

# CALOR ISOSTÉRICO DE DESSORÇÃO PARA OS GRÃOS DE ARROZ EM CASCA

ANDRÉ L. D. GONELI<sup>1</sup>, PAULO C. CORRÊA<sup>2</sup>, OSVALDO RESENDE<sup>3</sup>, ACÁCIO F. NETO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, M.S., Doutorando, Dep. de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa -UFV, Viçosa – MG, (0xx31) 38992030, e-mail: andregoneli@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, D.S., Professor Adjunto, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

<sup>3</sup>Eng. Agrícola, Bolsista Doutorado CAPES, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Bolsista Doutorado CAPES, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa - MG

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi determinar os valores do calor isostérico de dessecção para os grãos de arroz em casca da variedade Urucuia em função do teor de água. Foram utilizados grãos de arroz em casca com teor de água inicial de 0,30 b.s. O cálculo do calor isostérico líquido de dessecção foi realizado baseando-se na relação termodinâmica de Clausius Clapeyron, em função do logaritmo neperiano da atividade de água pelo inverso da temperatura absoluta, obtidos a partir das isotermas de sorção do produto. Para o cálculo do calor isostérico integral de dessecção, acrescentou-se o valor do calor latente de vaporização da água livre aos valores do calor isostérico líquido de dessecção. Com base nos resultados obtidos, observa-se que, com a redução do teor de água, ocorre aumento da energia necessária para a remoção de água do produto, representada pelos valores do calor isostérico integral de dessecção, e que seus valores, para os grãos de arroz em casca na faixa de teor de água de 12 a 19% b.s., variaram de 3860 a 2712 kJ.kg<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** arroz em casca, isotermas de sorção, calor isostérico.

## DESORPTION ISOSTERIC HEAT FOR ROUGH RICE GRAINS

**ABSTRACT:** The objective of this work was to determine the desorption isosteric heat values for rough rice of Urucuia variety in function of moisture content. Rough rice grains with initial moisture content of 0.30 d.b. were used. The determination of the desorption isosteric heat was based on the thermodynamic relationship of Clausius Clapeyron in function of neperian logarithm of the water activity by the inverse of the absolute temperature obtained from the sorption isotherm of the product. For calculating the integral desorption isosteric heat it was added the free water vaporization latent heat value to the liquid desorption isosteric heat values. Based on the obtained results, it can be observed that, reducing the moisture content occurs the increase the energy necessary for removing the water from de product, represented by the integral desorption isosteric heat values and its values for rough rice grains in the 12 to 19% d.b. moisture content range varied from 3860 to 2712 kJ.kg<sup>-1</sup>.

**KEY WORDS:** rough rice, sorption isotherms, desorption isosteric heat.

**INTRODUÇÃO:** Durante o armazenamento do arroz em casca, faz-se necessário o conhecimento das relações existentes entre o produto, a temperatura e a umidade relativa do ar, objetivando iniciativas e estudos com a finalidade de amenizar possíveis alterações físicas, químicas e microbiológicas que possam ocorrer. Nesse sentido, o conhecimento das curvas de equilíbrio higroscópico do arroz em casca é de extrema importância na definição de limites de desidratação do produto, estimativa das mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e para definir os teores de água adequados ao início de atividade de microrganismos que podem provocar a deterioração do produto. Além disso, através das isotermas de equilíbrio higroscópico

podemos determinar o requerimento de energia necessário ao processo de secagem, representado pelos valores do calor isostérico de sorção (Hall, 1980). Segundo Wang e Brennan (1991), para remover a umidade associada a um material higroscópico, a energia necessária é maior do que a utilizada para vaporizar igual quantidade de água livre, nas mesmas condições de pressão e temperatura. Esse adicional de energia, em virtude das forças de ligação entre a água e a superfície da substância adsorvente, é denominado calor isostérico de dessorção nos processos de secagem, constituindo-se em um bom parâmetro para se estimar a quantidade mínima de calor requerida para remover uma quantidade de água do produto, parâmetro de extrema importância no dimensionamento de secadores, além de fornecer dados sobre o estado da água no produto. Tendo em vista a importância do conhecimento do requerimento de energia durante o processo de secagem dos produtos agrícolas, o objetivo no presente trabalho foi determinar os valores do calor isostérico de dessorção para os grãos de arroz em casca para diversos valores de teor de água de equilíbrio.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** Foram utilizados grãos de arroz em casca, cultivar Urucua, com teor de água inicial de 0,30 b.s. O acompanhamento da redução do teor de umidade ao longo do tempo de secagem foi realizado pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de umidade inicial do produto. Para este monitoramento foi utilizada uma balança analítica com precisão de 0,01g. Os teores de umidade do produto foram determinados pelo método da estufa, a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , até massa constante, em três repetições. O calor isostérico de sorção, foi calculado a partir da equação de Clausius-Clayperon (Iglesias e Chirife, 1976), como mostrado a seguir:

