

## COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DA SEMENTES DE LINHAÇA (*Linum usitatissimum* L.).

G.Z. Campos e J.A.G. Vieira\*

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos

\*e-mail jantonio@ibilce.unesp.br

### RESUMO

Avaliou-se o comportamento higroscópico da semente de linhaça. Obteve-se dado de equilíbrio de sorção de umidade a 40, 50 e 60°C, através de um método estático, onde recipientes de 500 mL contendo soluções saturadas de sais foram utilizados como ambientes geradores de umidades relativas constantes, na faixa de 29 a 80%. Os parâmetros dos modelos de: GAB, GAB modificada, BET, Henderson e Oswin, foram ajustados aos dados experimentais. O desvio relativo entre os valores experimentais e os valores estimados foi calculado para cada dado de umidade de equilíbrio, a fim de se avaliar qual equação melhor se ajustou aos dados experimentais. Dos modelos testados os que apresentaram melhores ajustes para as sementes de linhaça foram o de BET, seguidos por GAB e BET modificado para temperaturas de 40 e 60°C e para 50°C foram os de Henderson e Oswin.

### 1. INTRODUÇÃO

As sementes de linhaça são ricas em proteína, gordura e fibras dietéticas. Em média a sementes contém 41% de gordura, 28% de fibras dietéticas, 21% de proteína, 4% de resíduos e 6% de outros carboidratos (os quais incluiriam açúcares, ácidos fenólicos, lignana e hemicelulose). A composição de aminoácido encontrada na proteína da linhaça é similar ao da proteína de soja, que é vista como uma das mais nutritivas proteínas vegetais. Os benefícios da linhaça são atribuídos a seu óleo rico em alfa-linolênico (ALA), (LIMA, 2007). Coskuner e Karababa (2007) relatam que a composição da semente de linhaça varia de acordo com a variedade genética, meio ambiente de crescimento, processamento e métodos de análise. Geralmente o conteúdo de proteína da

semente diminui conforme aumenta o teor de lipídios.

O conhecimento das propriedades envolvidas no processo de sorção da água nos alimentos é importante na desidratação em vários aspectos. Primeiro, pois as propriedades termodinâmicas dos alimentos relacionam a concentração de água no alimento com sua pressão parcial de vapor, o que é fundamental para a análise do fenômeno de transferência de massa e calor durante a desidratação. Segundo, porque elas determinam até que ponto o alimento pode ser desidratado, ou até quando é viável economicamente. Terceiro, porque com a entalpia de sorção é possível se saber a quantia mínima de energia para se remover uma determinada quantidade de água do alimento. Finalmente, pois o conhecimento

das propriedades termodinâmicas pode ajudar na compreensão da microestrutura do alimento, assim como interpretações teóricas para fenômenos físicos que ocorrem na relação alimento-água (RIZVI, 1995).

Conhecer os fatores que interferem na sorção de água em alimentos torna-se prática importante, visto a relevância desse fenômeno no processamento industrial de alguns produtos agrícolas e a atenção que esses fatores requerem durante a modelagem desse processo. Para projeto que envolve desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de equipamentos utilizados no processamento de grãos, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações a respeito do comportamento de cada produto durante o processo de sorção de água (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2002).

As isotermas de sorção são as representações gráficas do teor de água presente no alimento frente à atividade de água em condições isotérmicas, onde o material está em equilíbrio higroscópico com o ambiente em que se encontra e não existem mudanças na massa da amostra (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2002). Elas têm aplicação na predição do tempo de secagem, da vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto, inclusive quando o mesmo é constituído por componentes de atividades de água diferentes. Na condição de equilíbrio, a atividade de água do alimento se iguala à umidade relativa do ambiente onde o mesmo se encontra. Nessa condição, o alimento não ganha nem perde água. A relação entre atividade de água e a umidade relativa de equilíbrio permite prever quais

alimentos irão ganhar ou perder umidade, quando forem expostos a um ar com determinada umidade relativa.

O comportamento higroscópico de diversos produtos agrícolas tem sido estudado por vários pesquisadores, que descrevem modelos diferenciados para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar (RESENDE, 2006). Sendo o objetivo deste trabalho a determinação experimental do comportamento higroscópico das sementes de linhaça e ajuste dos modelos empíricos.

## 2. METODOLOGIA

As sementes de linhaça foram adquiridas no comércio local e apresentaram uma umidade de 12% (bu). Uma parte foi umidificada até atingir 30% de umidade (bu) e a outra seca até 5% de umidade (bu). Após repouso para uniformidade de umidade foram colocadas 5g nos recipientes contendo os sais, visando a determinação da umidade de equilíbrio. As amostras foram preparadas em triplicatas e pesadas periodicamente até atingirem peso constante. Foram utilizados seis sais em três diferentes temperaturas (40, 50 e 60°C). As atividades de água das soluções saturadas dos sais usados para cada temperatura utilizada foram calculadas pelas equações proposta por (RIZVI, 2005).

Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isoterma de sorção. Os modelos usados neste trabalho são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos empíricos utilizados na predição de isotermas de sorção.

Equação	Modelo	Referência
Henderson	$m = \left[ \frac{-\ln(1 - a_w)}{a} \right]^{\frac{1}{b}}$	(CHIRIFE e IGLESIAS, 1978)
Oswin	$m = a \left[ \frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$	(CHIRIFE e IGLESIAS, 1978)
GAB	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c - 1) \cdot k \cdot a_w)]}$	(MAROOLIS et al., 1988)
BET	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot a_w}{1 - a_w} \left( \frac{1 - (n + 1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1}}{1 - (1 - c) \cdot a_w - c \cdot a_w^{n+1}} \right)$	(PARK e NOGUEIRA, 1992)
BET mod.	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot a_w}{[(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c - k) \cdot a_w)]}$	(JAAFAR e MICHALOWSKI, 1990)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de sorção de umidade para a linhaça, obtidos a 40, 50 e 60°C em diferentes atividades de água, são apresentados na Tabela 2. Verifica-se que para uma temperatura constante as umidades de equilíbrio aumentam com o aumento da atividade de água ( $a_w$ ).

