

ESTUDO DA SECAGEM DE PEQUI (*Caryocar brasiliensis* Camb.) PRECEDIDA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

J.L.G. CORRÊA¹, F.V. FIGUEIRA¹, L.F. OLIVEIRA² e FONSECA, B.E.¹

¹Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos

²Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Centro Oeste Dona Lindu

E-mail para contato: jefferson@dca.ufla.br

RESUMO - O pequi é uma fruta típica do cerrado brasileiro de grande importância nutricional, gastronômica e econômica para a região. Sua utilização não é generalizada em território nacional devido, sobretudo, à sua alta perecibilidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a secagem da polpa do pequi por dois métodos: secagem convectiva natural e secagem a vácuo, precedidas ou não de desidratação osmótica (DO) em solução de sacarose (40 °Brix, 25 °C e tempo de imersão de 120 min). As amostras frescas e osmoticamente desidratadas apresentaram teor de água inicial de 51,49 % e 31,86% (b.u.), respectivamente e foram secas até 13% (b.u.). Os experimentos de secagens foram realizados a 40 e 60°C com a retirada de amostras em tempos pré-determinados para a obtenção da cinética de secagem. O modelo difusivo de Fick foi testado para o ajuste da cinética de secagem. Tanto a utilização da DO quanto o aumento da temperatura aumentaram a difusividade de água no fruto, com consequente diminuição do tempo final de secagem. A utilização de vácuo não alterou de forma significativa o tempo do processo. O modelo de Fick conseguiu prever as tendências observadas experimentalmente.

1. INTRODUÇÃO

O pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) é uma árvore típica do cerrado brasileiro. O fruto desta árvore, o pequi, é economicamente explorado pela população regional que o costuma consumir em sua forma fresca, bem como o utiliza para preparo de pratos tradicionais, sucos, sorvetes, licores e geleias (Maia *et al.*, 2008).

Além da importância regional, o pequi é também rico em antioxidantes naturais como compostos fenólicos e carotenoides. O fruto pode até mesmo ser utilizado como substituto de antioxidantes sintéticos, no enriquecimento funcional ou na suplementação alimentar. Apesar destes aspectos positivos, a alta perecibilidade do fruto torna inviável sua comercialização *in natura* em regiões distantes das áreas produtoras (Melo Jr *et al.*, 2012; Machado *et al.*, 2013). O processamento do pequi pode agregar valor ao produto brasileiro, gerar renda à população local e possibilitar a difusão de seu consumo (Machado *et al.*, 2013; Geöcze *et al.*, 2013).

A secagem, operação de transferência simultânea de calor e massa promove uma diminuição da atividade de água do alimento, sendo indicada como método de conservação de alimentos (de Oliveira *et al.*, 2011; Borges *et al.*, 2011; Fante *et al.*, 2011; Isquierdo *et al.*, 2013).

Dentre os métodos de secagem, o mais utilizado é a secagem convectiva, devido à facilidade de implementação com um nível tecnológico mais acessível (Jangam, 2011). Porém, a exposição prolongada de alimentos a altas temperaturas em uma secagem convectiva costuma provocar degradação de nutrientes e alteração de propriedades sensoriais como cor e textura (Cárcel *et al.*,

2012). Métodos de secagem menos agressivos, como a secagem a vácuo, apresentam menores alterações no produto alimentício, apesar de requerer um capital de investimento mais elevado (Aghbashlo *et al.*, 2013; Orikasa *et al.*, 2014).

Além do uso de métodos mais brandos de secagem, o uso de pré-tratamentos, como a desidratação osmótica (DO), pode proporcionar maior conservação da qualidade do produto seco (Fernandes *et al.*, 2008; Fernandes e Rodrigues, 2008; Corrêa *et al.*, 2011) A DO conduz a alimentos de atividade de água intermediária, sendo assim utilizada com a função de pré-tratamento a outros métodos de conservação, como a secagem (Falade e Igbeka, 2007; Fernandes *et al.*, 2008; Fernandes e Rodrigues, 2008; Corrêa *et al.*, 2011).

