Figura 20.** Espectrofotômetro ColorFlex com amostra e com o copo plástico.

## 5.2. Textura

A textura foi determinada em 8 réplicas de amostras através do método TPA (Texture Profile Analysis) realizado em um texturômetro Universal (TA-XT2i Texture Analyser, Stable Micro System, Surrey, UK.) (**Figura 21**) e sua resposta foi expressa em dureza (força necessária para alcançar uma deformação pré-definida, ou seja, pico de máxima força aplicada na compressão). As amostras, cortadas no formato de cilindro de altura 10 mm e área transversal de  $2,87 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ , foram comprimidas individualmente por uma sonda cilíndrica de acrílico de 35 mm de espessura. A dureza das amostras foi definida pelo pico máximo de força para 30% de deformação (3 mm) durante 5 segundos a uma taxa de deformação de 1mm/s.



**Figura 21:** Texturômetro utilizado.

## 5.3. Sólidos Totais

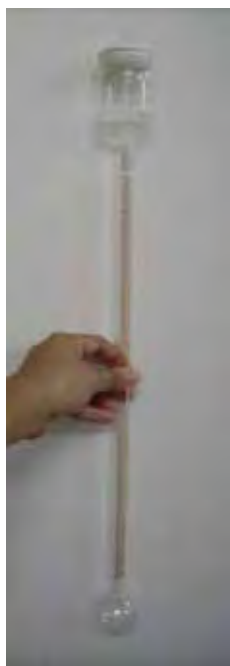
Os sólidos totais foram determinados através de método gravimétrico, em triplicata, em estufa a vácuo a 60°C até peso constante.

#### 5.4. Análise de açúcares

A determinação de açúcares totais e redutores foi realizada em duplicata conforme a metodologia de titulação de óxido-redução (WILLIAM, 1970).

#### 5.5. Densidade das amostras

A determinação da densidade de fatias branqueadas por etapas ou branqueadas convencionalmente + desidratação osmótica (50°Brix/1hora) + secagem (60°C/9h e 70°C/7h) foi realizada pelo método de deslocamento de volume, em um picnômetro (**Figura 22**). O picnômetro de vidro é constituído de uma bureta de 20 ml, soldada a um recipiente fechado que substituiu sua ponta e a um recipiente aberto em seu topo (um pesa filtro de aproximadamente 100 ml), dispondo de tampa esmerilhada. O aparato era parcialmente enchido com tolueno até uma marca específica, tampado e invertido, para leitura de calibração. A seguir, com o nível conhecido de tolueno, as amostras previamente pesadas eram colocadas no recipiente superior. Tampava-se, invertia-se e lia-se o volume. A diferença entre a leitura da medida e a leitura de calibração representou o volume de amostra. A manipulação foi realizada em capela com exaustão. Cada análise foi feita em triplicata sendo usadas em cada uma delas 3 cilindros de amostras com altura de 10 mm e área transversal de  $2,87 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ .



**Figura 22:** Picnômetro.

### 5.6. Atividade de água

A atividade de água das amostras frescas, branqueadas, processadas osmoticamente e secas foi determinada em triplicata a 25 °C em aparelho modelo Aw Sprint da Novasina (Axair Ltd. – Switzerland) (**Figura 23**).



**Figura 23:** Equipamento da Novasina para análise da atividade de água.

## 6. Análise de dados

### 6.1. Otimização do branqueamento por etapas

Para o delineamento experimental foi utilizado um planejamento fatorial completo  $2^3$  com três repetições no ponto central. As variáveis independentes (codificadas) estudadas foram temperatura de branqueamento, tempo de branqueamento e tempo de espera. As variáveis dependentes não codificadas (resposta) avaliadas foram cor e textura. A metodologia empregada para a análise dos resultados foi a da superfície de resposta. O planejamento experimental foi gerado pelo programa computacional Statistica (versão 7,0) e é o mais usado para essa metodologia de superfície de resposta (KHURI & CORNELL, 1987).

Cada abóbora possibilitou a realização de 3 ensaios. O número de ensaios foi 11, portanto, para minimizar a influência das condições iniciais da matéria prima sobre os ensaios, os resultados foram normalizados através de relação entre a medida experimental realizada na amostra branqueada e na correspondente amostra in natura. Para efetuar a otimização do tratamento, foram selecionadas a razão de dureza e a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) como variáveis independentes. A diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) é definida como a raiz quadrada de  $(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})$ . Para textura, considerou-se que as relações que mais se aproximavam do ótimo, representado pela amostra in natura, eram aquelas com os valores mais próximo da unidade. Para a cor, foi desejado que o tratamento propiciasse menor variação possível em relação à in natura, isto é, menor  $\Delta E$ .

Essa relação foi avaliada pelo método estatístico de superfície de resposta que permite verificar e otimizar a influência de diversas variáveis na resposta através de um número menor de experimentos. As variáveis de resposta foram ajustadas ao modelo linear expresso pela **equação 2** (MEYER, 1971; MONTGOMERY, 1991):

$$Y_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + b_3X_{3i} + b_{12}X_{1i}X_{2i} + b_{13}X_{1i}X_{3i} + b_{23}X_{2i}X_{3i} + b_{123}X_{1i}X_{2i}X_{3i} \quad (2)$$

onde  $Y_i$  representa variável resposta ( $Y_1 = D_b/D_{nat}$ ;  $Y_2 = \Delta E$ );  $X_{1i}$  = temperatura (T) da primeira etapa do branqueamento para a resposta i;  $X_{2i}$  = tempo de branqueamento ( $t_b$ ) da

primeira etapa do branqueamento para a resposta  $i$ ;  $X_{3i}$  = tempo de espera ( $t_e$ ) para a resposta  $i$ ;  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$  = coeficientes de regressão estimados.

Os coeficientes de regressão foram utilizados para obtenção de um modelo matemático e para comparar a contribuição relativa de cada variável independente codificada sobre as variáveis dependentes não codificadas. O maior coeficiente positivo indica maior influência da variável independente sobre o aumento do valor da variável resposta não codificada.

Através da análise de variância, foi possível identificar as variáveis codificadas que apresentaram efeitos significativos sobre as respostas de interesse ao nível de 95% de confiança ( $p < 0,05$ ) e ajustar os modelos matemáticos.

Para otimizar o branqueamento por etapas, foram construídos os gráficos de contorno para relação de dureza e  $\Delta E$ , gerados para cada duas variáveis independentes, mantendo a terceira constante.

Amostras branqueadas convencionalmente em ensaios independentes foram utilizadas para comparação dos resultados de dureza obtidos com o branqueamento por etapas.

## **6.2 Ensaios de desidratação osmótica**

### **6.2.1 Otimização da desidratação osmótica**

As variáveis concentração de sacarose na solução osmótica e tempo de desidratação foram selecionadas segundo um planejamento fatorial completo de segunda ordem ( $2^2$ ) com três repetições no ponto central. Cor, teor de sacarose e teor de água foram as variáveis respostas do processo. O resultado foi avaliado pelo método estatístico de superfície de resposta.

Para diminuir a influência das condições iniciais da matéria prima, foi realizada uma normalização dos resultados de cor, teor de sacarose e teor de água. Para o primeiro, a normalização foi feita através da divisão do valor medido na amostra processada pelo valor da amostra in natura. Já para os posteriores, foi calculada a diferença entre o conteúdo de água e sacarose presente na amostra in natura e o conteúdo presente na amostra processada.

As variáveis de resposta foram ajustadas ao modelo linear expresso pela **equação 3** (MEYER, 1971; MONTGOMERY, 1991; BARROS NETO et al., 2002):

$$Y_i = b_6 + b_4 X_{4i} + b_5 X_{5i} + b_{45} X_{4i} X_{5i} \quad (3)$$

onde  $Y_i$  representa a variável resposta ( $Y_3 = L_{DO}^*/L_{nat}^*$ ;  $Y_4 = a_{DO}^*/a_{nat}^*$ ;  $Y_5 = b_{DO}^*/b_{nat}^*$ ,  $Y_6 = \Delta$  teor de água (% água da amostra in natura – % água da amostra desidratada osmoticamente));  $Y_7 = \Delta$  teor de sacarose (% sacarose da amostra in natura – % sacarose da amostra desidratada osmoticamente))  $X_{4i}$  = Concentração (C) de sacarose para a resposta  $i$ ;  $X_{5i}$  = tempo (t) de desidratação osmótica para a resposta  $i$ ;  $b_6$ ,  $b_4$ ,  $b_5$ ,  $b_{45}$  = coeficientes de regressão estimados.

Análise da variância, coeficientes de regressão e gráficos de superfície de resposta foram obtidos.

Os dados de cor foram analisados, também, através da cromaticidade, representada por  $C^*$ , e do grau de tonalidade, representado pelo ângulo hue  $H^*$ , definidos pelas equações 4 e 5, respectivamente:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4)$$

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (5)$$

### 6.2.2. Cinética de desidratação osmótica

O estudo da cinética de desidratação osmótica foi realizada em amostras tratadas com branqueamento convencional (97°C/5min) ou branqueamento por etapas (60°C/60 min. e 30 min. de espera com posterior inativação de enzima a 97°C/5min). A escolha deste último foi baseada nas respostas obtidas após a otimização do branqueamento por etapas.

Os balanços de massa foram realizados para cada tempo de tratamento osmótico e avaliada a influência do tipo de branqueamento, concentração da solução de sacarose e tempo

de DO sobre os resultados. Para tanto, foram determinados variação de massa, perda de água, ganho de soluto e eficiência para cada tratamento.

A variação de massa ( $\Delta M$ ) em relação à massa inicial é representada pela **equação 6**:

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

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

A perda de água ( $\Delta P_a$ ) e o ganho de sacarose ( $\Delta G_{sac.}$ ) em relação à massa inicial podem ser calculados para cada tempo de processo, segundo as **equações 7 e 8**

$$\Delta P_a = \frac{(Mw_a) - (M^0w_a^0)}{M^0} \times 100 \quad (7)$$

$$\Delta G_{sac.} = \Delta M_a - \Delta P_a \quad (8)$$

com  $w_a$  e  $w_{sac.}$  representando, respectivamente, a fração de massa de água e a fração de sacarose em base úmida, após tempo  $t$  de desidratação osmótica, e  $w_a^0$  e  $w_{sac.}^0$ , essas mesmas frações na abóbora branqueada, em  $t=0$ .

A eficiência ( $E_f$ ) foi medida pela relação entre perda de água e ganho de sólidos, que nesse caso refere-se ao ganho de sacarose ( $\Delta G_{sac.}$ ), segundo a **equação 9**.

$$E_f = \left| \frac{\Delta P_a}{\Delta G_{sac.}} \times 100 \right| \quad (9)$$

Para determinar o coeficiente de difusividade da água e do açúcar nas fatias de abóbora utilizou-se a segunda Lei de Fick, onde o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido. A **equação 10** representa essa lei na forma geral (CUSSLER, 1984) considerando-se densidade do meio e coeficiente de difusão efetivo

constantes, sendo que  $w$  é a fração do componente  $i$  (água ou sacarose, em base úmida),  $D_{ef}$  é o coeficiente efetivo de difusão e  $t$  o tempo de tratamento.

$$\frac{\partial w_i}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 w_i}{\partial z^2} \quad (10)$$

Considerando uma placa plana infinita submetida à desidratação osmótica com solução infinita e resistência externa desprezível, tem-se as seguintes condições inicial e de contorno:

- Distribuição inicial de umidade uniforme:  $t=0$ , para todo  $z$ ,  $w_i = w_i^0$
- Condição de simetria no plano central:  $t>0$ ,  $z=0$ ,  $\left. \frac{\partial w_i}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$
- Condição de equilíbrio na superfície:  $z=l$ ,  $w_i = w_{i,sup} = w^{eq}$

A solução analítica integrada ao longo da distância resulta em (CRANK, 1975):

$$\frac{\overline{w_i}(t) - w_i^{eq}}{w_i^0 - w_i^{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[ -(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{e^2} \right] \quad (11)$$

onde  $e$  = espessura,  $\overline{w_i}$  = fração média do componente  $i$  (água ou sacarose em base úmida),  $w_i^0$  = fração do componente no instante zero ( $t=0$ ) e  $w_i^{eq}$  = fração do componente  $i$  no equilíbrio. A **equação 11** foi ajustada aos resultados experimentais, através de programa computacional comercial que ajusta funções não lineares. Foram utilizados 4 termos da série, suficientes para convergência da solução. Para cada ajuste foram calculados os valores da Raiz Quadrada da Média dos Resíduos (RQMR) definida por:

$$RQMR(\%) = 100 \left\{ \frac{1}{(n-p-1)} \sum_{i=1}^n \left[ (x^{exp} - x^{calc}) / x^{exp} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (12)$$

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

### 6.2.3 Textura e cor

Para avaliar o efeito da desidratação osmótica ao longo do tempo sobre a textura e parâmetros de cor do produto, os resultados foram normalizados através da relação entre a medida experimental realizada na amostra tratada osmoticamente e na correspondente amostra in natura.

Ambos os resultados de cor e textura foram avaliados estatisticamente através de análise da variância (ANOVA), tendo como fontes de variação o tipo de amostra e o número de amostras, e do Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## 6.3. Secagem

### 6.3.1. Cinética de secagem

Na secagem de frutas e hortaliças, a maior parte do processo transcorre no período de taxa decrescente. Para se descrever o processo de secagem de fatias de abóboras pré-tratadas utilizou-se a segunda lei de Fick, apresentada na forma geral, pela equação:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{\text{efs}} \nabla^2 X \quad (13)$$

onde  $x$  é a fração de massa de água, em base seca (bs),  $D_{\text{efs}}$  é o coeficiente efetivo de difusão na secagem e  $t$ , o tempo de secagem.

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. Considerou-se que o sólido é uma placa plana infinita, com ambas as superfícies expostas ao ar de secagem, a difusividade efetiva é constante e o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra é desprezível. Tem-se a seguinte solução analítica, na forma integrada, isto é, em termos de concentração média, na placa, após um tempo  $t$  (CRANK, 1975):

$$\frac{\bar{X}(t) - X^{eq}}{X^0 - X^{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[ -(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{efs} t}{e^2} \right] \quad (14)$$

onde  $\bar{X}(t)$  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; “e” é a espessura da amostra.

O conteúdo de umidade na amostra in natura e branqueada foi considerado homogêneo e o gradiente de concentração existente nas amostras branqueadas e tratadas osmoticamente foi considerado desprezível:

$$X = X^0, \quad t = 0 \quad (15)$$

A resistência externa, durante a secagem, também 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:

$$X = X^{eq}, \quad t \geq 0 \quad (16)$$

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

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad t \geq 0 \quad (17)$$

Na solução analítica integrada para placas planas (**equação 14**) foram utilizados quatro termos da série, o que foi suficiente para sua convergência.

Para considerar o encolhimento que ocorre nas amostras durante a secagem, foi utilizada uma espessura média, calculada entre a espessura inicial e a espessura ao fim da secagem. A consideração da espessura média acarreta num valor de difusividade mais próximo do valor real, uma vez que a Equação de Fick integrada não considera o encolhimento das amostras. A variação na espessura foi calculada considerando-se que o encolhimento ocorre igualmente em todas as dimensões.

### 6.3.2 Encolhimento

A análise do encolhimento das amostras foi realizada com base na determinação do volume de amostras de diâmetro conhecido. Segundo metodologia descrita no item 5.5. Portanto, foi possível calcular a variação de espessura segundo a **equação 18**.

$$\text{Encolhimento} = \frac{e_{\text{trat.}} - e_0}{e_0} \times 100 \quad (18)$$

onde  $e_{\text{trat.}}$  = espessura da amostra tratada,  $e_0$  = espessura da amostra inicial.

### 6.3.3 Textura e cor

A dureza e os parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram expressos através da relação entre a medida experimental realizada na amostra tratada e na correspondente amostra in natura. Os

valores foram analisados estatisticamente através de análise da variância (ANOVA) e do Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

#### 6.4. Isotermas de sorção

Para a descrição matemática das isotermas de sorção foram ajustados cinco modelos matemáticos aos dados experimentais (VAN DEN BERG & BRUIN, 1978): BET, Oswin, GAB, Halsey e Peleg (**Tabela 1**).

**Tabela 1:** Modelos de isotermas de sorção.

| Modelo | Equação                                                                                                         |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BET    | $X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)} \quad (19)$                                        |
| GAB    | $X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (20)$ |
| Halsey | $X = \left[ \frac{-a}{\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (21)$                                               |
| Peleg  | $X = (a \cdot a_w^b) + (c \cdot a_w^d) \quad (22)$                                                              |
| Oswin  | $X = a \left[ \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^b \quad (23)$                                                       |

onde:  $C$ ,  $K$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são constantes;  $a_w$  é a atividade de água;  $X$  é o conteúdo de umidade em base seca (kg água/kg matéria seca) e  $X_m$  é o conteúdo de umidade da mono-camada em base seca (kg água/kg matéria seca).

## 6.5. Avaliação sensorial

Os resultados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, utilizando o programa Excel-Microsoft. Também, foi avaliada a relação entre resultados sensoriais e medidas de cor e textura.

## 7. Resultados e discussão

### 7.1. Otimização do branqueamento por etapas

Os resultados experimentais obtidos para o branqueamento por etapas, segundo o planejamento fatorial de terceira ordem, estão apresentados na **Tabela 2**, onde  $D_b$  = Dureza da amostra branqueada,  $D_{nat}$  = Dureza da amostra in natura,  $L^*_{nat}$ ,  $a^*_{nat}$  e  $b^*_{nat}$  = parâmetros de cor para amostra in natura;  $L^*_b$ ,  $a^*_b$  e  $b^*_b$  = parâmetros de cor para amostra branqueada por etapas.

**Tabela 2:** Resultados das razões entre amostras branqueadas por etapas e in natura para dureza e parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , e da diferença total de cor  $\Delta E$  entre essas amostras, segundo planejamento fatorial de terceira ordem.

| Variáveis |                                         |       |       | Níveis        |                   |                   |                   |            |  |
|-----------|-----------------------------------------|-------|-------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|--|
|           |                                         |       |       | -1            | 0                 | 1                 |                   |            |  |
| $X_1$     | Temperatura (T) (°C)                    |       |       | 55            | 60                | 65                |                   |            |  |
| $X_2$     | tempo de branqueamento ( $t_b$ ) (min.) |       |       | 30            | 45                | 60                |                   |            |  |
| $X_3$     | tempo de espera ( $t_e$ ) (min.)        |       |       | 30            | 45                | 60                |                   |            |  |
| Ensaio    | $X_1$                                   | $X_2$ | $X_3$ | $D_b/D_{nat}$ | $L^*_b/L^*_{nat}$ | $a^*_b/a^*_{nat}$ | $b^*_b/b^*_{nat}$ | $\Delta E$ |  |
| 1         | 55                                      | 30    | 30    | 0,08          | 1,09              | 1,03              | 1,14              | 11,998     |  |
| 2         | 65                                      | 30    | 30    | 0,13          | 1,07              | 0,97              | 1,11              | 9,033      |  |
| 3         | 55                                      | 60    | 30    | 0,21          | 1,08              | 0,93              | 1,14              | 11,461     |  |
| 4         | 65                                      | 60    | 30    | 0,18          | 1,08              | 1,06              | 1,13              | 11,467     |  |
| 5         | 55                                      | 30    | 60    | 0,16          | 0,99              | 0,98              | 1,03              | 1,830      |  |
| 6         | 65                                      | 30    | 60    | 0,10          | 1,06              | 1,25              | 1,07              | 10,196     |  |
| 7         | 55                                      | 60    | 60    | 0,17          | 1,08              | 0,88              | 1,18              | 13,946     |  |
| 8         | 65                                      | 60    | 60    | 0,17          | 1,10              | 0,94              | 1,15              | 13,157     |  |
| 9         | 60                                      | 45    | 45    | 0,13          | 1,05              | 1,20              | 1,07              | 8,592      |  |
| 10        | 60                                      | 45    | 45    | 0,15          | 1,04              | 1,25              | 1,06              | 9,223      |  |
| 11        | 60                                      | 45    | 45    | 0,12          | 1,05              | 1,24              | 1,07              | 9,490      |  |

Os valores de dureza e parâmetros de cor nas amostra in natura estão apresentados na **Tabela 24** do APÊNDICE C.

