

CINÉTICA DE SECAGEM E QUALIDADE DO ALHO "ALLIUM SATIVUM L."

Márcia Eduarda Amâncio<sup>1</sup>, Ednilton Tavares de Andrade<sup>2</sup>, Paula de Almeida Rios<sup>3</sup>, João Levi Bastos Fernandes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia Agrícola, UFLA, 35 997120099, [marciaeduardaam@gmail.com](mailto:marciaeduardaam@gmail.com); <sup>2</sup> Doutor e Professor em Pós-colheita, UFLA, Engenharia Agrícola, 35 991952070, [ednilton@deg.ufla.br](mailto:ednilton@deg.ufla.br); <sup>3</sup> Mestranda em Engenharia Agrícola, UFLA, 34 992660519, [paulariosagricola@gmail.com](mailto:paulariosagricola@gmail.com); <sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA, 35 997340325

Apresentado no

XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** A secagem é uma prática muito eficaz para diminuir o teor de água do produto e possibilitar a armazenagem por períodos mais longos sem perda significativa de qualidade ou deterioração do alho. O presente trabalho teve como objetivo analisar a cinética de secagem do alho brasileiro (*Allium sativum* L.) em secadores de camada fixa, determinar os modelos matemáticos representativos da cinética de secagem de acordo com os dados obtidos e analisar os efeitos visuais e qualitativos causados as amostras. O produto foi exposto as seguintes temperaturas do ar de secagem: 35, 45, 55, e 70°C. Os dados obtidos depois do processo de secagem possibilitaram verificar que houve uma contração volumétrica com a redução do teor de água. O modelo de MIDILLI foi o que melhor representou a cinética de secagem, com coeficiente de determinação em torno de 99,3%. Houve efeito da temperatura de secagem no aspecto e na qualidade final do produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem, *Allium sativum* L., Modelos matemáticos

**DRYING KINETICS AND QUALITY OF ALLIUM SATIVUM L.**

**ABSTRACT:** Drying is a very effective practice to decrease water content of the product and to enable storage for longer periods without significant loss of quality or deterioration of garlic. The aim of the present work was the kinetics of drying of (*Allium sativum* L.) the product in fixed layer dryers, to determine the mathematical model that best represents the drying process according to the data obtained and verify the qualitative visual effects on the samples. The product was exposed to the drying air temperatures of 35, 45, 55, and 70 °C. The data obtained after the drying process showed that there was a volumetric contraction with the reduction of the water content. The MIDILLI model was the one that best represented the drying kinetics, with determination coefficient around 99,3%. There was an effect of the drying temperature on the appearance and the final quality of the product.

**KEY-WORDS:** drying; *allium sativum* L.; mathematical modeling.

**INTRODUÇÃO:** Muito conhecido em toda culinária pelo mundo, o alho (*Allium Sativum* L.) também é um dos condimentos mais utilizados pela culinária brasileiro (DE CARVALHO et al., 1991). Suas propriedades medicinais também é fruto de muitos estudos pelo mundo (CHAGAS et al., 2012). No Brasil, são cultivados e conseqüentemente disponíveis ao consumidor diversas cultivares, que variam em produção, morfologia e fisiologia da planta e do bulbo. Essas cultivares são divididas em dois grandes grupos: nobres e seminobres. (DE RESENDE et al., 2013). Buscando a conservação do produto sem perder a qualidade vários estudos são desenvolvidos para determinar e estabelecer o melhor processos de secagem do alimento. De acordo com Evangelista (2003) a utilização do alho em sua forma desidratada porém com boa qualidade tem sido preferência dentre a população, e além disso a diminuição do teor de água no produto possibilita facilidade em sua manipulação. Para descrever as curvas de cinética de secagem usa-se modelos matemáticos que podem representar de forma significativa esse fenômeno (MIDILLI et al., 2002). Então com a grande importância e significância dos processos de secagem, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar as curvas de secagem do alho, ajustando diversos modelos matemáticos aos valores experimentais e avaliar a influencia das diferentes temperaturas de secagem na cor e na qualidade do alho brasileiro analisados.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na cidade de Lavras – MG (21°13'45.28"S de latitude; 44°58'32.85" O de longitude; e 918 m de altitude). Determinou-se o teor de água inicial dos bulbinhos de alho, sendo de 1,86 base seca (b.s.) considerando o método estabelecido pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), com temperatura de  $105 \pm 3$  °C, até massa constante, em três repetições.

Os bulbos foram desfeitos e os bulbinhos de alho já separados foram descascados e posteriormente fatiados com auxílio de um instrumento fatiador em espessuras de 2,0 e 3,0mm. Para a secagem foi utilizado um secador mecânico de camada fixa com convecção forçada, composto por 6 bandejas perfuradas, quadradas, com lados iguais a 0,35 m e profundidade de 0,40 m. As bandejas foram dispostas sobre um plenum, cuja função é a uniformização do ar quente de secagem. Foram consideradas as seguintes temperaturas do ar de secagem 35, 45, 55 e 70 °C. A velocidade do ar de secagem, obtida com anemômetro de lâminas rotativas, foi de aproximadamente  $0,33 \text{ m s}^{-1}$ .

