

Psychro

Programa para a Determinação de Propriedades Psicrométricas do Ar

MARIA MANUEL SÁ *
ALBERTO M. SERENO **

O conhecimento das propriedades psicrométricas de misturas de vapor de água com ar pode ser obtido a partir de relações e modelos. O programa PSYCHRO fá-lo de forma completa, baseando-se nas equações de Geankopolis.

1 - INTRODUÇÃO

No projecto e operação de grande número de processos laboratoriais e industriais tais como o condicionamento de ar, a secagem e armazenamento de produtos, a evaporação e o arrefecimento de água, etc., é necessário conhecer diversas propriedades termodinâmicas de misturas de vapor de água com ar. Estas propriedades, ditas psicrométricas, são tradicionalmente obtidas em cartas ou tabelas de manuseamento pouco cómodo e geralmente restringidas à pressão atmosférica normal.

Contudo, é sabido que as mesmas propriedades podem ser facilmente calculadas a partir de relações e modelos termodinâmicos. A aplicação da regra das fases de Gibbs permite concluir imediatamente que fixadas três propriedades intensivas do sistema é possível calcular qualquer outra propriedade. É isto que se propõe com o programa PSYCHRO onde todas as relações necessárias ao cálculo das propriedades psicrométricas do ar húmido foram integradas num programa de computador que dispõe de uma interface interactiva que facilita a comunicação com o utilizador.

2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

A água pode existir em três estados físicos diferentes: sólido (gelo), líquido, e gasoso (vapor) dependendo da pressão e temperatura. Na Figura 1 está esquematizado o diagrama Pressão-Temperatura para a água, onde estão assinaladas as áreas

correspondentes a cada uma daquelas fases.

Para um sistema constituído por ar (suposto uma mistura de gases em proporções fixas e por isso tratado como um único composto) e vapor de água em equilíbrio, a bem conhecida regra das fases de Gibbs permite concluir que são três os graus de liberdade existentes ($2 \text{ componentes} - 1 \text{ fase} + 2 = 3$). Isto significa que uma vez fixadas quaisquer três propriedades intensivas do sistema este fica completamente definido, sendo então possível calcular qualquer outra propriedade intensiva de interesse.

As propriedades mais relevantes do sistema ar-vapor para os processos tecnológicos inicialmente apontados, adiante definidas, são:

- T_a - temperatura seca, [°C]
- T_w - temperatura húmida, [°C]
- P_t - pressão total, [bar]
- P_a - pressão parcial de água no ar, [bar]
- P_{va} - pressão de vapor da água, [bar]

Y_a - conteúdo de humidade, [Kg H_2O /Kg ar seco]

Y_s - conteúdo de humidade na saturação, [Kg H_2O /Kg ar seco]

y - humidade relativa

Y - percentagem de saturação

C_h - Calor específico do ar húmido, [KJ/Kg ar seco]

V_h - Volume específico do ar húmido, [m³/Kg ar seco]

H - Entalpia total de ar húmido, [KJ/Kg ar seco]

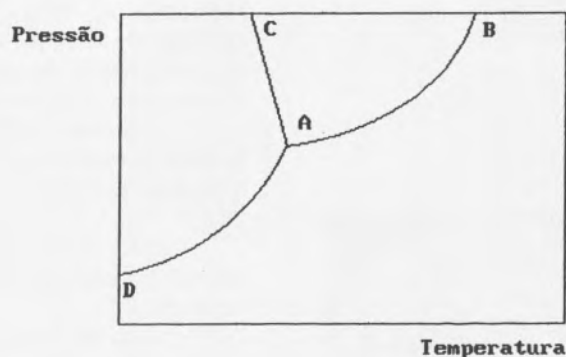
H_v - Calor latente de vaporização da água à temperatura T_a , [KJ/Kg ar seco]

Na definição destas propriedades foram usadas como unidades de pressão o [bar] e de temperatura o [°C], por serem estas as unidades mais usadas na indústria. Para as restantes grandezas foram usadas unidades do Sistema Internacional de Unidades.

