

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE PEDAÇOS DE GOIABA

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE PROCESS OF DEHYDRATION OSMOTIC PIECES OF GUAVA

Deise Souza de Castro¹; Jarderlany Sousa Nunes¹; Aluizio Freire da Silva Júnior²; Juarez Everton de Farias Aires²; Wilton Pereira da Silva³; Josivanda Palmeira Gomes⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - PPGEA
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande/PB - Brasil
deise_castro01@hotmail.com; jade_nunes@hotmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos- PPGEA
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande/PB - Brasil
aluizio.freire@oi.com.br; juarezevertton@gmail.com

³Professor Doutor do Departamento de Física
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande/PB – Brasil
wiltonps@uol.com.br

⁴Professora Doutora do Departamento de Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande/PB – Brasil
josivanda@gmail.com

Resumo

O processo de transferência de massa durante a desidratação osmótica pode ser influenciado pelas condições em que tal processo é realizado. Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a quantidade de água e de sacarose presente em fatias de goiaba variedade Paluma (3,0 x 2,0 x 0,9 cm) submetidas à desidratação em solução de sacarose a 40 °Brix e temperaturas de 30 e 50 °C. A cinética de desidratação foi acompanhada em pequenos intervalos de tempo por 4 horas, e as condições de equilíbrio foram determinadas após 24 horas de imersão. Ao final da desidratação, a quantidade de água presente no fruto desidratado a 50 °C foi inferior ao encontrado na goiaba desidratada a 30 °C. Quanto à quantidade de açúcar presente nos frutos, as condições experimentais pouco influenciaram na incorporação do açúcar. Os modelos empíricos de Lewis, Henderson e Pabis, Wang e Singh, Peleg, Page e Silva et alli foram ajustados aos dados experimentais. Os melhores resultados foram obtidos com os modelos de Peleg e Silva et alli.

Palavras-chave: transferência de massa; *Psidium guajava* L.; modelos empíricos.

Abstract

The process of mass transfer during osmotic dehydration can be influenced by the conditions in which this process is carried out. Thus, the present study was to analyze the amount of water and sucrose present in slices of guava Paluma range (3.0 x 2.0 x 0.9 cm) underwent dehydration in sucrose solution at 40 °Brix and temperature of 30 and 50 °C. The kinetics of dehydration was monitored at short intervals for 4 hours, and the equilibrium conditions were determined after 24 hours of immersion. At the end of dehydration, the quantity of water present in the dehydrated product to 50 °C was lower than that found in the dehydrated Guava to 30 °C. As for the amount of sugar present in fruit, the experimental conditions had little influence on the incorporation of sugar. Empirical models of Lewis, Henderson and Pabis, Wang and Singh, Peleg, Page and Silva et alli were fitted to experimental data. The best results were obtained with models of Peleg and Silva et alli.

Key-words: mass transfer; *Psidium guajava* L.; empirical models.

1. Introdução

Dentre os processos que visam a conservação e prolongamento do tempo de disponibilidade para consumo de frutos, os métodos de secagem vêm sendo utilizados para fins tecnológicos e industriais com a finalidade de diminuir a perecibilidade, preservando as características naturais dos produtos.

Na utilização dos processos de secagem pré tratamentos podem ser aplicados para facilitar o processo de transferência de massa. Segundo SILVA (2012b), pré-tratamentos podem ser utilizados para reduzir a quantidade de água presente no fruto ou, para modificar a estrutura do tecido de frutas, de maneira a tornar a secagem mais rápida.

A desidratação osmótica, que consiste na imersão dos frutos em solução contendo um ou mais solutos, é um método econômico, pois diminui a quantidade de água dos produtos, reduzindo custos operacionais ocasionados pela secagem convencional (SILVA, 2012a).

