

ISOTERMAS E CALOR LATENTE DE DESSORÇÃO DOS GRÃOS DE MILHO DA CULTIVAR AG 7088

THAÍAS ADRIANA DE SOUZA SMANIOTTO¹, OSVALDO RESENDE¹,
DANIEL EMANUEL CABRAL DE OLIVEIRA¹,
KELLY APARECIDA DE SOUSA¹ e RAFAEL CÂNDIDO CAMPOS¹

¹If Goiano (Campus Rio Verde), Rio Verde, GO, Brasil, tatiadris@ig.com.br; osvresende@yahoo.com.br; oliveira.d.e.c@gmail.com, kellyapsousa@yahoo.com.br; rcandido30@gmail.com

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.11, n.3, p. 312-322, 2012

RESUMO - Objetivou-se, com o presente trabalho, obter as isotermas de dessecção dos grãos de milho da cultivar AG 7088, ajustar diferentes modelos matemáticos para representar a higroscopicidade e calcular o calor latente de vaporização para este produto. Para a obtenção dos diferentes teores de água, os grãos foram submetidos a secagem em estufa, com ventilação de ar forçada com temperatura de 40°C. As isotermas de dessecção dos grãos de milho foram determinadas para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, utilizando-se o método estático indireto, sendo a atividade de água (*A_w*) para cada teor de água determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. Aos dados experimentais, foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que o teor de água de equilíbrio dos grãos de milho diminuiu com o aumento da temperatura para uma mesma atividade de água. Com base em parâmetros estatísticos, o modelo proposto por Oswin apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais de higroscopicidade dos grãos de milho. O calor latente aumenta com o decréscimo do teor de água e diminui com o incremento da temperatura, para o mesmo teor de água.

Palavras-chave: modelagem matemática, equilíbrio higroscópico, *Zea mays* (L).

ISOTHERMS AND LATENT HEAT OF DESORPTION OF CORN

ABSTRACT - The study aimed to obtain the desorption isotherms of the maize cultivar AG 7088, adjust different mathematical models to represent the hygroscopicity and calculate the latent heat of vaporization of this product. The grains were dried in a forced air oven at 40 °C in order to obtain the various moisture contents. The desorption isotherms of maize grains were determined for the temperatures of 10, 20, 30 and 40 °C, using the indirect static method, and moisture activity (*A_w*) for each moisture content determined by the equipment Hygropalm Model Aw1. Experimental data adjusted fitted to mathematical models frequently used to represent the hygroscopicity of agricultural products. The results obtained showed that the equilibrium moisture content of corn grain decreased with increasing temperature in the same water activity. Based on statistical parameters, the model proposed by Oswin presented the best adjustment to the hygroscopicity data of maize grains. The latent heat increases with decreasing moisture content and decreases with increasing temperatures for the same moisture content.

Key words: mathematical modeling, hygroscopic equilibrium, *Zea mays* (L).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas de maior importância econômica do Brasil, sendo utilizado tradicionalmente nas alimentações humana e animal e também como matéria-prima para a indústria (Meira et al., 2009). Na alimentação humana, está presente, principalmente, no preparo de derivados, sendo também utilizado na produção de ração para aves, suínos, bovinos e pequenos animais. Além disso, possui elevado valor nutritivo e elevada produtividade, podendo ser usado como matéria-prima para a indústria na produção de etanol (Oliveira et al., 2010).

Na região Centro-Oeste, o milho é cultivado na safrinha, entrando como opção para sucessão à cultura da soja. A cultivar AG 7088 tem sido muito utilizada na região, pois é resistente à seca, tem ciclo precoce e um bom rendimento produtivo.

O equilíbrio higroscópico de diferentes produtos agrícolas tem sido estudado por diversos pesquisadores, que descrevem modelos distintos para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e da umidade relativa do ar. Para isto, normalmente são utilizados modelos matemáticos empíricos, uma vez que os modelos teóricos disponíveis não apresentam ajustes satisfatórios para prever, com precisão, o teor de água de equilíbrio para uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar. Ressalta-se que existem mais de 200 modelos empíricos propostos que descrevem o fenômeno de equilíbrio higroscópico dos produtos agrícolas (Mullet et al., 2002).

