

## **CINÉTICA DE SECAGEM DE OKARA EM DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**

L. A. OLIVEIRA<sup>1</sup>, A. U. SOUZA<sup>1</sup>, F. J. LOPES<sup>1</sup>, J. L. G CORRÊA<sup>1\*</sup>, M. PAULO FILHO<sup>2</sup>, C.A. BORG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos

<sup>2</sup> FIEC - Fundação Indaiatubana de Educação e Cultura,

\*e-mail: jefferson@dca.ufla.br

### **RESUMO**

O okara é um subproduto do processamento do leite de soja e do tofu que é frequentemente descartado ou utilizado na elaboração de rações animais. Por ser rico em fibras e proteínas, ele tem grande potencial para uso na indústria de alimentos. O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem do okara bem com o efeito da adição de etanol 95% na superfície da camada das amostras. Os experimentos foram realizados em estufa de convecção natural e estufa à vácuo nas temperaturas de 80 e 100°C. Os modelos de Page, Henderson e Pabis, Logarítmica e Midilli et al. foram testado para avaliar o ajuste da cinética de secagem. O tratamento com adição de etanol e vácuo levou ao menor tempo de secagem. Os resultados demonstraram que a secagem à 100°C com adição de etanol e com uso de vácuo levou ao menor tempo de secagem. Dentre os modelos citados, o modelo de Midilli et al. apresentou bom ajuste aos dados experimentais.

### **1 INTRODUÇÃO**

O okara é um subproduto obtido a partir do processamento do leite de soja e do tofu, podendo ser empregado como ingrediente em diversas formulações alimentícias devido seu valor nutricional elevado (WACHIRAPHANSKUL; DEVAHASTIN, 2007). O teor de umidade, proteína e de gordura é aproximadamente de 75-80%, 29% e 11%, respectivamente (TARUNA; JINDAL, 2002; WACHIRAPHANSKUL; DEVAHASTIN, 2007).

A taxa de deterioração do okara pode ocorrer rapidamente devido seu elevado valor biológico. Além disso, apresenta fatores

antinutricionais que dificultam sua utilização na dieta humana (WACHIRAPHANSKUL; DEVAHASTIN, 2007). O processo de secagem neste subproduto é válido para aumentar sua vida útil, além de eliminar os fatores antinutricionais presentes (PERUSSELLO; MARIANI; AMARANTE, 2014).

A secagem convectiva é a forma de secagem mais comum e mais facilmente implantada, e se baseia no contato de um produto úmido com ar aquecido (NASCIMENTO; BIAGI; OLIVEIRA, 2015). Este tipo de secagem, muitas vezes, está associado à perda de qualidade de um produto alimentício, pelo longo período de contato do produto com o ar a alta temperatura

(CHABBOUH et al., 2011). Outras formas de secagem podem levar a diminuição deste tempo de secagem e melhorar o processo. Dentre estas formas, pode-se citar a redução da pressão ambiente, na secagem à vácuo (LEE; KIM, 2009). Outra alternativa é a adição de etanol a atmosfera ou à superfície do produto (CORRÊA et al., 2012).

Apesar da evidente necessidade de se buscar um processo de conservação de okara, poucos são os trabalhos sobre a secagem deste produto.

O objetivo deste trabalho foi estudar a secagem do okara por dois diferentes métodos: secagem convectiva e secagem a vácuo. A influência da adição de etanol também foi testada na cinética e no tempo final de secagem das amostras de okara.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

O okara foi obtido no processamento de soja de uma fábrica localizada em Pouso Alegre - MG. O material foi congelado a  $-10 \pm 2^\circ\text{C}$  para evitar eventual fermentação.

### 2.2 Preparo das Amostras

As amostras de okara foram colocadas em placas de petri, diâmetro médio de 10 cm e altura média de 2cm, apresentando massa média de  $10,01 \pm 0,04$  g.

As amostras de okara foram divididas em dois conjuntos. No primeiro, foi gotejado  $0,13 \text{ mL/cm}^2$  de etanol 95% sobre a superfície e o outro não ocorreu adição etanol (BRAGA E SILVA, 2010; CORRÊA ET AL. 2012).

### 2.3 Secagem

A secagem das amostras foi realizada em estufa (Solab SL 104/40, Piracicaba, Brasil) às temperaturas de 80 e  $100^\circ\text{C}$  até teor de umidade final de 2 kg de água/100 kg amostra. Os métodos de secagem utilizados

foram secagem por convecção natural e secagem a vácuo (pressão de vácuo de 10 kPa), conforme a tabela 1.