O objetivo deste trabalho foi o estudo da secagem de pequi por diferentes métodos (secagem convectiva e a vácuo), precedido ou não de desidratação osmótica, com avaliação da cinética de secagem pelo modelo difusional de Fick.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Os frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) foram adquiridos congelados, maduros e na forma de caroço, ou seja, sem o exocarpo e o mesocarpo externo. Os mesmos eram provenientes do cerrado norte mineiro colhidos na safra de dezembro de 2012. Os frutos apresentavam teor de água inicial de 51,49 % (b.u.) e atividade de água 0,986.

Após descongelamento, os frutos foram lavados em água corrente e despulpados com auxílio de faca de aço inoxidável. Foram obtidas amostras da polpa no formato de fatias de espessura de aproximadamente 3 milímetros.

A determinação da atividade de água ocorreu à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ com o uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (DecagonDevices Inc., Pullman, WA, EUA).

2.2. Desidratação Osmótica (DO)

A desidratação osmótica foi testada como pre-tratamento. As condições de DO foram estabelecidas com base em trabalhos semelhantes (Corrêa *et al.*, 2010; Viana *et al.*, 2014; Perussello *et al.*, 2014) com outros frutos. Não foram encontrados trabalhos de DO de pequi.

As amostras foram inseridas em uma solução de sacarose comercial à concentração de 40 °Brix e temperatura controlada em 25°C . A relação de massa entre o alimento e a solução foi mantida constante em 1/50 para que a diluição da solução durante a desidratação osmótica fosse desprezível (Viana *et al.*, 2014). A DO foi mantida por 120 min. Após este período, as amostras foram retiradas da solução e imersas em um banho de gelo e água destilada por aproximadamente 10 s para cessar a desidratação e retirar o excesso de solução presente na superfície. As amostras tiveram sua umidade superficial seca cuidadosamente com papel absorvente e pesadas.

2.3 Secagem

Os experimentos de secagem de amostras *in natura* e frescas e desidratadas osmoticamente foram realizados a 40 e 60°C em estufa de convecção natural e estufa à vácuo Nos experimentos em que se utilizou vácuo, a pressão foi de 600 mmHg. Observa-se que as condições ambientais do

período em que foram realizados os experimentos foram temperatura de bulbo seco na faixa de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa no intervalo de $55 \pm 5\%$.

As temperaturas utilizadas neste trabalho são recorrentes em publicações de secagem convectiva (Zlatanović *et al.*, 2013; Aghbashlo *et al.* 2013; Argyropoulos e Müller, 2014) e de secagem à vácuo (Orikasa *et al.*, 2014; Aghbashlo *et al.* 2013). São temperaturas que não imprimem degradação significativa dos nutrientes de alimentos, bem como interferência na cor e textura devido à ação do calor.

2.4 Cinética de secagem

O teor de água foi monitorado ao longo do tempo no processo com retirada de amostras em tempos pré determinados até que se atingisse teor de água de 13 %. Para todas as condições testadas os valores de razão de teor de água foram calculados, Equação 1, e ajustados para descrever a cinética de secagem da polpa do pequi, e gráficos de razão de teor de água em função do tempo foram gerados.

$$M_r = \frac{X_t - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (1)$$

onde M_r = razão do teor de água, adimensional, X_t = teor de água no tempo (b. u.) [kg kg^{-1}], X_i = teor de água para $t = 0$ (b. u.) [kg kg^{-1}], X_{eq} = umidade de equilíbrio (b. u.) [kg kg^{-1}], e t = tempo de secagem [min].

O modelo fenomenológico foi o baseado na equação de Fick (Crank, 1975), Equação 2.

$$\frac{\partial X(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{eff} \frac{\partial X(t)}{\partial z} \right) \quad (2)$$

onde M_r = razão do teor de água, adimensional, t = tempo de secagem [min], k = constante de secagem [h^{-1}], a = coeficiente do modelo, onde $X(t)$ é o teor de água no instante t , D_{eff} é a difusividade efetiva e z é uma coordenada direcional genérica.