Abóboras também foram branqueadas a 97°C por 5 minutos e os valores de dureza foram avaliados para efeito de comparação com o branqueamento por etapas. A **Tabela 3** apresenta esses resultados.

**Tabela 3:** Dureza de amostras branqueadas a 97°C e suas respectivas amostras in natura.

| Dureza (Newton) |           |                                   |  |
|-----------------|-----------|-----------------------------------|--|
| Amostras        | In natura | Branqueamento                     |  |
|                 |           | convencional (97°C por 5 minutos) |  |
| 1               | 153,20    | 21,38                             |  |
| 2               | 145,63    | 17,57                             |  |
| 3               | 137,84    | 13,57                             |  |
|                 |           | $Db/Dn$                           |  |
|                 |           | 0,14                              |  |
|                 |           | 0,12                              |  |
|                 |           | 0,10                              |  |

Observa-se que abóboras submetidas a algumas condições de branqueamento por etapas (ensaio 3,4,5,7 e 8 e 10 da **Tabela 2**) apresentaram maiores relações de dureza do que aquelas branqueadas convencionalmente (**Tabela 3**). Esse fato é relacionado à atuação da

enzima pectinametilesterase, presente na abóbora, que, segundo Bartolome & Hoff (1972), é ativada a temperaturas entre 50 e 70 °C. Essa enzima atua na lamela média da célula quebrando a pectina e induzindo a formação de pectatos de cálcio que melhoram a firmeza do vegetal. Na lamela média dos vegetais é possível encontrar concentrações de 10 a 30 % de pectina (VAN BUREN, 1991), o que pode contribuir consideravelmente para o sucesso desse tipo de branqueamento. Dutta et. al. (2006 a), também, evidenciaram a presença dessa enzima em um estudo de tratamento térmico em abóboras *Cucurbita moschata* cv ‘Akra Chandan’.

Analisando a relação dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , apresentadas na **Tabela 2**, percebe-se que o ensaio 5 foi o que apresentou parâmetros de cor mais próximos das amostras in natura, pois seus valores foram os que mais se aproximaram da unidade. Esse fato pode estar relacionado à melhor retenção de carotenóides, uma vez que a cor foi pouco alterada em relação à amostras in natura.

Nota-se, também, que as amostras que possuíam maiores relações de dureza (ensaios 3) apresentaram, também, cor vermelha menos acentuada (valor de  $a^*$  abaixo de 1) e todas as amostras submetidas ao branqueamento por etapas revelaram cor amarela mais acentuada (valor de  $b^*$  acima de 1) e claridade maior (valor de  $L^*$  acima de 1, com exceção do ensaio 5) que as amostras in natura.

Foi constatado, pela análise de variância, que o tempo de branqueamento teve um efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre a dureza da amostra. Para o  $\Delta E$ , a análise de variância demonstra que os efeitos que apresentaram significância a 95% de confiabilidade foram o tempo de branqueamento e todas as interações entre as variáveis.

Os dados foram avaliados e os coeficientes de regressão, correspondentes aos efeitos significativos, foram utilizados para determinar um modelo codificado, que descreve o comportamento da dureza (**equação 24**) e da cor (**equação 25**) no processo de branqueamento por etapas em abóbora *Cucurbita moschata*.

$$Y_1 = -0,145 + 0,033X_2 \quad (24)$$

$$Y_2 = 10,036 + 2,122X_2 - 0,773X_1X_2 + 1,317X_1X_3 + 1,648X_2X_3 - 1,516X_1X_2X_3 \quad (25)$$

Esses modelos foram decodificados em duas **equações 26 e 27** para melhor visualização da relação entre respostas e variáveis independentes.

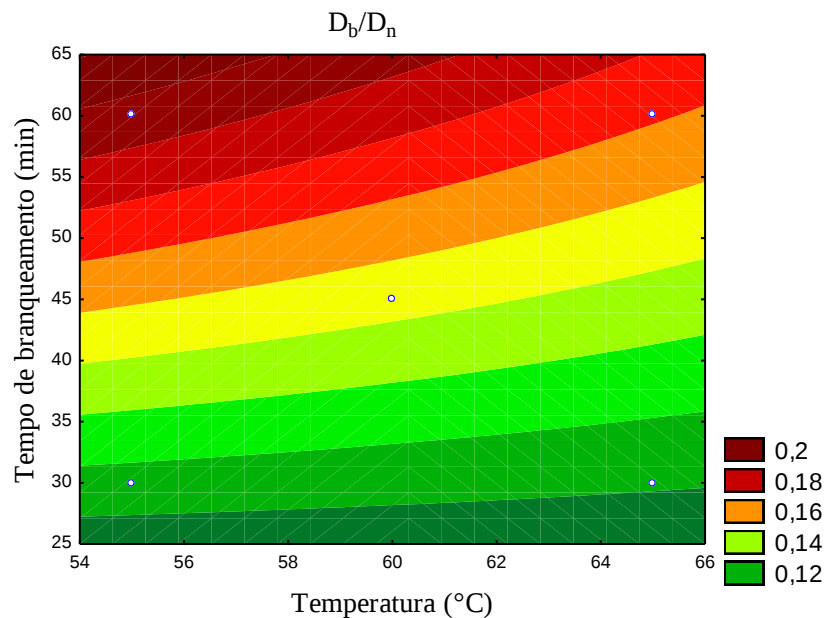
$$\frac{D_b}{D_{nat}} = -0,244 + 2,178 \times 10^{-3} t_b \quad (26)$$

$$\Delta E = -3,055T - 3,176t_b - 4,971t_e + 0,05Tt_b + 0,077Tt_e + 0,0864t_bt_e - 1,320 \times 10^{-3} Tt_bt_e - 201,814 \quad (27)$$

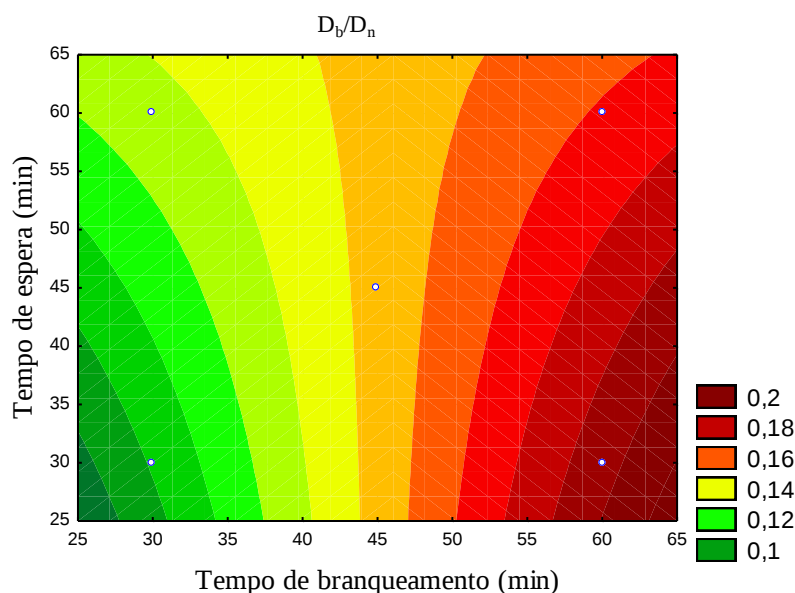
O modelo codificado proposto para representar o comportamento dessas variáveis não codificadas no tratamento de branqueamento por etapas apresentou bom ajuste com coeficiente de correlação igual a 0,93 para razão de dureza e a 0,97 para diferença total de cor.

Para  $\Delta E$ , o coeficiente que acompanha o tempo de branqueamento ( $b_2 = 2,122$ ), observado na **equação 25**, foi o que apresentou maior influência sobre a variação de cor nas amostras. O maior coeficiente positivo indica maior influência da variável independente sobre o aumento do valor da variável resposta não codificada.

As **Figuras 24 e 25** representam os gráficos de contorno para razão de dureza das amostras que apresentaram resultados significativos ( $p < 0,05$ ).



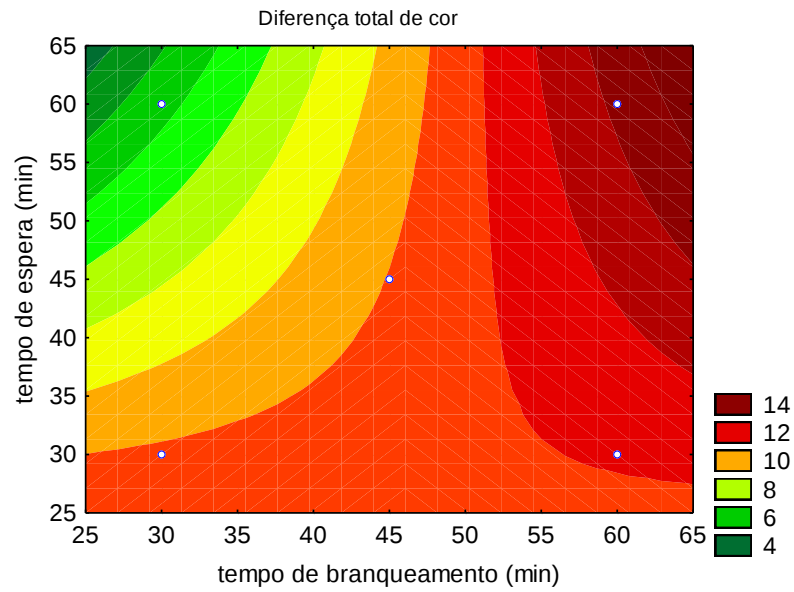
**Figura 24:** Gráfico de contorno para a relação entre a dureza da amostra branqueada e in natura em função do tempo de branqueamento e da temperatura mantendo tempo de espera constante em 45 min.



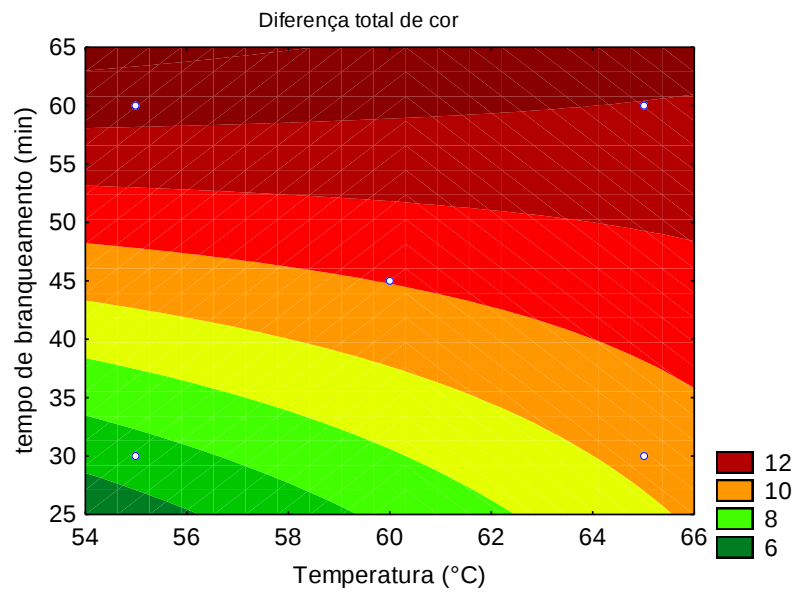
**Figura 25:** Gráfico de contorno para a relação entre dureza da amostra branqueada e in natura em função do tempo de branqueamento e do tempo de espera mantendo temperatura constante em 60°C.

A análise dos gráficos de contorno para textura indica que a dureza da amostra processada em relação à amostra in natura aumenta com o tempo de branqueamento (representada pela área em vermelho mais escuro do gráfico) e tem uma tendência de diminuir com maiores tempos de espera. Na **Figura 24**, pode-se perceber que a maior relação foi obtida com tempos de branqueamento de 57 a 60 minutos e temperaturas entre 55 e 58°C. Na **Figura 25**, nota-se que a melhor resposta para dureza foi identificada para os mesmos tempos de branqueamento e para tempos de espera entre 30 e 40 minutos. A maior relação obtida, para textura, no branqueamento por etapas, foi à temperatura de 55°C, 60 minutos de branqueamento e 30 minutos de espera (**Tabela 2**). Essa faixa de valores de variáveis independentes que proporcionaram melhores resultados é muito próxima dos valores observados por Quintero Ramos et.al. (1998), para abóbora cultivar Zucchini Grey e por Quintero Ramos et.al. (1992), para cenoura.

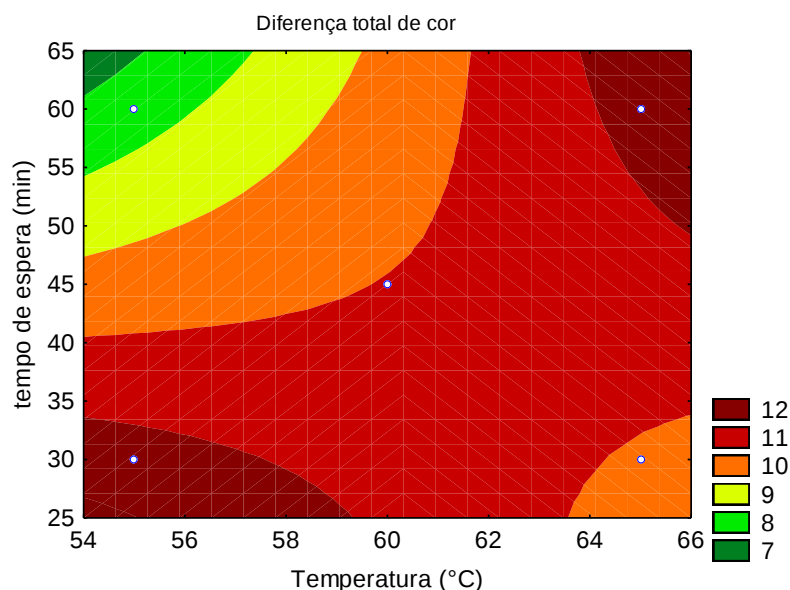
Os gráficos de contorno para  $\Delta E$ , que apresentaram resultados significativos ( $p < 0,05$ ), estão expressos nas **Figuras 26, 27 e 28**.



**Figura 26:** Gráfico de contorno para  $\Delta E$  em função do tempo de espera e do tempo de branqueamento mantendo temperatura constante em 60°C.



**Figura 27:** Gráfico de contorno para  $\Delta E$  em função do tempo de branqueamento e da temperatura, mantendo tempo de espera constante em 45 minutos.



**Figura 28:** Gráfico de contorno para  $\Delta E$  em função do tempo de espera e da temperatura, mantendo tempo de branqueamento constante em 45 minutos.

Analisando o gráfico de contorno apresentado na **Figura 26**, é possível notar que as menores diferenças de cor são obtidas nos tratamentos que tiveram menores tempos de branqueamento e maiores tempos de espera. Os gráficos das **Figuras 27 e 28** revelam, ainda, que menores temperaturas proporcionam menores diferenças de cor. O fato dos tratamentos com temperaturas e tempos de branqueamento reduzidos proporcionarem menores variações de cor, quando comparados a amostras in natura, pode estar relacionado à maior retenção de carotenóides. Tratamentos térmicos mais brandos afetam menos a isomerização e a oxidação dos carotenóides (RODRIGUEZ-AMAYA et. al., 2008).

As menores variações totais de cor ( $\Delta E$ ) foram obtidas com os menores valores de temperatura, entre 55 e 56°C (**Figura 26**), com os tempos mais baixos de branqueamento, entre 30 e 34 minutos de branqueamento (**Figura 27**) e com os maiores tempos de espera, entre 57 e 60 minutos (**Figura 28**).

Os resultados das otimizações através de cor e textura foram divergentes, pois para se obter pouca variação de cor das amostras processadas em relação às in natura é necessário que elas sejam submetidas a tratamentos mais brandos, ao contrário do que foi observado para se obter texturas mais firmes. A escolha do melhor tratamento, portanto, depende do que se quer priorizar no produto: textura ou cor.

Para otimizar a desidratação osmótica foi utilizado o branqueamento por etapas que melhorou a textura (branqueamento a 60°C, tempo de branqueamento 60 minutos e tempo de espera de 30 minutos) com o propósito de avaliar conteúdo de água, de sacarose e cor.

Amostras sem tratamento prévio não foram avaliadas nesse trabalho, uma vez que o sabor da abóbora sem branqueamento reduz a aceitação sensorial do produto, como apontado por Borin et al. (2008), ao analisarem sensorialmente abóboras *Cucurbita moschata*, vs Rajada Seca Melhorada desidratadas osmoticamente com sacarose e cloreto de sódio previamente à secagem convectiva.

## 7.2. Otimização da desidratação osmótica de abóboras branqueadas por etapas

As abóboras utilizadas pesavam entre 40 e 50 Kg e os seus dados de caracterização, para o processo de desidratação osmótica, estão apresentados na **Tabela 4**.

**Tabela 4:** Caracterização das abóboras in natura.

| Composição      | Abóbora in natura       |
|-----------------|-------------------------|
| Água (%)        | 93,73±0,14 a 95,53±0,12 |
| Sacarose (%b.u) | 0,43 ±0,15 a 1,26±0,05  |
| Glicose (%b.u)  | 1,55±0,03 a 3,57±0,10   |

b.u = base úmida

Os resultados do planejamento experimental para avaliar a Desidratação Osmótica (DO) em abóboras previamente branqueadas por etapas (60°C/60min e 30min de espera com posterior inativação de enzima a 97°C/5min) expressos em conteúdo de açúcares não redutores (sacarose), açúcares redutores (glicose) e água, determinados para cada tratamento, estão expressos na **Tabela 5**.

De forma geral, constatou-se que o branqueamento por etapas diminuiu o conteúdo original de açúcares das amostras (**Tabela 5**), o que pode estar relacionado a danos que o calor provoca na estrutura do tecido, propiciando perda de sólidos da abóbora para a água. Essas alterações podem acelerar a transferência de massa durante a desidratação osmótica, potencializando, assim, o ganho de sacarose e a perda de água nas amostras.

**Tabela 5:** Resultados da DO a 27°C expressos em conteúdo de açúcares não redutores, açúcares redutores e água presente nas amostras in natura, branqueadas e desidratadas osmoticamente.

| $X_4 =$<br>Concentração da<br>solução de<br>sacarose (°Brix) | $X_5 =$ tempo<br>de<br>desidratação<br>osmótica<br>(horas) | Amostras             | Açúcares não<br>redutores<br>(sacarose)<br>g/100g | Açúcares<br>redutores<br>(glicose)<br>g/100g | Conteúdo de<br>água<br>g/100g |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| 50                                                           | 1                                                          | In natura            | 0,68±0,13                                         | 2,39±0,01                                    | 93,73±0,14                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 0,57±0,05                                         | 1,32±0,07                                    | 96,35±0,08                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 19,39±0,97                                        | 1,13±0,02                                    | 71,79±1,08                    |
| 65                                                           | 1                                                          | In natura            | 0,56±0,03                                         | 3,2±0,40                                     | 93,88±0,05                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 0,59±0,09                                         | 1,66±0,03                                    | 96,36±0,07                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 24,22±0,68                                        | 1,52±0,06                                    | 74,68±0,06                    |
| 50                                                           | 4                                                          | In natura            | 1,20±0,05                                         | 2,29±0,01                                    | 94,58±0,07                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 0,75±0,06                                         | 1,10±0,04                                    | 96,65±0,16                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 29,92±0,47                                        | 0,63±0,05                                    | 65,20±1,15                    |
| 65                                                           | 4                                                          | In natura            | 0,43±0,16                                         | 3,57±0,10                                    | 94,12±0,06                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 0,31±0,01                                         | 1,66±0,03                                    | 96,13±0,04                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 36,46±0,23                                        | 1,23±0,02                                    | 58,51±0,11                    |
| 57,5                                                         | 2,5                                                        | In natura            | 1,26±0,05                                         | 2,47±0,02                                    | 93,94±0,13                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 0,81±0,19                                         | 1,16±0,03                                    | 96,16±0,07                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 26,44±1,05                                        | 1,06±0,04                                    | 68,60±0,09                    |
| 57,5                                                         | 2,5                                                        | In natura            | 0,70±0,02                                         | 2,34±0,03                                    | 94,72±0,06                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 0,31±0,08                                         | 1,15±0,05                                    | 96,89±0,04                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 27,05±0,55                                        | 0,94±0,02                                    | 69,67±0,07                    |
| 57,5                                                         | 2,5                                                        | In natura            | 0,86±0,09                                         | 1,55±0,03                                    | 95,53±0,13                    |
|                                                              |                                                            | Branq.<br>por etapas | 1,09±0,17                                         | 0,63±0,00                                    | 96,86±0,04                    |
|                                                              |                                                            | DO                   | 27,94±0,23                                        | 0,57±0,00                                    | 68,81±0,08                    |

As normalizações dos resultados para cor ( $L_{DO}^*/L_{nat}^*$ ,  $a_{DO}^*/a_{nat}^*$ ,  $b_{DO}^*/b_{nat}^*$ ), a variação do teor de umidade ( $\Delta$  teor de umidade (%) = teor de água da amostra in natura (%) – teor de água da amostra desidratada osmoticamente (%)) e a variação do teor de sacarose ( $\Delta$  teor de

sacarose (%) = teor de sacarose da amostra in natura (%) – teor de sacarose da amostra desidratada osmoticamente (%)) das amostras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente, segundo um planejamento fatorial  $2^2$  estão expressos na **Tabela 6**.