**Tabela 1** – Condições experimentais

Experimentos	T [ $^\circ\text{C}$ ]	Vácuo	Etanol
1	100	S	S
2		C	S
3		S	C
4		C	C
5	80	S	S
6		C	S
7		S	C
8		C	C

Onde S significa secagem sem adição de vácuo e/ou etanol e C, secagem com adição de vácuo e/ou etanol.

### 2.4 Análises

#### 2.4.1 Teor de Umidade

O teor de umidade inicial das amostras frescas e secas foi determinado em estufa a  $70^\circ\text{C}$  até peso constante, segundo metodologia AOAC (2007).

#### 2.4.2 Atividade de água ( $a_w$ )

As amostras foram avaliadas quanto a  $a_w$  utilizando-se o equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA) à temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ , em triplicata.

### 2.5 Cinética de secagem

A cinética de secagem foi matematicamente modelada conforme os modelos apresentados na Tabela 2, Equação 1 a 4.

**Tabela 2** - Modelos matemáticos usados para ajustes da cinética de secagem

Modelos	Equação	Referência	
Page	$M_r = e^{-kt^n}$	(PAGE, 1949)	(1)
Henderson e Pabis	$M_r = ae^{(-kt)}$	(HENDERSON; PABIS, 1961)	(2)
Logaritmica	$M_r = ae^{(-kt)} + c$	(DOYMAZ, 2007)	(3)
Midilli	$M_r = ae^{(kt^n)} + bt$	(MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002)	(4)

a, b, c, k e n são parâmetros de ajuste.

A umidade (MR) foi definida como:

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (5)$$

onde  $M_t$  é o teor de umidade do yacon em cada momento,  $M_0$  teor de umidade inicial do yacon e  $M_e$  a umidade de equilíbrio.

Para avaliar o ajuste dos modelos, foi usado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Equação 6), raiz do erro quadrático médio (RMSE) (Equação 7).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{pred,i} - \overline{MR})^2}{\sum_{i=1}^n (MR_{pred,i} - \overline{MR})^2} \quad (6)$$

$$RSME = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pred,i})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Onde  $MR_{exp,i}$  e  $MR_{pred,i}$  são respectivamente os valores experimentais e previstos da razão de umidade para a observação i, N é o número de observações e n, o número de parâmetros no modelo.

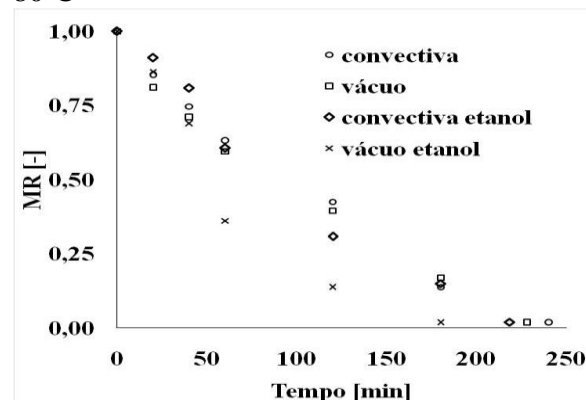
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras *in natura* de okara apresentaram teor de umidade de  $82,0 \pm 2,0$  kg de água/100 kg de amostra e atividade de água  $0,996 \pm 0,003$ . As amostras de okara com

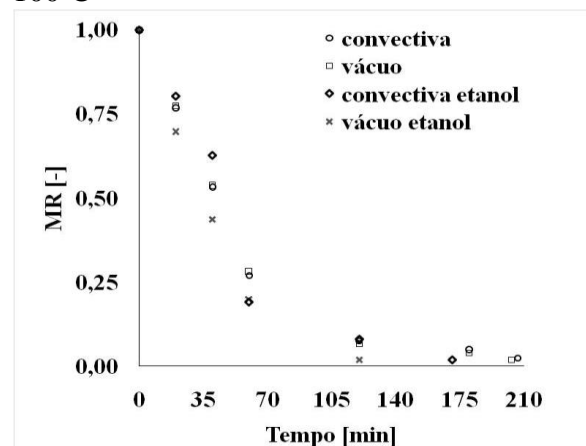
teor de umidade de 2 kg de água/100 kg apresentaram  $a_w$  de  $0,435 \pm 0,028$ .

