

# Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido

*Osmotic dehydration of sliced pineapple in sucrose and in inverted sugar syrup*

Rafael Gomes DIONELLO<sup>1</sup>, Pedro Amorim BERBERT<sup>1\*</sup>, Marília Amorim Berbert de MOLINA<sup>2</sup>, Alexandre Pio VIANA<sup>3</sup>, Vinicius de Oliveira CARLESSO<sup>1</sup>, Valéria Aparecida Vieira QUEIROZ<sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência do tipo de soluto, da temperatura e concentração da solução hipertônica e do emprego de agitação da solução sobre a cinética de desidratação por imersão-impregnação de fatias de abacaxi. Os solutos utilizados foram a sacarose, em soluções com concentrações de 0,40, 0,44 e 0,47 g.mL<sup>-1</sup>, e açúcar líquido invertido, sem diluição. Foram empregados: relação fruta - xarope de 1:10; dois níveis de temperatura da solução de desidratação, 40 e 50 °C; dois níveis de agitação, zero e 60 min<sup>-1</sup>; e tempo de imersão de 2 horas. Verificou-se que a desidratação em xarope não diluído de açúcar invertido foi o tratamento que provocou o maior aumento no teor de sólidos solúveis totais das amostras de abacaxi. Os parâmetros que caracterizam a cinética da desidratação osmótica apresentaram valores mais elevados para as fatias que foram desidratadas a 50 °C, sob agitação.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus* (L.) Merrill; fruta desidratada; desidratação osmótica.

## Abstract

This work consisted of evaluating the effect of the type of osmotic agent, degree of stirring, and temperature and concentration of the hypertonic solution on the kinetics of osmotic dehydration of sliced pineapple. The osmotic agents used here were sucrose in solutions with concentrations of 0.40, 0.44 and 0.47 g.mL<sup>-1</sup>, and undiluted inverted sugar syrup. Osmotic dehydration was carried out using a fruit to syrup weight ratio of 1:10, and employing two levels of temperature of the solutions, 40 and 50 °C, two shaking rates, 0 and 60 min<sup>-1</sup>, and a total immersion time of 2 hours. The results showed that immersion in undiluted inverted sugar caused a greater increase in the total soluble solids content in sliced fruit. The parameters characterizing the kinetics of osmotic dehydration showed higher values in the sliced fruit dehydrated in syrup at 40 to 50 °C under shaking.

**Keywords:** *Ananas comosus* (L.) Merrill; dried fruit; osmotic dehydration.

## 1 Introdução

No Brasil ainda não existem estatísticas precisas a respeito do percentual de perdas de frutas e hortaliças na etapa pós-colheita. CAMARGO<sup>6</sup> afirma que em países com baixo Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, onde persistem grandes deficiências na infra-estrutura de mercado, as perdas pós-colheita de produtos perecíveis podem variar entre 25 e 50% da produção. SILVA, FINGER e CORRÊA<sup>29</sup> afirmam que apesar da inexistência de estatísticas oficiais, o desperdício de frutas e hortaliças no País é estimado em 40% da produção, em contraste com a magnitude das perdas verificadas em países com elevado IDH, que varia entre 5 e 25%, dependendo do produto. De fato, SHEWFELT e PRUSSIA<sup>28</sup> mencionam que os valores típicos para o percentual de perdas de frutas e hortaliças nos EUA, do campo ao consumo, encontram-se entre 10 e 25% da produção e estima-se que a perda mínima seja de 5%.

Uma grande parcela da produção de frutas no Brasil passa por algum grau de transformação entre a colheita e seu uso final. No entanto, o percentual dessa produção que é industrializado varia para cada região do País, de acordo com seu grau de industrialização e da sazonalidade das matérias-primas, combinados ao caráter perecível de tais produtos, e requer contato e afinidade muito estreitos entre o produtor e o processador para minimizar as perdas; surge então a necessidade de adequação das matérias-primas aos processos<sup>31</sup>. Foi nesse contexto que surgiu a idéia de se avaliar a aplicabilidade, em abacaxi, de um dos mais modernos conceitos na tecnologia de processamento de frutas, a desidratação por imersão-impregnação (DII) ou desidratação osmótica, como pré-tratamento para posterior secagem por convecção com ar aquecido.

O processo de osmose pode ser utilizado para remover água de uma solução diluída para uma solução mais concentrada quando estas são separadas por uma membrana semipermeável. A água contida na solução mais diluída passa através da membrana para a solução concentrada até que o equilíbrio seja atingido. O soluto é incapaz de mover-se através da membrana no sentido inverso, ou o faz muito lentamente, de forma que o resultado final do processo seja a transferência de água para a solução concentrada<sup>20</sup>.

A transferência de água por osmose pode ser aplicada a fatias ou pedaços de frutas ao imergi-las em soluções hipertônicas, originando dois fluxos de massa opostos, pois as frutas contêm açúcares e outros solutos em solução diluída e sua estrutura celular superficial não pode ser considerada uma

Recebido para publicação em 22/9/2006

Aceito para publicação em 18/7/2007 (001857)

<sup>1</sup> Laboratório de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil, E-mail: pberbert@uenf.br

<sup>2</sup> Laboratório de Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

<sup>3</sup> Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

<sup>4</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CP 28, CEP 35701-970, Sete Lagoas - MG, Brasil

\*A quem a correspondência deve ser enviada

membrana perfeitamente semipermeável. Na desidratação osmótica há a saída de água da fruta para a solução e a migração de solutos da solução para a fruta. É possível observar também a existência de um terceiro mecanismo de transferência de massa, que consiste na perda de alguns sólidos naturais da fruta, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes, para a solução concentrada. Embora pouco significativa em termos quantitativos, a perda de solutos pela fruta pode ser importante para as qualidades sensoriais (aroma, sabor, cor e textura) e nutricionais (minerais e vitaminas) do produto<sup>23</sup>.

Os termos utilizados na cinética da desidratação osmótica são, basicamente, a perda ou redução de massa ( $\mu$ ), a perda de água ( $\omega$ ) e o ganho de sólidos ( $\delta$ ). As principais variáveis envolvidas no processo de desidratação por imersão-impregnação são: tipo de soluto, concentração, temperatura e grau de agitação da solução, tamanho e geometria da amostra, relação entre as massas da solução e da amostra, tempo de imersão e pressão, quando se utiliza vácuo<sup>11,22,24,33</sup>.

As principais exigências para que um soluto possa ser usado como agente osmótico são as seguintes: apresentar alta solubilidade em água, baixo custo e efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e a estabilidade final do produto. Desta maneira, a sacarose é normalmente selecionada como soluto para confecção das soluções, principalmente quando a desidratação osmótica é aplicada como tratamento preliminar, antes da secagem<sup>16</sup>. De acordo com BOLIN et al.<sup>5</sup> e RAOULT-WACK<sup>23</sup>, o tipo de açúcar utilizado como substância osmótica afeta significativamente a cinética de remoção de água, o ganho de sólidos e o teor de água de equilíbrio. Açúcares com elevada massa molecular, como é o caso da sacarose, acarretam a diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, favorecendo a perda de massa e, conseqüentemente, o processo de desidratação. Sacarídeos de baixa massa molecular como a glicose, frutose e sorbitol, favorecem o ganho de açúcares por causa da alta velocidade de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, aumentando o ganho de sólidos e reduzindo a perda de água, desfavorecendo o processo de desidratação.

Ao estudar o efeito de diferentes concentrações nos processos de transferência de massa durante a imersão de cubos de gel de ágar em xaropes de sacarose, RAOULT-WACK et al.<sup>22</sup> verificaram que o controle efetivo das principais variáveis que interferem na desidratação osmótica pode fazer com que o processo de imersão resulte em duas situações opostas: uma em que predomina a desidratação (quando a perda de água é maior que o ganho de soluto) e outra em que há predominância da impregnação, ou seja, quando a perda de água é menor que o ganho de soluto. A taxa de perda de água aumenta substancialmente para maiores concentrações de soluto na solução. No entanto, em baixas concentrações, o ganho de soluto (impregnação) é maior que a perda de água, atingindo um valor máximo antes de diminuir e tornar-se consideravelmente inferior à perda de água (desidratação), para concentrações elevadas.