**Tabela 6:** Relação dos parâmetros de cor, variação do conteúdo de água e variação do conteúdo de sacarose entre as amostras processadas e as in natura para cada ensaio.

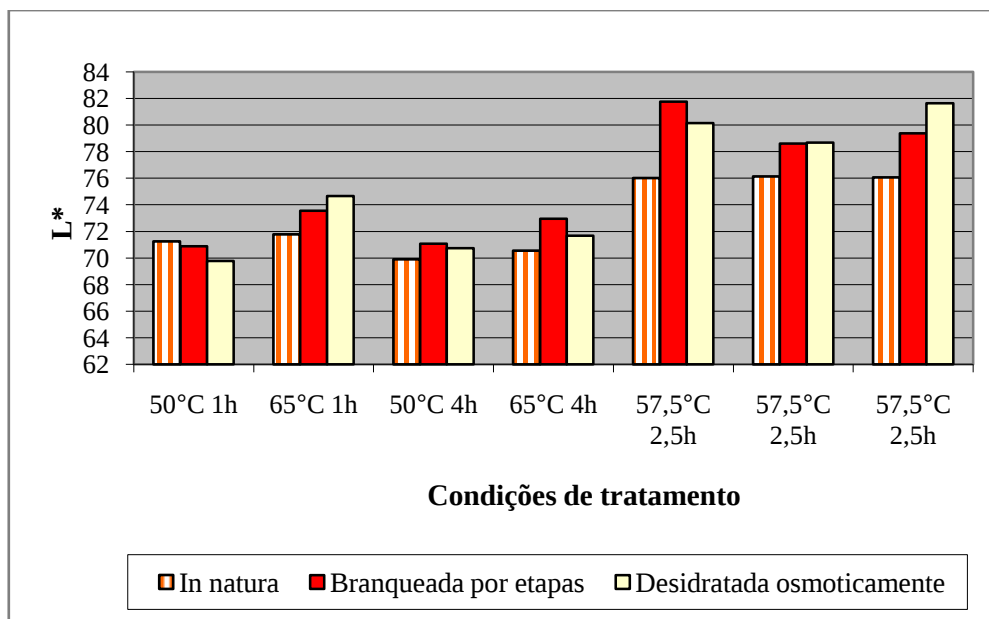
| Ensaio | Concentração<br>(C) de<br>solução de<br>sacarose<br>(°Brix) | Tempo (t)<br>de<br>desidratação<br>osmótica<br>(horas) | $L^*_{DO}/L^*_{nat}$ | $a^*_{DO}/a^*_{nat}$ | $b^*_{DO}/b^*_{nat}$ | $\Delta$ teor de<br>água<br>(%)<br>kg/100kg | $\Delta$ teor de<br>sacarose<br>(%)<br>kg/100kg |
|--------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1      | 50                                                          | 1                                                      | 0,98                 | 1,30                 | 0,98                 | 21,93                                       | 18,71                                           |
| 2      | 65                                                          | 1                                                      | 1,03                 | 1,52                 | 1,09                 | 19,20                                       | 23,66                                           |
| 3      | 50                                                          | 4                                                      | 1,04                 | 1,37                 | 1,07                 | 29,38                                       | 28,72                                           |
| 4      | 65                                                          | 4                                                      | 1,07                 | 1,21                 | 1,11                 | 35,61                                       | 36,03                                           |
| 5      | 57,5                                                        | 2,5                                                    | 1,01                 | 1,23                 | 1,01                 | 25,34                                       | 25,18                                           |
| 6      | 57,5                                                        | 2,5                                                    | 1,01                 | 1,23                 | 1,02                 | 25,05                                       | 26,35                                           |
| 7      | 57,5                                                        | 2,5                                                    | 1,05                 | 1,41                 | 1,09                 | 26,73                                       | 27,08                                           |

Análises estatísticas revelam que as condições de concentração de solução de sacarose e do tempo de desidratação osmótica estudados não afetaram os parâmetros de cor das amostras ao nível de 95% de confiança.

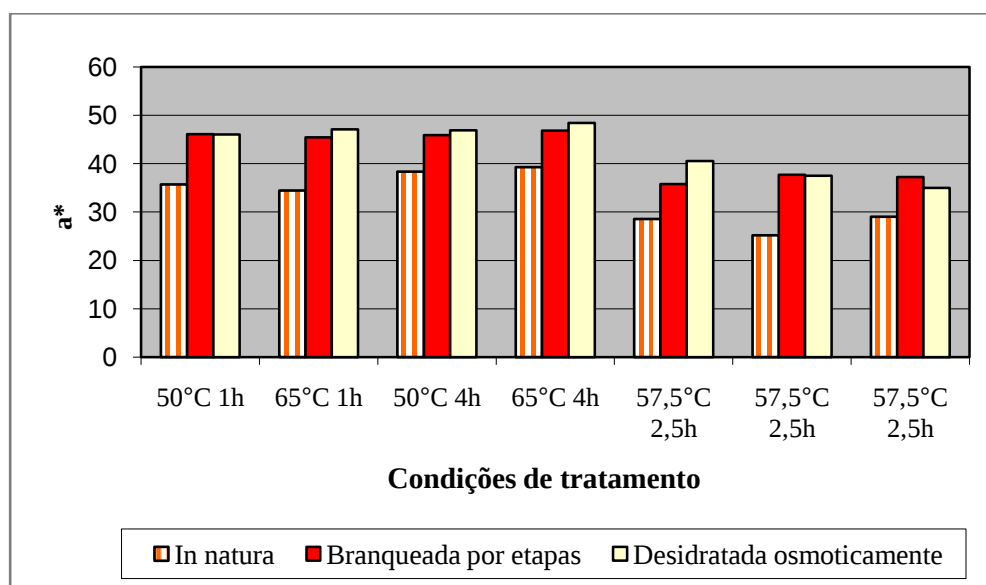
As **Figuras 29, 30 e 31** apresentam a tendência das variações dos parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  nas amostras, ao comparar esses valores antes e após cada tratamento.

Em geral, as amostras branqueadas e as amostras desidratadas osmoticamente tenderam a apresentar aumento do valor de  $L^*$  em relação à amostra in natura (**Figura 29**). Entretanto, essa variação não ultrapassou 7% do valor da in natura (**Tabela 6**). Moreno et al. (2000) também observaram que morangos branqueados e desidratados osmoticamente apresentaram aumento do parâmetro  $L^*$ .

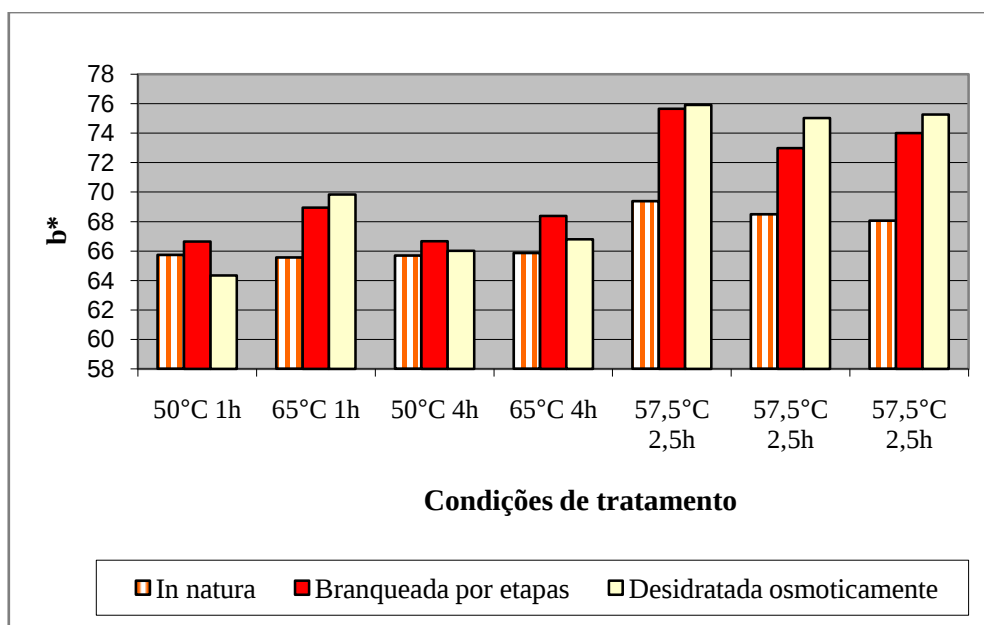
Na **Figura 30**, observa-se que os tratamentos tendem a proporcionar amostras mais avermelhadas quando comparadas às amostras in natura, fato que pode ser comprovado pelos maiores valores de  $a^*$  apresentados. As variações chegaram a 50% em relação à amostra in natura (**Tabela 6**). Entretanto, constata-se pela **Figura 30** que as maiores variações são atribuídas ao branqueamento, ao qual se seguem variações menores devido à DO. Quanto ao parâmetro  $b^*$  (**Figura 31**), houve também um aumento de seus valores com os tratamentos, sendo que as variáveis chegaram até 11% do valor das amostras in natura (**Tabela 6**).



**Figura 29:** Efeito da concentração de sacarose e tempo de DO no parâmetro L\*.



**Figura 30:** Efeito da concentração de sacarose e tempo de DO no parâmetro a\*.



**Figura 31:** Efeito da concentração de sacarose e tempo de DO no parâmetro  $b^*$ .

O ângulo *hue* (**equação 5**) (PÉREZ-LÓPES et al., 2006), expresso em graus, demonstrou que as abóboras in natura, com valores em torno de 60-70°, variaram muito pouco, caindo para valores na faixa de 55-65° nas amostras pré-tratadas, o que significa que a tendência foi partir do amarelo (=90°) para o vermelho (=0°) (**Tabela 7**). O Croma (**equação 4**), que representa a intensidade ou pureza do tom, demonstra que há um aumento do mesmo com o branqueamento, e ligeiras variações com o tratamento osmótico (**Tabela 7**).

**Tabela 7:** Croma e ângulo *hue* calculados para amostras *in natura*, branqueadas por etapas e em amostras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente.

| Ensaio | Concentração de solução de sacarose (C) (°Brix) | Tempo de desidratação osmótica (t) (horas) | Amostra    | Croma | Ângulo <i>hue</i> |
|--------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|-------|-------------------|
| 1      | 50                                              | 1                                          | in natura  | 74,81 | 61,47             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 81,04 | 55,31             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 79,14 | 54,40             |
| 2      | 50                                              | 4                                          | in natura  | 74,07 | 62,26             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 82,59 | 56,60             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 84,23 | 56,00             |
| 3      | 57,5                                            | 2h e 30                                    | in natura  | 76,09 | 59,70             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 80,96 | 55,44             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 80,96 | 54,62             |
| 4      | 57,5                                            | 2h e 30                                    | in natura  | 75,05 | 67,79             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 83,53 | 64,92             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 82,58 | 54,23             |
| 5      | 57,5                                            | 2h e 30                                    | in natura  | 76,85 | 59,41             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 82,79 | 56,11             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 86,03 | 62,06             |
| 6      | 65                                              | 1                                          | in natura  | 72,99 | 69,79             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 82,14 | 62,70             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 83,89 | 63,43             |
| 7      | 65                                              | 4                                          | in natura  | 74,00 | 66,88             |
|        |                                                 |                                            | branqueada | 82,85 | 63,28             |
|        |                                                 |                                            | DO         | 82,99 | 65,07             |

Os modelos matemáticos representativos do comportamento para a variação de teor de água e da variação de teor de sacarose de abóboras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente são representados pelas **equações 28 e 29**.

Os efeitos do tempo de DO e da interação entre tempo e concentração foram significativos ( $p < 0,05$ ) para a variação de teor de água. Os efeitos do tempo de DO e da concentração foram significativos ( $p < 0,05$ ) para a variação de teor de sacarose. O tempo

exerce maior influência sobre ambas as variações na desidratação osmótica, pois apresentam maiores coeficientes de regressão positivos ( $b_5$ ) = 5,965 (**equação 28**) e 5,595 (**equação 29**) indicando maior influência da variável independente sobre o aumento do valor da variável resposta não codificada. Comportamento similar foi identificado por Singh et. al. (2007) para cenouras submetidas à DO.

$$Y_6 = 26,177 + 5,965X_5 + 2,240X_4X_5 \quad (28)$$

$$Y_7 = 26,533 + 3,065X_4 + 5,595X_5 \quad (29)$$

Os modelos foram decodificados e apresentados nas **equações 30 e 31** para melhor visualização da relação entre resposta e variáveis independentes.

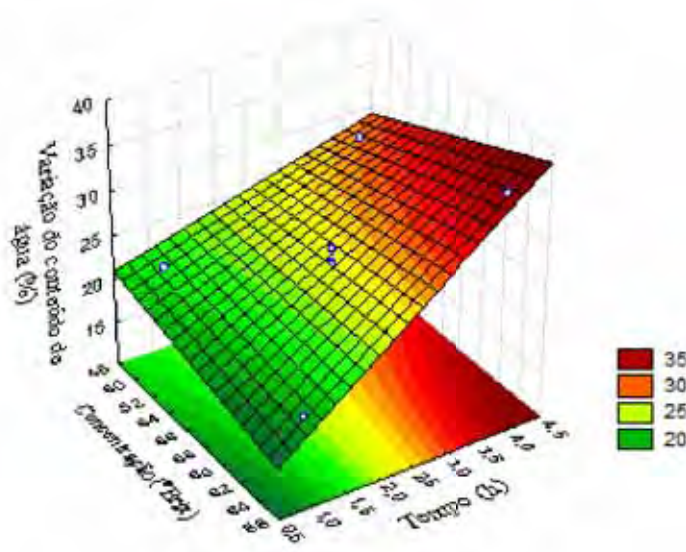
$$\Delta \text{Conteúdo de água} = -0,486C - 7,514t + 0,195Ct + 44,908 \quad (30)$$

$$\Delta \text{Conteúdo de sacarose} = 0,398C + 3,749t - 6,32 \quad (31)$$

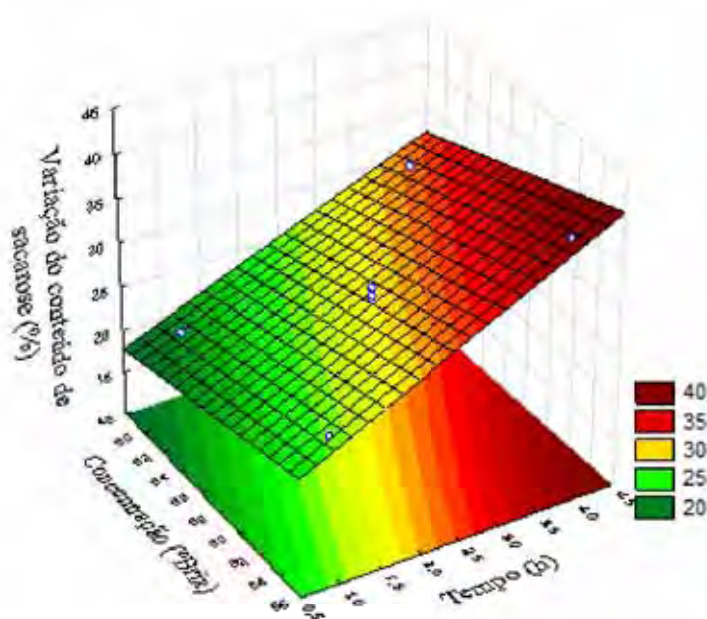
Os modelos codificados propostos nas **equações 28 e 29** apresentaram bom ajuste com coeficiente de correlação igual a 0,98 para variação de teor de água e 0,99 para variação de teor de sacarose.

As **equações 30 e 31** são úteis na estimativa de composições desejáveis para a abóbora desidratada, possibilitando a obtenção de produtos com características sensoriais controladas. Esses resultados podem contribuir significativamente para o planejamento e o controle de processos de secagem desse produto, quando pré-tratamentos são empregados.

As **Figuras 32 e 33** representam a superfície de resposta para  $\Delta$  teor de água e  $\Delta$  teor de sacarose utilizada na otimização da DO das abóboras.



**Figura 32:** Superfície de resposta para a variação do conteúdo de água de abóbora branqueada por etapas e desidratada osmoticamente.



**Figura 33:** Superfície de resposta para a variação do conteúdo de sacarose de abóbora branqueada por etapas e desidratada osmoticamente.

A análise das superfícies de resposta (**Figura 32 e 33**) indica que as maiores variações no conteúdo de água acompanham as maiores variações do conteúdo de sacarose de abóboras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente, e isso ocorre no intervalo de tempo de 3,5 a 4 horas e para concentrações entre 55 e 65 °Brix.

Para ampliar os estudos do efeito do branqueamento sobre o tratamento osmótico optou-se realizar a cinética de desidratação osmótica em amostras branqueadas por etapas (nas condições otimizadas para textura) e branqueadas convencionalmente (97°C/5min). A cinética permite avaliação mais detalhada dos efeitos do tempo de DO sobre o conteúdo de umidade e de açúcar do que os modelos lineares dados pelas **equações 28 e 29**.

### 7.3. Cinética da desidratação osmótica

Amostras branqueadas por etapas ou convencionalmente (97°C/5min) foram submetidas à solução de 50 e 65% de sacarose por até 3 horas com o objetivo de avaliar a influência dos dois tipos de branqueamento sobre a cinética de desidratação osmótica, assim como sobre a cor, textura e eficiência do processo (perda de água/ganho de soluto).

#### 7.3.1. Transferência de massa

Foi realizado um estudo da combinação de diferentes tipos de branqueamentos com a desidratação osmótica na transferência de massa. O resultado desse estudo está expresso na **Tabela 8 e 9**, onde  $w_a$  = teor de água (base úmida)  $\Delta P_a$  = variação de perda de água (**equação 7**) ,  $\Delta G_{sac}$  = variação de ganho de sacarose (**equação 8**),  $\Delta M_a$  = variação de massa (**equação 6**),  $E_f$  = eficiência (**equação 9**).