As principais vantagens da desidratação osmótica sobre os processos tradicionais de secagem são: inibição do escurecimento enzimático e oxidativo, o que é impedido pelo envolvimento dos pedaços de frutas sob o agente osmótico; retenção da cor natural sem a utilização de sulfitos ou dióxidos de enxofre devido à remoção de água em baixas temperaturas; maior retenção do sabor ao utilizar xarope de açúcar como agente osmótico; remoção de ácidos e absorção de açúcar, proporcionando sabor mais doce do que o produto convencionalmente seco; remoção da carga de água a ser removida pela secagem convencional; menor consumo de energia, por não envolver mudança de fase do produto; aumento da captação de sólidos resultando no aumento da densidade

sólida, ajudando na obtenção de um produto de melhor qualidade na secagem; aumento da vida de armazenamento do produto (YADAV & SINGH, 2012).

As variáveis mais importantes que tem influência no processo de desidratação osmótica são: natureza do alimento, contato de fases (agitação, tamanho e forma do alimento), temperatura, tempo de imersão, concentração do soluto na solução, peso molecular do soluto, relação entre a massa de solução osmótica e de alimento, pressão e pH da solução (MAEDA & LORETO, 1998).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi verificar a influência da temperatura sobre o processo de transferência de massa de fatias de goiaba desidratadas osmoticamente em solução de sacarose a 40 °Brix nas temperaturas de 30 e 50 °C.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no laboratório de engenharia de alimentos (LEA) vinculado a Unidade acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) Campus Campina Grande.

Para os experimentos foi utilizada a goiaba da variedade Paluma, cultivada na cidade de Petrolina – PE, e obtida no comércio local de frutos de Campina Grande – PB, selecionados de acordo com a coloração (amarela) da casca, livres de defeitos fisiológicos, danos físicos e mecânicos e infecções causadas por microrganismos.

Os frutos foram lavados em água corrente e higienizados em solução clorada a 50 ppm por 10 minutos. O descascamento foi realizado com um auxílio de um descascador de legumes e as sementes dos frutos foram retiradas. Para o corte utilizou-se faca de aço inoxidável e um molde de plástico poliestireno medindo 3,0 x 2,0 cm, respeitando a espessura natural média do fruto de 0,9 cm.

Os xaropes de sacarose foram preparados no dia anterior aos experimentos a partir da dissolução total do açúcar em água destilada até atingir a quantidade de sólidos solúveis de 40 °Brix. A solução foi armazenada em potes de vidro lacrados e identificados em B.O.D (demanda bioquímica de oxigênio) a 10 °C. Antes do início da desidratação osmótica a solução foi colocada em estufa de circulação de ar até atingir a temperatura desejada para a desidratação osmótica.

Os pedaços de goiaba fatiados foram imersos nas soluções na proporção de 1:15 (g/g) fruto/xarope, nas temperaturas de 30 e 50 °C até peso constante. O acompanhamento da quantidade de água e de sacarose foi realizado em triplicata, nos tempos de 0, 10, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 e 1440 a partir da determinação da massa total e massa seca de amostras pré identificadas para cada tempo.

A identificação das amostras para cada tempo de pesagem ($n_0, n_1, n_2, \dots, n_{10}$) foi realizado por meio da pesagem de aproximadamente 15 gramas de amostra colocados em cestas de arame galvanizado de peso conhecido. A cesta n_0 foi levada para a estufa a 105 °C para determinação da massa seca inicial da amostra, as demais amostras foram imersas no xarope e incubadas em estufa de circulação de ar para garantia da temperatura de osmose desejada. Ao chegarem os tempos de pesagens, as cestas correspondentes ao tempo foram retiradas do xarope, e os frutos lavados com água destilada para retirada do filme de açúcar aderido a superfície do fruto. O excesso de água foi removido envolvendo os frutos em papel toalha. As fatias de goiaba foram pesadas e levadas para estufa em cestas de arame galvanizado de peso conhecido a 105 °C por 4 horas, até peso constante conforme descrito por Mercali et al. (2011).