O experimento foi composto por três repetições com  $\pm 0,030$  kg cada, a secagem foi feita considerando cada temperatura e espessura de corte. No período de secagem, as amostras foram pesadas inicialmente em intervalos menores, de 10 em 10 minutos e após o período de 1 hora em intervalos de tempo maiores, até atingirem o equilíbrio higroscópico, ou seja, sem variação na massa das amostras. Utilizou-se um Datalogger modelo LG820-UM-851 para monitorar a temperatura do secador. O equipamento foi ligado diretamente as bandejas do secador. Realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton, no programa computacional Statistica 5.0® para ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais. Os modelos usados estão listados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem.

Modelo	Designação do modelo	Equação
Aproximação da Difusão <sup>1</sup>	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(1)
Dois termos <sup>2</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(2)
Exponencial de dois termos <sup>3</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(3)
Henderson & Pabis modificado <sup>4</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(4)
Henderson & Pabis <sup>5</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(5)
Midilli <sup>6</sup>	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(6)
Newton <sup>7</sup>	$RU = \exp(-k \cdot t)$	(7)
Page <sup>8</sup>	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	(8)
Thompson <sup>9</sup>	$RU = \exp\{-[a(-a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}]. (2 \cdot b)^{-1}\}$	(9)
Verma <sup>10</sup>	$RU = -a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k_1 \cdot t)$	(10)
Wang & Sing <sup>11</sup>	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(11)
Valcam <sup>12</sup>	$RU = a + b \cdot t + c \cdot t^{1,5} + d \cdot t^2$	(12)

<sup>1</sup>(HENDERSON, 1974); <sup>2</sup>(SHARAF-ELDEE; BLAISDELL; HAMDY, 1980); <sup>3</sup>(KARATHANOS, 1999); <sup>4</sup>(HENDERSON; PABIS, 1961); <sup>5</sup>(MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002); <sup>6</sup>(LEWIS, 1921); <sup>7</sup>(PAGE, 1949); <sup>8</sup>(THOMPSON; PEARTT; FOSTER, 1968); <sup>9</sup>(VERMA et al., 1985); <sup>10</sup>(WANG; SING, 1978); <sup>11</sup>(SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

em que,

RU: Razão de teor de água;

T: tempo de secagem (h);

K, ko e k1: constantes de secagem;

a, b, c, d, n: coeficientes dos modelos.

Para o cálculo da umidade de equilíbrio ( $U_e$ ), utilizou-se a equação 13, descrito pelo modelo (determinado por ANDRADE).

$$U_e = \exp\left(\left(-3,7576 UR - T^{0,2733} + \left(\frac{T-UR}{UR}\right)^{0,2733}\right)\right)^{-0,2978} \quad (13)$$

em que,

- Ue: Teor de água do produto (b.s.);
- UR: Umidade relativa do ar de secagem (decimal);
- T: Temperatura do ar de secagem (°C).

Na análise da representatividade do modelo para higroscopicidade, os dados experimentais foram comparados com os valores estimados para cada modelo, verificando o percentual de erro relativo médio (P), erro médio estimado (SE) e teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) de acordo com as Eqs. de 14 a 16, respectivamente (Ryan, 2009).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (15)$$

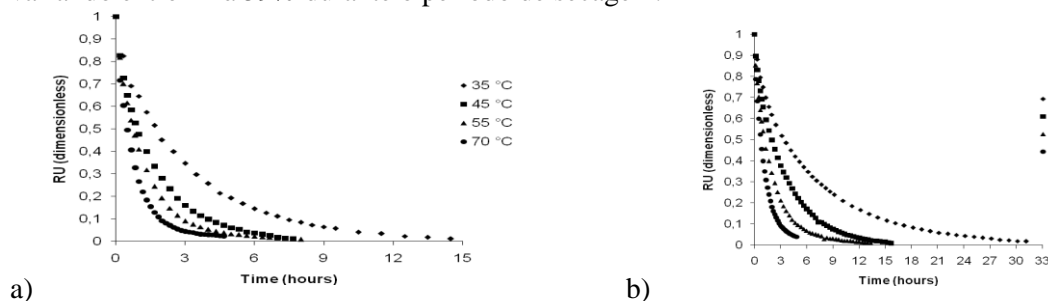
em que,

- Y - valor observado experimentalmente
- $Y_0$  - valor calculado pelo modelo
- n - número de observações experimentais