Para ajuste do modelo difusional de Fick (Equação 2) a amostra sólida foi considerada como tendo a forma de uma placa de espessura $2L$. Considerou-se uma condição de teor de água inicial uniforme, $X_{(z,0)} = X_0$.

As condições de contorno são de simetria de concentração, $\left. \frac{\partial X(t)}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$, e de equilíbrio do teor de água na superfície do material, $X_{(L,t)} = X_{eq}$. Com consideração às condições iniciais de contorno, a equação unidirecional de Fick torna-se a Equação 3:

$$M_r = \left(\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left(-(2i+1)^2 \pi^2 D_{eff} \frac{t}{4L^2} \right) \right) \quad (3)$$

onde M_r = razão do teor de água, adimensional, D_{eff} = difusividade efetiva da água [m^2s^{-1}], i = número de termos da série, L = comprimento característico (metade da espessura da amostra) [m], t = tempo de secagem [s].

Para o ajuste pelo modelo de Fick, foram realizadas análises de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, utilizando-se o *software* STATISTICA 8.0 (StatSoft, Tulsa, USA).

Obteve-se os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R^2) (Equação 4) e desvio padrão da estimativa (SE) (Equação 5):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{n}} \quad (5)$$

Onde R^2 = coeficiente de determinação (decimal), SE = desvio padrão da estimativa (decimal), Y = valor observado experimentalmente, \hat{Y} = valor calculado pelo modelo, \bar{Y} = média de todos os valores observados experimentalmente, n = número de observações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética de secagem

A Figura 1 apresenta as curvas experimentais e ajustadas pelo modelo de Fick de cinética de secagem de pequi *in natura*, tanto em secagem por convecção natural como por secagem à vácuo.

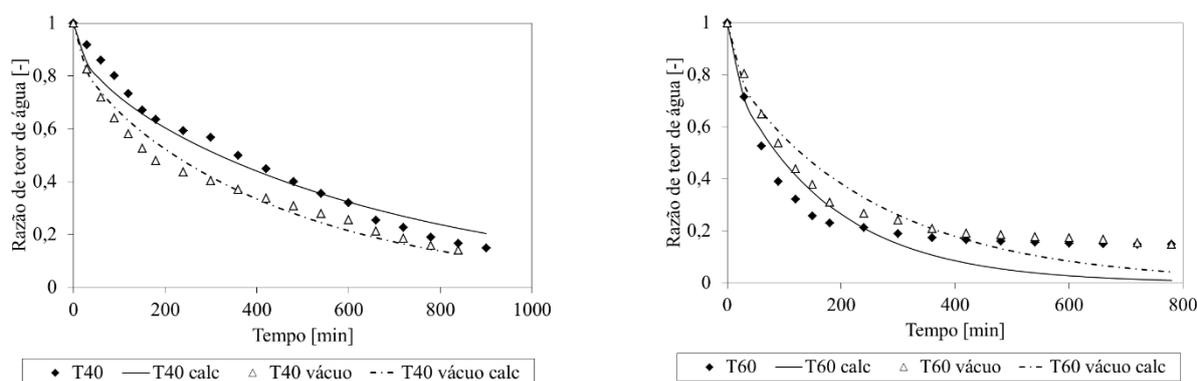


Figura 1 - Cinética de secagem de pedaços de polpa de pequi a 40 e 60 °C. calc: Valores calculados (modelo de Fick).

Ao se comparar os tempos de secagem obtidos na Figura 1 e também apresentados na Tabela 1, observa-se que houve redução no tempo de secagem e aumento da difusividade ao se trabalhar com a maior temperatura. Em processos de secagem convectiva, o aumento da temperatura leva a um aumento das taxas de transferência de energia e de massa e o tempo de secagem é, geralmente, menor (Borges *et al.*, 2010; Borges *et al.*, 2011).