**Tabela 8:** Teor de água, perda de água, ganho de sacarose, variação de massa, todos em relação à massa inicial, e eficiência das amostras branqueadas (convencional e etapas) e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 50% (p/p) por diferentes tempos.

| Tratamento                 | Tempo de tratamento osmótico (h) | $w_a$ (%) | $\Delta P_a$ (%) | $\Delta G_{sac.}$ (%) | $\Delta M_a$ (%) | $E_f$ (%) |
|----------------------------|----------------------------------|-----------|------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| Branq. convenc. + DO (50%) | 0                                | 96,45     | --               | --                    | --               | --        |
|                            | 0,5                              | 83,53     | -13,27           | 11,69                 | -1,58            | 1,14      |
|                            | 1                                | 78,99     | -13,30           | 17,35                 | 4,04             | 0,77      |
|                            | 2                                | 73,09     | -15,11           | 25,08                 | 9,98             | 0,60      |
|                            | 3                                | 68,47     | -20,65           | 29,95                 | 9,29             | 0,69      |
| Branq. etapas + DO (50%)   | 0                                | 97,42     | --               | --                    | --               | --        |
|                            | 0,5                              | 78,76     | -16,65           | 16,17                 | -0,48            | 1,03      |
|                            | 1                                | 73,79     | -17,63           | 23,05                 | 5,42             | 0,76      |
|                            | 2                                | 70,17     | -20,34           | 26,80                 | 6,46             | 0,76      |
|                            | 3                                | 65,87     | -22,70           | 32,52                 | 9,82             | 0,70      |

O tratamento por etapas proporciona amostras com menores teores de água e maiores ganhos de sacarose quando as amostras são tratadas com 50% de solução de sacarose. Esse resultado pode ser atribuído a maiores alterações na estrutura celular do tecido em comparação com o branqueamento convencional. As membranas celulares possuem permeabilidade seletiva, pois permitem a passagem de moléculas pequenas como a água, mas bloqueiam a passagem de moléculas com alto peso molecular, como a sacarose (BIDWELL, 1979). Quando essas membranas perdem essa propriedade, parte do conteúdo celular se perde para a solução osmótica e espaços intracelulares se tornam disponíveis, acarretando em grande impregnação do tecido com solutos da solução, nesse caso, sacarose.

É possível verificar, através da **Tabela 8**, que somente a 0,5h de DO a 50°Brix as amostras branqueadas apresentaram redução de massa, pois, após esse tempo, observou-se ganho de massa com o tratamento osmótico, consequência da grande impregnação de sacarose.

Com relação à eficiência de desidratação osmótica a 50°Brix, nota-se que os dois tipos de branqueamento apresentaram valores semelhantes e baixos. Analisando cada tempo de processo individualmente, observa-se que valores de eficiência tendem a decrescer com o tempo de DO. Segundo Kowalska e Lenart (2001), nos primeiros 30 minutos de DO observa-se, frequentemente, rápida perda de água em comparação com ganho de solutos.

**Tabela 9:** Teor de água, perda de água, ganho de sacarose, variação de massa todos em relação à massa inicial e eficiência das amostras branqueadas (convencional ou por etapas) e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 65% (p/p) por diferentes tempos.

| Tratamento                 | Tempo de tratamento osmótico (h) | $w_a$ (%) | $\Delta P_a$ (%) | $\Delta G_{sac.}$ (%) | $\Delta M_a$ (%) | $E_f$ (%) |
|----------------------------|----------------------------------|-----------|------------------|-----------------------|------------------|-----------|
| Branq. convenc. + DO (65%) | 0                                | 96,46     | --               | --                    | --               | --        |
|                            | 0,5                              | 81,40     | - 12,64          | 14,42                 | 1,78             | 0,88      |
|                            | 1                                | 76,85     | - 17,42          | 19,00                 | 1,58             | 0,92      |
|                            | 2                                | 69,69     | - 20,85          | 27,95                 | 7,10             | 0,75      |
|                            | 3                                | 65,71     | - 27,29          | 31,06                 | 3,78             | 0,88      |
| Branq. etapas + DO (65%)   | 0                                | 95,03     | --               | --                    | --               | --        |
|                            | 0,5                              | 83,94     | - 22,14          | 11,83                 | -10,31           | 1,87      |
|                            | 1                                | 78,64     | - 25,06          | 17,07                 | -7,99            | 1,47      |
|                            | 2                                | 69,47     | - 36,57          | 24,16                 | -12,41           | 1,51      |
|                            | 3                                | 63,33     | - 47,22          | 26,49                 | -20,73           | 1,78      |

O branqueamento por etapas proporcionou maiores perdas de água e menores ganhos de sacarose que o branqueamento convencional durante a DO a 65°Brix, apresentando, como consequência, maiores eficiências durante a desidratação osmótica.

O tratamento por etapas proporcionou redução de massa durante a DO, resultado esse não verificado nas amostras branqueadas convencionalmente e submetidas à solução de 65% de sacarose. Esse aumento na massa de amostras tratadas com branqueamento convencional se deve à grande impregnação de sacarose, conforme **Tabela 9**.

Comparando-se os efeitos das duas concentrações (50 e 65%) sobre a variação de massa, nota-se que a solução de 50% de sacarose resultou, no geral, em maiores ganhos de massa para ambas amostras branqueadas (**Tabela 8 e 9**). O branqueamento por etapas seguido de DO a 65% proporcionou o menor ganho de sacarose.

Os coeficientes de difusão da água ( $D_{ef,a}$ ) e da sacarose ( $D_{ef,sac.}$ ) em abóbora determinados, segundo a **equação 11**, considerando-se espessura inicial constante, para os dois tipos de branqueamentos seguidos de DO a 50 e 65 °Brix, estão reportados na **Tabela 10**.

**Tabela 10:** Coeficientes de difusão da água e da sacarose para amostras branqueadas convencionalmente e branqueadas por etapas, submetidas à DO em soluções de 50 e 65% de solução de sacarose.

| Tratamento                                | Água                                                    |                |             | Sacarose                                                    |                |             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------------------------------------|----------------|-------------|
|                                           | $D_{ef_a}$ (m <sup>2</sup> /s)<br>(x10 <sup>-10</sup> ) | R <sup>2</sup> | RQMR<br>(%) | $D_{ef_{sac}}$ (m <sup>2</sup> /s)<br>(x10 <sup>-10</sup> ) | R <sup>2</sup> | RQMR<br>(%) |
| <b>Branq. convenc. + DO<br/>(50°Brix)</b> | 9,24                                                    | 0,987          | 3,70        | 8,62                                                        | 0,989          | 2,67        |
| <b>Branq. convenc. + DO<br/>(65°Brix)</b> | 6,93                                                    | 0,977          | 4,47        | 6,51                                                        | 0,980          | 3,92        |
| <b>Branq. etapas + DO<br/>(50°Brix)</b>   | 10,60                                                   | 0,933          | 12,68       | 10,60                                                       | 0,929          | 11,00       |
| <b>Branq. etapas + DO<br/>(65°Brix)</b>   | 6,38                                                    | 0,993          | 6,70        | 6,62                                                        | 0,991          | 2,57        |

Os coeficientes de difusão apresentaram-se maiores para amostras tratadas com branqueamento por etapas e posteriormente submetidas à solução de sacarose (50%). O aumento da concentração da solução osmótica de sacarose proporciona redução dos coeficientes de difusão de água e sacarose.

Garcia et al. (2007) determinaram coeficientes de difusão de água em torno de  $1,4 \cdot 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s e coeficientes de difusão de sacarose em torno de  $0,89 \cdot 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s em fatias de abóbora *Cucurbita moschata* desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 50 e 60%, utilizando a espessura média das fatias ao longo do processo. Nesse estudo, entretanto, verificam-se (**Tabela 10**) coeficientes de difusão de água e sacarose muito maiores do que os obtidos por Garcia et al. (2007), o que está relacionado com o efeito do branqueamento, que facilita a difusão das espécies na desidratação osmótica.

Os dados apresentaram bom ajuste à **equação 12** uma vez que os valores de R<sup>2</sup> foram superiores a 0,930 e o RQMS foi inferior a 13%.

### 7.3.2. Análise de textura

Foram avaliadas alterações na textura das amostras branqueadas por etapas e convencionalmente, durante a desidratação osmótica em solução de 50 e 65%, tendo como padrão amostras in natura. Os valores normalizados para dureza estão expressos na **Tabela 11** e através das **Figuras 34 e 35** é possível fazer uma melhor comparação entre os tratamentos.

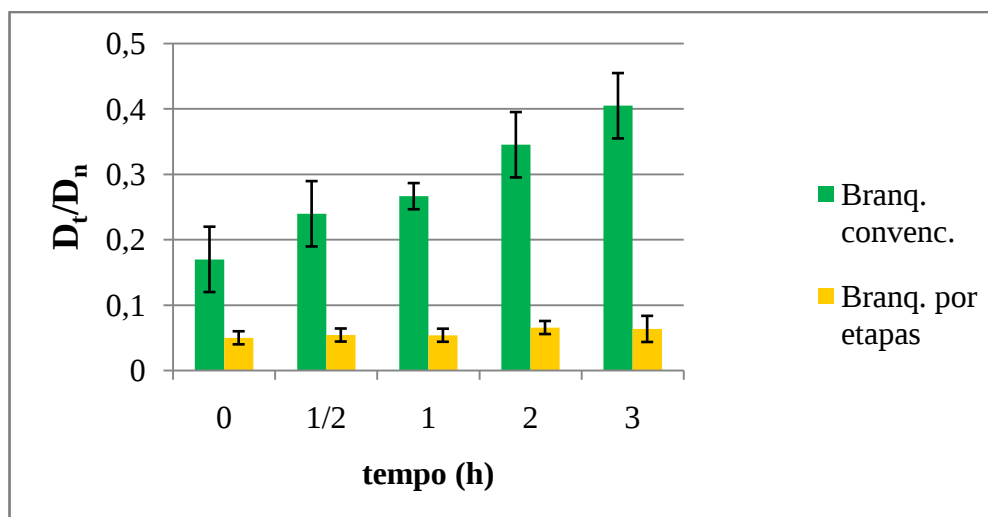
**Tabela 11:** Valores normalizados para dureza das amostras branqueadas convencionalmente e branqueadas por etapas, sem e com posterior desidratação osmótica.

| Concentração da<br>solução osmótica<br>% sacarose, p/p | tempo<br>(horas) | Tratamentos     |               | DMS* |
|--------------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------|------|
|                                                        |                  | Branq. convenc. | Branq. etapas |      |
| 50                                                     | 0                | 0,18±0,05a      | 0,04±0,01b    | 0,05 |
|                                                        | 1/2              | 0,24±0,05a      | 0,05±0,01b    | 0,05 |
|                                                        | 1                | 0,27±0,02a      | 0,05±0,01b    | 0,02 |
|                                                        | 2                | 0,34±0,05a      | 0,06±0,01b    | 0,05 |
|                                                        | 3                | 0,40±0,05a      | 0,06±0,02b    | 0,05 |
| 65                                                     | 0                | 0,22±0,02a      | 0,07±0,01b    | 0,02 |
|                                                        | 1/2              | 0,22±0,04a      | 0,07±0,01b    | 0,04 |
|                                                        | 1                | 0,26±0,01a      | 0,07±0,01b    | 0,02 |
|                                                        | 2                | 0,28±0,02a      | 0,07±0,04b    | 0,05 |
|                                                        | 3                | 0,36±0,04a      | 0,07±0,02b    | 0,04 |

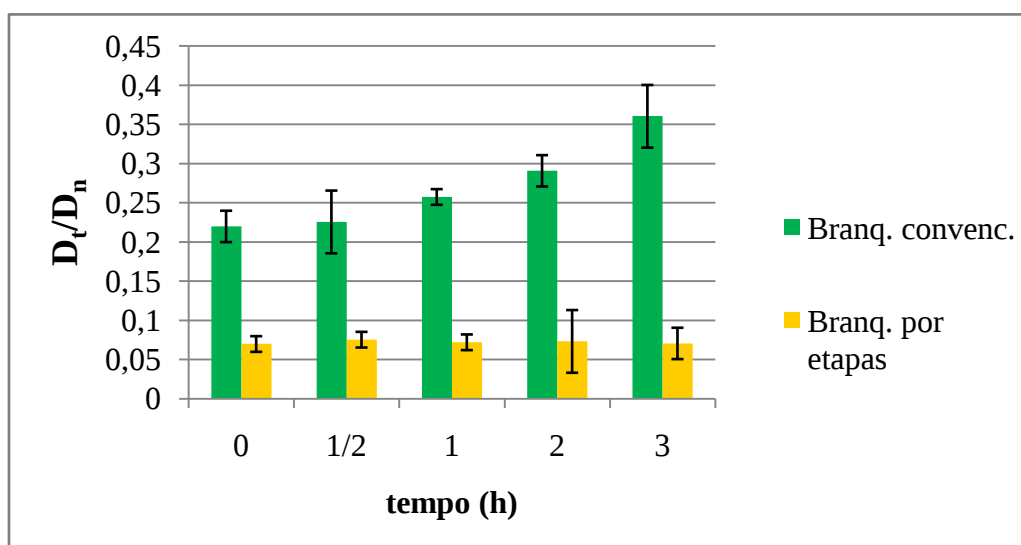
Médias na mesma linha com letras minúsculas iguais não diferem entre si para  $p < 0,05$ .

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

A **Tabela 23** do APÊNDICE B apresenta as durezas das amostras in natura e branqueadas usadas em cada tratamento do estudo da cinética de desidratação osmótica.



**Figura 34:** Valores da normalização de dureza e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas a dois tipos de branqueamento e tratadas osmoticamente em solução com 50% de sacarose por diferentes tempos.



**Figura 35:** Valores da normalização de dureza e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas a dois tipos de branqueamento e tratadas osmoticamente em solução com 65% de sacarose por diferentes tempos.

Os desvios padrão entre as repetições, relativamente grandes (**Tabela 10**), se devem à heterogeneidade entre as hortaliças e à falta de uniformidade em sua estrutura interna, uma vez que as propriedades mecânicas de um material biológico são determinadas pela estrutura e pelos constituintes da parede celular, afetados pelas condições de processo e pelas pequenas variações no grau de maturação e época de colheita.

Grandes desvios de medidas de dureza devido à variabilidade da matéria-prima também foram observados em trabalhos realizados com goiabas (PEREIRA et al., 2004), maçãs (CASTELLÓ et al, 2009), melão (FERRARI, 2009) e grapefruits (MORAGA et al, 2009).

Observa-se que amostras branqueadas convencionalmente apresentaram-se significativamente mais firmes ( $p < 0,05$ ) que amostras branqueadas por etapas, fato que pode ser constatado pela **Tabela 11**, onde o teste de Tukey foi aplicado em cada linha. Nota-se, também, que maiores tempos de DO proporcionaram mais firmeza às amostras submetidas ao tratamento convencional (**Figura 34 e 35**).

As amostras submetidas ao branqueamento convencional e tratadas em solução com 50% de sacarose apresentaram maior dureza que as tratadas a 65%. Esse efeito, entretanto, foi pequeno e significativo apenas quando amostras tratadas por 2 horas, assim como amostras tratadas por 3 horas, foram comparadas. Para tanto, foi aplicado o teste de Tukey para cada branqueamento, comparando o mesmo tempo de desidratação osmótica nas duas soluções.

O resultado encontrado para relação de dureza na otimização do branqueamento por etapas (**Tabela 2**) e nos primeiros ensaios com branqueamento convencional (**Tabela 3**) diverge dos resultados apresentados na **Tabela 11** no tempo zero, onde o branqueamento por etapas apresentou valores significativamente menores que o branqueamento convencional. Essa divergência pode ser atribuída à heterogeneidade entre as hortaliças devido às variações no grau de maturação e época de colheita, uma vez que a quantidade de cálcio e de pectina na abóbora pode ser alterada com essas variações. França e Narain (2003) notaram significativas variações de cálcio e pectina na acerola com a maturação e a época de colheita. Esse resultado sugere que a dependência da dureza com a matéria prima predomina sobre a influência do tipo de branqueamento utilizado. Uma comparação entre dois tipos de branqueamento de uma mesma matéria prima mostrou baixas razões entre a dureza do tecido branqueado e do tecido in natura. No branqueamento por etapas, o valor encontrado foi  $0,07 \pm 0,01$ , e no convencional,  $0,09 \pm 0,02$ . Numa tentativa de relacionar a dureza após o tratamento com a dureza da matéria-prima inicial, todos os ensaios da **Tabela 2 e Tabela 6**, foram avaliados considerando a dureza inicial em valor absoluto (**Tabela 23** do APÊNDICE B e **Tabela 24** do APÊNDICE C), porém, não foi encontrada nenhuma correlação. Portanto, a composição de cálcio e pectina parecem ser os fatores mais relevantes sobre a dureza da abóbora, o que necessitaria de estudos mais detalhados para esclarecer a questão.

### 7.3.2. Análise de cor

A amostra de abóbora in natura foi considerada padrão para a análise das alterações na coloração das amostras branqueadas por etapas e branqueadas convencionalmente com posterior tratamento osmótico em solução de 50 e 65% sob diferentes tempos.

Para comparação entre os diferentes tipos de branqueamento ao longo da DO, foi utilizada a normalização do parâmetro  $L^*$ , conforme explicado no item 6.2.1, valores apresentados na **Tabela 12**.

Para mesmo tempo de tratamento osmótico, nas duas concentrações, o teste de Tukey aplicado em linha (**Tabela 12**) mostrou que amostras tratadas por etapas apresentaram significativa redução da claridade em relação às amostras branqueadas convencionalmente. Entretanto, a mesma amostra branqueada e desidratada osmoticamente apresentou valores muito semelhantes de claridade nas diferentes condições (**Figura 36 e 37**), mostrando que a

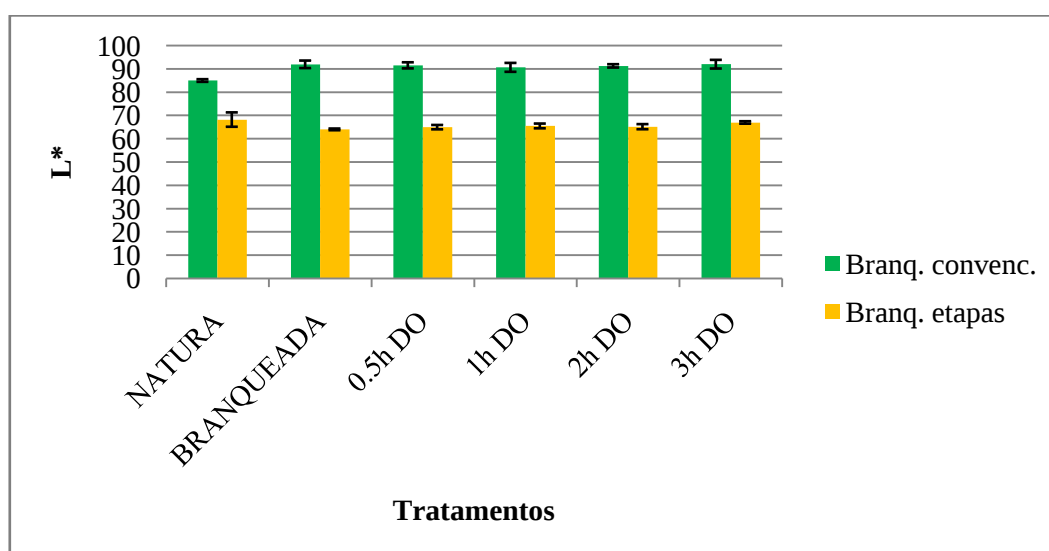
DO não provocou alterações significativas no valor de  $L^*$  entre os tempos de tratamento osmótico ( $p < 0,05$ ). Esse resultado já tinha sido observado na otimização da desidratação osmótica, com amostras branqueadas por etapas, para 1; 2,5 e 4 horas.

**Tabela 12:** Valores  $L^*_{DO}/L^*_{nat}$  para amostras branqueadas de diferentes formas e branqueadas e tratadas osmoticamente em concentrações e tempos diferentes.