$$\frac{\partial \ln(aw)}{\partial T} = \frac{q_{st}}{RT^2} \quad (1)$$

onde  $aw$  é o valor da atividade de água (decimal),  $T$  é a temperatura em absoluto (K),  $q_{st}$  é o calor isostérico líquido de sorção ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) e  $R$  é a constante universal dos gases ( $8,314 \text{ kJ.kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Integrando a Equação (1) e assumindo que o calor isostérico líquido de sorção é independente da temperatura, podemos encontrar o calor isostérico líquido de dessorção ( $q_{st}$ ), para cada teor de umidade de equilíbrio, conforme a equação a seguir (Wang e Brennan, 1991):

$$\ln(aw) = -\left(\frac{q_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T} + C \quad (2)$$

onde  $C$  é uma constante do modelo. Os valores de atividade de água, temperatura e teor de umidade de equilíbrio foram obtidos a partir das isotermas de dessorção dos grãos de arroz em casca de acordo com a Equação de Chung-Pfost mostrada a seguir:

$$U_e^* = a - b \times \ln[-(t + c) \times \ln(aw)] \quad (3)$$

onde  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , são parâmetros do modelo que dependem do produto,  $t$  é a temperatura do ar em  $^\circ\text{C}$ , e  $U_e^*$  é o teor de água de equilíbrio (% b.s.). Para esta modelagem, foram utilizadas diferentes condições controladas de temperatura (25, 35, 45 e  $55^\circ\text{C}$ ) e umidade relativa do ar de secagem (entre 0,30 a 0,85). O calor isostérico integral de sorção ( $Q_{st}$ ), em  $\text{kJ.kg}^{-1}$ , foi obtido adicionando-se aos valores de calor isostérico líquido de sorção ( $q_{st}$ ), o valor do calor latente de vaporização da água livre ( $L$ ) de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{st} = q_{st} + L = A \times \exp(-B \times U_e^*) + L \quad (4)$$

onde  $A$  e  $B$  são coeficientes do modelo. O calor latente de vaporização da água livre ( $L$ ), em  $\text{kJ.kg}^{-1}$ , necessário ao cálculo de  $Q_{st}$ , foi obtido pela temperatura média ( $t$ ) na faixa em estudo, em  $^\circ\text{C}$ , segundo a seguinte equação:

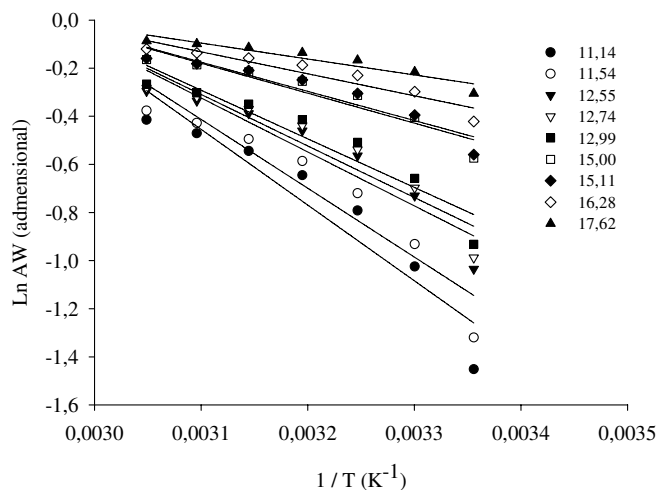
$$L = 2502,2 - 2,39.t \quad (5)$$

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** No Quadro 1, encontram-se os parâmetros do modelo de Chung-Pfost (Equação 3), utilizados para a estimativa dos valores de  $aw$ .

Quadro 1 - Parâmetros do modelo de Chung-Pfost para o arroz em casca.

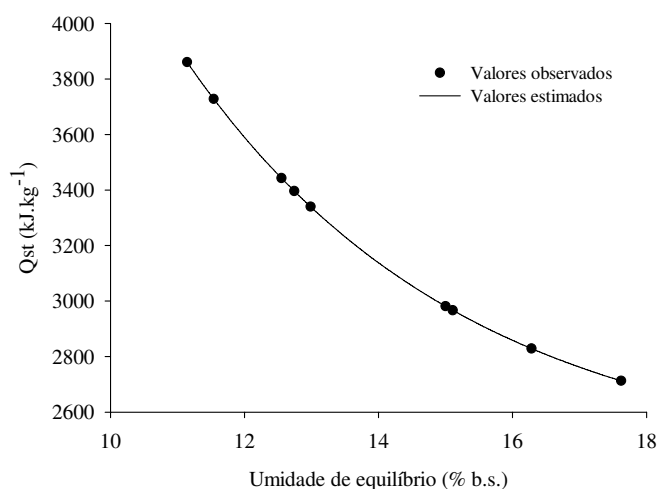
a	b	c
23,0207	4,1561	-13,0001

Na Figura 1, são apresentadas as curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para específicos valores de umidade de equilíbrio (% b.s.), em função de valores do inverso da temperatura absoluta (K) para os grãos de arroz em casca.