A necessidade do conhecimento das relações entre o produto, a umidade relativa do ar e a temperatura pode estar diretamente relacionada com a sua qualidade. Durante o armazenamento dos produtos agrícolas, podem ocorrer mudanças microbiológicas, físicas e químicas que, dependendo da interação entre estes fatores e o ambiente, podem ocasionar perdas

na sua qualidade. Com isto, estudos sobre a higroscopicidade dos produtos agrícolas têm a finalidade de amenizar estas possíveis alterações, uma vez que eles têm a capacidade de absorver e ceder água para o ambiente, tendendo para um equilíbrio (Resende et al., 2006).

As curvas características de teor de água de equilíbrio são denominadas isotermas, que consideram a relação entre a umidade relativa de equilíbrio e o teor de água do produto em uma determinada temperatura (Resende, 2006). Araújo et al. (2001) indicam que o estudo do teor de água de equilíbrio e da atividade da água constitui fator importante no desenvolvimento de projetos e estudos de sistemas de pós-colheita e na modelagem da longevidade das sementes.

Além disso, as isotermas de secagem são importantes para estimar as mudanças de teor de água sobre diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, bem como definir os teores de água adequados para que não ocorra o início da atividade de microrganismos e os limites de secagem do produto estudado (Ayranci & Duman, 2005).

Para Santin (1996), o crescimento dos microrganismos depende da atividade de água, em razão da influência da pressão osmótica sobre as trocas, através das membranas. Cada microrganismo possui um limite mínimo de atividade de água para realizar as atividades metabólicas, sendo em torno de 0,7 para fungos, 0,8 para leveduras e 0,9 para bactérias (Oliveira et al., 2005).

De acordo com Corrêa & Almeida (1999), uma vez obtidas as curvas de equilíbrio higroscópico de um produto, pode-se determinar o seu calor latente de vaporização que, para grãos e sementes, é a quantidade de energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água contida neles, além de se tratar de uma

propriedade física de fundamental importância na composição dos modelos matemáticos de secagem.

O objetivo deste trabalho foi obter as isotermas de desorção dos grãos de milho da cultivar AG 7088, além de ajustar diferentes modelos matemáticos para representar a higroscopicidade e obter o calor latente de vaporização do produto.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (Campus Rio Verde, GO, Brasil). Os grãos de milho da cultivar AG 7088 foram colhidos mecanicamente no município de Rio Verde, GO, com teor de água inicial de 23,26% (kg de água kg⁻¹ de matéria seca⁻¹). Posteriormente, procedeu-se a limpeza manual dos grãos, retirando as impurezas e os grãos quebrados. Para a obtenção dos diversos teores de água, os grãos foram submetidos a secagem em estufa, com ventilação de ar forçada com temperatura de 40 °C e umi-

dade relativa de 22,4%, até atingir os teores de água de 21,44; 19,97; 18,83; 17,14; 15,75; 14,40% (kg de água kg⁻¹ de matéria seca⁻¹), determinados em estufa a 103 ± 1 °C, durante 72 horas, em três repetições (Asae, 2000).

As isotermas de desorção dos grãos de milho foram determinadas utilizando-se o método estático indireto, sendo a atividade de água (Aw) determinada por meio do equipamento Hygropalm Model Aw1. Nele, foram colocadas no recipiente do aparelho uma amostra de cada teor de água de aproximadamente 20g e, posteriormente, acondicionada em B.O.D. regulada a 10, 20, 30 e 40 °C. Após a estabilização da temperatura e a atividade de água, foi feita a leitura. A atividade de água experimental variou entre 0,56 a 0,89. A calibração do equipamento é feita em temperatura ambiente com o produto e a precisão do mesmo é de ± 0,01% de AW.

Aos dados experimentais, foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de higroscopicidade de produtos agrícolas.

Designação do modelo	Modelo	
$Xe^* = a - b \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	Chung-Pfost	(1)
$Xe^* = \exp[a - (b T) + (c a_w)]$	Copace	(2)
$Xe^* = (a + b T) / [(1 - a_w) / a_w]^c$	Oswin	(3)
$Xe^* = (a - b c a_w) / [(1 - c a_w) (1 - c a_w + b c a_w)]$	GAB	(4)
$Xe^* = [\exp(a - b T) / -\ln(a_w)]^c$	Halsey Modificado	(5)
$Xe^* = [\ln(1 - a_w) / (-a (T + 273,16))]^b$	Henderson	(6)
$Xe^* = a (a_w^{bT^c})$	Sabbah	(7)
$Xe^* = \exp\{a - (b T) + [c \exp(a_w)]\}$	Sigma Copace	(8)
$Xe^* = [\ln(1 - a_w) / (-a (T + b))]^c$	Henderson Modificado	(9)
$Xe^* = [\log(1 - a_w) / (a (T^b))]^c$	Cavalcanti Mata	(10)

