

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA DETERMINAR AS PROPRIEDADES  
DA MISTURA AR SECO-VAPOR D'ÁGUA E ATIVIDADE DA ÁGUA  
NO ARMAZENAMENTO DE GRÃOS**

**CARLOS A. DE P. SAMPAIO<sup>1</sup>, WALMIR V. W. JÚNIOR<sup>2</sup>, FILIPE C. MADEIRA<sup>2</sup>,  
ALBERTO K. NAGAOKA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC, Lages - SC, Fone: (0xx49) 3221.2200, e-mail: a2caps@cav.udesc.br.

<sup>2</sup> Estudante de Agronomia. Bolsista PROBIC/UDESC. Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC, Lages - SC.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC.

**Escrito para apresentação no**

**XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**

**31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB**

**RESUMO:** A determinação das propriedades psicrométricas do ar pode ser realizada pelos métodos tabular, gráfico e por meio de equações, e são trabalhosos por envolver cálculos e leituras complexos e vários dados. A umidade relativa de equilíbrio ou atividade da água ( $A_w$ ) no armazenamento de grãos pode determinar o sucesso na armazenagem. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional (PSIA<sub>w</sub>) de interface simples, capaz de determinar as propriedades psicrométricas do ar e a atividade da água de grãos armazenados. Dentro dos limites da temperatura do ar ambiente (0 a 100°C) e de preservação e armazenagem de grãos nas condições tropical, o programa apresenta resultados satisfatórios.

**PALAVRAS-CHAVE:** PSICROMETRIA, ATIVIDADE DA ÁGUA, SOFTWARE

**SOFTWARE FOR THE CALCULATION OF MOIST AIR PROPERTIES AND  
EQUILIBRIUM RELATIVITY HUMIDITY FOR GRAINS STORAGE**

**ABSTRACT:** The determination of the psychrometric properties involves many parameters and to be able to perceive for tabular, graphic and thermodynamic equations methods. The equilibrium relativity humidity or water activity value of grains storage to denote success of the storage. The objective of this work was to develop a computer program (PSIA<sub>w</sub>) for determining the psychrometric properties of air and to denote of the water activity of grains, whereas presenting a simple interface that provides the professional with the necessary information. Within the limits for temperatures from 0°C to 100°C and of the preservation and storage of grains under tropical conditions, it is concluded that the software generates satisfactory results.

**KEYWORDS:** AIR PSYCHROMETRIC PROPERTIES, WATER ACTIVITY, SOFTWARE

**INTRODUÇÃO:** A determinação das propriedades da mistura ar seco-vapor d'água é uma tarefa freqüente nos processos que requerem a medição e controle das condições ambientais. Comumente, as propriedades psicrométricas do ar são obtidas a partir dos valores da temperatura de bulbo seco ( $T_b$ ) combinado com os valores de outro parâmetro psicrométrico do ar, que pode ser a temperatura de bulbo molhado ( $T_{bm}$ ) ou a umidade relativa (UR) (WILHELM, 1976). O conhecimento destas propriedades pode ser realizado pelos métodos tabular, gráfico e numérico. O método numérico

consiste em determinar as propriedades da mistura ar seco-vapor d'água através das equações termodinâmicas, as quais são complexas envolvendo cálculos e vários dados. Numa massa de grãos armazenados, a temperatura e a umidade relativa do ar do espaço intergranular entrarão em equilíbrio com as condições do grão. Dessa forma, a temperatura do ar e a do grão entrarão em equilíbrio e a umidade relativa do ar ou atividade da água ( $A_w$ ) será determinada pelo teor de umidade e pela temperatura de equilíbrio ar-grão, sendo um indicativo da disponibilidade de água para atividade biológica do grão e de microorganismos que o atacam, cujo valor no armazenamento de produtos agrícolas como grãos torna-se perigoso em condições maior que 0,70 ( $A_w > 0,70$ ) (PEREIRA, 1989). O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional em ambientes Excell (2003) e Visual Basic 6.0 compatível com sistema operacional Windows, versão 98 ou superior, capaz de calcular as condições psicrométricas do ar a partir de dois parâmetros conhecidos e de fornecer o valor da atividade da água ( $A_w$ ) de grãos armazenados sob condições tropical a partir da temperatura do espaço intergranular e da umidade dos grãos.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As equações utilizadas no programa (PSIA $w$ ), citadas por PEREIRA & QUEIROZ (1989), WILHELM (1976) e WYLEN & SONNTAG (1976), baseiam-se nas informações validadas pela American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASRHA, 1985). Algumas das equações foram modificadas adaptando-as nas unidades do Sistema Internacional. Na determinação das propriedades psicrométricas, a variável pressão parcial do vapor d'água na saturação deve fornecer resultado bastante preciso, pois é o parâmetro mais utilizado para estimar a maioria das outras propriedades psicrométricas. No programa, a equação para determinação da pressão parcial de vapor d'água na saturação foi calculada para uma faixa de temperatura de 0° a 260 °C.

$$\ln(P_{vs}) = \frac{22105649,25 \cdot \exp(-27405,526 + 97,5413 \cdot T - 0,146244 \cdot T^2 + 0,12558 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 - 0,48502 \cdot 10^{-7} \cdot T^4)}{4,34903 \cdot T - 0,39381 \cdot 10^{-2} \cdot T^2}$$

em que:

$P_{vs}$  = pressão parcial do vapor d'água na saturação, Pa; e

T = temperatura, K.