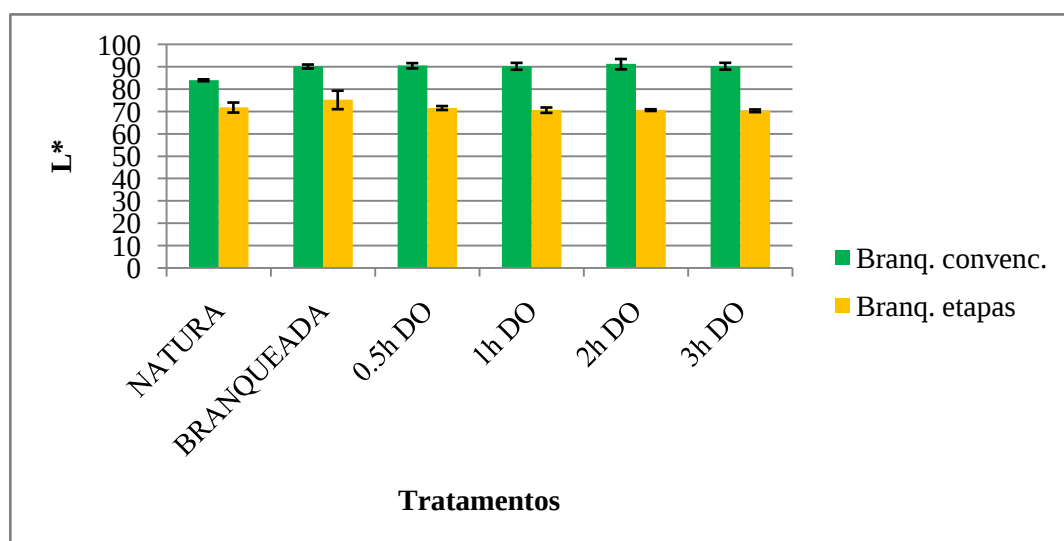
| Concentração da solução osmótica | Tempo de desidratação osmótica | Tratamentos      |                   | DMS* |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|------|
|                                  |                                | Branq. convenc.  | Branq. por etapas |      |
| % sacarose, p/p                  | (horas)                        |                  |                   |      |
| 50                               | 0                              | $1,08 \pm 0,02a$ | $0,94 \pm 0,01b$  | 0,03 |
|                                  | 1/2                            | $1,08 \pm 0,02a$ | $0,95 \pm 0,01b$  | 0,03 |
|                                  | 1                              | $1,07 \pm 0,02a$ | $0,96 \pm 0,01b$  | 0,04 |
|                                  | 2                              | $1,07 \pm 0,01a$ | $0,96 \pm 0,02b$  | 0,03 |
|                                  | 3                              | $1,08 \pm 0,02a$ | $0,98 \pm 0,01b$  | 0,04 |
| 65                               | 0                              | $1,07 \pm 0,01a$ | $1,05 \pm 0,06a$  | 0,09 |
|                                  | 1/2                            | $1,08 \pm 0,01a$ | $1,00 \pm 0,01b$  | 0,03 |
|                                  | 1                              | $1,08 \pm 0,02a$ | $0,98 \pm 0,02b$  | 0,04 |
|                                  | 2                              | $1,09 \pm 0,03a$ | $0,98 \pm 0,01b$  | 0,05 |
|                                  | 3                              | $1,08 \pm 0,02a$ | $0,98 \pm 0,01b$  | 0,03 |

Médias na mesma linha com letras minúsculas iguais não diferem entre si para  $p < 0,05$ .

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



**Figura 36:** Valores do parâmetro  $L^*$  e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos.



**Figura 37:** Valores do parâmetro  $L^*$  e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos.

Os valores observados para as normalizações dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  das amostras tratadas por etapas e branqueadas convencionalmente, ambas desidratadas osmoticamente estão apresentados nas **Tabelas 13 e 14**.

A cor avermelhada da amostra apresentou alterações significativas ( $p < 0,05$ ) entre o tipo de branqueamento empregado (**Tabela 13**). As amostras ficaram menos vermelhas quando o branqueamento convencional foi empregado. O mesmo decréscimo do valor de  $a^*$  foi relatado por Ndiaye et al. (2009), para mangas branqueadas a vapor por diferentes tempos (3 a 7 minutos).

**Tabela 13:** Valores  $a^*DO/a^*_{nat}$  para amostras branqueadas de diferentes formas e branqueadas e tratadas osmoticamente em concentrações e tempos diferentes.

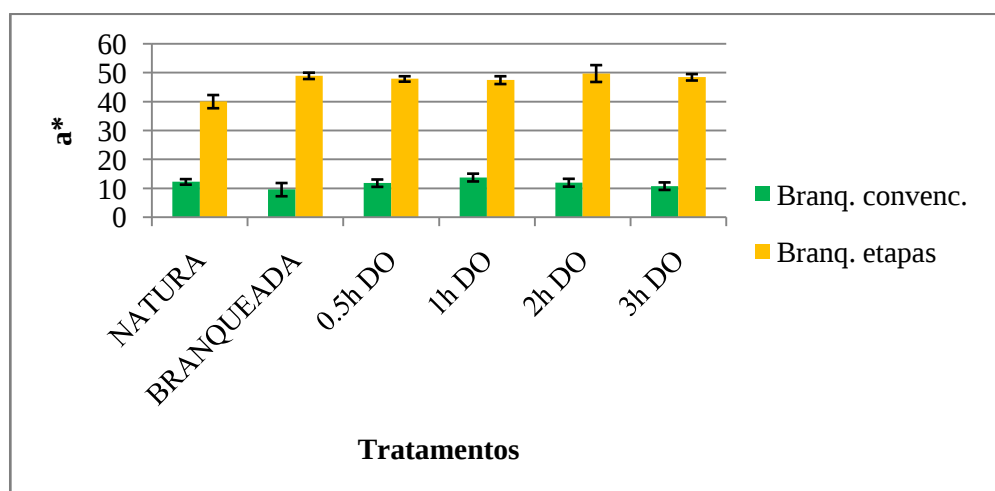
| Concentração da solução osmótica | tempo de desidratação osmótica | Tratamentos      |                  | DMS* |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------|
|                                  |                                | Branq. convenc.  | Branq. etapas    |      |
| 50                               | 0                              | $0,77 \pm 0,19a$ | $1,22 \pm 0,03b$ | 0,30 |
|                                  | 1/2                            | $0,96 \pm 0,1a$  | $1,20 \pm 0,02b$ | 0,17 |
|                                  | 1                              | $1,12 \pm 0,11a$ | $1,19 \pm 0,03a$ | 0,18 |
|                                  | 2                              | $0,97 \pm 0,11a$ | $1,24 \pm 0,07b$ | 0,21 |
|                                  | 3                              | $0,87 \pm 0,11a$ | $1,21 \pm 0,03b$ | 0,17 |
| 65                               | 0                              | $0,92 \pm 0,01a$ | $1,43 \pm 0,01b$ | 0,02 |
|                                  | 1/2                            | $1,03 \pm 0,12a$ | $1,45 \pm 0,02b$ | 0,20 |
|                                  | 1                              | $1,02 \pm 0,07a$ | $1,43 \pm 0,03b$ | 0,11 |
|                                  | 2                              | $0,92 \pm 0,05a$ | $1,49 \pm 0,02b$ | 0,09 |
|                                  | 3                              | $1,06 \pm 0,12a$ | $1,43 \pm 0,11b$ | 0,26 |

Médias na mesma linha com letras minúsculas iguais não diferem entre si para  $p < 0,05$

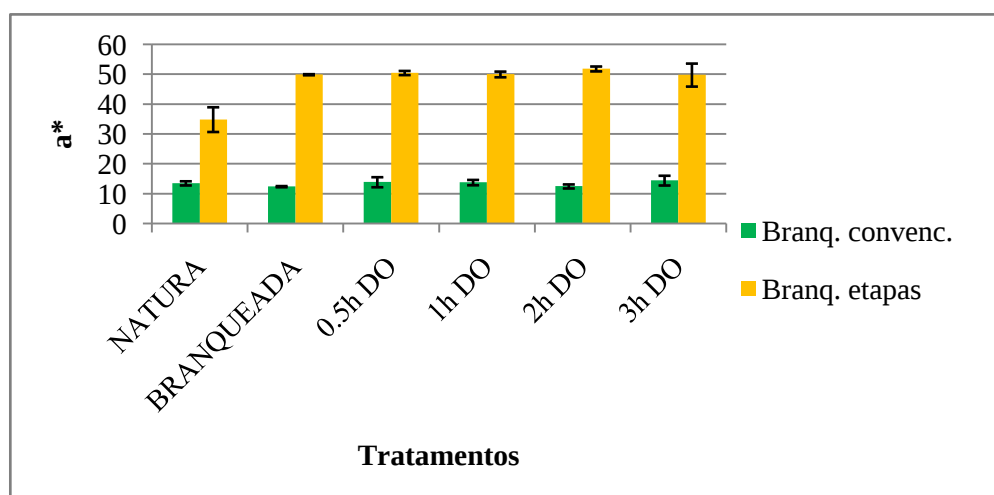
\*DMS: diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%.

Após o branqueamento, o parâmetro  $a^*$  inicial das amostras se manteve ao longo da desidratação osmótica, para ambas concentrações (**Figura 38 e 39**).

Com 95% de confiabilidade, foi possível notar, através de teste de Tukey aplicado para colunas, que não houve alteração do parâmetro  $a^*$  entre os tempos de tratamento osmótico em nenhuma das concentrações ou branqueamentos investigados.



**Figura 38:** Valores do parâmetro  $a^*$  e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos.



**Figura 39:** Valores do parâmetro  $a^*$  e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos.

**Tabela 14:** Valores  $b^*_{DO}/b^*_{nat}$  para amostras branqueadas de diferentes formas e branqueadas e tratadas osmoticamente em concentrações e tempos diferentes.

| Concentração da solução osmótica | tempo de desidratação osmótica | Tratamentos     |               | DMS* |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|------|
|                                  |                                | Branq. convenc. | Branq. etapas |      |
| 50                               | 0                              | 1,17 ± 0,02a    | 0,95 ± 0,01b  | 0,03 |
|                                  | 1/2                            | 1,17 ± 0,02a    | 0,97 ± 0,02b  | 0,04 |
|                                  | 1                              | 1,16 ± 0,02a    | 0,98 ± 0,02b  | 0,05 |
|                                  | 2                              | 1,16 ± 0,01a    | 0,98 ± 0,02b  | 0,04 |
|                                  | 3                              | 1,17 ± 0,03a    | 0,96 ± 0,03b  | 0,06 |
| 65                               | 0                              | 1,16 ± 0,01a    | 1,07 ± 0,04b  | 0,06 |
|                                  | 1/2                            | 1,18 ± 0,01a    | 0,99 ± 0,04b  | 0,07 |
|                                  | 1                              | 1,17 ± 0,02a    | 0,98 ± 0,06b  | 0,09 |
|                                  | 2                              | 1,19 ± 0,03a    | 0,98 ± 0,05b  | 0,09 |
|                                  | 3                              | 1,18 ± 0,02a    | 0,99 ± 0,03b  | 0,06 |

Médias na mesma linha com letras minúsculas iguais não diferem entre si para  $p < 0,05$ .

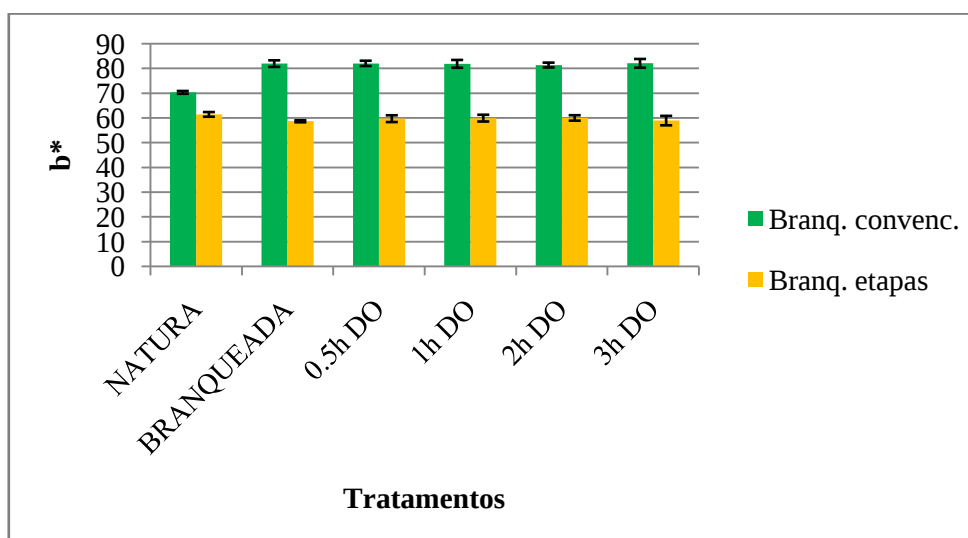
\*DMS: diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%.

O teste de Tukey, aplicado em cada linha (**Tabela 14**) mostra que os branqueamentos exerceram diferentes influências sobre o parâmetro  $b^*$  das amostras, sendo que, com 95% de confiabilidade, as amostras branqueadas convencionalmente apresentaram-se mais amareladas que as amostras branqueadas por etapas.

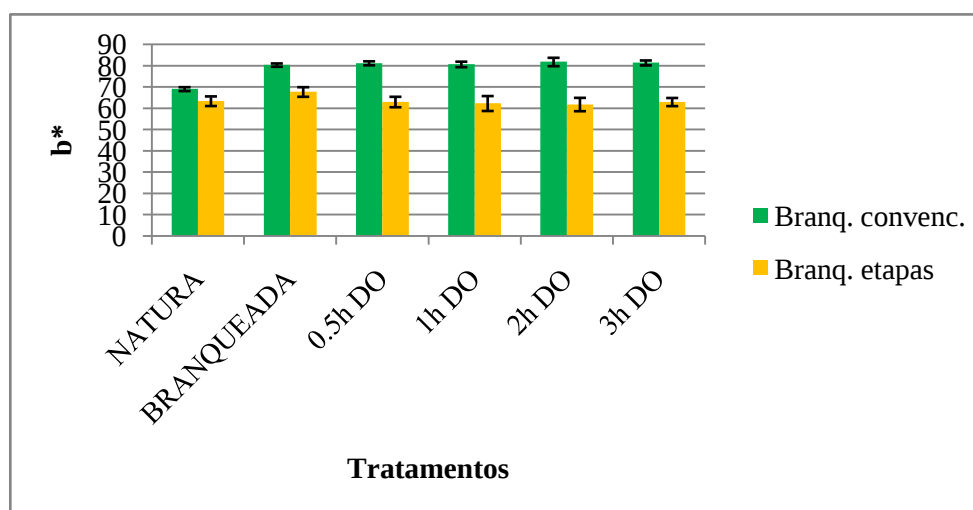
As concentrações do tratamento osmótico estudadas, entretanto, não promoveram diferenças significativas na normalização do parâmetro  $b^*$  em nenhuma das amostras branqueadas, segundo análise de teste de Tukey para coluna.

Todas as amostras não apresentaram mudanças, ao nível de 5% de significância, no valor da normalização do parâmetro  $b^*$  durante os tempos de DO estudados. Todas as mudanças significativas, tanto para  $b^*$ , como para  $a^*$ , podem ser atribuídas ao tipo de branqueamento usado.

Nas **Figura 40 e 41** observa-se que o branqueamento convencional proporciona maiores alterações no parâmetro  $b^*$  das amostras com relação a in natura do que o branqueamento por etapas.



**Figura 40:** Valores do parâmetro  $b^*$  e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 50% de sacarose por diferentes tempos.



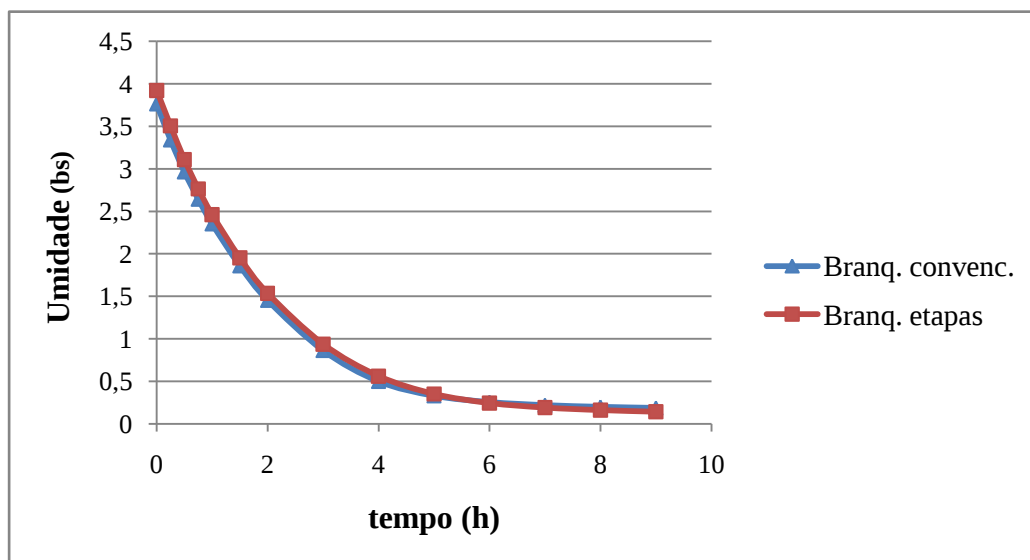
**Figura 41:** Valores do parâmetro  $b^*$  e desvios padrão das amostras de abóbora submetidas aos branqueamentos e tratadas osmoticamente em solução de 65% de sacarose por diferentes tempos.

#### 7.4. Secagem

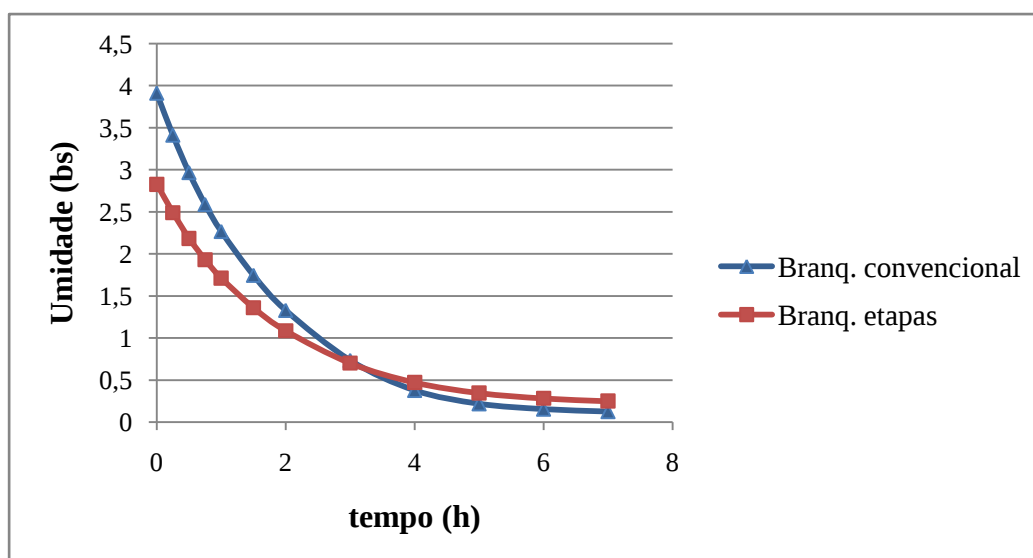
A partir dos resultados obtidos na cinética de DO, constatou-se que a perda de água é mais intensa até 1 hora de DO. Como a transferência de massa diferiu pouco entre as duas concentrações de sacarose da solução osmótica (50 e 65%), decidiu-se por conduzir a DO previamente à secagem pelo período de 1 hora, em solução com 50% de sacarose utilizando os dois branqueamentos (convencional e por etapas). Para tanto, foram realizados testes sensoriais dessas amostras desidratadas a 60°C/9h, para avaliar a aceitação do produto. O resultado foi positivo, sendo que 12 provadores que participaram da análise aprovaram o dulçor das amostras, independente do tipo de branqueamento realizado.