Quanto ao efeito da temperatura, LENART e FLINK<sup>15</sup> e TORREGGIANI<sup>33</sup> afirmam que as taxas de transferência de massa aumentam com o aumento da temperatura, mas, acima de 45 °C, podem ocorrer o escurecimento enzimático e a deterioração do sabor. Altas temperaturas, acima de 60 °C,

modificam as características do tecido da fruta, favorecendo a impregnação e o ganho de sólidos. PARK, VOHNIKOVA e BROD<sup>19</sup>, estudando a cinética de desidratação osmótica em cubos de pêra, em soluções de sacarose de 40, 55 e 70 °Brix, e temperaturas de 40, 50 e 60 °C, observaram que a perda de água aumentou com o aumento da temperatura e da concentração de sacarose. Para a temperatura mais alta (60 °C), a influência das diferentes concentrações foi mínima. O ganho de sólidos também apresentou uma tendência de aumentar com o aumento da temperatura e da concentração.

A maioria dos trabalhos sobre desidratação osmótica encontrada na literatura refere-se a frutas de clima temperado, principalmente, maçã, pêra, pêssego, damasco, ameixa e morango, havendo relativamente menos informação a respeito dos processos de transferência de massa envolvidos na desidratação de frutas tropicais. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de dois tipos de soluto, sacarose e açúcar líquido invertido, sob diferentes concentrações, com e sem agitação, na cinética da desidratação osmótica de frutos de abacaxi da variedade *Smooth Cayenne* cortados no formato de coroa circular.

## 2 Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia Agrícola – LEAG, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias – CCTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, no município de Campos dos Goytacazes - RJ. Foram utilizados, no total, 48 frutos de abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merrill) var. *Smooth Cayenne* fornecidos por produtores das regiões norte e noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Após recepção no Laboratório, procedeu-se à seleção dos frutos a fim de homogeneizar o lote de acordo com atributos de qualidade, como cor da casca, grau de maturação e ausência de injúrias ou doenças. Depois de selecionados, os frutos foram armazenados em câmara do tipo B.O.D. a 8 °C com o objetivo de manter a sua qualidade, sendo retirados apenas para a realização dos experimentos.

No início de cada teste experimental, foram retirados três frutos do ambiente de armazenamento; depois de removidas as coroas, os abacaxis foram lavados em água corrente e imersos em solução de detergente comercial neutro a 1% por 15 minutos, para higienização; e, finalmente, submergidos em água clorada (8 a 10 ppm de cloro ativo) por 10 minutos, para sanitização. Esse procedimento foi seguido de enxágue com água destilada, conforme recomendações propostas por RIBEIRO e SABAA-SRUR<sup>27</sup>.

Depois de descascados com faca de aço inoxidável, foram retiradas amostras dos frutos para determinação do teor de sólidos solúveis totais, pH e teor de água. As amostras foram homogeneizadas com microtritador de aço inox, com cabeçote do tipo dentado com hélice (TECNAL modelo TURRATEC TE 102) e pesadas em balança analítica (SARTORIUS modelo BL 210S). O teor de sólidos solúveis totais (SST), em °Brix, foi determinado colocando-se uma alíquota da amostra triturada sobre o prisma de um refratômetro portátil ATAGO, modelo HSR 500, procedendo-se à leitura do índice refratométrico indicado pelo aparelho. Para determinação

do pH, cerca de 3 g da amostra triturada foram diluídas em 20 mL de água destilada e o pH da suspensão foi determinado diretamente em pHmetro DIGIMED, modelo DM 20. O teor de água foi determinado por método gravimétrico, em estufa a vácuo a 70 °C, por 24 horas.

Os frutos foram então cortados manualmente no formato de coroa circular e, logo em seguida, a fim de evitar o escurecimento enzimático, as amostras foram submetidas ao branqueamento. Nesse processo, as amostras foram expostas ao vapor d'água por 1 minuto, sendo transferidas imediatamente depois para sacos plásticos e resfriadas em banho de gelo por 1 minuto, evitando dessa forma o contato das fatias com o banho de gelo, que poderia alterar seu teor de água. Para geração de vapor, foi utilizado bécquer de 1000 mL contendo cerca de 400 mL de água destilada, aquecido em chapa aquecedora, sobre o qual foi colocada uma tela metálica para sustentação das amostras. Imediatamente depois do resfriamento, as amostras foram imersas em solução de ácido ascórbico a 1%, por 5 minutos, visando evitar o escurecimento não enzimático conforme procedimentos sugeridos por GIANGIACOMO, TORREGGIANI e ABBO<sup>10</sup>.

O processo de desidratação osmótica foi realizado com o emprego de três agitadores de bancada, sendo um da marca B. BRAUN BIOTECH INTERNATIONAL, modelo CERTOMAT U/CERTOMAT HK, e os outros dois fabricados pela NOVA ÉTICA, modelo 430 RDB. Todos os agitadores continham câmaras incubadoras para permitir o controle da temperatura durante a desidratação, empregando-se três béqueres de 1000 mL em cada agitador. Depois da imersão em ácido ascórbico, as amostras foram colocadas nos béqueres que, em cada um dos 16 tratamentos, continham soluções com os dois tipos de agente osmótico e em diferentes concentrações, empregando-se sempre a relação fruta: xarope de 1:10 (em massa). Antes do início da desidratação, a parte superior dos béqueres foi coberta com filme plástico para evitar a ocorrência de respingos ou derramamento da solução osmótica, o que alteraria a relação fruta/xarope. Finalmente, depois dos pré-tratamentos e procedimentos citados anteriormente, teve início a coleta dos dados utilizados para descrição do processo de DII (redução de massa, perda de água e ganho de sólidos).

Os frutos foram cortados em forma de coroa circular com 10 mm de espessura. Foram empregados dois tipos de agente osmótico: sacarose, fornecida na forma de açúcar cristal do tipo exportação pela Usina Sapucaia S/A, de Campos dos Goytacazes - RJ e açúcar invertido, com taxa de inversão maior que 90%, com nome comercial Gludex 216 e fornecido pela Dulcini Alimentos - SP. Foram avaliados três níveis de concentração da solução de sacarose, 0,40, 0,44 e 0,47 g.mL<sup>-1</sup>, e xarope de açúcar invertido Gludex 216, sem diluição. As soluções foram preparadas de acordo com as recomendações da AOAC<sup>1</sup>.

Neste experimento, foram avaliados dois níveis de temperatura de DII, 40 e 50 °C, e dois níveis de agitação da solução de desidratação: zero e 60 min<sup>-1</sup>. Para a situação estática, a desidratação foi realizada em estufa com circulação forçada de ar; na condição dinâmica, o procedimento foi realizado em incubadora-agitadora, como descrito anteriormente. Em

ambos os casos, as amostras permaneceram imersas na solução hipertônica por 2 horas e foram avaliadas as variáveis descritas a seguir.