Em que, Xe*: teor de água de equilíbrio, % b.s.; a_w: atividade de água, decimal; T: temperatura, °C; a, b e c: coeficientes.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi realizada a análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo, foram considerados a significância dos parâmetros dos modelos pelo teste t, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE) e do teste de Qui-quadrado (χ^2), ao nível de significância de 1% e o intervalo de confiança a 99% ($p < 0,01$), bem como a verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para a seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra & Rao (2005). Os erros médios relativo e estimado e o teste de Qui-quadrado para cada modelo foram calculados conforme as seguintes expressões, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (11)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (13)$$

em que:

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor calculado pelo modelo;

n: número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

Othmer, citado por Brooker et al. (1992) a partir dos estudos de Clausius-Clapeyron, propôs a seguinte equação para quantificar a pressão parcial do vapor, contida em sistemas porosos:

$$\ln(P_v) = \left(\frac{L}{L'}\right) \cdot \ln(P_{vs}) + C \quad (14)$$

em que,

P_{vs} : pressão de vapor de saturação da água livre, para determinada temperatura (T), de equilíbrio;

P_v : pressão de vapor da água livre, para determinada temperatura T, de equilíbrio;

L: calor latente de vaporização da água do produto, kJ kg^{-1} ;

L' : calor latente de vaporização da água livre, a temperatura de equilíbrio, kJ kg^{-1} ;

C : constante de integração.

Com base nas isotermas de sorção dos grãos de milho da cultivar AG 7088, determinou-se o valor da relação L/L' da Eq. 15, conforme metodologia descrita por Pereira (1987) para diferentes teores de água de equilíbrio, X_e (decimal), sendo ajustada a equação para a entalpia de vaporização da água, apresentada por Rodrigues-Arias (Brooker et al., 1992), com a inclusão de mais um parâmetro na Eq. 3 para melhorar as estimativas de L/L' (Corrêa et al., 1998):

$$\frac{L}{L'} - 1 = a \cdot \text{Exp}(-b \cdot X_e^m) \quad (15)$$

em que,

a, b, m: parâmetros determinados por regressão.

O calor latente de vaporização da água livre (kJ/kg) à temperatura de equilíbrio ($^{\circ}\text{C}$) foi calculado utilizando-se a temperatura média (T) na faixa em estudo, em $^{\circ}\text{C}$, por meio da seguinte equação:

$$L' = 2502,2 - 2,39 \cdot T \quad (16)$$

Calculou-se a pressão de vapor de saturação da água livre, P_{vs} , mediante a equação de Thétens:

$$P_{vs} = 0,61078 \cdot 10^{((7,5 \cdot T)/(273,3+T))} \quad (17)$$

O valor da pressão de vapor, P_v , foi determinado de acordo com a seguinte equação:

$$P_v = a_w \cdot P_{vs} \quad (18)$$

Combinando as Eq. 15 e 16, chega-se à seguinte expressão para se estimar o calor latente de vaporização da água do produto (Corrêa et al., 1998):

$$L = (2502,2 - 2,39 \cdot T) \cdot \left[1 + a \cdot \text{Exp}(-b \cdot X e^m) \right] \quad (19)$$

Resultados e Discussão

Na Tabela 2, estão apresentados os parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico, bem como o coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo, erro médio estimado e do teste de Qui-quadrado (χ^2) para os valores dos teores de água de equilíbrio dos grãos de milho da cultivar AG 7088, obtidos por dessecção, para diferentes condições de temperatura.

Nota-se que somente o coeficiente “b” do modelo proposto por GAB (4) não foi significativo pelo teste de t. Os demais coeficientes foram significativos a 1% pelo teste de t. Os modelos de Oswin (3) e Halsey modificado (5) apresentaram os maiores valores de R^2 , 98,03 e 97,94%, respectivamente. Entretanto, Madamba et al. (1996) ressaltam que o coeficiente de determinação, utilizado isoladamente, não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares.