##### 7.4.1. Cinética de secagem

A análise da cinética de secagem foi realizada em amostras branqueadas (convencionalmente e por etapas), desidratadas osmoticamente (solução de 50% de sacarose por 1 hora) e secas em 60°C/9h e 70°C/7h com os resultados expressos na forma de gráficos de umidade (base seca) versus tempo (**Figura 42 e 43**).



**Figura 42:** Curvas de secagem de amostras branqueadas convencionalmente ou por etapas, tratadas osmoticamente e secas a 60°C/9h,  $v = 1,7\text{m/s}$ .

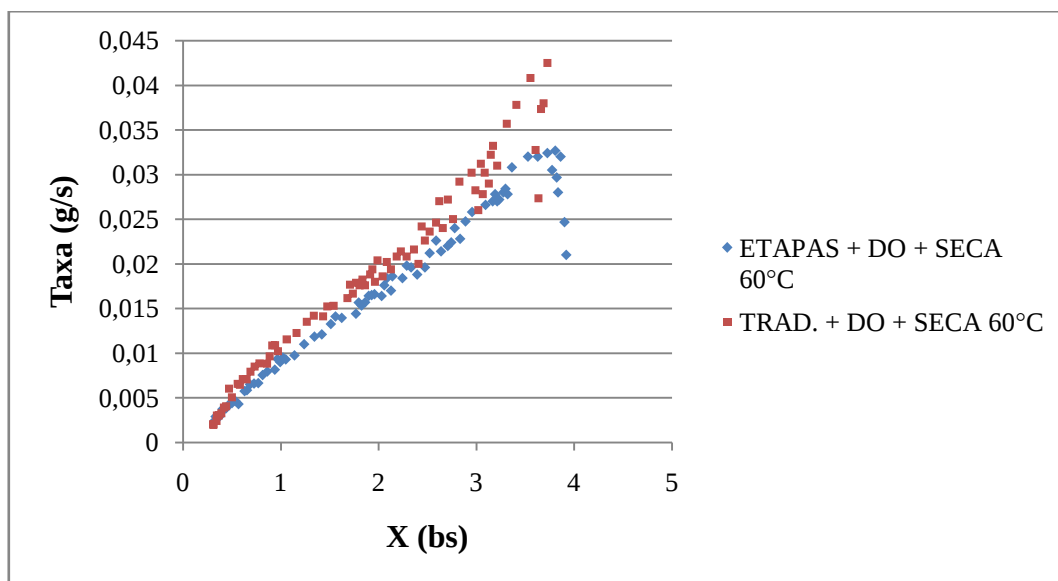


**Figura 43:** Curvas de secagem de amostras branqueadas convencionalmente ou por etapas, tratadas osmoticamente e secas a 70°C/7h,  $v = 1,7\text{m/s}$ .

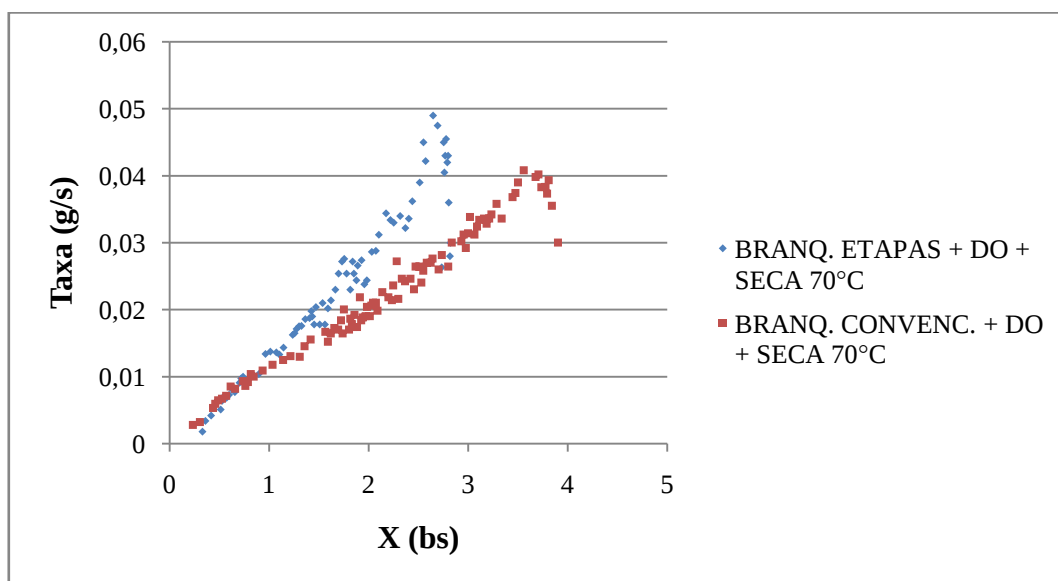
Observou-se que a redução de umidade (bs) durante a secagem das amostras branqueadas convencionalmente e por etapas, a 60°C (**Figura 42**), foi muito semelhante, não dependendo, portanto, do tipo de pré-tratamento empregado. A 70°C (**Figura 43**) constata-se que a amostra branqueada por etapas, após a DO, apresentou umidade mais baixa que as demais, sugerindo maior impregnação de sacarose.

Para analisar os períodos de secagem, gráficos de taxas de secagem em função da umidade em base seca (X) foram construídos e avaliados.

Nas **Figuras 44 e 45** estão apresentadas as taxas de secagem das amostras tratadas previamente com branqueamento convencional e por etapas + DO (50% sacarose por 1 hora) + secagem, a 60°C/ 9h e 70°C/7h, respectivamente.



**Figura 44:** Taxa de secagem das amostras previamente tratadas com branqueamento convencionalmente ou por etapas + DO + secagem a 60°C/9h.

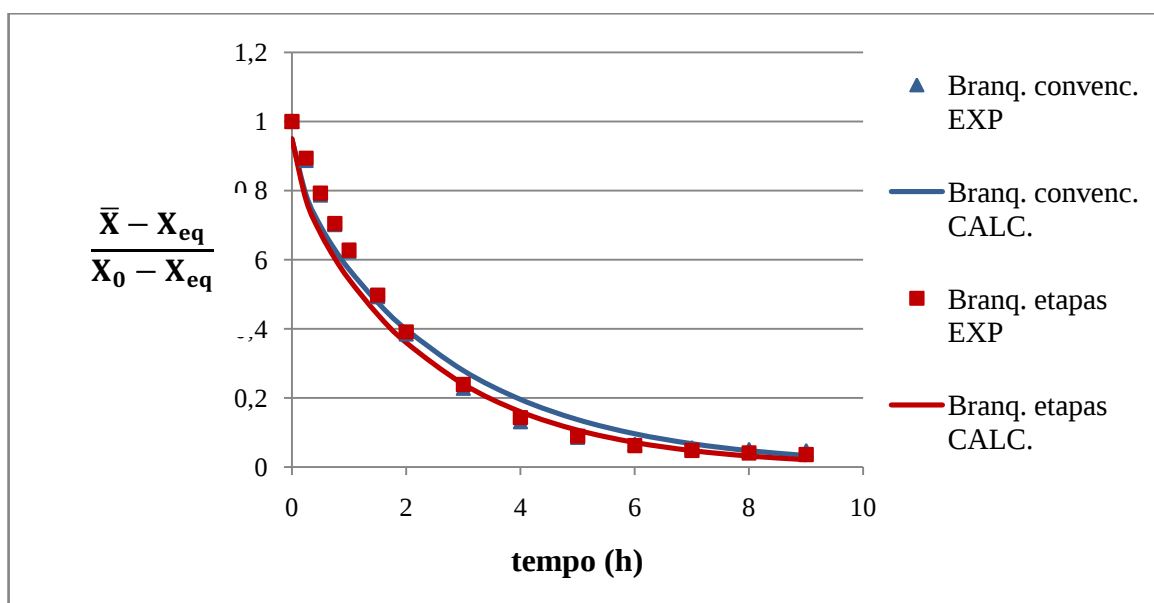


**Figura 45:** Taxa de secagem das amostras previamente tratadas com branqueamento convencionalmente ou por etapas + DO + secagem a 70°C/7h.

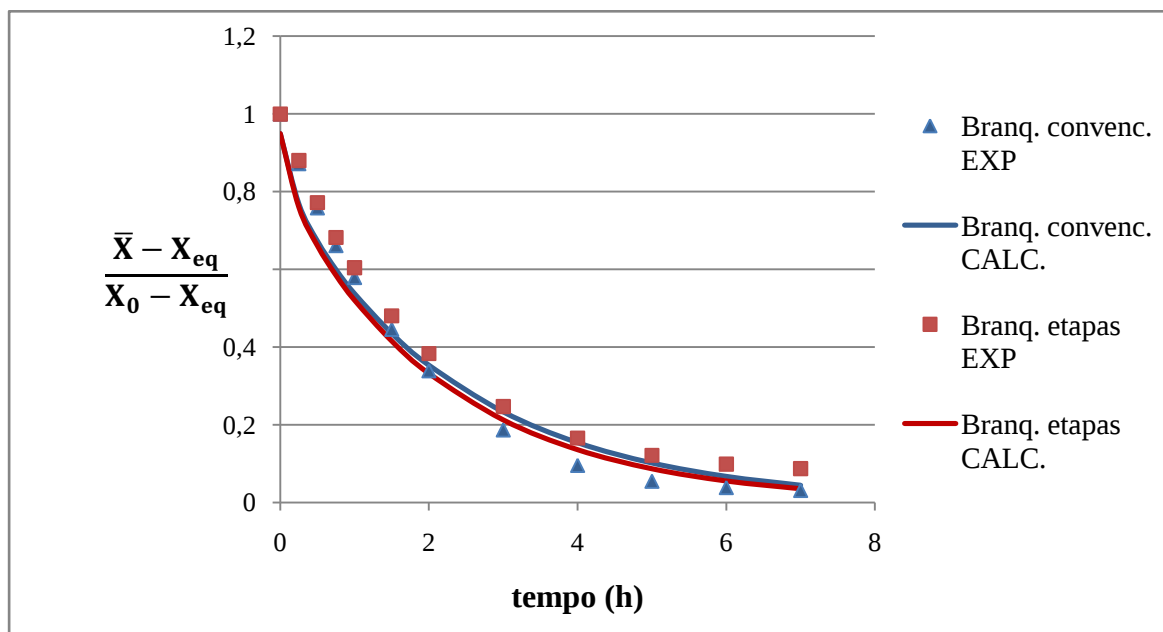
Através dos gráficos representados pelas **Figuras 45 e 46**, constatou-se que após um período de adaptação prevalece o período de taxa decrescente em todos os ensaios. Períodos de taxa constante, embora possam ocorrer durante curto espaço de tempo, não são perceptíveis nesses gráficos. Dessa forma, os dados foram ajustados à **equação 14** a fim de determinar o coeficiente de difusão ( $D_{efs}$ ) (**Tabela 15**) e construir os gráficos de umidade residual (adimensional) em função do tempo (**Figuras 46 e 47**) para comparação dos dados experimentais e calculados, em base seca.

**Tabela 15:** Coeficiente de difusão ( $D_{efs}$ ) obtido após a secagem de abóboras, sendo BE = Branqueamento por etapas, BC = Branqueamento convencional, DO = Desidratação osmótica.

| Tratamentos                 | $D_{efs} (x10^{10}) (m^2/s)$ | $R^2$ | RQMR  |
|-----------------------------|------------------------------|-------|-------|
| BE + DO + secagem a 60°C/9h | 5,24                         | 0,979 | 16,79 |
| BC + DO + secagem a 60°C/9h | 5,31                         | 0,975 | 28,21 |
| BE + DO + secagem a 70°C/7h | 5,39                         | 0,985 | 25,48 |
| BC + DO + secagem a 70°C/7h | 5,56                         | 0,973 | 40,65 |



**Figura 46:** Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo **equação (14)**, durante secagem a 60°C/9h.



**Figura 47:** Comparação entre dados de umidade residual média, em base seca, experimentais e calculados segundo **equação (14)**, durante secagem a 70°C/7h.

Observa-se na **Tabela 15** que o coeficiente de difusão variou muito pouco com o tipo de branqueamento e com a temperatura estudada. O  $R^2$  acima de 0,970 junto com o RQMR e os gráficos de adimensional por tempo, que retratam a proximidade dos valores experimentais com os valores calculados, indicam bom ajuste dos dados à **equação 14**.

Garcia et al. (2007) observaram que abóboras *Cucurbita moschata* desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 60% por 1 hora e secas a 70°C apresentaram coeficiente de difusão de  $4,16 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ . Nesse estudo, verifica-se que os coeficientes determinados para as amostras branqueadas, tratadas osmoticamente em solução de sacarose a 50% por 1 hora e secas a 70°C foram maiores do que o observado por Garcia et al. (2007), fato que pode ser atribuído ao efeito do branqueamento que possivelmente contribuiu para o aumento da taxa de secagem.

#### 7.4.2 Atividade de água

Na **Tabela 16** estão apresentados os valores de atividade de água ( $a_w$ ) obtidos nas amostras in natura, após cada pré-tratamento e nas amostras finais secas. Verifica-se que a desidratação osmótica apresentou uma tendência de redução de atividade de água do produto

mesmo que não tão considerável, pois a solução de sacarose a 50% e 25°C apresenta  $a_w$  em torno de 0,935 (CHIRIFE et. al., 1980) o que limita seu potencial de redução de  $a_w$ .

Observando o resultado dos dois tipos de branqueamentos sobre a atividade de água, observa-se que para secagem a 60°C/9h, amostras branqueadas por etapas, com 95% de confiabilidade, apresentaram menor valor de atividade de água, enquanto que para secagem a 70°C/7h, amostras submetidas ao mesmo pré-tratamento demonstraram maior valor de  $a_w$ . Esses resultados são compatíveis com as curvas de secagem, que apresentam uma inversão a 70°C (**Figura 43**), o que pode estar associado à estrutura do tecido, sendo mais impregnado por sacarose. O fato da amostra branqueada pelo tratamento convencional se apresentar mais úmida e menos impregnada de sacarose após a DO, parece ter proporcionado taxas de secagem maiores a 70°C em comparação com as amostras branqueadas por etapas. Com isso, essas amostras apresentaram baixo valor de  $a_w$  ao fim da secagem. A impregnação, porém, não parece estar relacionada ao tipo de branqueamento, pois os ensaios com secagem a 60°C não apresentaram esse comportamento, onde as amostras desidratadas osmoticamente tinham umidade, atividade de água e impregnação de sacarose semelhantes. Portanto, o mais provável é que a estrutura do tecido, que provavelmente variou entre diferentes abóboras, tenha influenciado sobre esses resultados.

**Tabela 16:** Atividade de água de amostras in natura, submetidas aos pré-tratamentos e após secagem.

| Tratamento                        | Atividade de água ( $a_w$ ) |               |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------|
|                                   | Branq. convenc.             | Branq. etapas |
| <b>In Natura</b>                  | 0,995 ± 0,002               | 0,995 ± 0,001 |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | 0,995 ± 0,001               | 0,995 ± 0,001 |
| <b>B + DO</b>                     | 0,984 ± 0,001               | 0,987 ± 0,001 |
| <b>B + DO + Secagem a 60°C/9h</b> | 0,678 ± 0,014               | 0,662 ± 0,002 |
| <b>In Natura</b>                  | 0,995 ± 0,001               | 0,996 ± 0,002 |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | 0,997 ± 0,001               | 0,997 ± 0,001 |
| <b>B + DO</b>                     | 0,988 ± 0,001               | 0,982 ± 0,004 |
| <b>B + DO + Secagem a 70°C/7h</b> | 0,625 ± 0,015               | 0,767 ± 0,014 |

### 7.4.3 Encolhimento e densidade das amostras

As densidades das amostras submetidas aos diferentes tratamentos são mostrados na **Tabela 17**. O encolhimento das amostras após a aplicação de cada tratamento está apresentado na **Tabela 18**.

**Tabela 17:** Densidade das amostras de abóbora após cada tratamento.

| Tratamento                        | Densidade (Kg/m <sup>3</sup> ) |                |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------|
|                                   | Branq. convenc.                | Branq. etapas  |
| <b>In Natura</b>                  | 975,26 ± 2.5                   | 1039,37 ± 30.4 |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | 1031,32 ± 3.4                  | 1090,86 ± 39.5 |
| <b>B + DO</b>                     | 1033,23 ± 57.0                 | 1119,65 ± 21.1 |
| <b>B + DO + Secagem a 60°C/9h</b> | 1399,44 ± 57.1                 | 1350,35 ± 29.0 |
| <b>In Natura</b>                  | 1010,81 ± 45.1                 | 1032,00 ± 21.2 |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | 1061,38 ± 30.4                 | 1052,01 ± 4.0  |
| <b>B + DO</b>                     | 1107,50 ± 9.3                  | 1168,03 ± 10.0 |
| <b>B + DO + Secagem a 70°C/7h</b> | 1615,10 ± 63.5                 | 1447,13 ± 78.3 |

**Tabela 18:** Encolhimento das amostras após cada tratamento calculado segundo a **equação 18**.

| Tratamento                                   | Branq. convenc. | Branq. etapas. |
|----------------------------------------------|-----------------|----------------|
| <b>Encolhimento no Branqueamento (%)</b>     | -8,59           | -10,55         |
| <b>Encolhimento na DO (%)</b>                | -12,11          | -7,44          |
| <b>Encolhimento na secagem a 60°C/9h (%)</b> | -80,47          | -66,67         |
| <b>Encolhimento no Branqueamento (%)</b>     | -5,45           | -10,43         |
| <b>Encolhimento na DO (%)</b>                | -9,55           | -10,43         |
| <b>Encolhimento na secagem 70°C/7h (%)</b>   | -79,55          | -63,98         |

Para o mesmo tipo de branqueamento, observou-se que as variações de espessura foram muito pequenas entre amostras branqueadas e entre aquelas tratadas com branqueamento + desidratação osmótica. Notou-se, também, que as relações

temperatura/tempo de secagem estudadas não exerceram influência sobre a variação de espessura das amostras, para o mesmo branqueamento. Entretanto, comparando os efeitos do tipo de branqueamento estudado sobre as espessuras das amostras secas, notou-se que as fatias branqueadas por etapas apresentaram menor redução de espessura quando comparadas às branqueadas convencionalmente (**Tabela 18**). Geralmente, a degradação da parede e membrana celular com o tratamento térmico acarreta no maior encolhimento do vegetal. A formação de pectatos de cálcio na lamela média pode ter reforçado a estrutura da parede celular e, dessa forma, contribuído para o resultado observado em abóboras tratadas por etapas. Por outro lado, o maior ganho de sacarose em solução de 50%, observado na **Tabela 8**, para amostras branqueadas por etapas também pode ter contribuído para a menor variação de espessura notada após a secagem de amostras branqueadas por etapas. Araujo (2005) observou que o encolhimento provocado pela secagem diminuía com a incorporação de açúcares em nectarina. O autor verificou que o pré-tratamento com sacarose proporcionava uma incorporação de 8%, em média, de sólidos na nectarina, enquanto que amostras pré-tratadas com xarope de milho apresentava impregnação de 1,6% e maior encolhimento.

A amostra branqueada por etapas, desidratada osmoticamente e seca a 70°C foi a que apresentou maior densidade após a DO, o que está de acordo com a maior impregnação evidenciada pela curva de secagem e atividade de água observados nesse processo. Verifica-se que o branqueamento convencional contribuiu para o acréscimo da densidade em amostras secas em comparação com o branqueamento por etapas (**Tabela 17**).

#### 7.4.4 Textura e cor

A influência do tipo de branqueamento sobre a dureza da amostra após a secagem não foi significativa ao nível de 5%, destacando-se que as medidas apresentaram elevado desvio padrão (**Tabela 19**). Todavia, antes da secagem, observou-se significativa diferença de dureza entre esses tratamentos, inclusive quando combinados à desidratação osmótica. Aplicou-se, para tanto, o teste de Tukey nas linhas da **Tabela 19**, mas os resultados não estão apresentados por letras.