As determinações da redução de massa ( $\mu$ ), perda de água ( $\omega$ ) e ganho de sólidos ( $\delta$ ), foram realizadas em três repetições para cada tratamento, empregando-se sempre apenas uma fatia de abacaxi por bécquer. Os valores de  $\mu$ ,  $\omega$  e  $\delta$  foram medidos nos intervalos de 0, 15, 45, 75, 105 e 120 minutos. Depois de retiradas das soluções, as amostras foram enxaguadas em água destilada por cerca de 5 segundos com a finalidade de retirar o excesso de soluto retido na superfície do produto, sendo posteriormente secadas em papel toalha para retirada do excesso de água superficial. A redução de massa ( $\mu$ ), a perda de água ( $\omega$ ) e o ganho de sólidos ( $\delta$ ), foram expressos em g.100 g<sup>-1</sup> de massa inicial e calculados de acordo com as seguintes equações recomendadas por SILVEIRA, RAHMAN e BUCKLE<sup>30</sup>:

$$\mu = \left( \frac{m_i - m_t}{m_i} \right) 100 \quad (1)$$

$$\omega = \left( \frac{m_i X_{ai} - m_t X_{at}}{m_i} \right) 100 \quad (2)$$

$$\delta = \left( \frac{m_t X_{st} - m_i X_{si}}{m_i} \right) 100 \quad (3)$$

em que  $m_i$  e  $m_t$  representam a massa inicial e no tempo  $t$ , respectivamente;  $X_{ai}$  e  $X_{at}$  (adimensionais) exprimem as frações de água na amostra, em massa, no início do experimento e no tempo  $t$ ; e  $X_{si}$  e  $X_{st}$  expressam as frações de sólidos totais na amostra, em massa, no começo do experimento e no tempo  $t$ , respectivamente.

Os teores de SST, em °Brix, tanto da solução quanto das fatias submetidas à DII foram medidos em duas amostras separadas especialmente para esse fim, em cada tratamento. Retirou-se um pedaço de cada uma dessas amostras durante a desidratação e, em seguida, mediu-se o teor de SST em duplicata. Essas amostras foram retiradas das soluções de desidratação nos intervalos de 30, 60, 90 e 120 minutos. Nestes mesmos intervalos, foram medidos os teores de SST das soluções osmóticas, também em duplicata, a fim de se verificar se sua concentração estava sendo mantida durante a DII. A manutenção do teor de SST durante o processo de desidratação osmótica é um indicativo da escolha correta para a relação fruta/xarope.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, segundo esquema fatorial 2 x 2 x 4 x 6 (dois níveis de temperatura, dois níveis de grau de agitação, quatro níveis de concentração e seis intervalos de coleta de dados), com três repetições para cada tratamento. Os dados foram interpretados por meio de análise de variância e regressão. As médias dos tratamentos foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. A avaliação

estatística dos resultados foi realizada por meio do Aplicativo Computacional em Estatística Aplicada à Genética-Programa GENES, descrito por CRUZ<sup>8</sup>.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Sólidos solúveis totais (SST) das soluções de desidratação osmótica

A análise de variância mostrou que os fatores intervalo de tempo de desidratação e concentração da solução hipertônica foram os únicos com efeito significativo pelo teste *F* ( $P < 0,01$ ) sobre o teor de SST das soluções utilizadas. O fator temperatura, isoladamente, não mostrou influência significativa sobre o teor de SST; no entanto, nas suas interações com o intervalo de tempo e a concentração da solução, bem como na interação conjunta dos três fatores, foram observados efeitos significativos.

Alguns autores asseguram que valores elevados para a relação fruta: xarope, tais como 1:10<sup>12,23,25</sup>, 1:20<sup>3,7</sup>, 1:25<sup>26</sup>, são adequados para impedir alterações significativas na concentração da solução durante a DII. No presente trabalho, a utilização de relação fruta: xarope de 1:10 não foi suficiente para evitar alterações significativas na concentração inicial da solução. É interessante ressaltar que o emprego de valores elevados para a relação fruta: xarope são adotados somente em experimentos de laboratório, pois, nesses casos, há interesse em manter a concentração da solução durante o experimento. Em empregos industriais, quanto maiores estas relações, maiores são os custos do processo.

Como a análise de variância mostrou efeito significativo das interações entre os fatores estudados sobre o teor de SST da solução, procedeu-se à análise dessas interações. A Tabela 1 mostra os valores médios do teor de SST (°Brix) da solução para todos os tratamentos estudados sob agitação. Observa-se que os valores máximos de alteração no teor de sólidos solúveis totais da solução ocorreram para a DII em açúcar invertido, sem diluição. Para esse soluto, a variação máxima do teor de SST em relação à solução original foi de 18,9%, observada aos

30 minutos para temperatura do processo de 50 °C. Ao final dos 120 minutos a variação foi de 7,5 e 6,7%, respectivamente para 40 e 50 °C. Isto ocorreu pelo fato da solução de açúcar invertido apresentar maior °Brix inicial em comparação com as demais soluções de sacarose.

Para soluções de sacarose, verifica-se que não houve alteração significativa do teor de SST ao longo do tempo de desidratação para ambas as temperaturas. Sendo assim, para esse tipo de soluto e para cada tratamento, foi possível manter praticamente constante o teor de SST das soluções, indicando que a escolha da relação fruta: xarope foi adequada para se estudar o efeito dos demais fatores na cinética de desidratação osmótica. Naturalmente, quando se observa a variação no teor de SST para cada período de desidratação, em ambas as temperaturas, verifica-se que quanto maior a concentração da solução, maior é o seu teor de SST, indicando que a escolha do grau de diluição do soluto na solução permitiu obter soluções com concentrações de sacarose significativamente diferentes para o estudo da desidratação osmótica.

KAYMAK-ERTEKIN e SULTANOGLU<sup>14</sup>, estudando a desidratação osmótica de fatias de maçã e empregando relação fruta: xarope de 1:5, em solução de sacarose com concentrações de 40, 50 e 60%, por 8 horas a 30 °C e 130 min<sup>-1</sup>, observaram diminuição na concentração de sólidos solúveis de 8,5, 10,4 e 12,8%, respectivamente. Neste mesmo trabalho, foram estudadas misturas de sacarose e dextrose em quatro concentrações, sendo que as reduções no teor de SST variaram de 13,3 a 18,3%. No entanto, os resultados obtidos no presente experimento foram semelhantes aos verificados por KAYMAK-ERTEKIN e SULTANOGLU<sup>14</sup> ao estudarem o efeito da temperatura, 40 e 50 °C, em solução de sacarose a 60%, em que observaram um mesmo grau de variação (cerca de 14,5%) no teor de sólidos solúveis totais ao final do processo de DII.

#### 3.2 Teor de sólidos solúveis totais das fatias de abacaxi durante a desidratação osmótica

A análise de variância referente aos efeitos dos fatores tempo, concentração e temperatura da solução, e suas intera-

**Tabela 1.** Valores médios do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da solução de desidratação, ao longo de 120 minutos de DII, para dois níveis de temperatura, 40 e 50 °C, três níveis de concentração de sacarose, 0,40, 0,44 e 0,47 g mL<sup>-1</sup>, e xarope de açúcar invertido sem diluição, em agitação de 60 min<sup>-1</sup>.

Tratamento	Teor de sólidos solúveis totais da solução (°Brix)				
	Tempo (minutos)				
	0	30	60	90	120
<b>Temperatura 40 °C</b>					
Sacarose (0,40 g mL <sup>-1</sup> )	34,90 <sup>Da</sup>	33,30 <sup>Da</sup>	33,20 <sup>Ca</sup>	33,30 <sup>Ea</sup>	33,80 <sup>Ca</sup>
Sacarose (0,44 g mL <sup>-1</sup> )	36,90 <sup>CDa</sup>	36,70 <sup>Ca</sup>	36,50 <sup>Ba</sup>	36,70 <sup>CDa</sup>	36,10 <sup>BCa</sup>
Sacarose (0,47 g mL <sup>-1</sup> )	39,10 <sup>BCa</sup>	38,30 <sup>Ca</sup>	38,50 <sup>Ba</sup>	38,10 <sup>Ca</sup>	38,00 <sup>Ba</sup>
A. I.*	70,05 <sup>Aa</sup>	62,95 <sup>Abc</sup>	59,70 <sup>Ad</sup>	61,35 <sup>Bed</sup>	64,80 <sup>Ab</sup>
<b>Temperatura 50 °C</b>					
Sacarose (0,40 g mL <sup>-1</sup> )	34,10 <sup>Da</sup>	33,20 <sup>Da</sup>	32,60 <sup>Ca</sup>	33,80 <sup>DEa</sup>	34,00 <sup>Ca</sup>
Sacarose (0,44 g mL <sup>-1</sup> )	37,10 <sup>CDa</sup>	37,10 <sup>Ca</sup>	36,60 <sup>Ba</sup>	36,40 <sup>CDa</sup>	36,20 <sup>BCa</sup>
Sacarose (0,47 g mL <sup>-1</sup> )	38,80 <sup>BCa</sup>	37,00 <sup>Ca</sup>	38,60 <sup>Ba</sup>	37,60 <sup>Ca</sup>	38,10 <sup>Ba</sup>
A. I.* 100%	70,00 <sup>Aa</sup>	56,80 <sup>Bd</sup>	60,35 <sup>Ac</sup>	63,55 <sup>Ab</sup>	65,30 <sup>Ab</sup>

