

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	$m = \frac{m_o \cdot c \cdot k \cdot a_w}{[(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c - 1) \cdot k \cdot a_w)]}$	(MAROULIS 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 sigmoideal, 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	$a_{w40^\circ C}$	Xeq $40^\circ C$	$a_{w50^\circ C}$	Xeq $50^\circ C$	$a_{w60^\circ C}$	Xeq $60^\circ C$
MgCl ₂	0,313	0,021	0,304	0,025	0,295	0,028
K ₂ CO ₃	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 ₂	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 ^a	A	b	m ₀	C	k	N	r ²
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 isotermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.3 p. 80-6,1992.

RESENDE, O. Isotermas 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.