As isotermas de sorção de umidade para as sementes de linhaça apresentam o formato sigmoidal, comportamento típico de isotermas do tipo II de acordo com a classificação da IUPAC, sugerindo a existência de umidades adsorvidas em multicamadas, características de produtos agrícolas. Observa-se que o conteúdo da umidade de equilíbrio da sorção da semente para  $a_w > 0,65$  cresceu com o aumento da temperatura a uma atividade de água constante, indicando que as sementes se tornam mais higroscópicas, comportamento

este, inverso ao observado por Valente (2011) para curvas de dessorção da linhaça. Verifica-se também que para  $a_w > 0,60$  as isotermas para todas as temperaturas estudadas apresentam comportamento exponencial. Esse comportamento sugere que a partir desse valor um pequeno aumento na umidade relativa do ambiente propicia um considerável acréscimo na umidade de equilíbrio das sementes de linhaça comprometendo a qualidade de armazenamento em locais em que a umidade relativa seja acima de 60% (VALENTE, 2011).

Os dados experimentais do teor de água de equilíbrio foram ajustados através de cinco modelos matemáticos, conforme sumarizado na Tabela 3. Foi feito o uso de regressão não linear utilizando-se o processador OriginPro 8. Os valores dos parâmetros obtidos para os modelos ajustados nas diferentes temperaturas, bem como os

respectivos valores dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ) se encontram na Tabela 3.

**Tabela 2.** Umidade de equilíbrio para a semente de linhaça em função da temperatura e da atividade de água.

Sal	$a_{w40^\circ\text{C}}$	Xeq40°C	$a_{w50^\circ\text{C}}$	Xeq50°C	$a_{w60^\circ\text{C}}$	Xeq60°C
MgCl <sub>2</sub>	0,313	0,021	0,304	0,025	0,295	0,028
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,433	0,042	0,427	0,045	0,421	0,047
NaBr	0,532	0,045	0,509	0,055	0,496	0,056
NaNO <sub>2</sub>	0,614	0,067	0,588	0,071	0,565	0,074
NaCl	0,734	0,076	0,718	0,083	0,703	0,092
KCl	0,806	0,090	0,751	0,098	0,751	0,106

**Tabela 3.** Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas de linhaça em diferentes temperaturas.

Modelo	T <sup>a</sup>	A	b	m <sub>0</sub>	C	k	N	r <sup>2</sup>
Henderson	40	50,049	1,426	-	-	-	-	0,968
	50	17,948	1,093	-	-	-	-	0,932
	60	14,831	1,058	-	-	-	-	0,986
Oswin	40	0,049	0,439	-	-	-	-	0,937
	50	0,050	0,602	-	-	-	-	0,920
	60	0,054	0,623	-	-	-	-	0,971
GAB	40	-	-	13,048	0,490	0,136	-	0,977
	50	-	-	10,782	0,020	0,332	-	0,915
	60	-	-	4,814	0,044	0,360	-	0,988
BET	40	-	-	68,500	0,001	-	1,302	0,979
	50	-	-	22,089	0,002	-	1,857	0,917
	60	-	-	26,463	0,002	-	1,948	0,992
BET modificada	40	-	-	12,615	0,007	0,136	-	0,977
	50	-	-	9,194	0,008	0,332	-	0,915
	60	-	-	11,650	0,006	0,356	-	0,988

#### 4. CONCLUSÃO

Para as temperaturas de 40 e 60°C os melhores modelos ajustados foram BET, seguidos por GAB e BET modificada e para 50°C foram Henderson e Oswin. A umidade de equilíbrio diminui com temperatura,

indicando mudanças nos mecanismos de interação da água com os sítios de superfície do produto, ou nos próprios sítios.

## REFERÊNCIAS

AI-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and Bioproducts Processing**, v.80, p.118-128, 2002.

BASTOS, S. M. C. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água de dois genótipos de arroz vermelho**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, p133, 2009.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 – A review. **Journal of Food Technology**, v.13, 159-174, 1978.

COSKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, v.78, p.1067–1073, 2007.

JAAFAR, F.; MICHALOWSKI, S. Modified BET equation for sorption/desorption isotherms. **Drying Technology**, v.8, p.811-827, 1990.

LIMA, C. C.. **Aplicação das Farinhas de Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no Processamento de Pães com Propriedades Funcionais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. p.97, 2007.

MAROULIS, Z. B. et al. Application of the GAB model to the sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v.7, p.63-70, 1988.

PARK, K. J.; NOQUEIRA, R. I. Modelos para ajuste de isothermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.3 p. 80-6, 1992.

RESENDE, O. Isothermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, p.626-631, 2006.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic Properties of Foods in Dehydration. In **Engineering Properties of Foods**, v.25, p.239-326, 2005.

RIZVI, S. S. H. In M. A. RAO & S.S.H. RIZVI (Eds.), **Engineering Properties of Foods**. New York: Academic Press, 1995.

VALENTE, M. C. C. **Avaliação das condições de secagem no rendimento e na qualidade do óleo de linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, p.123 2011.

## AGRADECIMENTO

À FUNDUNESP pelo auxílio financeiro para a realização do trabalho e apresentação do mesmo.