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e pela mesma letra minúscula na linha, não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey; e A.I.\*: Açúcar líquido invertido sem diluição, com taxa de inversão  $\geq 90\%$ .

ções, sobre o teor de SST das amostras de abacaxi submetidas à desidratação por imersão-impregnação indicou que houve efeito significativo, pelo teste *F* ( $P < 0,01$ ), apenas dos fatores tempo de imersão e concentração da solução. Sendo assim, são apresentados, na Tabela 2, os valores médios do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) das fatias de abacaxi obtidos durante a DII, para todos os tratamentos estudados sob agitação.

Observa-se que, para ambos os valores de temperatura, o teor de SST das fatias de abacaxi aumentou de forma significativa apenas nos primeiros 30 minutos de desidratação osmótica, permanecendo inalterado nos próximos 90 minutos de duração do processo. Esse comportamento evidencia que o ganho de sólidos, devido à impregnação do soluto nas camadas superficiais do fruto, só é significativo nos 30 minutos iniciais do processo, tornando-se em seguida constante. Para as mesmas concentrações, não foram observados efeitos significativos das duas temperaturas estudadas. FITO<sup>9</sup> também não observou diferenças significativas no teor de SST das frutas durante a DII sob duas temperaturas, 50 e 60 °C.

Verifica-se, também, nos valores mostrados na Tabela 2, que o aumento na concentração da solução de sacarose, para ambas as temperaturas e para todos os intervalos de tempo de imersão, não teve influência significativa no teor de SST das amostras. No entanto, quando se compara a imersão em solução de sacarose com aquela realizada em açúcar invertido sem diluição, verifica-se que nesse último caso houve aumento significativo no teor de SST da amostra. Ou seja, como esperado, o ganho de sólidos durante a imersão das coroas circulares de abacaxi em solução não diluída de açúcar invertido foi maior que nas soluções de sacarose diluídas, 0,40 a 0,47 g.mL<sup>-1</sup>; isso pode ter ocorrido devido ao maior teor de sólidos solúveis das soluções de açúcar invertido em relação às soluções de sacarose. Além disso, o açúcar invertido, por conter moléculas menores (glicose e frutose) comparadas à sacarose, penetra mais facilmente nos tecidos da fruta. O valor do aumento, ao final do processo, variou entre 3 e 4 vezes em relação ao teor inicial de SST. Esses resultados são semelhantes àqueles observados por VIANA<sup>34</sup>, que, ao estudar a desidratação osmótica de pêssegos em soluções de glicose de 30 a 70 °Brix, com relação fruta: xarope variando de 1:1,3 a 1,5, observou aumentos de até

quatro vezes no valor do teor de SST das frutas, em relação aos valores iniciais. Observou-se que à medida que se aumentava a concentração da solução de desidratação, aumentava-se o teor de SST final das frutas.

As maiores variações no teor de SST das frutas durante a DII ocorreram para as amostras desidratadas em soluções de açúcar invertido. Observou-se, também, que todas as amostras desidratadas a 50 °C apresentaram maior teor de SST ao final do processo, do que as amostras desidratadas a 40 °C, evidenciando a ocorrência de maior nível de impregnação à medida que se aumenta a temperatura da solução hipertônica.

### 3.3 Redução de massa ( $\mu$ )

A análise de variância referente aos efeitos dos fatores tempo, concentração, temperatura e grau de agitação da solução, e suas interações, sobre a redução de massa das amostras de abacaxi mostrou que, à exceção das interações temperatura x grau de agitação e tempo de imersão x temperatura x grau de agitação, houve efeito significativo de todos os demais fatores, tanto isoladamente quanto em suas interações. A Tabela 3 mostra os valores da redução de massa em g.100 g<sup>-1</sup> de amostra inicial. Esses valores evidenciam que o aumento na redução de massa das amostras de abacaxi, quando imersos em soluções de sacarose a 40 °C, ou em xarope de açúcar invertido sem diluição a 40 e 50 °C, é significativo apenas nos primeiros 45 minutos do processo. No intervalo entre 45 e 120 minutos, não se observam alterações significativas no valor de  $\mu$ . Para desidratação em soluções de sacarose a 50 °C, as alterações no valor de  $\mu$  continuam a ocorrer até 75 minutos depois de iniciado o processo. Esse resultado mostra que o aumento da temperatura da solução de 40 para 50 °C prolonga o intervalo de tempo em que ocorrem reduções na massa das amostras, aumentando, provavelmente, a eficiência do processo de DII.

De acordo com RAOULT-WACK<sup>23</sup>, em condições típicas usadas para desidratar frutas e vegetais sob pressão atmosférica, quando a temperatura da solução encontra-se entre 30 e 50 °C, a transferência de massa ocorre de forma significativa apenas nas duas primeiras horas de processo, decrescendo em seguida progressivamente. Observou-se, também, que as

**Tabela 2.** Valores médios do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) das fatias de abacaxi imersas em soluções hipertônicas, ao longo de 120 minutos de DII, para dois níveis de temperatura, 40 e 50 °C, três níveis de concentração de sacarose, 0,40, 0,44 e 0,47 g.mL<sup>-1</sup>, e xarope de açúcar invertido sem diluição, em agitação de 60 min<sup>-1</sup>.

Tratamento	Teor de sólidos solúveis totais das amostras de abacaxi (°Brix)				
	Tempo (minutos)				
	0	30	60	90	120
<b>Temperatura 40 °C</b>					
Sacarose (0,40 g mL <sup>-1</sup> )	13,23 <sup>Ab</sup>	20,45 <sup>Ba</sup>	21,95 <sup>Ba</sup>	22,00 <sup>Ca</sup>	21,90 <sup>Da</sup>
Sacarose (0,44 g mL <sup>-1</sup> )	12,20 <sup>Ab</sup>	22,00 <sup>ABa</sup>	24,80 <sup>Ba</sup>	24,90 <sup>Ca</sup>	24,40 <sup>CDa</sup>
Sacarose (0,47 g mL <sup>-1</sup> )	12,20 <sup>Ab</sup>	27,10 <sup>ABa</sup>	27,20 <sup>Ba</sup>	27,40 <sup>Ca</sup>	27,50 <sup>CDa</sup>
A.I.*	12,60 <sup>Ab</sup>	30,40 <sup>Aa</sup>	38,55 <sup>Aa</sup>	38,80 <sup>Ba</sup>	37,45 <sup>ABa</sup>
<b>Temperatura 50 °C</b>					
Sacarose (0,40 g mL <sup>-1</sup> )	11,85 <sup>Ab</sup>	24,75 <sup>ABa</sup>	26,90 <sup>Ba</sup>	26,35 <sup>Ca</sup>	28,30 <sup>BCDa</sup>
Sacarose (0,44 g mL <sup>-1</sup> )	13,07 <sup>Ab</sup>	23,00 <sup>ABa</sup>	23,10 <sup>Ba</sup>	25,60 <sup>Ca</sup>	25,70 <sup>CDa</sup>
Sacarose (0,47 g mL <sup>-1</sup> )	13,00 <sup>Ab</sup>	22,85 <sup>ABa</sup>	28,10 <sup>Ba</sup>	25,85 <sup>Ca</sup>	31,20 <sup>BCa</sup>
A.I.*	10,87 <sup>Ac</sup>	26,90 <sup>ABb</sup>	30,10 <sup>ABb</sup>	48,15 <sup>Aa</sup>	43,95 <sup>Aa</sup>

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e pela mesma letra minúscula na linha, não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey; e A.I.\*: Açúcar líquido invertido sem diluição, com taxa de inversão  $\geq 90\%$ .