Na secagem a vácuo, devido à redução do ponto de ebulição da água pela redução da pressão ambiente, há a tendência de se obter menor tempo de secagem com relação ao processo sem uso de vácuo. Porém, pela observação da Figura 1, tanto para a temperatura de 40°C quanto para a temperatura de 60°C os valores de razão de teor de água, fixado um determinado tempo, da secagem convectiva natural e da secagem a vácuo são bastante próximos. Apesar de pequena, foi observada diminuição do tempo de secagem quando se trabalhou à 40°C. O mesmo não foi observado à 60 °C. Considera-se que a redução da resistência de secagem é mais significativo no processo de secagem quando se trabalha à 40 °C. Em temperaturas mais elevadas, a diminuição de resistência à secagem pela energia fornecida ao alimento pelo ar circundante é bem mais relevante que o eventual uso de vácuo. De maneira geral, com relação a este trabalho, considera-se que,

dada a proximidade dos valores de tempo de secagem convectiva natural e da secagem a vácuo para ambas as temperaturas, a utilização do vácuo não produziu influência relevante em termos de redução do tempo final da desidratação.

A Figura 2 apresentam as curvas de cinética de secagem de pequi obtidas ao se utilizar o pré-tratamento osmótico.

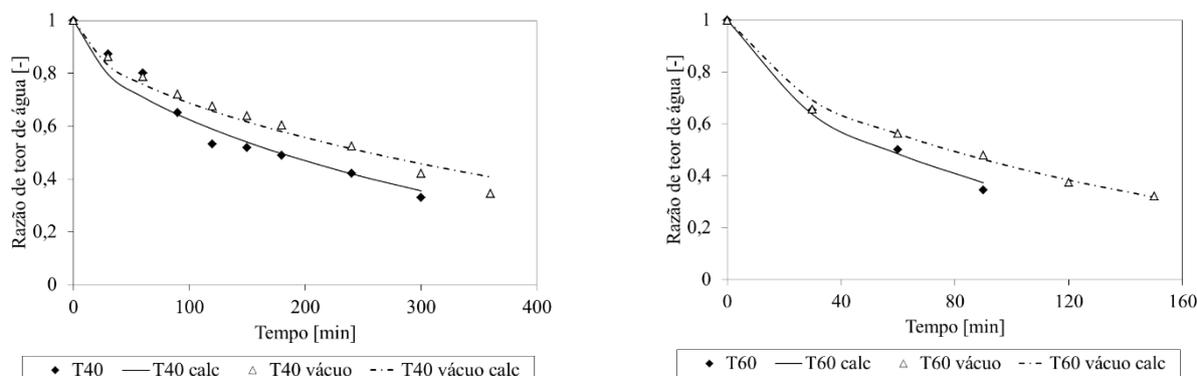


Figura 2 - Cinética de secagem de pedaços de polpa de pequi após DO a 40 e 60 °C calc: Valores calculados (modelo de Fick).

Tabela 1 - Tempos finais de secagem e dados de ajuste do modelo de Fick

Secagem	Temperatura 40°C, sem DO			
	Tempo (min)	D_{eff} (m^2s^{-1})*	R ²	SE
Convectiva	900	$2,34 \times 10^{-11}$	0,9885	0,0490
A vácuo	840	$3,38 \times 10^{-11}$	0,9860	0,0372
	Temperatura 40°C, com DO			
Convectiva	300	$4,19 \times 10^{-11}$	0,9636	0,0244
A vácuo	360	$2,92 \times 10^{-11}$	0,9835	0,0160
	Temperatura 60°C, sem DO			
Convectiva	780	$8,56 \times 10^{-11}$	0,9238	0,1036
A vácuo	780	$5,75 \times 10^{-11}$	0,9456	0,0773
	Temperatura 60°C, com DO			
Convectiva	90	$1,31 \times 10^{-10}$	0,9947	0,0125
A vácuo	150	$9,52 \times 10^{-11}$	0,9953	0,0090

* DO significa desidratação osmótica.