Para o cálculo da razão de umidade, pressão de vapor e volume específico foram utilizadas equações baseadas nas leis dos gases perfeitos. A equação da entalpia foi obtida por análise de regressão a partir de dados tabulados, com erros mínimos de 5 kJ/kg para temperatura entre -50°C e 40°C e máximos de 6% na faixa entre 50 °C e 110°C (WILHELM, 1976).

$$h = 1,006 \cdot T + W \cdot [2501 + (1,775 \cdot T)]$$

em que:

h = entalpia específica do ar, kJ/kg de ar seco;

W = razão de umidade, kg vapor d'água/kg de ar seco.

Os valores da atividade da água ( $A_w$ ) utilizadas foram citadas por PEREIRA (1989) e estão tabuladas no intervalo de temperatura entre 4 a 38°C e nas seguintes umidades dos grãos em base úmida (bu): 6 a 16%; 6 a 14%; 8 a 18%; 10 a 21%; 12 a 21%; 10 a 20%; 6 a 16%; 10 a 21%; 10 a 20%; 10 a 21% e de 11 a 21% para grãos de amendoim com casca, amendoim sem casca, algodão, arroz com casca, aveia, cevada, girassol, milho, soja, sorgo, trigo, respectivamente. As equações para uso no programa foram obtidas por análise de regressão a partir de dados tabulados. O usuário deverá entrar com os seguintes dados para iniciar a determinação das propriedades psicrométricas do ar: temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) e a temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ ) considerando a condição de saturação ao nível do mar e, para determinar a atividade da água ( $A_w$ ) do grão fornecer a temperatura intergranular e a umidade do grão em base úmida.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A equação da atividade da água ( $A_w$ ) para o milho (*Zea mays*) é mostrada na Figura 1. Algumas equações podem explicar a relação entre a atividade da água e a umidade do grão para uma determinada temperatura, no entanto, constatou-se a partir dos dados tabulados que a equação gerada com menor tendenciosidade dos resíduos foi a de 4º grau, com  $R^2$  de 99%.

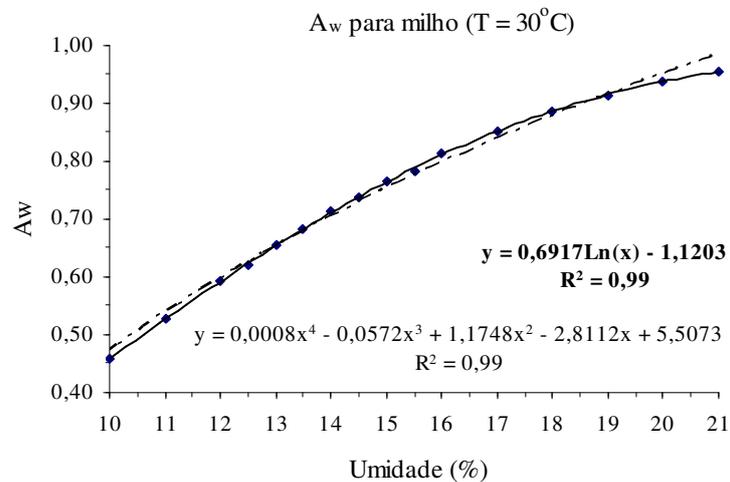


Figura 1. Equação gerada para atividade da água ( $A_w$ ) para grãos de milho.

Com relação ao programa computacional (PSIAw), este deve ser acessado no ambiente Windows 98 ou superior, sendo o mesmo constituído por três telas: uma de apresentação, uma principal e uma tela contendo informações básicas sobre seu funcionamento. Na Figura 2 é mostrado a tela de apresentação do programa.