Ao final da desidratação apenas a amostra n_{10} permanecia na solução e a determinação da sua massa bem como da massa seca nos tempos anteriores, foram determinados por regra de três simples a partir dos dados das amostras retiradas, da seguinte forma.

Massa total:

$$m_{10}^t = m_{10}^0 \frac{m_x^t}{m_x^0} \quad (1)$$

onde:

m_{10}^t = massa da amostra n_{10} no tempo t ;

m_{10}^0 = massa da amostra n_{10} no tempo 0;

m_x^t = massa da amostra n_x no tempo t ;

m_x^0 = massa de n_x no tempo zero.

Massa seca:

$$ms_{10}^t = ms_x^t \frac{m_{10}^t}{m_x^t} \quad (2)$$

onde:

ms_{10}^t = massa seca da amostra n_{10} no tempo t ;

ms_x^t = massa seca da amostra n_x no tempo t ;

Para cálculo da massa de água em cada tempo utilizou-se a seguinte fórmula:

$$m_w^t = m_{10}^t - ms_{10}^t \quad (3)$$

onde:

m_w^t = massa de água da amostra n₁₀ no tempo t;

Os cálculos da quantidade de água em porcentagem, presente no produto a cada tempo foi calculado pela fórmula:

$$\text{Quantidade de água \%} = \frac{m_w^t}{m_w^0} 100 \quad (4)$$

onde:

m_w^0 = massa de água no instante zero.

Para cálculo da massa de sacarose em cada tempo utilizou-se:

$$m_s^t = ms_{10}^t - ms_{10}^0 \quad (5)$$

onde:

m_s^t = massa de sacarose no tempo t;

ms_{10}^0 = massa seca da amostra n₁₀ no tempo zero.

A quantidade de sacarose presente na amostra a cada tempo foi calculada pela fórmula:

$$\text{Quantidade de sacarose \%} = \frac{m_s^t}{ms_{10}^0} \times 100 \quad (6)$$

Para o ajuste matemático das curvas de desidratação das goiabas aos dados experimentais foram utilizadas as equações empíricas descritas nas Tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1: modelos empíricos para descrição da quantidade de água.

Modelo	Nome	Expressão empírica	Referência
1	Lewis	e^{-at}	Kaleta and Gornicki (2010)
2	Henderson e Pabis	$a e^{-bt}$	Diamante et al. (2010)
3	Wang e Singh	$\sigma + at + bt^2$	Kaleta and Gornicki (2010)
4	Peleg	$\sigma - t/(a + bt)$	Mercali et al. (2010a)
5	Page	σe^{-at^b}	Diamante et al. (2010)
6	Silva et alii	$\sigma e^{-at - b\sqrt{t}}$	Silva et al. (2013)

σ = quantidade de água inicial em percentual: 100%.

Tabela 2.2: modelos empíricos para descrição da quantidade de sacarose.

Modelo	Nome	Expressão empírica	Referência
1	Lewis	$\delta(1 - e^{-at})$	Kaleta and Gornicki (2010)
2	Henderson e Pabis	$a(1 - e^{-bt})$	Diamante et al. (2010)
3	Wang e Singh	$\delta(at + bt^2)$	Kaleta and Gornicki (2010)
4	Peleg	$t/(a + bt)$	Mercali et al. (2010a)
5	Page	$\delta(1 - e^{-at^b})$	Diamante et al. (2010)
6	Silva et alii	$\delta(1 - e^{-at - b\sqrt{t}})$	Silva et al. (2013)

δ = valor de equilíbrio do ganho de sacarose.

O ajuste das funções aos dados experimentais foi realizado por meio do programa computacional LAB Fit Curve Fitting software (www.labfit.net). Os critérios de avaliação utilizados para a escolha dos modelos que melhor representaram os processos foram o coeficiente de determinação (R^2) e o qui-quadrado (χ^2), calculado pela equação:

$$\chi^2 = \sqrt{\sum (X_{\text{exp}}^* - X_{\text{pre}}^*)^2} \quad (5)$$

em que:

χ^2 - qui-quadrado;

X_{pre}^* - quantidade de água ou sacarose predita pelo modelo;

X_{exp}^* - quantidade de água ou sacarose medida experimentalmente.