**Tabela 3.** Valores médios de redução de massa ( $\mu$ ) das fatias de abacaxi ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  de massa inicial) ao longo de 120 minutos de DII, para dois níveis de temperatura, 40 e 50 °C, três níveis de concentração de sacarose, 0,40, 0,44 e 0,47  $\text{g mL}^{-1}$ , xarope de açúcar invertido sem diluição, em dois níveis de agitação, zero e 60  $\text{min}^{-1}$ .

Tratamento	Redução de massa ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de amostra inicial)					
	Tempo (minutos)					
	0	15	45	75	105	120
<b>Temperatura 40 °C</b>						
Sac* 0,40 (A***)	0,00 <sup>Ac</sup>	5,70 <sup>ABCDb</sup>	6,22 <sup>BCDb</sup>	8,96 <sup>BCDab</sup>	9,70 <sup>DEFGab</sup>	12,25 <sup>CDEa</sup>
Sac* 0,44 (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	2,70 <sup>Cdb</sup>	8,04 <sup>BCDab</sup>	9,38 <sup>BCDa</sup>	9,79 <sup>DEFGa</sup>	9,31 <sup>DEa</sup>
Sac* 0,47 (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	4,70 <sup>BCDbe</sup>	8,08 <sup>BCDab</sup>	8,26 <sup>BCDab</sup>	11,19 <sup>CDEFGa</sup>	12,01 <sup>CDEa</sup>
A.I.** (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	4,15 <sup>BCDbe</sup>	7,18 <sup>BCDab</sup>	7,67 <sup>BCDab</sup>	9,81 <sup>DEFGa</sup>	12,14 <sup>CDEa</sup>
Sac* 0,40 (S****)	0,00 <sup>Ac</sup>	2,39 <sup>Dbe</sup>	4,26 <sup>Dabc</sup>	5,52 <sup>Dab</sup>	6,96 <sup>Gab</sup>	9,31 <sup>DEa</sup>
Sac* 0,44 (S)	0,00 <sup>Ab</sup>	3,63 <sup>BCDab</sup>	4,69 <sup>Dab</sup>	6,11 <sup>CDa</sup>	7,43 <sup>FGa</sup>	8,78 <sup>Ea</sup>
Sac* 0,47 (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	3,58 <sup>BCDbe</sup>	4,87 <sup>Dabc</sup>	6,07 <sup>CDab</sup>	7,62 <sup>FGab</sup>	9,18 <sup>Ea</sup>
A.I.** (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	3,96 <sup>BCDbe</sup>	6,29 <sup>BCDab</sup>	7,97 <sup>BCDab</sup>	8,73 <sup>EFGab</sup>	9,45 <sup>DEa</sup>
<b>Temperatura 50 °C</b>						
Sac* 0,40 (A***)	0,00 <sup>Ac</sup>	8,78 <sup>ABb</sup>	10,81 <sup>Bab</sup>	11,49 <sup>BCab</sup>	13,25 <sup>BCDEab</sup>	15,63 <sup>BCa</sup>
Sac* 0,44 (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	4,15 <sup>BCDcd</sup>	6,36 <sup>BCDbe</sup>	8,31 <sup>BCDabc</sup>	10,60 <sup>DEFGab</sup>	13,52 <sup>CDEa</sup>
Sac* 0,47 (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	10,50 <sup>Ac</sup>	16,99 <sup>Ab</sup>	19,12 <sup>Aab</sup>	21,25 <sup>Aab</sup>	23,92 <sup>Aa</sup>
A.I.** (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	4,58 <sup>BCDcd</sup>	8,52 <sup>BCDbe</sup>	10,08 <sup>BCDab</sup>	12,88 <sup>BCDEFab</sup>	14,13 <sup>CDEa</sup>
Sac* 0,40 (S****)	0,00 <sup>Ad</sup>	8,14 <sup>ABCc</sup>	11,36 <sup>Bc</sup>	11,82 <sup>BCbc</sup>	16,99 <sup>ABab</sup>	20,41 <sup>ABa</sup>
Sac* 0,44 (S)	0,00 <sup>Ad</sup>	7,23 <sup>ABCdc</sup>	10,40 <sup>BCbc</sup>	11,49 <sup>BCabc</sup>	16,58 <sup>ABCa</sup>	14,74 <sup>CDab</sup>
Sac* 0,47 (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	8,05 <sup>ABCb</sup>	11,03 <sup>Bab</sup>	12,57 <sup>Bab</sup>	15,09 <sup>BCDa</sup>	15,16 <sup>BCa</sup>
A.I.** (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	3,35 <sup>BCDbe</sup>	5,29 <sup>CDabc</sup>	6,97 <sup>CDab</sup>	8,73 <sup>EFGab</sup>	10,35 <sup>CDEa</sup>

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e pela mesma letra minúscula na linha, não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey; \*Sac: Solução de Sacarose (0,40, 0,44 e 0,47  $\text{g mL}^{-1}$ ); A.I.\*\*: Açúcar líquido invertido sem diluição, com taxa de inversão  $\geq 90\%$ ; A\*\*\*: Amostras desidratadas com agitação de 60  $\text{min}^{-1}$  em agitadora-incubadora de bancada; e S\*\*\*\*: Amostras desidratadas sem agitação.

amostras desidratadas a 50 °C apresentaram, em geral, redução de massa superior àquelas desidratadas a 40 °C, para todas as concentrações estudadas, com e sem agitação, mostrando claramente o efeito da temperatura no processo. Resultados semelhantes foram relatados por PONTING et al.<sup>20</sup>, RASTOGI e RAGHAVARAO<sup>26</sup> e SILVEIRA, RAHMAN e BUCKLE<sup>30</sup>.

Em termos absolutos, observa-se que o maior valor de redução de massa ao final do processo, 23,92  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ , ocorreu para amostras desidratadas em solução com concentração de sacarose de 0,47  $\text{g mL}^{-1}$ , 50 °C, com agitação. Esse valor mostra a tendência, para as condições estudadas, de se obter níveis maiores de perda de massa ao se aumentar a temperatura das soluções mais concentradas, mantendo-as sob agitação durante a desidratação osmótica, evidenciando que as amostras que sofreram agitação apresentaram, para a maioria dos tratamentos, maior redução de massa do que as amostras que não foram agitadas. PONTING et al.<sup>20</sup> estudaram o efeito da agitação sobre a redução de massa durante a DII, mas não quantificaram os resultados; no entanto, deixaram claro que a redução de massa para as amostras agitadas foi maior do que para as não agitadas. RAOULT et al.<sup>21</sup> observaram resultados semelhantes.

Na desidratação a 50 °C em xarope de açúcar invertido, a redução de massa foi geralmente menor que nos demais tratamentos. A essa temperatura, aliada à alta concentração da solução, pode ter ocorrido maior facilidade para a impregnação de sólidos nas camadas superficiais, dificultando assim a perda de massa. Ainda sobre esse aspecto, outros fatores importantes são o valor elevado de massa específica (1,36  $\text{g cm}^{-3}$ ), viscosidade e teor de SST da solução (70 °Brix), em comparação com as demais soluções, que são menos viscosas e apresentaram menor teor de SST. AZEREDO e JARDINE<sup>2</sup>, ao estudarem

a desidratação osmótica de abacaxi, observaram que, em soluções de sacarose com concentração superior a 70 °Brix, pode haver precipitação da solução na camada superficial da fruta, desfavorecendo a perda de massa e, por consequência, o processo de desidratação.