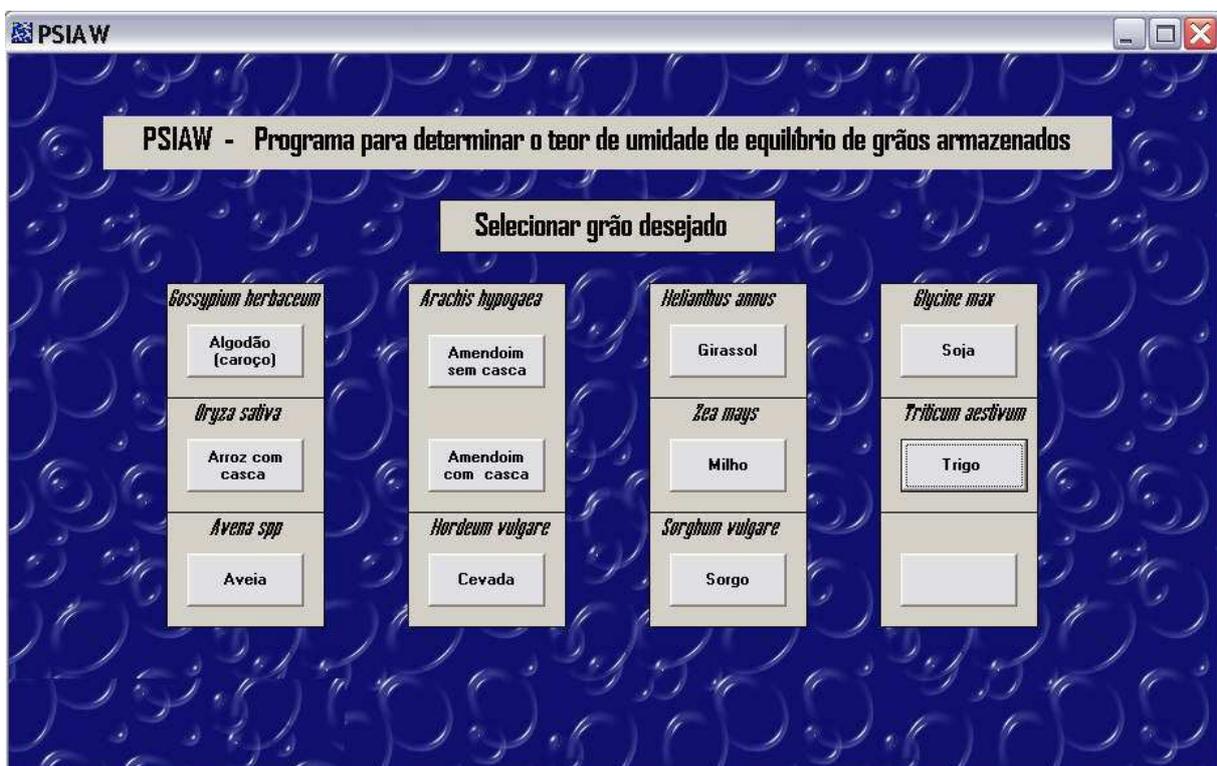


Figura 2. Tela de apresentação do PSIAw.

Na Figura 3 são mostrados os valores obtidos com o PSIAw ( $h_{\text{prog}}$ ) e com os obtidos de gráficos psicrométricos ( $h_{\text{tabelado}}$ ) para entalpia específica, na condição de saturação ao nível do mar. Nos limites de temperaturas estabelecidos para as equações que foram utilizadas no programa, verifica-se que os dados obtidos utilizando o programa PSIAw resultaram em erros observados inferiores a 2%.

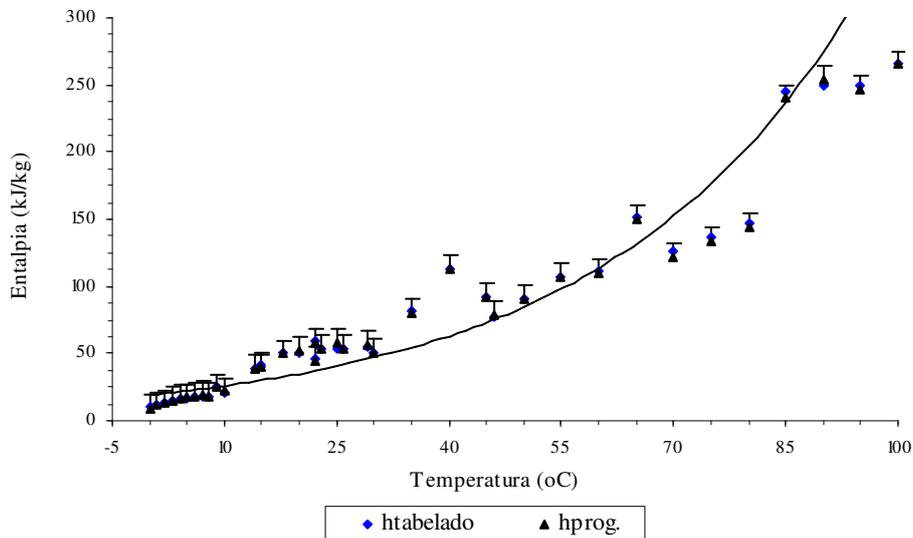


Figura 3. Comparação entre dados tabelados e valores calculados pelo PSIAw para entalpia, na condição de saturação nível do mar.

**CONCLUSÕES:** Dentro dos limites especificados, o programa PSIAw é capaz de determinar com erro máximo de 2% as propriedades psicrométricas do ar bem como indicar a atividade da água de grãos armazenados sob condições tropical.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS – ASRHAE. Handbook of Fundamentals. Atlanta. 1985.

PEREIRA, J. A. M. & QUEIROZ, D. M. **Psicrometria**. CENTREINAR: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, UFV, MG. 1989. 33p.

PEREIRA, J. A. M. **Água no grão: comportamento, disponibilidade e relação com a tecnologia de armazenagem**. CENTREINAR: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, UFV, MG. 1989. 30p.

WILHELM, L.R.L. Numerical calculation of psychrometric properties. **Transaction of ASAE**, v.19, n.2, p. 318-3255, 1976.

WYLEN, G.J.V. & SONNTAG, R.E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 2ed. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP. 1976. 565p.