Para amostras tratadas com o mesmo tipo de branqueamento, nota-se que não há mudanças significativas na dureza normalizada quando o tratamento osmótico é acrescentado, o que pode ser constatado pelas letras nas colunas da **Tabela 19**. Entretanto, com 95% de

confiabilidade, verifica-se um aumento da firmeza após a secagem em amostras previamente branqueadas por etapas. Para amostras pré-tratadas com branqueamento convencional, esse aumento não foi significativo (**Tabela 19**).

**Tabela 19:** Firmeza das amostras submetidas a diferentes tratamentos, combinados ou não, expresso na forma de relação entre dureza das amostras tratadas sobre amostra in natura.

| $D_t/D_{nat} (N)$                 |                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Tratamento                        | Branq. convenc.   | Branq. etapas     |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,07 \pm 0,01$ a | $0,04 \pm 0,01$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,09 \pm 0,00$ a | $0,06 \pm 0,01$ a |
| <b>B + DO + Secagem a 60°C/9h</b> | $0,12 \pm 0,08$ a | $0,08 \pm 0,04$ b |
| <b>DMS*</b>                       | 0,054             | 0,030             |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,09 \pm 0,02$ a | $0,04 \pm 0,01$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,08 \pm 0,02$ a | $0,07 \pm 0,02$ a |
| <b>B + DO + Secagem a 70°C/7h</b> | $0,08 \pm 0,04$ a | $0,12 \pm 0,10$ b |
| <b>DMS*</b>                       | 0,033             | 0,068             |

Médias na mesma coluna com letras minúsculas iguais não diferem entre si para  $p < 0,05$ .

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

Os parâmetros de cor normalizados e obtidos para cada tratamento e cada combinação de tratamentos estão expressos na **Tabela 20**. Na **Tabela 21** observa-se os valores para cromaticidade obtidos para cada tratamento.

**Tabela 20:** Normalização dos parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  obtidos para cada tratamento em que as amostras foram submetidas.

|                                   | Branq. convenc.    | Branq. etapas     |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|
|                                   | $L^*/L^*_{nat}$    |                   |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,77 \pm 0,01$ a  | $0,85 \pm 0,00$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,75 \pm 0,02$ b  | $0,78 \pm 0,02$ b |
| <b>B + DO + Secagem a 60°C/9h</b> | $0,75 \pm 0,02$ ab | $0,77 \pm 0,02$ b |
| <b>DMS</b>                        | 0,015              | 0,017             |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,78 \pm 0,05$ a  | $0,84 \pm 0,01$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,75 \pm 0,01$ a  | $0,78 \pm 0,02$ b |
| <b>B + DO + Secagem a 70°C/7h</b> | $0,74 \pm 0,02$ b  | $0,77 \pm 0,02$ b |
| <b>DMS</b>                        | 0,036              | 0,017             |
|                                   | $a^*/a^*_{nat}$    |                   |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,85 \pm 0,05$ a  | $0,81 \pm 0,02$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,84 \pm 0,04$ a  | $0,79 \pm 0,03$ a |
| <b>B + DO + Secagem a 60°C/9h</b> | $0,83 \pm 0,04$ a  | $0,75 \pm 0,03$ b |
| <b>DMS</b>                        | 0,048              | 0,029             |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,89 \pm 0,08$ a  | $0,88 \pm 0,02$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,90 \pm 0,06$ a  | $0,84 \pm 0,03$ b |
| <b>B + DO + Secagem a 70°C/7h</b> | $0,88 \pm 0,04$ a  | $0,76 \pm 0,05$ c |
| <b>DMS</b>                        | 0,068              | 0,038             |
|                                   | $b^*/b^*_{nat}$    |                   |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,91 \pm 0,04$ a  | $0,87 \pm 0,02$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,87 \pm 0,04$ a  | $0,80 \pm 0,03$ b |
| <b>B + DO + Secagem a 60°C/9h</b> | $0,64 \pm 0,01$ b  | $0,61 \pm 0,01$ c |
| <b>DMS</b>                        | 0,036              | 0,027             |
| <b>Branqueamento (B)</b>          | $0,91 \pm 0,04$ a  | $0,96 \pm 0,03$ a |
| <b>B + DO</b>                     | $0,89 \pm 0,02$ a  | $0,83 \pm 0,03$ b |
| <b>B + DO + Secagem a 70°C/7h</b> | $0,66 \pm 0,02$ b  | $0,61 \pm 0,02$ c |
| <b>DMS</b>                        | 0,030              | 0,032             |

Médias na mesma coluna com letras minúsculas iguais não diferem entre si para  $p < 0,05$ .

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

Em geral, cada tratamento utilizado contribuiu para a redução dos parâmetros  $L^*/L^*_{nat}$ ,  $a^*/a^*_{nat}$  e  $b^*/b^*_{Nat}$ , sendo que amostras previamente branqueadas por etapas apresentaram mudanças significativas ( $p < 0,05$ ), após cada pré-tratamento, no parâmetro  $a^*$ ,

quando seca a 70°C, e no parâmetro  $b^*$ , nas duas temperaturas de secagem, como demonstrado na **Tabela 20**, pelas letras nas colunas.

Amostras tratadas previamente com branqueamento convencional não apresentaram significativas alterações, com os tratamentos, no parâmetro  $a^*$ , quando comparado à in natura. O parâmetro  $b^*$  normalizado, entretanto, apresentou redução significativa, indicando que as amostras tenderam a ficar menos amareladas com os tratamentos.

Ao avaliar o efeito sobre a cor de cada branqueamento estudado, pode-se notar que o branqueamento por etapas proporcionou amostras secas mais claras (maiores valores de  $L_t/L_{nat.}^*$ ), menos vermelhas (menores valores de  $a_t^*/a_{nat.}^*$ ) e menos amarelas (menores valores de  $b_t^*/b_{nat.}^*$ ) quando comparadas à amostras pré-tratadas com branqueamento convencional.

Os parâmetros de cor das amostras branqueadas por etapas não foram significativamente alterados pelos parâmetros de secagem estudados. O efeito do aumento da temperatura e redução do tempo de secagem em amostras primeiramente tratadas por branqueamento convencional, todavia, resultou em produtos com valor do parâmetro  $a^*$  mais próximo da abóbora in natura, ao nível de 5% de significância.

## 7.5. Isotermas

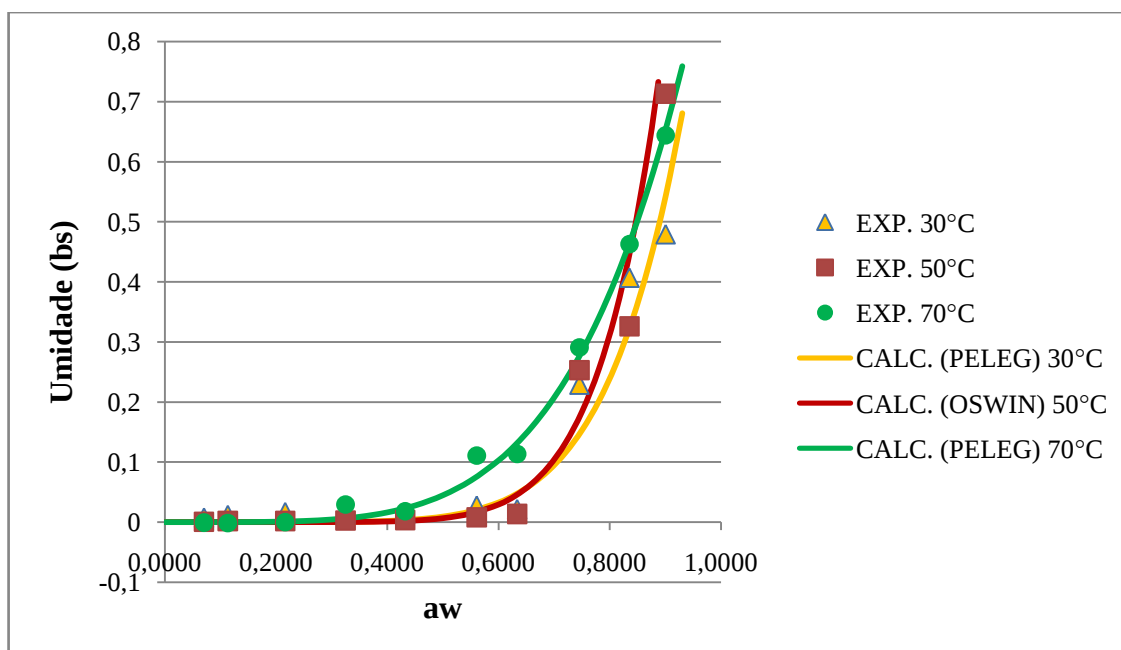
O equilíbrio higroscópico das amostras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 50% por 1 hora foi atingido entre 2 a 3 meses a 30, 50 e 70°C, para as quais foram testados cinco modelos matemáticos (GAB, BET, Halsey, Peleg, Oswin) e observado que os modelo de Peleg apresentou melhor ajuste aos dados em todas as temperaturas estudadas. O modelo de GAB não se ajustou a nenhuma das isotermas. As constantes dos modelos de BET, Oswin e Peleg, e seus respectivos  $R^2$  estão apresentados na **Tabela 21**.

**Tabela 21:** Constantes,  $R^2$  resultantes do ajuste dos dados de isotermas nos modelos matemáticos de BET, Oswin, Peleg e Halsey

| Modelos | Parâmetro do Modelos | T (°C) |       |       |
|---------|----------------------|--------|-------|-------|
|         |                      | 30     | 50    | 70    |
| BET     | Xm                   | 0,093  | ----  | 0,207 |
|         | C                    | 0,156  | ----  | 0,062 |
|         | $R^2$                | 0,800  | ----  | 0,763 |
| OSWIN   | a                    | 0,025  | 0,014 | 0,025 |
|         | b                    | 1,407  | 1,957 | 1,560 |
|         | $R^2$                | 0,790  | 0,901 | 0,807 |
| PELEG   | a                    | 0,627  | 0,920 | 0,871 |
|         | b                    | 6,924  | 8,228 | 4,557 |
|         | c                    | 0,498  | 1,046 | 0,186 |
|         | d                    | 6,923  | 8,227 | 4,563 |
|         | $R^2$                | 0,852  | 0,964 | 0,976 |
| HALSEY  | a                    | 0,072  | 0,111 | 0,093 |
|         | b                    | 0,630  | 0,438 | 0,495 |
|         | $R^2$                | 0,791  | 0,883 | 0,723 |

Verificou-se que as isotermas a 30 e 50°C das abóboras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente foram muito semelhantes às isotermas da sacarose no estado cristalino (MATHLOUTHI & ROGÉ, 2003), o que não foi observado na isoterma a 70°C. Esse comportamento notado nas isotermas a 30 e 50°C demonstrou a grande impregnação de sacarose ocorrida nas amostras em apenas 1 hora de DO. Mayor et al. (2005) verificaram que abóboras *Cucurbita pepo* apresentaram isotermas muito parecidas com as isotermas da sacarose no estado amorfo, e associaram à grande impregnação de açúcar no tecido.

É comum encontrar inversão de isotermas de materiais contendo grande quantidade de açúcar. Gabas et al (1999) constatou essa inversão com uva Itália, o que foi justificado pela dissolução dos açúcares com o aumento da umidade e temperatura. Na **Figura 48** é possível observar que entre as isotermas de 30 e 50°C a partir de  $a_w$  0,7, isto é, para uma mesma atividade de água, o conteúdo de umidade passa a ser maior nas amostras submetidas às maiores temperaturas.



**Figura 48:** Dados experimentais e calculados segundo **equação 14** das isoterma a 30, 50 e 70°C de abóboras branqueadas por etapas e desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 50% por 1 hora.

## 7.6. Análise sensorial

Uma vez que as temperaturas de secagem não apresentaram notáveis diferenças na cor, textura e coeficientes de difusão, optou-se pela temperatura de secagem de 60°C para obter amostras para realizar a análise sensorial.

A **Tabela 22** mostra os resultados encontrados na avaliação sensorial para os atributos aceitabilidade global, aparência, cor, textura e sabor das amostras secas a 60°C por 9 horas previamente branqueadas convencionalmente ou por etapas e tratadas osmoticamente.

**Tabela 22:** Média e desvio padrão dos atributos sensoriais\*\* atribuídos às amostras de abóbora submetidas ao branqueamento convencional ou por etapas + DO + secagem a 60°C/9horas

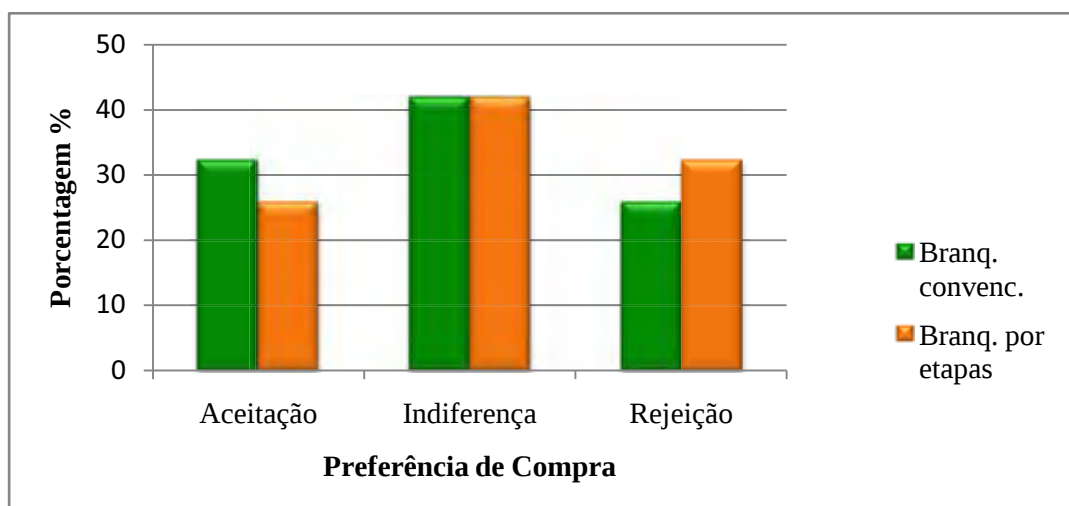
| Atributos             | Branq. convenc.       | Branq. etapas         | DMS* |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| Aceitabilidade global | 6,2 ±1,3 <sup>a</sup> | 6,0 ±1,7 <sup>a</sup> | 0,6  |
| Aparência             | 6,6 ±1,3 <sup>a</sup> | 6,3 ±1,4 <sup>a</sup> | 0,4  |
| Cor                   | 8,0 ±0,9 <sup>a</sup> | 7,5 ±1,1 <sup>b</sup> | 0,3  |
| Textura               | 5,8 ±1,9 <sup>a</sup> | 6,0 ±2,3 <sup>a</sup> | 0,7  |
| Sabor                 | 6,3 ±1,5 <sup>a</sup> | 5,8 ±2,0 <sup>a</sup> | 0,7  |

Médias na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ao nível de 5%. \*DMS: diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%. \*\*escala hedônica não estruturada (1 = desgostei muitíssimo, 9 = gostei muitíssimo).

Ambas as amostras apresentaram boa aceitação sensorial com notas médias entre 5,8 e 8,0. A cor foi o atributo que os provadores mais gostaram, sendo que a preferência foi significativamente maior para amostras tratadas previamente com branqueamento convencional (média = 8,00).

Nota-se uma tendência de aceitação maior da aparência e sabor das amostras previamente branqueadas convencionalmente, indicando que os provadores preferiram amostras mais escuras e com maior intensidade na cor, pois segundo a **Tabela 20**, o branqueamento convencional promoveu maior escurecimento das amostras ( $L^*$  menor) e cor vermelha e amarela mais intensas ( $a^*$  e  $b^*$  maiores) que amostras branqueadas por etapas. Após a DO e a secagem, essa tendência permaneceu.

Com relação à textura não houve percepção, pelos provadores, de diferenças na dureza no produto seco com relação ao tipo de branqueamento aplicado previamente. A resposta obtida com a análise sensorial reflete o resultado verificado na análise de textura instrumental para amostras secas apresentado na **Tabela 19**, onde, também, não foram notadas diferenças significativas entre os efeitos dos dois tipos de branqueamentos estudados (convencional e por etapas) sobre a dureza das amostras secas. Em relação à intenção de compra (**Figura 49**), os resultados demonstraram que a maioria dos provadores não apresentaram preferência por alguma amostra. A soma da aceitação com a indiferença foi maior que a rejeição pelas amostras, o que sinaliza boas possibilidades de consumo de ambos os produtos caso sejam comercializados.



**Figura 49:** Intenção de compra das amostras de abóbora branqueada convencionalmente ou por etapas + DO + secagem a 60°C/9h.

## 8. Conclusões e sugestões

Branqueamento por etapas foi otimizado através da avaliação do efeito do tempo, temperatura de branqueamento e do tempo de espera sobre a cor e textura de abóbora, sendo que o tempo de branqueamento influenciou significativamente a textura, cujo efeito foi muito pequeno, e a cor, cujo efeito foi bem maior e negativo, pois reduziu a intensidade da cor das amostras.

A dependência da dureza com a heterogeneidade entre as abóboras da mesma variedade utilizadas nos experimentos predominou sobre a influência do branqueamento por etapas ou do branqueamento convencional.

A otimização da desidratação osmótica conduzida em amostras branqueadas por etapas (condições otimizadas para dureza) resultou em forte influência do tempo de DO sobre a redução do conteúdo de água. Não houve alterações significativas na cor das amostras branqueadas quando essas foram submetidas ao tratamento osmótico. Já com relação à textura, quanto maior a impregnação de sacarose mais firmes se tornaram as amostras.

Amostras branqueadas e submetidas à desidratação osmótica em solução de 50% de sacarose ganharam massa com o tempo de tratamento osmótico. O branqueamento por etapas proporcionou maiores coeficientes de difusão de água e sacarose nas amostras desidratadas em solução de sacarose a 50%. Os coeficientes de difusão resultaram bastante altos, refletindo a baixa seletividade do tecido.

O branqueamento por etapas proporcionou menor encolhimento das amostras durante a secagem, quando comparado ao branqueamento convencional.

A difusão de água durante a secagem e a textura do produto não foram afetadas significativamente pelo tipo de branqueamento estudado (branqueamento convencional ou por etapas) e nem pela temperatura. A secagem foi eficiente e as difusividades elevadas.

O branqueamento por etapas não acrescentou vantagens importantes sobre a textura da abóbora, sendo apontadas como possíveis causas o fato do tecido fresco da abóbora ser muito frágil, apresentar muita água e pouco material estrutural, o que anularia a contribuição da formação de pectatos de cálcio na lamela média; e o fato do branqueamento a 97°C/5minutos ser muito drástico, neutralizando os efeitos do branqueamento por etapas.

Os provadores preferiram amostras mais escuras e com cor mais acentuada (maiores valores dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ ), características notadas em amostras pré-tratadas com branqueamento convencional. Em contrapartida, variações na textura e sabor não foram

detectáveis na análise sensorial, porém, ambas amostras (previamente branqueadas convencionalmente ou por etapas) apresentaram boa aceitação dos provadores.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Estudar o efeito da adição de cálcio sobre textura, cor e propriedades de transferência de massa da abóbora.

Estudar a atividade da enzima pectinametilesterase antes e após o branqueamento a baixa temperatura em paralelo com a dureza do tecido.

Estudar a cinética da textura e da cor de amostras branqueadas e desidratadas osmoticamente, durante o processo de secagem.

Estudar a influência do teor de pectina e de cálcio sobre a dureza da abóbora.

Estudar a retenção de carotenóides em amostras branqueadas, desidratadas osmoticamente e secas.

## 9. Referências bibliográficas

ABBOT, J. Quality Measurement of Fruits and Vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v.15, p. 207-225, 1999.

ALVAREZ, C.A.; AGUERRE, R.; GÓMEZ, R.; VIDALES, S.; ALZAMORA S.M.; GERSCHENSON, L.N. Air dehydration of strawberries: effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 167-178, 1995.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RCD n.12, de 2 janeiro de 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acessado em Abril, 2007.