De acordo com Draper & Smith (1998), a capacidade de um modelo representar adequadamente um determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do erro médio estimado. Observa-se que o modelo de Oswin (3) apresentou o menor valor (0,4324) e o modelo de GAB (4) apresentou o maior valor (1,0291). De acordo com Aviara et al. (2004), o coeficiente de determinação (R^2) e erro estimado não são suficientes para provar a qualidade de ajuste de um modelo de equilíbrio higroscópico.

Os valores do erro médio relativo indicam o desvio entre os valores experimentais em relação à curva estimada pelo modelo (Kashaninejad et al., 2007). Mohapatra & Rao (2005) destacam que os valores inferiores a 10 % são recomendados para a seleção de modelos. Desta forma, os dez modelos ajustados apresentaram o erro médio relativo menor que 10%.

Em relação ao teste de Qui-quadrado (χ^2), verifica-se que todos os modelos analisados se encontram no intervalo de confiança de 99 %. Porém, observa-se que os modelos de Oswin (3) e Halsey modificado (5) apresentaram os melhores valores. Günhan et al. (2005) ressaltam que, quanto menor o valor de χ^2 , melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais.

Desta forma, dentre os modelos que tiveram os melhores ajustes aos dados experimentais, o modelo de Oswin apresentou os menores valores de SE, P, χ^2 e maior R^2 , sendo assim selecionado para representar a higroscopicidade dos grãos milho da cultivar AG 7088.

Corrêa et al. (2006), estudando as isotermas de sorção de milho, alpiste e painço em diferentes temperaturas e umidades relativas de equilíbrio, verificaram que o modelo de Oswin foi o que melhor representou os dados experimentais da higroscopicidade de milho, quando comparado com as equações de Chung-Pfost, Smith e Henderson-Modificada. Francisco et al. (2007), estudando as isotermas de sorção para sementes de feijão das cultivares Tibatã e Una, também verificaram que o modelo de Oswin apresentou o melhor ajuste para a cultivar Tibatã.

Boente et al. (1996), avaliando seis variedades de milho, verificaram que os modelos de Oswin, Hailwood e Horrobin, Halsey, Polinomial e Chen representaram satisfatoriamente o fenômeno da higroscopicidade dos grãos de milho.

TABELA 2. Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para grãos de milho cultivar AG 7088, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²), erros médios estimados (SE) e relativo (P), Qui-quadrado (χ^2) e tendência de distribuição dos resíduos¹.

MODELOS	Parâmetros	SE	P(%)	χ^2	R2 (%)
1	a = 35,8009** b = 5,9263** c = 54,8139**	0,4879	1,8029	0,2381	97,49
2	a = 1,7316** b = 0,0044** c = 1,6527**	0,5777	2,3505	0,3338	96,48
3	a = 13,8411** b = -0,0537** c = 3,4559**	0,4324	1,6907	0,1869	98,03
4	a = 7,6931** b = 1,8393x10 ⁵ ns c = 0,7399**	1,0291	4,8579	1,0591	88,83
5	a = 7,6901** b = 0,0129** c = 3,0351**	0,4421	1,7654	0,1955	97,94
6	a = 0,000031** b = 1,7553**	0,70017	3,06	0,4902	94,63
7	a = 33,0022** b = 1,2201** c = 0,0883**	0,76095	3,0596	0,579	93,90
8	a = 1,3054** b = 0,0043** c = 0,7827**	0,51362	2,0421	0,2638	97,22
9	a = 0,000062** b = 105,6160** c = 1,8032**	0,49973	2,0106	0,2497	97,37
10	a = -0,00514** b = 0,15506** c = 1,79344**	0,57517	2,3053	0,3308	96,51