3. Resultado e Discussão

As diferentes condições do processo osmótico foram estudadas em termos de quantidade de água e quantidade de sacarose. Os parâmetros dos ajustes dos modelos aos dados experimentais estão apresentados na Tabela 3.1.

Ao analisar os parâmetros obtidos a partir dos ajustes dos modelos, para as duas condições experimentais apresentado na Tabela 3.1, verifica-se a superioridade dos ajustes do modelo de Peleg (Figura 1) apresentando coeficiente de correlação (R^2) variando entre 0,91 á 0,99. O modelo de Silva et alii (Figura 2) também apresenta boa representação do processo de transferência de massa durante a desidratação osmótica com coeficientes de correlação dentro dos limites de 90% de confiabilidade para a quantidade de água presente na goiaba durante a desidratação osmótica nas duas condições estudadas.

Com o coeficiente de correlação de 0,98 e o qui-quadrado de 78,3 o modelo de Wang e Singh poderia ser considerado uma boa representação do fenômeno de transferência de massa, porém a representação gráfica do modelo não apresenta um sentido físico coerente, chegando a

cruzar os limites entre o campo positivo e o negativo antes de atingir o ponto de equilíbrio, conforme mostrado na Figura 3.

Tabela 3.1: Coeficientes obtidos no ajuste dos modelos, aos dados experimentais para a quantidade de água e de sacarose durante a desidratação osmótica de pedaços de goiaba.

Quantidade de água						
Temperatura (°C)	Concentração (°Brix)	Modelo empírico	Parâmetros		R ²	X ²
			a	b		
30	40	Lewis	0,0035	-	0,91	1415,0
30	40	Henderson e pabis	89,4390	0,0025	0,83	1164,6
30	40	Wang e Singh	-0,2871	0,0002	0,94	501,7
30	40	Peleg	1,3461	0,0143	0,99	43,5
30	40	Page	0,0660	0,4081	0,96	132,5
30	40	Silva et alli	-0,0005	0,0497	0,98	58,1
50	40	Lewis	0,0022	-	0,91	799,4
50	40	Henderson e pabis	96,6894	0,0020	0,89	776,5
50	40	Wang e Singh	-0,2191	0,0001	0,98	78,3
50	40	Peleg	3,1609	0,0115	0,95	216,8
50	40	Page	0,0146	0,6329	0,91	380,3
50	40	Silva et alli	0,0003	0,0242	0,90	438,4
Quantidade de Sacarose						
Temperatura (°C)	Concentração (°Brix)	Modelo empírico	Parâmetros		R ²	X ²
			a	b		
30	40	Lewis	0,0115	-	0,97	276,7
30	40	Henderson e pabis	66,5963	0,0144	0,96	230,9
30	40	Wang e Singh	0,0053	-0,00003		1343,6
30	40	Peleg	0,6432	0,0133	0,98	87,2
30	40	Page	0,0534	0,6682	0,98	56,2
30	40	Silva et alli	0,0444	0,0696	0,99	50,7
50	40	Lewis	0,0062	-	0,95	350,1
50	40	Henderson e pabis	74,2998	0,0056	0,95	325,8
50	40	Wang e Singh	0,0043	-0,000002	0,98	71,85
50	40	Peleg	1,8318	0,0117	0,91	554,6
50	40	Page	0,0004	1,5694	0,98	157,8
50	40	Silva et alli	0,0088	-0,0303	0,95	260,8

Mercali et al. (2010a) relatam a boa representação do processo de transferência de massa do modelo de Peleg, sendo este uma equação capaz de predizer ou ao menos estimar, o processo após longos tempos de exposição a partir de dados experimentais de tempos relativamente curtos.