ANDREU-SEVILLA, A.; HARTMANN, A.; SAYAS, E.; BURLÓ-CARBONELL, F.; DELGADO-ESTRELLA, P.; VALVERDE, J.M.; CARBONELL-BARRACHINA, Á.A. Mathematical quantification of total carotenoids in Sioma® oil using color coordinates and multiple linear regression during deep-frying simulations. **European Food Research and Technology**, v. 6, n.226, p. 1283-1291, 2006.

ARAÚJO, E. A. F. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*)**. 2005. 113p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2005.

AVILA, L.M.L.B.; SILVA, C.L.M. Modeling kinetics of thermal degradation of color in peach puree. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p.161-166, 1999.

BAHÇECİ, K.S.; SERPEN, A.; GÖKMEN, V.; ACAR, J. Study of lipoxigenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. **Journal of Food Engineering**, v.66, n. 2, p. 187-192, 2005.

BARREIRO, J.A.; MILANO, M; SANDOVAL, A.J. Kinetics of color change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v.33, p. 359-37, 1997.

BARTOLOME, L.G; HOOFF, J.E. Firming of potatoes: Biochemical effects of preheating. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 20, n. 2, p. 266-270, 1972.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas: UNICAMP, p. 401, 2002.

BIDWELL, R.G.S. **Plant Physiology.** Second Edition. p.60. New York: Macmillan Publishing Co., Inc. 726p, 1979.

BOLIN, H.R.; HUXSOLL, C.C; JACKSON, R., NG, K.C. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 1, p. 202-205, 1983.

BORIN, I. FRASCARELI, E.C.; MAURO, M.A.; KIMURA, M. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.1, p.39-50, 2008.

BOURNE, M.C. Effect of blanch temperature on kinetics of thermal softening of carrots and green beans. **Journal of Food Science**, v. 52, p. 667-668, 690, 1987.

CALVO, C., & DURÁN, L. Propriedades Físicas II – Ópticas y Colo. In: J. M. AGUILERA, **Temas em Tecnologia de Alimentos**, p. 261-288. Mexico: Instituto Politécnico Nacional, 1997.

CASTELLÓ, M.L.; IGUAL, M.; FITO, P.J., CHIRALT, A. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (var. granny smith). **Journal of Food Engineering**, v.91, n.1, p.1-9, 2009.

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.

CHUA, K. J., MUJUMDAR, A. J., CHOU, S. K., & HAWLADER, M. N. Convective Drying of Banana, Guava and Potato Pieces: Effect of Cyclical Variations of Air Temperature on Drying Kinetics and Color Change. **Drying Technology** , v.18, p. 907-936, 2000.

COPERCAMPOS. Disponível em:  
<http://www.coopercampos.com.br/agricultura/oleriepoca.htm#verduras>. Acesso em  
 03 de Marco de 2007.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion.** Second edition. London: Clarendon Press-Oxford, 1975.

CUSSLER, E.L. **Diffusion – Mass transfer in fluid systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

DEL VALLE, J. M., CUADROS, T. R. M. & AGUILERA, J. M. Glass transition and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces. **Food Research International**, v. 3, n.31, p. 191-204, 1998.

DUTTA, D.; CHAUDHURI, U. R.; CHAKRABORTY, R. Effect of thermal treatment on the b-carotene content, colour and textural properties of pumpkin. **Journal of Food Science Technology**, v. 43, n.6, p. 607-611, 2006a.

DUTTA, D.; DUTTA, A.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 538-546, 2006b.

EL-BULUK, R., BABIKER, E., & EL TINAY, A. Biochemical and physical changes in fruits of four guava cultivars during growth and development. **Food Chemistry**, v.54, p. 279-282, 1995.

FALADE, K. O.; ADETUNKI, A.I.; AWORH, O.C. Adsorption Isotherm and Heat of Sorption of fresh-and osmo-oven dries plantain slices. **European Food Research and Technology**, v. 217, p. 230-234, 2003.

FERRARI, C. C. **Avaliação do emprego da desidratação osmótica e de coberturas comestíveis de pectina na estrutura celular e na qualidade de melão minimamente processado**. 2009. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

FRANÇA, V.C.; NARAIN, N. Caracterização química dos frutos e três matrizes de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciência Tecnologia de Alimentos** v.23, n.2, p.157-160, 2003.

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

GABAS, A. L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. Tese de mestrado, FEA, UNICAMP, 137p, 1998.

GABAS, A.L. Effect of chemical pretreatment on the physical properties of dehydrated grapes. **Drying technology**, v. 17, n.6 p. 1215-1226, 1999.

GARCIA, C.C.; MAURO, M.A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 284-291, 2007.

GARCÍA-REVERTER, J.; BOURNE, M.C.; MULET A. Low temperature blanching affects firmness and rehydration of dried cauliflower florets. **Journal of Food Science**, v. 6 n.59, p. 1181-1183, 1994.

GONÇALVES, E.M.; PINHEIRO, J.; ABREU, M.; BRANDÃO, T.R.S; SILVA, C.L.M. Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima L.*) during blanching. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 693-701, 2007.

HALPIN, B.E.; LEE, C.Y. Effect of blanching on enzyme activity and quality changes in green peas. **Journal of Food Science**, v. 52, n.4, p. 1002-1005, 1987.

HOOVER, M.V.A. Process for producing dehydrated pumpkin flakes. **Journal of Food Science**, v. 38, n. 3, p. 96–98, 1973.

HOWARD, L.A.; WONG, A.D.; PERRY, A.K.; KLEIN, B.P. b-Carotene and ascorbic acid retention in Fresh and processed vegetables. **Journal of Food Science**, v. 64, n.5, p. 929-936, 1999.

JOWITT, R; ESCHER, F.; HOLLSTOM, H.F.T.; MEFFERT, W.E.L.; SPIESS. **Physical properties of foods: COST 90**, London: Elsevier, 1987.

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

KAVAK AKPINAR, E.; MIDILLI, A.; BICER, Y. The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process. **Journal of Food Engineering**, v.72, p. 320-331, 2005.

KHURI, A.I.; CORNELL, J.A. **Response Surfaces Design and Analysis**. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1987.

KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B., TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D. **Drying kinetics of some fruits**. Drying technology, v. 15, n. 5, p. 1399-1418, 1997.

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

LEÃO, A.C.; SOUZA, L.A.C.; ARAÚJO, A.A. Gerenciamento de cores – Ferramenta fundamental para a documentação digital de bens culturais. **Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação**, v.1, n. 4, p. 215-220. Olinda, PE: AERPA Editora, 2007.

LEE, C.Y.; BOURNE, M.C.; BUREN, VAN BUREN, J.P. Effect of blanching treatments on the firmness of carrots. **Journal Food Technology**, n.44, p. 615-616, 1979.

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

LEWICKI, P. P.; PAWLAK, G. Effect of drying on microstructure of plant tissue. **Drying Technology**, v. 21, n. 4, p. 657-683, 2003.

LUENGO, R.F.A; PARMAGNANI, R.M; PARENTE, M.R; LIMA, M.F.B.F. Tabela de composição nutricional das hortaliças. **Brasília: EMBRAPA Hortaliças**, p. 4, 2000.

LUZURIAGA, D. A.; BALABAN, M. O.; YERALAN, S. Analysis of visual quality attributes of white shrimp by machine vision. **Journal of Food Science**, v.62, n.1, p. 113-118, 130, 1997.

MANDALA, I.G.; ANAGNOSTARAS, E.F.; OIKONOMOU, C.K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 307-316, 2005.

MASKAN, M; (2001) Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, p. 169–175, 2001.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, v. 82, p.61-71, 2003.

MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food material: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 18, p. 373–386, 2004.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SERENO, A.M. Water sorption isotherms of fresh and partially osmotic dehydrated pumpkin parenchyma and seeds at several temperatures. **European Food Research Technology**, v. 220, p. 163-167, 2005.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.J.; VICARIO, I.M.; HEREDIA, F.J. Rapid assessment of vitamin A activity through objective color measurements for the quality control of orange juices with diverse carotenoid profiles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.55, n.8, p. 2808-2815, 2007.

MEYER, R.H.; **Response surface methodology**. Boston, MA: Allen and Bacon, 1971.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – DAB (DEPARTAMENTO DE ATENÇÃO BÁSICA) ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO. Disponível em <http://dtr2004.saude.gov.br/nutricao/hipovitaminosea.php>. Acesso em Fevereiro, 2007.

MONTGOMERY, D.C. **Diseño y Análisis de Experimentos**. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1991.

MORAGA, M.J.; MORAGA, G.; FITO, P.J.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Effect of Vacuum Impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. **Journal of Food Engineering**, v.90, n.3, p.372-379, 2009.

MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J.A. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, v.33, p.609-616, 2000.

MORENO-PEREZ, L.F.; GASSON-LARA, J.H.; ORTEGA-RIVAS, E. Effect of low temperature-long time blanching on quality of dried sweet potato. **Drying technology**, v. 14, n. 7 e 8, p. 1839-1857, 1996.

MUJUMDAR, A. S. **Drying Fundamentals**. In C. G. J. Baker (Ed.), Industrial Drying of Foods. Baker, (p. 7-30). London: Blackie Academic & Professional, 1997.

MURCIA, M.A.; LÓPEZ-AYERRA, B.; GARCIA-CARMONA, F. Effect of processing methods and different blanching times on broccoli: proximate composition and fatty acids. **Food Science and Technology Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 32, n.4, p. 238-243, 1999.

NASCIMENTO, P. **Avaliação da retenção de carotenóides de abóbora, mandioca e batata-doce**. 2006. 67 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos),

Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, IBILCE, UNESP, São José do Rio Preto, 2006.

NDIAYE, C.; XU, S. Y.; WANG, Z. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slices. **Food Chemistry**, Wageningen, v. 113, p. 92-95, 2009.

NICOLETI, J.F.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. **Drying Technology**, v.19, n.9, p. 2175-2191, 2001.

NIETO, A.; SALVATORI, D.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Air drying behaviour of apples as affected by blanching and glucose impregnation. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 63-79, 1998.

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

OBOH, G. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 38, n.5, p.513-517, 2005.

ORNELAS-PAZ, J.D.J., YAHIA, E.M., GARDEA, A.A. Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI+-time-of-flight mass spectrometry. **Postharvest Biology and Technology**, 2008.

PAN, Y.K.; ZHAO, L.J.; ZHANG, Y.; CHEN, G.; MUJUMDAR, A.S.) Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. **Drying Technology**, v.21, n.6, p.1101-1114, 2003.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, vol. 56, p. 97-103, 2002.

PARK, Kil Jin; YADO, Maurício Kenze Moreno & BROD,Fernando Pedro Reis. Estudo de secagem de pêra bartlett (*pyrus* sp.) em fatias' **Ciência e Tecnologia de alimentos**, Campinas, São Paulo, Brasil, v. 21, n. 3 p. 288-292, 2001.

PEREIRA, L.M.; RODRIGUES, A.C.C.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; UNQUEIRA, V.C.A.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. Influence of Modified Atmosphere Packaging

and Osmotic Dehydration of minimally processed guavas. **Journal of Food Science**, v.69, n.14, p.172-177, 2004.

PÉREZ-LÓPEZ, A.J.; BELTRAN, F.; SERRANO MEGÍAS, M.; LÓPEZ, D. S.; CARBONELL-BARRACHINA, A. A. Changes in orange juice color by addition of mandarin juice. **Journal European Food Research and Technology**, Publisher Springer Berlin / Heidelberg, V. 222, n.5-6, p. 516-520, 2006.

PILNIK, W.; VORAGEN, G.J. Pectic Enzymes in Fruit and Vegetable Juice Manufacture. **In Enzymes in Food Processing**. Edited by T.Nagodawithana and G. Reed. 3 ed. San Diego: Academic Press, Inc., 1993.

POMERANZ, Y.; MELOAN C.E. **Food Analysis: Theory and Practice**. 3ª edição. Gaithersburg, Maryland. p.778, 2000.

PONS, M.; FISZMAN, S.M. Instrumental Texture Profile Analysis with Particular Reference to Gelled Systems. **Journal of Texture Studies** , 27, p. 597-694, 1996.

PONTING, J.D.; WATTERS, G.G.; FORREY, R.B.; JACKSON, R.; STANLEY, W.L. Osmotic Dehydration of Fruits. **Food Technology**, v. 20, n.10, p.1365-1368, 1996.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. (coordenadores). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ª ed. Sao Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985.

QUINTERO-RAMOS, A.; BOURNE, M.C.; ANZALDÚA-MORALES, A. Texture and rehydration of dehydrated carrots as affected by low temperature blanching. **Journal Food Science**, v. 57, p. 1127-1139, 1992.

QUINTERO-RAMOS, A.; SÁNCHEZ DE LA PAZ, A.L.; MEZA-VELÁZQUEZ, J.A.; JIMÉNEZ, J.A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; ANZALDÚA-MORALES, A. Optimización del escaldado de calabacita criolla (*Cucurbita pepo*) deshidratada a temperaturas bajas y tiempos largos / Optimization of stepwise blanching of dehydrated zucchini (*Cucurbita pepo*). **Food Science and Technology International**, 1998, v.4, p.159-167.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. Ed. CRC Press, Florida, 1995.

RAMALHO, R. A.; FLORES, H.; SAUNDERS, C. Hypovitaminosis A in Brazil: a public health problem. **Rev Panam Salud Publica**, v.12, n.2, p.117-122, 2002.

RAOULT-WACK, A. L. Recent Advances in the osmotic dehydration of foods. **Food science and technology**, v. 5, n. 8, p. 255-260, 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, 2003.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. , KIMURA, M. , GODOY, H.T. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition **Journal of Food Composition and Analysis**, 2008.

ROSENTHAL, A. J. Relation between instrumental and sensory measures of food texture In A. J. Rosenthal (Ed.), **Food Texture, Measurement and Perception**, p. 1-16. Gaithersburg, Maryland, 1999.

SÁNCHEZ-MORENO, C., PLAZA, L., DE ANCOS, B., CANO, M.P.) Impact of high - pressure and traditional thermal processing of tomato purée on carotenoids , vitamin C and antioxidant activity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n.2, p. 171-179, 2006.

SANJUÁN, N.; CLEMENTE, G.; BON, J.; MULET, A. The effect of blanching on the quality of dehydrated broccoli florets. **European Food Research Technology**, v. 213, p. 474-479, 2001.

SASAKI, F. F.; DEL AGUILA, J.S.; GALLO, C.R.; ORTEGA, E.M.M.; JACOMINO, A.P.; KLUGE, R.A. Alterações fisiológicas, qualitativas e microbiológicas durante o armazenamento de abóbora minimamente processada em diferentes tipos de corte. **Horticultura. Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p.170-174, 2006.

SCOTT-BLAIR, G. Rheology in Food Research. **Advances in Foods Research**, n.8, p. -56, 1958.

SHI, J.; LEMAQUER, M.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A.; NIEKAMP, F.) Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. **Food Research International**, v. 32, p.15-21, 1999.

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, 2005.

SINGH, B.; KUMAR, A.; GUPTA, A.K. Study os mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.2, p.471-480, 2007.

SOBRAL, P. J. A. **Secagem de sangue bovino incorporado a proteína texturizada de soja em leite fluidizado e em leite fixo**. 1987. 171f. - Tese de Mestrado - UNICAMP, Campinas (SP), 2004.

TAN, M.; CHUA, K. J.; MUJUNDAR, A. S.; CHOU, S. K. Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple. **Drying Technology**, v.19, n. 9, p.2193-2207, 2001.

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

TREYBAL, R.E. **Mass Transfer Operations**. New York: McGraw Hill, 1980.

UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em <http://www.ufrgs.br/alimentus/feira/mpfruta/abobora/index.htm>. Acesso em Fevereiro, 2007.

VAN BUREN, J.P. The Chemistry of Texture in Fruits and Vegetables. **Journal of Texture Studies**, vol. 10, n.1, p. 1-23, 1979.

VAN BUREN, J.P. Function of pectin in plant tissue structure and firmness. Ed. In Walter RA: **The Chemistry and Technology of Pectin**. San Diego: Academic Press Inc., p. 1-22, 1991.

VAN DEN BERG, C. & BRUIN,S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects in water activity: influences on food quality, **Ed. L.B. Rockland and G.F. Stewart**, Academic Press, New York, 1981.

VAN DEN BERG, C.& BRUIN, S. Water activity and its estimation in food system: Theoretical aspects. *In: Symposium on Properties of Water in relation to food quality and stability*, Osaka, v.2, p. 10-16, 1978.

VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M.M.; BARBOSA-CANOVAS, G.V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, vol. 49, p. 271-289, 2001.

WEINSTEIN, J.S., VOGT, T.M., & GERRIOR, S.A. Healthy eating index scores are associated with blood nutrient concentrations in the third National Health and Nutrition Examination Survey. **Journal of the American Dietetic Association**. vol. 104, no. 4, p. 576-584, 2004.

WHO, World Health Organization. Global prevalence of vitamin A deficiency., Geneva, (WHO/NUT/95.3), 1995.

WILLIAM, H. (Ed.) Official Methods of Analysis. 11th ed. Arlington: **Association of official Analytical Chemists AOAC**, 1970.

**APÊNDICE A:** Ficha entregue aos provadores na análise sensorial

Nome: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Por favor, avalie cada uma das amostras codificadas de doce de abóbora usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou para cada atributo.

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

| Características       | Amostra: | Amostra: |
|-----------------------|----------|----------|
| Aparência             |          |          |
| Cor                   |          |          |
| Textura               |          |          |
| Sabor                 |          |          |
| Aceitabilidade global |          |          |

Se este produto estivesse à venda, qual seria sua atitude em relação a ele:

1. Certamente não compraria
2. Provavelmente não compraria
3. Talvez comprasse/ talvez não comprasse
4. Provavelmente compraria
5. Certamente compraria

|      | Amostra: | Amostra: |
|------|----------|----------|
| Nota |          |          |

**APÊNDICE B:** Dureza das amostras utilizadas da cinética de DO

**Tabela 23:** Durezas das amostras in natura e branqueadas usadas para cada tratamento osmótico do estudo da cinética de desidratação osmótica.

| Concentração da solução de sacarose (°Brix) | Amostra   | D (Newton)      |               |
|---------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------|
|                                             |           | Branq. convenc. | Branq. etapas |
| 50°Brix                                     | In Natura | 111,48          | 204,48        |
|                                             | Branq.    | 20,42           | 8,6           |
| 65°Brix                                     | In Natura | 131,41          | 151,76        |
|                                             | Branq.    | 28,01           | 9,6           |

**APÊNDICE C:** Dureza e parâmetros de cor das amostras in natura utilizadas na otimização do branqueamento por etapas.

**Tabela 24:** Dureza e parâmetros de cor de amostras in natura referentes a cada tratamento realizado na otimização do branqueamento por etapas.

| Temperatura (°C) | tempo de branqueamento (min.) | tempo de espera (min.) | D <sub>n</sub> (Newton) | L* <sub>n</sub> | a* <sub>n</sub> | b* <sub>n</sub> |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 55               | 30                            | 30                     | 162,32                  | 76,66           | 28,28           | 66,55           |
| 65               | 30                            | 30                     | 148,55                  | 79,58           | 24,89           | 68,66           |
| 55               | 60                            | 30                     | 122,71                  | 79,80           | 25,64           | 67,63           |
| 65               | 60                            | 30                     | 157,11                  | 80,58           | 19,55           | 69,91           |
| 55               | 30                            | 60                     | 138,14                  | 76,74           | 28,19           | 66,64           |
| 65               | 30                            | 60                     | 148,13                  | 73,84           | 31,20           | 67,74           |
| 55               | 60                            | 60                     | 124,99                  | 81,08           | 23,02           | 66,40           |
| 65               | 60                            | 60                     | 155,41                  | 80,46           | 20,82           | 69,36           |
| 60               | 45                            | 45                     | 119,38                  | 75,09           | 31,80           | 68,18           |
| 60               | 45                            | 45                     | 139,78                  | 74,86           | 30,95           | 68,82           |
| 60               | 45                            | 45                     | 152,25                  | 74,59           | 29,24           | 67,74           |