### 3.4 Perda de água ( $\omega$ )

A análise de variância da perda de água das amostras de abacaxi demonstrou que apenas duas das interações entre os fatores envolvidos, temperatura x agitação e tempo x temperatura x concentração, não tiveram efeito significativo. A Tabela 4 mostra os valores da redução de água, em  $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  de amostra inicial, das coroas circulares de abacaxi durante o processo de desidratação por imersão-impregnação.

Assim como ocorreu para a redução de massa ( $\mu$ ), observa-se também que, para os valores de perda de água ( $\omega$ ), os aumentos foram significativos apenas nos 45 minutos iniciais do processo, quando as fatias foram imersas em soluções de sacarose a 40 °C, ou em xaropes não diluídos de açúcar invertido, com e sem agitação. Para desidratação a 50 °C, ocorreram aumentos significativos no valor de  $\omega$  até 75 minutos depois de iniciado o processo. RAOULT-WACK<sup>23</sup> observou que a perda de água não variou significativamente depois de 105 minutos de DII. Esse resultado mostra que o aumento da temperatura da solução de sacarose em que ocorreu a desidratação osmótica de 40 para 50 °C também favorece a perda de água das amostras. Para todos os tratamentos, a perda de água das frutas desidratadas a 50 °C foi maior do que para aquelas desidratadas a 40 °C, quando a comparação é feita para o mesmo tipo de soluto, mesmas concentrações e sistemas, agitadas e não agita-

**Tabela 4.** Valores médios da perda de água ( $\omega$ ) das fatias de abacaxi ( $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de massa inicial) ao longo de 120 minutos de DII, para dois níveis de temperatura, 40 e 50 °C, três níveis de concentração de sacarose, 0,40, 0,44 e 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , xarope de açúcar invertido sem diluição, em dois níveis de agitação, zero e 60  $\text{min}^{-1}$ .

Tratamento	Redução de massa ( $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de amostra inicial)					
	Tempo (minutos)					
	0	15	45	75	105	120
<b>Temperatura 40 °C</b>						
Sac* 0,40 (A***)	0,00 <sup>Ac</sup>	10,07 <sup>ABCDEb</sup>	10,97 <sup>BCDb</sup>	15,53 <sup>BCDab</sup>	16,76 <sup>DEFab</sup>	20,84 <sup>CDEFa</sup>
Sac* 0,44 (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	4,75 <sup>DEbc</sup>	13,74 <sup>BCDa</sup>	15,90 <sup>BCDa</sup>	16,55 <sup>DEFa</sup>	15,78 <sup>DEFa</sup>
Sac* 0,47 (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	8,11 <sup>BCDEbc</sup>	13,69 <sup>BCDab</sup>	13,95 <sup>BCDab</sup>	18,62 <sup>BCDEFa</sup>	19,88 <sup>CDEFa</sup>
A.I.** (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	7,12 <sup>BCDEbc</sup>	12,09 <sup>BCDab</sup>	12,88 <sup>BCDab</sup>	16,27 <sup>DEFa</sup>	19,85 <sup>CDEFa</sup>
Sac* 0,40 (S****)	0,00 <sup>Ac</sup>	4,07 <sup>Ebc</sup>	7,18 <sup>Dabc</sup>	9,24 <sup>Dab</sup>	11,54 <sup>Fab</sup>	15,22 <sup>EFa</sup>
Sac* 0,44 (S)	0,00 <sup>Ab</sup>	6,17 <sup>CDEab</sup>	7,94 <sup>Dab</sup>	10,23 <sup>CDa</sup>	12,33 <sup>Fa</sup>	14,48 <sup>Fa</sup>
Sac* 0,47 (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	6,00 <sup>CDEbc</sup>	8,09 <sup>Dabc</sup>	10,02 <sup>Dab</sup>	12,45 <sup>Fab</sup>	14,87 <sup>Fa</sup>
A.I.** (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	6,96 <sup>BCDEbc</sup>	10,90 <sup>BCDab</sup>	13,67 <sup>BCDab</sup>	14,92 <sup>EFab</sup>	16,08 <sup>DEFa</sup>
<b>Temperatura 50 °C</b>						
Sac* 0,40 (A***)	0,00 <sup>Ac</sup>	15,07 <sup>Abb</sup>	18,33 <sup>Bab</sup>	19,42 <sup>Bab</sup>	22,16 <sup>BCDEab</sup>	25,77 <sup>BCa</sup>
Sac* 0,44 (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	7,25 <sup>BCDEed</sup>	10,99 <sup>BCDbc</sup>	14,19 <sup>BCDabc</sup>	17,88 <sup>CDEFab</sup>	22,39 <sup>CDEFa</sup>
Sac* 0,47 (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	18,25 <sup>Ac</sup>	28,42 <sup>Ab</sup>	31,57 <sup>Aab</sup>	34,62 <sup>Aab</sup>	38,32 <sup>Aa</sup>
A.I.** (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	7,77 <sup>BCDEed</sup>	14,30 <sup>BCDbc</sup>	16,81 <sup>BCDab</sup>	21,21 <sup>BCDEab</sup>	23,11 <sup>CDEFa</sup>
Sac* 0,40 (S****)	0,00 <sup>Ad</sup>	13,74 <sup>ABCc</sup>	18,85 <sup>Bbc</sup>	19,56 <sup>Bbc</sup>	27,23 <sup>ABab</sup>	32,12 <sup>ABa</sup>
Sac* 0,44 (S)	0,00 <sup>Ad</sup>	12,12 <sup>ABCDEc</sup>	17,10 <sup>BCbc</sup>	18,76 <sup>BCabc</sup>	26,23 <sup>ABCa</sup>	23,59 <sup>BCDEab</sup>
Sac* 0,47 (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	13,26 <sup>ABCDB</sup>	17,84 <sup>Bab</sup>	20,13 <sup>Bab</sup>	23,80 <sup>BCDa</sup>	23,89 <sup>BCDa</sup>
A.I.** (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	5,87 <sup>CDEbc</sup>	9,17 <sup>CDab</sup>	11,97 <sup>BCDab</sup>	14,83 <sup>EFa</sup>	17,41 <sup>CDEFa</sup>

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e pela mesma letra minúscula na linha, não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey; \*Sac: Solução de Sacarose (0,40, 0,44 e 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ); A.I.\*\*: Açúcar líquido invertido sem diluição, com taxa de inversão  $\geq 90\%$ ; A\*\*\*: Amostras desidratadas com agitação de 60  $\text{min}^{-1}$  em agitadora-incubadora de bancada; e S\*\*\*\*: Amostras desidratadas sem agitação.

dos. Resultados semelhantes foram relatados por BERISTAIN et al.<sup>4</sup> e WALISZEWSKI et al.<sup>35</sup>.

Os maiores valores absolutos de perda de água ocorreram para coroas circulares de abacaxi desidratadas a 50 °C em solução com concentração de sacarose de 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , com agitação. Comportamento semelhante foi observado quanto à redução de massa. O estudo da cinética da DII prevê que esse comportamento deveria ser esperado, uma vez que a perda de água e a redução de massa são variáveis fortemente relacionadas. Na desidratação em xarope de açúcar invertido a 50 °C, assim como para a perda de massa ( $\mu$ ), a perda de água ( $\omega$ ) também foi menor quando comparada com os demais tratamentos. HAWKES e FLINK<sup>11</sup>, ao avaliarem a desidratação osmótica de fatias de maçã em temperatura de 23 °C, observaram perdas de 16,3, 17,8 e 27,2  $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de amostra inicial, para soluções de sacarose 40, 50 e 60%, respectivamente. KARATHANOS, KOSTAROPOULOS e SARAVACOS<sup>13</sup> estudaram a DII de fatias de maçã em solução de glicose (15, 30 e 45%) por 24 horas e observaram que os maiores valores de perda de água ocorreram nas soluções mais concentradas. GIANGIACOMO, TORREGGIANI e ABBO<sup>10</sup>, estudando a desidratação osmótica de damascos a 25 °C, em solução de sacarose, glicose e frutose (65,2 °Brix), observaram perda de água de 19,85 e 30,21  $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de amostra inicial, depois de 2 e 4 horas de imersão, respectivamente.