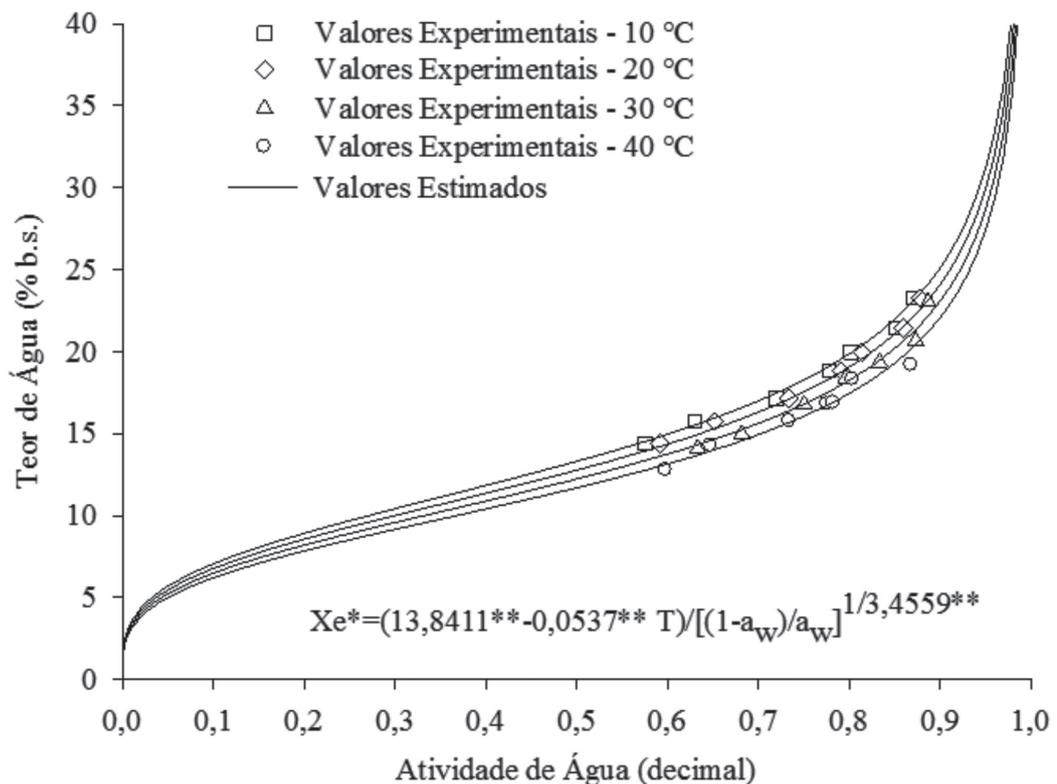
¹**Significativo a 1% pelo teste de t; ^{ns}Não Significativo.

Na Figura 1, são apresentados os valores experimentais da atividade de água dos grãos de milho da cultivar AG 7088, obtidos por dessorção, bem como suas isothermas estimadas por meio do modelo de Oswin.

Nota-se que, com o aumento da temperatura, tem-se a elevação da atividade de água e ainda que, para uma atividade de água constante, os valores do teor de água de equilíbrio diminuíram com o aumento da temperatura, seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos agrícolas (Mulet et al., 2002; Tolaba et al., 2004; Ayranci & Duman, 2005; Resende et al., 2006; Resende et al., 2006ab; Corrêa et al., 2006).

As isothermas de dessorção obtidas para os grãos de milho da cultivar AG 7088 apresentaram-se no formato sigmoidal, típico de diversos produtos agrícolas (Aviara et al., 2004; Corrêa et al., 2005; Resende et al., 2006; Furmaniak et al., 2007; Iguaz & Vírveda, 2007).

Considerando apenas os microrganismos (fungos, leveduras e bactérias) e que estes têm a sua atividade metabólica ativada com atividade de água em torno de 0,7 (Oliveira et al., 2005), verifica-se que os teores de água recomendados para inibir o desenvolvimento destes microrganismos ao longo do arma-



**Significativo a 1% pelo teste de t.

FIGURA 1. Valores experimentais da atividade de água e isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de Oswin para os grãos de milho da cultivar AG 7088 em diferentes condições de temperatura e atividades de água.

zenamento dos grãos de milho da cultivar AG 7088 serão de, no máximo, 17,0; 16,3; 15,6 e 14,9 (% b.s.) para as respectivas temperatura de 10, 20, 30 e 40 °C.

Para determinar o calor latente de vaporização, é necessário utilizar os valores de atividade de água estimados pelo modelo que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais. Neste caso, o modelo de Oswin (Eq. 20) foi utilizado para o cálculo dos valores de atividade de água do milho AG 7088:

$$X_e = (13,8411^{**} - 0,0537^{**} \cdot T) / [(1 - a_w) / a_w]^{3,4559^{**}} \quad (20)$$

em que,

X_e: teor de água de equilíbrio;

T: Temperatura, °C;

a_w: atividade de água, decimal.