De maneira geral, a DO conduziu a um aumento considerável da difusividade com redução também considerável do tempo de secagem (Figuras 1 e 2 e Tabela 1). Ao se considerar que a exposição à temperatura por tempos prolongados levam a degradação de nutrientes e de cor, o tratamento osmótico deve favorecer consideravelmente estas propriedades. O pré-tratamento osmótico foi responsável pela redução do teor de água de 51,49 % para 31,86 % (b.u.). Apesar das amostras iniciarem os experimentos de secagem com teor de água reduzido, pode-se observar que,

em geral, o tratamento osmótico levou a aumento da difusividade da água o que confirma que a taxa de secagem é maior devido ao pré-tratamento, independentemente da umidade inicial. A retirada de água e ingresso de sólidos na estrutura do material em uma DO traz como consequência danos na estrutura do alimento que promovem a retirada de água em uma posterior operação de secagem (Corrêa *et al.*, 2011; Seguí *et al.*, 2012).

Com relação à temperatura, observa-se (Tabela 1, Figura 2) que houve redução no tempo de secagem e aumento da difusividade ao se trabalhar com a maior temperatura. Como mencionado acima, o aumento da temperatura leva a um aumento das taxas de transferência de energia e de massa. Observa-se que o uso de desidratação osmótica aliado ao uso de maiores temperaturas aumentou a diferença entre os tempos de secagem com relação aos experimentos realizados sem DO (Figura1).

Com o uso de DO, a secagem à vácuo tanto à 40°C quanto para à 60°C, foi realizada com tempo de secagem e redução da difusividade com relação aos experimentos de secagem convectiva. Em trabalho semelhante de secagem de cubos de maçã e batata, (Rahnan e Mujumdar, 2007) observaram que a os solutos adicionais da DO no interior do alimento interagem com a água e dificultam a retirada da mesma em uma secagem à vácuo. Apesar deste fato, a DO conduziu à redução do tempo de secagem com relação aos experimentos sem DO.

Na Tabela 1 além dos tempos finais de cada tratamento de secagem os dados de ajuste do modelo. Embora o modelo de Fick não tenha ajustado suficientemente bem os dados experimentais, o modelo conseguiu predizer as diferenças experimentais observadas nas diversas condições estudadas.

4. CONCLUSÃO

As cinéticas de secagem obtidas neste trabalho e as difusividades obtidas pelo modelo de Fick expuseram que, tanto a secagem convectiva natural quanto a secagem a vácuo possuem taxas de secagem semelhantes para a polpa de pequi *in natura*.

A temperatura influenciou de maneira inversa o tempo de secagem, sendo que quanto maior a primeira, menor é o segundo.

A utilização de pré-tratamento osmótico a 40 °Brix de sacarose reduziu consideravelmente o tempo de secagem, principalmente quando combinado a temperaturas mais altas.

A modelagem matemática da secagem pelo modelo de Fick apesar de não ajustar adequadamente os dados experimentais, serviu para quantificar as tendências observadas experimentalmente.

5. REFERÊNCIAS

AGHBASHLO, M.; MOBILI, H.; RAFIEE, S.; MADADLOU, A. A review on exergy analysis of drying processes and systems. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, v. 22, p. 1-22, 2013.

ARGYROPOULOS, D.; MÜLLER, J. Changes of essential oil content and composition during convective drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Ind. Crop Prod.*, v. 52, p. 118-124, 2014.

BORGES, S. V.; MANCINI, M. C.; CORRÊA, J. L. G.; LEITE, J. B. Drying kinetics of bananas by natural convection: Influence of temperature, shape, blanching and cultivar. *Cienc. Agrot.*, v. 35, p. 368–376, 2011.

BORGES, S. V.; MANCINI, C.; LUIZ, J.; CORR, G.; LEITE, J. Drying of banana prata and banana d'água by forced convection. *Cie. Tecnol. de Alimentos*, v. 30, p. 605–612, 2010.