Os valores apresentados na Tabela 4 demonstram que para amostras desidratadas a 40 °C, não houve diferenças significativas entre os valores de  $\omega$  medidos num mesmo intervalo de tempo de desidratação, não sendo evidenciado efeito significativo da agitação na eficiência do processo, nas condições utilizadas.

HAWKES e FLINK<sup>11</sup> avaliaram o efeito da agitação sobre o coeficiente de transporte de massa ( $K$ ) durante a desidratação osmótica de fatias de maçã em soluções de sacarose a 25, 40, 50 e 60%. Observou-se que a agitação suave (valor não quantificado) da solução teve pouco efeito sobre a taxa de desidratação das amostras e sobre os valores de  $K$  para as soluções menos concentradas. PONTING et al.<sup>20</sup> observaram maiores perdas de água nas amostras agitadas do que nas não agitadas.

### 3.5 Ganho de sólidos ( $\delta$ )

A análise de variância mostrou, uma vez mais, que apenas os efeitos das interações temperatura x agitação e tempo x temperatura x agitação não foram significativos sobre o ganho de sólidos das amostras durante a desidratação. Na Tabela 5, estão relacionados os resultados do ganho de sólidos pelas coroas circulares de abacaxi durante o processo de desidratação por imersão-impregnação.

Observa-se, em geral, que o ganho de sólidos das amostras de abacaxi deixou de apresentar diferenças significativas depois de 45 minutos de desidratação, para todos os tratamentos estudados. MOREIRA SERENO<sup>18</sup>, estudando a DII de fatias de maçã a 5 °C, por 2 horas, em solução de sacarose a 40, 50 e 60%, observaram que o ganho de sólidos aumentou significativamente somente na primeira hora de desidratação e depois tendeu ao equilíbrio, não sendo observadas diferenças significativas no ganho de sólidos entre as amostras que foram ou não agitadas.

GIANGIACOMO, TORREGGIANI e ABBO<sup>10</sup>, estudando a desidratação osmótica de damascos a 25 °C, em solução de sacarose, glicose e frutose a 65,2 °Brix, observaram ganho de

**Tabela 5.** Valores médios do ganho de sólidos ( $\delta$ ) das fatias de abacaxi ( $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de massa inicial) ao longo de 120 minutos de DII, para dois níveis de temperatura, 40 e 50 °C, três níveis de concentração de sacarose, 0,40, 0,44 e 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , xarope de açúcar invertido sem diluição, em dois níveis de agitação, zero e 60  $\text{min}^{-1}$ .

Tratamento	Redução de massa ( $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de amostra inicial)					
	Tempo (minutos)					
	0	15	45	75	105	120
<b>Temperatura 40 °C</b>						
Sac* 0,40 (A***)	0,00 <sup>Ac</sup>	4,37 <sup>BCDEb</sup>	4,74 <sup>BCDb</sup>	6,57 <sup>BCDab</sup>	7,05 <sup>BCDEab</sup>	8,59 <sup>BCDEa</sup>
Sac* 0,44 (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	2,05 <sup>DEb</sup>	5,70 <sup>BCDa</sup>	6,52 <sup>BCDa</sup>	6,78 <sup>CDEa</sup>	6,47 <sup>DEa</sup>
Sac* 0,47 (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	3,41 <sup>BCDEb</sup>	5,60 <sup>BCDab</sup>	5,69 <sup>BCDab</sup>	7,43 <sup>BCDEa</sup>	7,87 <sup>CDEa</sup>
A.I.** (A)	0,00 <sup>Ac</sup>	2,96 <sup>CDEbc</sup>	4,91 <sup>BCDab</sup>	5,21 <sup>BCDab</sup>	6,46 <sup>CDEa</sup>	7,71 <sup>CDEa</sup>
Sac* 0,40 (S****)	0,00 <sup>Ac</sup>	1,68 <sup>Ebc</sup>	2,92 <sup>Dabc</sup>	3,72 <sup>Dab</sup>	4,58 <sup>Eab</sup>	5,91 <sup>DEa</sup>
Sac* 0,44 (S)	0,00 <sup>Ab</sup>	2,55 <sup>CDEab</sup>	3,25 <sup>Da</sup>	4,12 <sup>CDa</sup>	4,91 <sup>Ea</sup>	5,70 <sup>Ea</sup>
Sac* 0,47 (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	2,42 <sup>CDEb</sup>	3,21 <sup>Dab</sup>	3,95 <sup>Da</sup>	4,83 <sup>Ea</sup>	5,68 <sup>Ea</sup>
A.I.** (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	3,00 <sup>CDEbc</sup>	4,61 <sup>BCDab</sup>	5,71 <sup>BCDa</sup>	6,18 <sup>DEa</sup>	6,63 <sup>DEa</sup>
<b>Temperatura 50 °C</b>						
Sac* 0,40 (A***)	0,00 <sup>Ac</sup>	6,29 <sup>ABb</sup>	7,52 <sup>Bab</sup>	7,93 <sup>Bab</sup>	8,91 <sup>BCDab</sup>	10,13 <sup>BCa</sup>
Sac* 0,44 (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	3,11 <sup>BCDEcd</sup>	4,62 <sup>BCDbc</sup>	5,88 <sup>BCDabc</sup>	7,27 <sup>BCDEab</sup>	8,87 <sup>BCDEa</sup>
Sac* 0,47 (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	7,75 <sup>Ab</sup>	11,43 <sup>Aa</sup>	12,44 <sup>ABCa</sup>	13,37 <sup>Aa</sup>	14,40 <sup>Aa</sup>
A.I.** (A)	0,00 <sup>Ad</sup>	3,19 <sup>BCDEbc</sup>	5,78 <sup>BCDab</sup>	6,73 <sup>BCDa</sup>	8,33 <sup>BCDa</sup>	8,97 <sup>BCDa</sup>
Sac* 0,40 (S****)	0,00 <sup>Ad</sup>	5,60 <sup>ABCc</sup>	7,49 <sup>Bbc</sup>	7,74 <sup>Bbc</sup>	10,24 <sup>ABab</sup>	11,71 <sup>ABa</sup>
Sac* 0,44 (S)	0,00 <sup>Ad</sup>	4,89 <sup>ABCDEb</sup>	6,69 <sup>BCab</sup>	7,27 <sup>BCab</sup>	9,65 <sup>BCa</sup>	8,85 <sup>BCDEa</sup>
Sac* 0,47 (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	5,20 <sup>ABCDB</sup>	6,81 <sup>BCab</sup>	7,56 <sup>Bab</sup>	8,71 <sup>BCDa</sup>	8,73 <sup>BCDEa</sup>
A.I.** (S)	0,00 <sup>Ac</sup>	2,52 <sup>CDEbc</sup>	3,88 <sup>Cab</sup>	5,00 <sup>BCDab</sup>	6,10 <sup>DEa</sup>	7,07 <sup>CDEa</sup>

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e pela mesma letra minúscula na linha, não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey; \*Sac: Solução de Sacarose (0,40, 0,44 e 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ); A.I.\*\*: Açúcar líquido invertido sem diluição, com taxa de inversão  $\geq 90\%$ ; A\*\*\*: Amostras desidratadas com agitação de 60  $\text{min}^{-1}$  em agitadora-incubadora de bancada; e S\*\*\*\*: Amostras desidratadas sem agitação.