A análise das curvas experimentais permite observar que a transferência de massa ocorre com maior efetividade nas quatro primeiras horas; segundo Ferrari et al. (2005) a grande força motriz presente entre a solução e o fruto no início da desidratação explica a maior taxa de transferência de massa no início do processo. A quantidade de água para a condição experimental de maior temperatura (50 °C) apresentou-se em menor quantidade. Altas temperaturas promovem a rápida perda de água através da difusão mais rápida da água no interior do produto devido a menor viscosidade do meio osmótico (MERCALI et al., 2010b).

Vários estudos foram realizados para descrever a perda de água de diferentes produtos durante a desidratação osmótica. Antonio et al. (2007), Dionello et al. (2007), Queiroz et al. (2010),

Duarte et al. (2012) verificaram uma alta velocidade de remoção de água nas horas iniciais, seguida de uma remoção mais lenta nas fases posteriores.

Figura 1: Quantidade de água e de sacarose obtida nas condições experimentais 40 °Brix e 30 °C (A), 40 °Brix e 50 °C (B) ajustados ao modelo de Peleg.

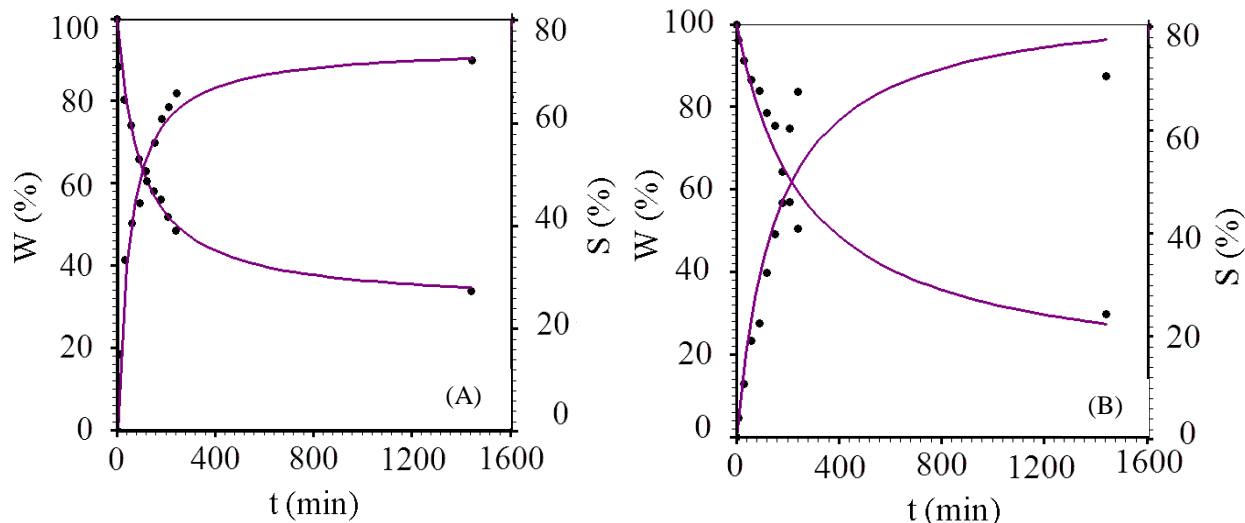
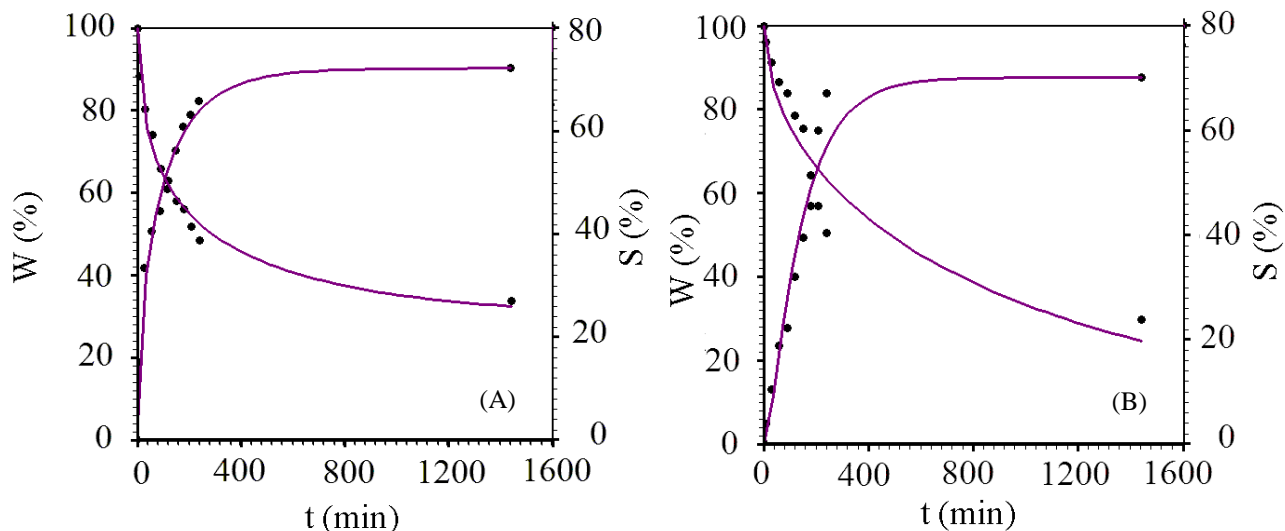
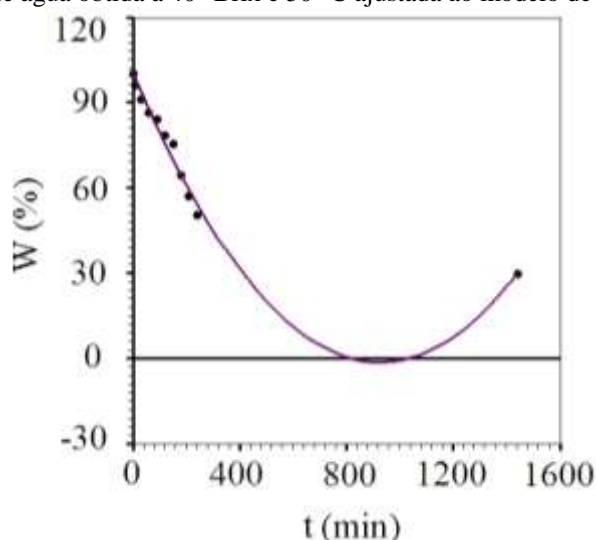