Na Tabela 3, estão apresentados os dados de atividade de água estimados pelo modelo de Oswin (3) para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C e para os teores de água de equilíbrio de 12,76 a 23,26 (%kg de água kg⁻¹ de matéria seca⁻¹). Nota-se que, com o aumento do teor de água, tem-se o acréscimo da atividade de água, sendo o mesmo efeito observado com o aumento da temperatura.

Substituindo-se os valores de “a”, “b” e “m” na equação proposta por Corrêa et al. (2005), obtém-se a seguinte equação para o cálculo da entalpia de vaporização da água nos grãos de milho da cultivar AG7088, em que o coeficiente de determinação (R²) foi de 99,99 (%).

$$L = (2502,2 - 2,39 \cdot T) \cdot [1 + 0,922790^{**} \cdot \text{Exp}(0,18619^{**} \cdot X_e^{0,9400^{**}})] \quad (21)$$

**Significativo a 1 % pelo teste de t.

TABELA 3. Valores de atividade de água (decimal) estimados pelo modelo de Oswin em função da temperatura e do teor de água de equilíbrio.

Xe (% b.s.)	Temperatura (°C)			
	10	20	30	40
12,76	0,4640	0,4995	0,5366	0,5749
14,08	0,5488	0,5838	0,6193	0,6552
14,24	0,5585	0,5932	0,6285	0,6640
14,40	0,5680	0,6025	0,6375	0,6725
14,96	0,6000	0,6336	0,6674	0,7009
15,74	0,6413	0,6734	0,7051	0,7364
16,78	0,6904	0,7200	0,7490	0,7770
16,87	0,6944	0,7237	0,7524	0,7802
17,14	0,7059	0,7346	0,7625	0,7894
18,37	0,7531	0,7786	0,8031	0,8265
18,83	0,7686	0,7930	0,8163	0,8384
19,18	0,7797	0,8032	0,8256	0,8469
19,36	0,7852	0,8083	0,8302	0,8510
19,97	0,8028	0,8243	0,8448	0,8641
20,67	0,8209	0,8409	0,8598	0,8775
21,44	0,8388	0,8571	0,8744	0,8904
23,04	0,8696	0,8850	0,8992	0,9124
23,26	0,8733	0,8883	0,9022	0,9150

Na Figura 2, estão apresentadas as curvas de calor latente de vaporização de água dos grãos de milho da cultivar AG7088 nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

O calor latente de vaporização variou de 2.775,87 a 2.468,14 kJ kg⁻¹, sendo que, com o decréscimo do teor de água de equilíbrio, houve um incremento da energia necessária para a evaporação da água dos grãos de milho. Segundo Brooker et al. (1992), o teor de água e a temperatura são os principais fatores que influenciam o valor do calor latente de vaporização da água do produto.

Verifica-se que, com o aumento da temperatura para o mesmo teor de água, ocorre redução do calor latente de vaporização. Almeida et al. (2000), estudando o calor latente de vaporização de sementes de algodão com e sem linter, também verificaram este mesmo comportamento.

Conclusões

As isotermas de desorção obtidas para grãos de milho da cultivar AG 7088 na faixa de temperatura de 10 a 40 °C apresentaram o formato sigmoidal, típico de produtos agrícolas.

O teor de água de equilíbrio dos grãos de milho é diretamente proporcional à atividade de água e diminuiu com o aumento da temperatura em uma mesma atividade de água.

O modelo de Oswin apresentou o melhor ajuste para descrever o fenômeno higroscopicidade dos grãos de milho da cultivar AG 7088.

O calor latente de desorção aumentou com o decréscimo do teor de água e diminuiu com o incremento da temperatura para o mesmo teor de água.