- CÁRCEL, J. A.; BENEDITO, J.; & MULET, A. Food process innovation through new technologies : Use of ultrasound. *J. Food Eng.*, v. 110, p. 200–207, 2012.
- CORRÊA, J. L. G. .; DEV, S. R. S.; GARIEPY, Y. .; RAGHAVAN, G. S. V. Drying of Pineapple by Microwave-Vacuum with Osmotic Pretreatment. *Dry. Technol.*, v. 29, p. 1556–1561, 2011.
- CORRÊA, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *J. Food Eng.*, v. 96, p. 498–504, 2010.
- CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*. O. Carendon press, Ed. 2nd ed., 1975.
- DE OLIVEIRA, L. F.; CORREA, J. L. G.; TOSATO, P. G.; BORGES, S. V.; ALVES, J. G. L. F.; FONSECA, B. E. Sugarcane Bagasse Drying in a Cyclone: Influence of Device Geometry and Operational Parameters. *Dry. Technol.*, v. 29, p. 946–952, 2011.
- FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. *Food Rev. Int.*, v. 23, p. 373–405, 2007.
- FANTE, C.; CORRÊA, J.; NATIVIDADE, M.; LIMA, J.; LIMA, L. Drying of plums (*Prunus* sp, c.v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v. 46, p. 1080–1085, 2011.
- FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT - Food Sci. Tech.*, v. 41, p. 604–610, 2008.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits. *Dry. Technol.*, v. 26, p. 1509–1516, 2008.
- GEÓCZE, K. C.; BARBOSA, L. C. A.; FIDÊNCIO, P. H., SILVÉRIO, F. O.; LIMA, C. F.; BARBOSA, M. C. A.; ISMAIL, F. M. D. Essential oils from pequi fruits from the Brazilian Cerrado ecosystem. *Food Res. Int.*, v. 54, p. 1-8, 2013.
- ISQUIERDO, E. P.; BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T. DE; CORRÊA, J.; OLIVEIRA, P. D. DE; ALVES, G. E. Drying kinetics and quality of natural coffee. *Transactions of the ASABE*, v. 56, p. 1003–1010, 2013.
- JANGAM, S. V. An Overview of Recent Developments and Some R&D Challenges Related to Drying of Foods. *Dry. Technol.*, v. 29, p. 1343–1357, 2011.
- MACHADO, M. T. C.; MELLO, B. C. B. S.; HUBINGER, M. D. Study of alcoholic and aqueous extraction of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) natural antioxidants and extracts concentration by nanofiltration. *J. Food Eng.*, v. 117, p. 450-457, 2013.
- MAIA, J. G. S.; ANDRADE, E. H. A.; SILVA, M. H. L. Aroma volatiles of pequi fruit (*Caryocar brasiliense* Camb.). *J. Food Comp. Analysis*, v. 21, p. 574-576, 2008.
- MELO JUNIOR, A. F.; CARVALHO, D.; VIEIRA, F. A.; OLIVEIRA, D. A. Spatial genetic structure in natural populations of *Caryocar brasiliense* Camb. (*Caryocaraceae*) in the North of Minas Gerais, Brazil. *Biochem. Syst. and Ecol.*, v. 43, p. 205-209, 2012.
- ORIKASA, T.; KOIDE, S.; OKAMOTO, S.; IMAIZUMI, T.; MURAMATSU, Y.; TAKEDA, J.; SHIINA, T.; TAGAWA, A. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *J. of Food Eng.*, v. 125, p. 51-58, 2014.
- PERUSSELLO, C. A.; KUMAR, C.; DE CASTILHOS, F.; KARIM, M. A. Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Appl. Therm. Eng.*, v. 63, p. 23-32, 2014.

RAHNAN, S. M. A.; MUJUMDAR, A. S. Effect of osmotic treatment with concentrated sugar and salt solutions on kinetics and color in vacuum contact drying. *J. Food Process. Pres.*, v. 31, p. 671–687, 2007.

SEGUÍ, L.; FITO, P. J.; FITO, P. Understanding osmotic dehydration of tissue structured foods by means of a cellular approach. *J. Food Eng.*, v. 110, p. 240–247, 2012.

VIANA, A. D., CORRÊA, J. L. G., & JUSTUS, A. Optimization of the pulsed vacuum osmotic dehydration of cladodes of fodder palm. *Int. J. of Food Sci. Tech.*, v. 49, p. 726–732, 2014.

ZLATANOVIĆ, I.; KOMATINA, M.; ANTONIJEVIĆ, D. Low-temperature convective drying of apple cubes. *Appl. Therm. Eng.*, v. 53, p. 114-123, 2013.