**Figura 1** – Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para específicos valores de umidade de equilíbrio (% b.s.), em função de valores de  $1/T$  ( $K^{-1}$ ) para os grãos de arroz em casca.

Os valores do calor isostérico líquido de dessorção ( $q_{st}$ ), em  $kJ.kg^{-1}$ , para os grãos de arroz em casca, em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), foram calculados de acordo com a Equação 2, representados, para cada situação, pelas inclinações das retas mostradas na Figura 1. Para o calor isostérico integral de dessorção ( $Q_{st}$ ), em  $kJ.kg^{-1}$ , foram adicionados, aos valores de  $q_{st}$ , o valor do calor latente de vaporização da água livre (L), que representa a menor quantidade de energia necessária para evaporar a água, calculado para temperatura de  $40\text{ }^{\circ}C$ , resultando em um valor de  $2406,60\text{ }kJ.kg^{-1}$ . Na Figura 2, são apresentados os valores do calor isostérico integral de dessorção ( $Q_{st}$ ), em  $kJ.kg^{-1}$ , em função do teor de umidade de equilíbrio (% b.s.), estimados de acordo com a Equação 4.



**Figura 2** – Valores observados e estimados do calor isostérico integral de dessorção em função do teor de umidade de equilíbrio.

De acordo com a Figura 2, observa-se que, com a redução do teor de água, ocorre aumento da energia necessária para a remoção de água do produto, representada pelos valores do calor isostérico integral de dessorção ( $Q_{st}$ ), conforme observado para diversos produtos agrícolas (Iglesias e Chirife, 1976; Tolaba et al., 2004; Jayendra Kumar et al., 2005). Os valores de calor isostérico integral de dessorção, para os grãos de arroz em casca na faixa de umidade de 12 a 19% b.s., variaram de 3860 a 2712  $\text{kJ.kg}^{-1}$ . Estes valores estão coerentes com os encontrados por Ayranci e Duman (2005), que, trabalhando com feijão caupi na faixa de umidade de 4 a 16% b.s., obtiveram valores de calor isostérico integral de dessorção variando de 3361 a 2472  $\text{kJ.kg}^{-1}$ , aproximadamente. No Quadro 2, apresenta-se o modelo matemático para os valores observados do calor isostérico integral de dessorção ( $Q_{st}$ ), em  $\text{kJ.kg}^{-1}$ , em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.). Observa-se que a equação utilizada se mostrou satisfatória em descrever o fenômeno, apresentando elevada significância dos seus parâmetros e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Quadro 2** - Modelo de regressão ajustado aos valores observados do calor isostérico integral de dessorção ( $Q_{st}$ ), em  $\text{kJ.kg}^{-1}$ , em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.) com seu respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e níveis de significância.

Equação de regressão	$R^2$ (%)
$Q_{st} = 21237,1793^{**} \times \exp(-0,2406^{**} \times U_e^*) + 2406,6000$	99,99 <sup>++</sup>

<sup>++</sup> Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

<sup>\*\*</sup>Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

**CONCLUSÕES:** Com base nos resultados obtidos, observa-se que, com a redução do teor de água, ocorre aumento da energia necessária para a remoção de água do produto, representada pelos valores do calor isostérico integral de dessorção, e que seus valores, para os grãos de arroz em casca na faixa de teor de água de 12 a 19% b.s., variaram de 3860 a 2712  $\text{kJ.kg}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRANCI, E.; DUMAN, O. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30°C. **Journal of Food Engineering**, v.70, p.83-91, 2005.
- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 381p. 1980.
- IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. **Journal of Food Technology**, Oxford, v.11, p.109-116, 1976.
- JAYENDRA KUMAR, A.; SINGH, R.R.B.; PATIL, G.R.; PATEL, A.A. Effect of temperature on moisture desorption isotherms of *kheer*. **Food Science and Technology**, v.38, p.303-310, 2005.
- TOLABA, M.P.; PELTZER, M.; ENRIQUEZ, N.; POLLIO, M.L. Grain sorption equilibria of quinoa grains. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.365-371, 2004.
- WANG, N.; BRENNAN, J.G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.14, p.269-287, 1991.