Figura 2: Quantidade de água e de sacarose obtida nas condições experimentais 40 °Brix e 30 °C (A), 40 °Brix e 50 °C (B) ajustados ao modelo de Silva et alli.



A temperatura não influenciou o ganho de sacarose. Para as duas condições, a incorporação de sacarose ocorreu com maior velocidade nas horas iniciais, após as 4 horas de desidratação a difusão do soluto da solução para o fruto é diminuída, ocorrendo um ganho de sacarose pouco significativo quando relacionado ao tempo necessário até o equilíbrio. Nestas condições experimentais, a temperatura não influenciou o ganho de solutos. A quantidade de sacarose presente nos frutos nas duas condições experimentais após o final do processo foi praticamente a mesma.

Figura 3: Quantidade de água obtida à 40 °Brix e 50 °C ajustada ao modelo de Wang e Singh.



Resultado semelhante para o encontrado no ganho de sacarose foram encontrados por Porto et al. (2014) ao constatarem que a temperatura não exerceu influência na incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica de uva crimson *Seedless*.

Fernandes et al. (2006) em seus estudos da desidratação osmótica de banana, observaram que a transferência de sacarose foi influenciada até o período de duas horas; após esse período o ganho de sacarose pelo fruto foi interrompido embora a remoção de água tenha continuado.