As Figuras 1 e 2 apresentam as cinéticas de secagem do okara para os diferentes tratamentos, em função da razão de umidade (MR) com o tempo.

**Figura 1** - Cinética de secagem de okara a 80°C



**Figura 2** - Cinética de secagem de okara a 100°C



Observa-se (Figuras 1 e 2 e tabela 3) que o aumento da temperatura provocou o aumento da taxa de secagem, consequentemente, diminuição do tempo de secagem. A redução do tempo de secagem foi de até 50%. Estes resultados corroboram com WACHIRAPHANSAKUL; DEVAHASTIN, (2007) na secagem do okara; AZOUBEL et al. (2010) banana; EL-AOUAR; AZOUBEL; MURR, (2003) mamão papaia; GOYAL et al. (2007) ameixa; KALETA et al. (2013) e maçã.

**Tabela 3** – Tempo de secagem convectiva do okara

Experimentos	Tempo de secagem [horas]
1	3,44±0,29
2	3,44±0,40
3	2,85±0,41
4	2,05±0,05
5	4,00±0,20
6	3,80±0,35
7	3,64±0,32
8	3,00±0,20

O tratamento que utilizou vácuo e etanol combinado apresentou menor tempo de secagem quando comprado aos demais tratamentos. Segundo CORRÊA et al. (2012), que avaliaram a influência de etanol sobre a secagem por convecção de bananas, observaram que a adição de etanol aumentou a evaporação de água acarretando em um menor tempo de secagem. O etanol interage com a umidade do material e a mistura

resultante apresenta pressão de vapor maior que a da umidade do produto sem adição de etanol, com isto tende a evaporar mais facilmente (SANTOS; SILVA, 2009)

Por outro lado, o uso de pressões reduzidas possibilitam a diminuição do tempo de secagem em função da redução do diferencial de pressão ambiente e a pressão de vapor de umidade (LEE; KIM, 2009).

### 3.3 Modelagem da cinética

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados dos parâmetros de ajustes dos modelos aos dados experimentais bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RSME).

Observa-se que todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais de secagem, com  $R^2 > 0,95$  podendo ser utilizados na predição da cinética de secagem de okara. Dentre os modelos, o de Midilli et al. foi considerado o melhor para estimar as curvas de cinética de secagem de okara apresentando os menores valores RSME ( $< 5,05 \times 10^{-7}$ ) e os maiores  $R^2$  ( $> 0,98$ ). DARVISHI et al. (2014) e CORRÊA et al., (2010) também verificaram coeficientes de determinação superiores a  $R^2$  ( $> 0,98$ ) para o modelo de Midilli et al.

Observa-se que parâmetro k dos modelos de Henderson e Pabis e Logarítmica aumentaram com o aumento da temperatura. Estes resultados estão de acordo com KALETA et al. (2013) na secagem convectiva de maçã.

**Tabela 4** -Parâmetros de ajuste dos modelos a cinética de secagem de okara, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e raiz do erro quadrático médio (RSME).

Modelo	Temperatura [°C]	Experimento	K x10 <sup>5</sup>	n	a	b x10 <sup>5</sup>	C x10 <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	RSME x 10 <sup>4</sup>
Page	100	1	3,1	1,2892	-	-	-	99,611	4,9
		2	4,1	1,2612	-	-	-	99,789	2,6
		3	0,4	1,5759	-	-	-	99,122	11,4
		4	6,4	1,2477	-	-	-	99,992	0,096
	80	5	0,9	1,3037	-	-	-	98,324	18,7