sólidos de 4,23 e 6,13  $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de amostra inicial, depois de 2 e 4 horas de imersão, respectivamente. Depois de 6 horas de desidratação observou-se redução no valor de  $\delta$  para 5,28  $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de amostra inicial. Como ocorreu para os valores de  $\mu$  e  $\omega$ , o ganho de sólidos também foi maior para desidratação a 50 °C do que a 40 °C. No entanto, a 50 °C, em contrapartida à saída mais intensa de água, ocorreu concomitantemente um maior ganho de sólidos. De acordo com RAOULT-WACK et al.<sup>22</sup>, o aumento da temperatura favorece tanto a perda de água quanto o ganho de sólidos, devido, provavelmente, ao seu efeito positivo sobre a difusividade aparente das moléculas de água e do soluto no interior do produto. TEDJO et al.<sup>32</sup> observaram que quanto maior a temperatura da solução osmótica, maior o grau de permeabilidade das membranas das células do tecido parenquimático de mangas. WALISZEWSKI et al.<sup>35</sup> avaliaram a influência da temperatura e da concentração da solução de sacarose na taxa de transferência de massa durante a DII de fatias de banana e observaram que o aumento no valor de ambas as variáveis teve efeito significativo sobre a perda de água e o ganho de sólidos. No presente trabalho, a 40 °C, em cada um dos intervalos de tempo de desidratação, não foram observados efeitos da agitação nem da concentração. MAVROUDIS, GEKAS e SJÖHOLM<sup>17</sup>, ao avaliarem a cinética da DII de fatias de maçã, não observaram também nenhum efeito do grau de agitação sobre os valores de ganho de sólidos.

Para desidratação a 50 °C, existiu efeito significativo tanto da agitação quanto do nível de concentração da solução de sacarose. Para o tratamento a 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  com agitação, o ganho de sólidos foi de 14,40  $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de produto inicial; as amostras que não foram agitadas tiveram ganho de sólidos de 8,73  $\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ . Esses resultados evidenciam que, no processo

de desidratação em solução com concentração de sacarose de 0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , ocorreu maior ganho de sólidos que nos demais tratamentos, mostrando mais uma vez o efeito significativo da agitação no processo. Em valores absolutos, observa-se que, nas duas temperaturas, as amostras desidratadas nas soluções com as maiores concentrações (0,47  $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de sacarose e açúcar invertido sem diluição), apresentaram maiores valores de ganho de sólidos, quando se comparam as amostras agitadas com as não agitadas. Esse fato evidencia que a agitação tem efeito positivo tanto sobre a perda de água quanto sobre o ganho de sólidos pelas amostras.

#### 4 Conclusões

- A relação fruta: xarope utilizada, 1:10, é adequada para manter a concentração das soluções osmóticas avaliadas neste trabalho. Observou-se, no entanto, que os tratamentos em que se utilizou açúcar líquido invertido sem diluição foram os que apresentaram os maiores níveis de diluição das soluções;
- Os tratamentos de desidratação por imersão-impregnação em xarope não diluído de açúcar invertido foram os que mais aumentaram o teor de sólidos solúveis totais das fatias de abacaxi; e
- Os parâmetros que caracterizam a cinética da desidratação osmótica, ou seja, a redução de massa ( $\mu$ ), a perda de água ( $\omega$ ) e o ganho de sólidos ( $\delta$ ), apresentaram valores mais elevados para as fatias que foram desidratadas a 50 °C sob agitação. Depois de 105 minutos de desidratação, não existiram variações significativas nos valores dos três parâmetros.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro das seguintes instituições: CNPq, Dulcini S.A., FAPERJ, FINEP e *International Foundation for Science* – IFS.

## Referências bibliográficas

1. AOAC. Definition of terms. In: HELRICH, K. (Ed.). **Official methods of analysis – Volume II**. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990. p.xi.
2. AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada a tecnologia de métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 74-82, 2000.
3. AZUARA, E.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. **Food Research International**, v. 29, n. 2, p. 195-199, 1996.
4. BERISTAIN, C. I. et al. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 25, n. 5, p. 576-582, 1990.
5. BOLIN, H. R. et al. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 1, p. 202-205, 1983.
6. CAMARGO, G. A. Perdas pós-colheita de verduras e frutas frescas. In: NAKAMAE, I. J.; PASTRELLO, C. P. (Ed.). **AGRIBUS 2002**. São Paulo: Editora Argos Comunicação, 2002. p. 41-42.
7. CORZO, O.; GOMEZ, E. R. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 2, p. 213-219, 2004.
8. CRUZ, C. D. Programa GENES – **Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, MG: UFV, 2001.
9. FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, n. 2-4, p. 313-328, 1994.
10. GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugar and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, n. 3, p. 183-195, 1987.
11. HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, n. 4, p. 265-284, 1978.
12. HOUGH, G.; CHIRIFE, J.; MARINI, C. A simple model for osmotic dehydration of apples. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 26, n. 2, p. 151-156, 1993.
13. KARATHANOS, V. T.; KOSTAROPOULOS, A. E.; SARAVACOS, G. D. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, v. 13, n. 5-7, p. 1503-1521, 1995.
14. KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 4, p. 243-250, 2000.
15. LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potatoes II: Spatial distribution of the osmotic effect. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 19, n. 1, p. 65-89, 1984.
16. LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391-413, 1996.
17. MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples – Effects of agitation and raw material characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 2, p. 191-209, 1998.
18. MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 1, p. 25-31, 2003.
19. PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.
20. PONTING, J. D. et al. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20, n. 10, p. 1365-1368, 1966.
21. RAOULT, A. L. et al. Osmotic dehydration: Study of mass transfer in terms of engineering properties. In: MUJUMDAR, A. S.; ROQUES, M. (Ed.). **Drying 89**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989. p. 487-495.
22. RAOULT-WACK, A. L. et al. Simultaneous water and solute transport in shrinking media-Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (Osmotic Dehydration). **Drying Technology**, v. 9, n. 3, p. 589-612, 1991.
23. RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.
24. RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 27, n. 6, p. 564-567, 1994.
25. RASTOGI, N. K. et al. Recent developments in osmotic dehydration methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 48-59, 2002.
26. RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 37, n. 1, p. 43-47, 2004.
27. RIBEIRO, M. S.; SABAA-SRUR, A. U. O. Saturação de manga (*Mangifera indica* L.) var. rosa com açúcares. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, p. 118-122, 1999.
28. SHEWFELT, R. L.; PRUSSIA, S. E. Challenges in Handling Fresh Fruits and Vegetables – Chapter 2. In: SHEWFELT, R. L.; PRUSSIA, S. E. (Ed.). **Postharvest Handling – A Systems Approach**. San Diego: Academic Press, Inc., 1993. p. 27-41.
29. SILVA, J. S.; FINGER, F. L.; CORRÊA, P. C. Armazenamento de frutas e hortaliças. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000. p. 469-502.
30. SILVEIRA, E. T. F.; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A. Osmotic dehydration of pineapple: kinetics and product quality. **Food Research International**, v. 29, n. 2-3, p. 227-233, 1996.
31. SOLER, M. P. **Industrialização de Frutas-Manual Técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, 1988. p. 312
32. TEDJO, W. et al. Comparison of pretreatment methods on water and solid diffusion kinetics of osmotically dehydrated mangos. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 2, p. 133-142, 2002.
33. TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.
34. VIANNA, V. A. **Influência da calda na qualidade de pêssego tipo passa**. Pelotas, 1995, 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).
35. WALISZEWSKI, K. N. et al. Mass transfer in banana chips during osmotic dehydration. **Drying Technology**, v. 15, n. 10, p. 2597-2607, 1997.