Os resultados desta pesquisa diferem do encontrado por Sanjinez-Argadoña et al. (2004) no estudo da influência das variáveis do processo de desidratação osmótica de goiabas; os autores revelam que a temperatura influenciou tanto na perda de água quanto no ganho de sólidos do fruto. Esta divergência pode estar relacionada ao tipo de corte adotado nesta pesquisa, o que limita a área de contato para absorção de soluto, limitando a influência da temperatura sobre o ganho de sacarose durante o processo.

Os valores de equilíbrio encontrados para a quantidade de água foram 33,8% e 29,7% e quantidade de sacarose 72,0% e 69,9% para as condições experimentais de 30 e 50 °C respectivamente.

4. Conclusão

O aumento da temperatura de osmose influenciou significativamente a quantidade de água presente nas fatias de goiaba durante todo o processo de desidratação, porém não influenciou na quantidade de sacarose final do produto.

O modelo de Peleg e Silva et alli foram os que melhor representaram o processo de transferência de massa durante a desidratação osmótica de fatias de goiaba.

Referências

- ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 696-701, 2008.
- DIAMANTE, L. M.; IHNS R, SAVAGE, G.P.; VANHANEN, L. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 9, p. 1956–1962, 2010.
- DIONELLO, R.G.; BERBERT, P.A.; MOLINA, M.A.B.; VIANA, A.P.; CARLESSO, V.O.; QUEIROZ, V.A.V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.4, p.787-792, 2007.
- DUARTE, M. E. M.; UGULINO, S. M. P.; MATA, M. E. R. M. C.; GOUVEIA, D. S.; QUEIROZ, A. J. M. Desidratação osmótica de fatias de jaca. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 3, p. 478-483, 2012.
- FERNANDES, F. A. N. et al. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 188-193, 2006.
- FERRARI, C. C.; RODRIGUES, L. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Cinética de Transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 564-570, 2005.
- KALETA A.; GÓRNICKI. K. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n.5, p.:891–898, 2010.
- MAEDA, M., LORETO, R. L. Desidratação osmótica de bananas. *Semina: Ciências Agrárias*, v.19. n.1. p.60-67, mar. 1998.
- MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P. Z. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **LWT - Food Science and Technology**, v.44 p.82-91, 2011.
- MERCALI, G. D.; KECHINSKI, C. P.; COELHO, J. A.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Estudo da transferência de massa durante a desidratação osmótica de mirtilo. **Brasilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 2, p. 91-97, 2010a.
- MERCALI, G. D.; TESSARO, I. C.; NORENA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, shum.). **International Journal of Food Science and Technology**, v.45, n.11, p.2281–2289, 2010b.
- PORTO, M. A. L.; GUERRA, N. B.; VASCONCELOS, M. A. S.; SIQUEIRA, A. M. O.; ANDRADE, S. A. C. Otimização da desidratação osmótica de uva Crimson *Seedless*. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 2, p. 249-256, 2014.
- QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R. Mecanismos de transferência de massa na desidratação osmótica de goiaba em soluções de sacarose, sucralose e açúcar invertido. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 715-725, 2010.
- SANJINEZ-ARGADOÑA, E. J.; MENEGALLI, F. C.; HUBINGER, M. D. Desidratação osmótica de goiabas: influência das variáveis do processo na cinética de transferência de massa. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 6, n. 2, p. 203-216, 2004.
- SILVA, C. M. D. P. S. Ferramentas analíticas e numéricas para a descrição da secagem de sólidos na forma de cilindros e de elipsóides. 2012a, 293 p Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) -

Programa de pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande.

SILVA, L. C. A. Efeito da desidratação osmótica assistida por ultrassom no processo de secagem convectiva de abacaxi perola. 2012b. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; SOUSA, J. A. R.; FARIAS, V. S. O. Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicer arietinum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 267-273, 2013.

YADAV, A. K., SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2012.

Recebido: 23/04/2014

Aprovado: 03/12/2014