GLR - graus de liberdade do modelo

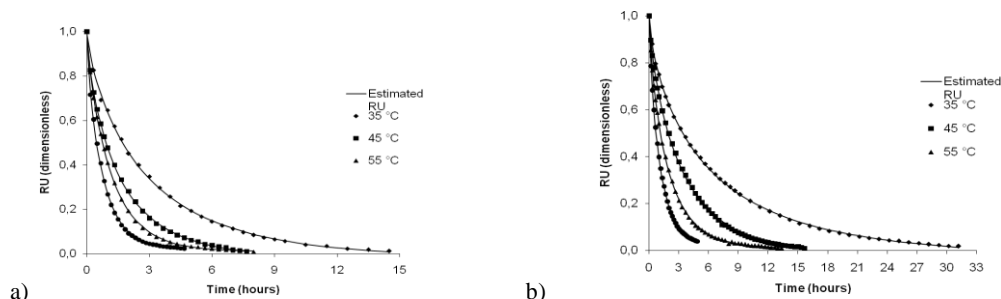
Os autores (Goneli, 2014; Teixeira et al., 2014), descreveram o modelo da capacidade com um determinado processo físico que é inversamente proporcional ao desvio-padrão da estimativa (SE). A amplitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de cada modelo será o grau de ajuste, a magnitude do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A cinética de secagem do produto sofreu influências significativas dos valores de temperatura do ar de secagem e da espessura do alho. O momento em que o alho brasileiro entrou em equilíbrio higroscópico foi inversamente proporcional à temperatura e diretamente proporcional à espessura como mostram os gráficos abaixo com umidade relativa do ar variando entre 42 à 59% durante o período de secagem.



**Figura 1.** Razão de umidade em função do tempo para diferentes temperaturas do ar de secagem, para o alho brasileiro com espessura de 2mm (a) e 3mm (b).

Quanto maior a temperatura de secagem mais rápido o produto será seco, pois a redução de água do produto será mais rápida. De acordo com Silva et al. (2009) a taxa de secagem está diretamente relacionada a temperatura, ou seja, quanto maior for a temperatura maior a transferência de umidade na amostra.



**Figura 02.** Razão de umidade experimental e estimada pelo modelo de Midilli, para cada temperatura de secagem e espessura de corte (a) 2 mm e (b) 3 mm.

Os parâmetros de coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erros médio relativo (P, %), estimado (SE) e teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), foram testados e analisados para cada modelo matemático aplicado correspondente as temperaturas de 35°C, 45°C, 55°C e 70°C nas duas espessuras de 2 e 3mm. A Tabela 01, apresenta os resultados encontrados para o modelo de MIDILLI que melhor se ajustou aos dados do alho brasileiro.

Tabela 1. Resultados obtidos dos modelos ajustados aos dados de secagem do alho brasileiro, nas espessuras de 2 e 3mm, para as diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temp	Espessura	Equação	a	b	c	k	k0	k1	n	R <sup>2</sup> (%)	P (%)
35	2mm	MIDILLI	0,9943	0,0011	-	0,4444	-	-	0,799	99,93	4,31
35	3mm	MIDILLI	0,9951	0,0006	-	0,2817	-	-	0,7263	99,98	4,31
45	2mm	MIDILLI	0,9952	0,0019	-	0,7335	-	-	0,7949	99,98	3,01
45	3mm	MIDILLI	0,9848	0,0012	-	0,3932	-	-	-	99,95	7,03
55	2mm	MIDILLI	0,9949	0,0012	-	0,8947	-	-	0,8829	99,98	6,77
55	3mm	MIDILLI	0,9916	0,0006	-	0,6114	-	-	0,8323	99,98	5,38
70	2mm	MIDILLI	0,9914	0,0039	-	1,3195	-	-	0,862	99,89	3,21
70	3mm	MIDILLI	0,9897	0,0016	-	0,9263	-	-	0,8547	99,93	2,74

Com os resultados obtidos conclui-se que o modelo matemático que melhor representa os dados experimentais foi o de Midilli, apresentando o melhor ajuste para as diferentes temperaturas e espessuras de corte 2 e 3mm do alho brasileiro. Segundo Teixeira (et al., 2012) ajustes em que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) for inferior à 90% e P superior à 10%, não podem ser considerados representativos, pois não se ajustaram de forma ideal aos dados experimentais. Como esperado de acordo com a literatura as menores temperaturas exigiram maior tempo de secagem até atingirem a umidade de equilíbrio.

**CONCLUSÕES:** Com os resultados encontrados pode-se concluir que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais para representar a cinética de secagem do alho brasileiro foi o modelo de Midilli, com coeficiente de determinação elevado e baixos valores de P e SE para as temperaturas de 35°C, 45°C, 55°C e 70°C, nas espessuras de corte de 2 e 3mm. Quanto maior a temperatura do ar de secagem, menor o intervalo de tempo para amostra atingir o equilíbrio higroscópico.

**REFERÊNCIAS:** ANDRADE, E. T.; FILGUEIRA, V. G.; TEIXEIRA, L. P.; TAVARES, J. H.; BOREM, F.M. Determination of the higroscopc equilibrium and isosteric heat of aji chili pepper. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.21, n.12, p.865-871, 2017.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Westport: The AVI Publishing Company, 1992.

GONELI, A.L.D.; NASU, A.K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W.D.; SARATH, K.L.L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista brasileira de plantas medicinais**, Botucatu, 2014, vol.16, n.2, suppl.1, pp. 434-443.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of National Bureau of Standards**. A. Physics and Chemistry. Vol. 81a, n.1. 1977.

TEIXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T.; SILVA, P. G. L. Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico da polpa e da casca do abacaxi (*Ananas comosus*). **ENGEVISTA**, Niterói, v. 14, p. 172-184, Agosto 2012.