		6	20,4	0,9499	-	-	-	95,329	52,5
		7	7,6	1,1576	-	-	-	98,913	12,9
		8	2,0	1,2713	-	-	-	98,87	12,9
Henderson e Pabis	100	1	31,7		1,0286	-	-	98,851	14,3
		2	33,1		1,0281	-	-	99,191	10
		3	37,5		1,0423	-	-	97,551	38,0
		4	44,6		1,0179	-	-	99,378	7,6
	80	5	20,8		1,0456	-	-	97,662	26,8
		6	14,2		1,0440	-	-	96,681	43,5
		7	28,2		1,0243	-	-	98,637	16,2
		8	20,8		1,0456	-	-	97,662	26,8
Logarítmica	100	1	30,1		1,0498	-	-2,48	98,927	13,4
		2	32,1		1,0398	-	-1,38	99,216	9,7
		3	36,3		1,0546	-	-1,44	97,578	31,6
		4	40,4		1,0608	-	-4,79	99,582	5,1
	80	5	12,9		1,1869	-	-11,66	97,741	25,2
		6	3,7		2,3979	-	-141,18	99,893	1,2
		7	28,1		1,0281	-	-0,31	98,642	16,1
		8	12,9		1,3102	-	-29,66	99,082	0,1
Midilli et al	100	1	24,3	1,3462	0,9974	0,2	-	99,716	0,00505
		2	2,8	1,3134	1,0028	0,3	-	99,927	0,9
		3	2,0	1,6497	1,0048	0,5	-	99,622	4,9
		4	5,8	1,2633	0,9999	0,1	-	99,950	0,0061
	80	5	32,9	0,7815	1,0025	-3,8	-	99,856	1,8
		6	50,9	0,7069	1,0001	-4,6	-	99,969	0,35
		7	5,5	1,2035	1,0049	0,2	-	98,997	7,15
		8	7,5	1,0944	1,0085	-1,0	-	99,134	9,9

## CONCLUSÃO

O aumento da temperatura aumentou da taxa de secagem, consequentemente, diminuição do tempo de secagem.

A secagem à 100°C com adição de etanol e com uso de vácuo levou ao menor tempo de secagem.

Dentre os modelos matemáticos o de Midilli et al. foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem de okara.

## NOMENCLATURA

MR	Razão de umidade, adimensional
T	Temperatura [°C]
t	Tempo [h]
<i>Subscritos</i>	
0	Referente à condição inicial
f	Referente à condição final
eq	Equilíbrio

## REFERÊNCIAS

AZOUBEL, P. M.; BAIMA, M. D. A. M.; DA ROCHA AMORIM, M.; OLIVEIRA, S. B. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 2, p. 194–198, 2010.

CHABBOUH, M.; HAJJI, W.; HADJ AHMED, S. B.; FARHAT, A.; BELLAGHA, S.; SAHLI, A. Combined Effects of Osmotic Dehydration and Convective Air Drying on Kaddid Meats: Kinetics and Quality. **Drying Technology**, v. 29, n. 13, p. 1571–1579, 2011.

CORRÊA, J. L. G.; BRAGA, A. M. P.; HOCHHEIM, M.; SILVA, M. A. The Influence of Ethanol on the Convective Drying of Unripe, Ripe, and Overripe Bananas. **Drying Technology**, v. 30, n. 8, p. 817–826, 2012.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595–601, 2010.

DARVISHI, H.; ASL, A. R.; ASGHARI, A.; AZADBAKHT, M.; NAJAFI, G.; KHODAEI, J. Study of the drying kinetics of pepper. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 2, p. 130–138, 2014.

DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 243–249, 2007.

EL-AOUAR, Â. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya*

L.). **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 85–91, 2003.

GOYAL, R. K.; KINGSLEY, A. R. P.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 176–180, 2007.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169–174, 1961.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K.; WINICZENKO, R.; CHOJNACKA, A. Evaluation of drying models of apple (var. Ligol) dried in a fluidized bed dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 67, p. 179–185, 2013.

LEE, J. H.; KIM, H. J. Vacuum drying kinetics of Asian white radish (*Raphanus sativus* L.) slices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 180–186, 2009.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 1503–1513, 2002.

NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 686–692, 2015.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. [s.l.] Purdue University, Indiana, 1949.

PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; AMARANTE, Á. C. C. Thermophysical Properties of Okara During Drying.



**International Journal of Food Properties**,  
v. 17, n. 4, p. 891–907, 2014.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. -Ascorbic  
Acid Degradation in Pineapple Drying under  
Ethanollic Atmosphere. **Drying Technology**,  
v. 27, n. 9, p. 947–954, 2009.

TARUNA, I.; JINDAL, V. K. Drying of Soy  
Pulp (Okara) in a Bed of Inert Particles.  
**Drying Technology**, v. 20, n. 4-5, p. 1035–  
1051, 2002.

WACHIRAPHANSAKUL, S.;  
DEVAHASTIN, S. Drying kinetics and  
quality of okara dried in a jet spouted bed of  
sorbent particles. **Food Science and  
Technology**, v. 40, n. 2, p. 207–219, 2007.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq,  
Fapemig e Capes, pelo apoio financeiro.