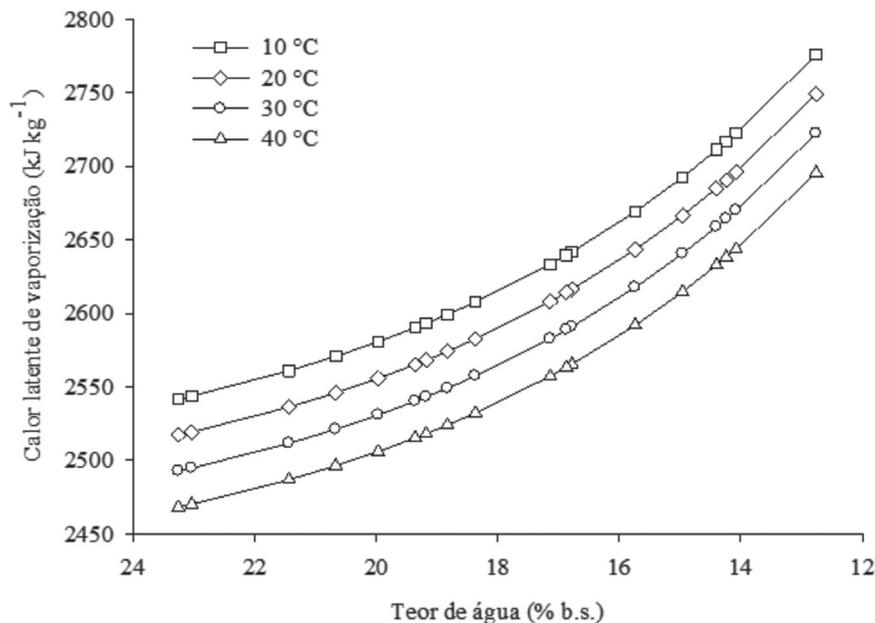


FIGURA 2. Calor latente de vaporização de água dos grãos de milho da cultivar AG7088 nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C obtido por desorção.

Referências

- ALMEIDA, F. de A. C.; MATA, M. E. R. M. C.; CORRÊA, P. C. Isotermas de Adsorção e calor latente de vaporização de sementes de algodão, com e sem línter. **Revista Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 225-234, 2000.
- ARAÚJO, L. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessorção de sementes de milho-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 7, p. 991-995, 2001.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Moisture measurement** - Unground grain and seeds. St. Joseph: ASAE, 2000. 563 p.
- AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; ONI, S. A. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, p. 179-190, 2004.
- AYRANCI, E.; DUMAN, O. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isotate at 10, 20 and 30°C. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 70, p. 83-91, 2005.
- BOENTE, G.; GONZALEZ, H. H. L.; MARTINEZ, E.; POLLIO, M. L.; RESNIK, S. L. Sorption Isotherms of Corn-Study of Mathematical Models. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, p. 115-128, 1996.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI Publishing Company, 1992. 450 p.
- CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; CHRIST, D.; MANTOVANI, B. H. M. Curvas de dessorção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 75-79, 1998.
- CORRÊA, P. C.; ALMEIDA, F. de A. C. Comparação de modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redenção. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1999.
- CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, p. 39-48, 2005.
- CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; RIBEIRO, D. M.; SILVA, F. S. Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: Obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 162-167, 2006.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1998. 712 p.
- FRANCISCO, F. G.; USBERTI, R.; TONELI, J. T. C. L. Ajuste de isotermas de sorção de sementes de feijoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 29, n. 1, p. 35-39, 2007.
- FURMANIAK, S.; TERZYK, A. P.; GAUDEN, P. A. The general mechanism of water sorption on foodstuffs – Importance of the multitemperature fitting of data and the hierarchy of models. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, p. 528-535, 2007.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 53, n. 1, p. 191-197, 2010.
- GÜNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, Elmsford, v. 46, n. 11-12, p. 1667-1679, 2005.
- IGUAZ, A.; VÍRSEDA, P. Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, p. 794-802, 2007.

- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.
- MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.
- MULET, A.; GARCA-PASCUAL, P.; SANJUAN, N.; GARCA-REVERTER, J. Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchella esculenta*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 53, n. 1, p. 75-81, 2002.
- OLIVEIRA, M. M.; CAMPOS, A. R. N.; GOMES, J. P.; SILVA, F. L. H. Isothermas de sorção do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 565-569, 2005.
- OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTELHO, F.M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 45, p. 546-554, 2010.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isothermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 626-631, 2006.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINAZZO, A. P.; RIBEIRO, R. M. Isothermas e calor isostérico de dessorção do arroz em casca. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Vicososa, MG, v. 31, p. 86-94, 2006.
- SANTIN, A. P. **Estudo da secagem da inativação de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*)**. 1996. 150 f. Dissertacao (Mestrado) - Universidade Fedefral de Santa Catarina, Florianópolis
- TOLABA, M. P.; PELTZER, M.; ENRIQUEZ, N.; POLLIO, M. L. Grain sorption equilibria of quinoa grains. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 61, p. 365-371, 2004.