3 - EQUAÇÕES PSICROMÉTRICAS

Geankopolis (1983) indica um conjunto de equações, abaixo descri-

Fig. 1 - Representação esquemática do diagrama P-T da água



Ao longo das linhas AB, AC, AD, coexistem as fases líquida e vapor, líquida e sólida e, sólida e vapor, respectivamente. O ponto A é designado por ponto triplo (1E-2°C, 6.11E-3 bar).

tas, que permitem calcular as propriedades psicrométricas e fazer a consequente caracterização de sistemas vapor de água/ar. Para a derivação das referidas equações, foi suposto que o ar tem comportamento ideal.

O conteúdo de humidade, Y_a , de uma mistura vapor de água/ar é definida como a massa de água existente na unidade de massa de ar seco. Esta propriedade, assim definida, depende somente da pressão parcial de vapor de água no ar e da pressão total. Conhecendo o peso molecular da água - 18.02 e do ar seco - 28.97, o conteúdo de humidade do ar seco pode ser calculado por:

$$Y_a = \frac{18.02}{28.97} \cdot \frac{P_a}{P_t - P_a} \quad (1)$$

Sabendo que no ar saturado o vapor de água está em equilíbrio com água líquida, a pressão parcial de água no ar é nessas condições igual à pressão de vapor de água pura à mesma temperatura. O conteúdo de humidade nas condições de saturação será dado então por:

$$Y_s = \frac{18.02}{28.97} \cdot \frac{P_{va}}{P_t - P_{va}} \quad (2)$$

podendo a pressão de vapor ser estimada pela equação de Antoine:

$$Y_a [\text{bar}] = \frac{1.01325}{10^{A - \frac{B}{C + T[^\circ\text{C}]}}} \quad (3)$$

com $A=8.079$, $B=1733.926$ e $C=233.665$ (Ohe, 1976).

A percentagem de saturação, Y , é definida por:

$$Y = 100 \cdot \frac{Y_a}{Y_s} \quad (4)$$

e a humidade relativa por:

$$y = 100 \cdot \frac{P}{P_{va}} \quad (5)$$

O calor húmido é definido aqui como a quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a temperatura de um quilograma de ar seco e respectivo vapor de água presente. De acordo com Geankopolis (1983), tomando valores médios constantes dos calores específicos do ar e do vapor de água para a gama de temperatura geralmente utilizada, aqui considerada de 0 a 200°C , pode escrever-se:

$$C_h [\text{KJ/Kg/K}] = 1.05 + 1.88 Y_a \quad (6)$$

Quanto ao volume específico de uma mistura de vapor de água/ar, pode ser estimado por (Geankopolis, 1983):

$$V_h = (2.83E-3 + 4.56E-3 Y_a) \cdot T_a \quad (7)$$

A entalpia total de um quilograma de ar seco e respectivo vapor de água nele contido, referida à temperatura base, $T_o = 0^\circ\text{C}$ e à água no estado líquido, será:

$$H = (1.005 + 1.88 Y_a) \cdot T_a + 2501.4 Y_a \quad (8)$$

Fazendo um balanço energético a uma câmara de saturação adiabática e supondo que a razão psicrométrica de uma mistura vapor de água/ar é aproximadamente igual ao calor húmido (Geankopolis, 1983), obtém-se a relação:

$$\frac{Y_a - Y_s}{T_a - T_w} = \frac{-(1.005 + 1.88 Y_a)}{H_v} \quad (9)$$

em que H_v é a entalpia de vaporização da água, função da temperatura.

Este pode ser comodamente calculado através de um ajuste polinomial de valores experimentais. Utilizando a tabela de entalpias de vaporização da água apresentados por Perry e Chilton (1973), obtém-se uma relação válida para a gama de temperaturas de 0 a 200°C :

$$H_v = 2.498 \times 10^3 - 2.049 \cdot T_a - 3.633 \times 10^{-3} \cdot T_a^2 \quad (10)$$

O conjunto das equações acabadas de descrever formam um sistema de dez equações a treze incógnitas, sendo então três o número de graus de liberdade como havia sido previsto pela regra de Gibbs. Especificadas três propriedades intensivas independentes, o programa PSYCHRO calcula as restantes.

4 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA PSYCHRO

Com base nas equações acima estabelecidas, foi desenvolvido o programa PSYCHRO. O programa foi escrito em Fortran 77 (MS-Fortran v. 4.0) e é capaz de funcionar em qualquer microcomputador tipo XT ou AT operando sob MS-DOS.



Fig. 2 - Menu de apresentação

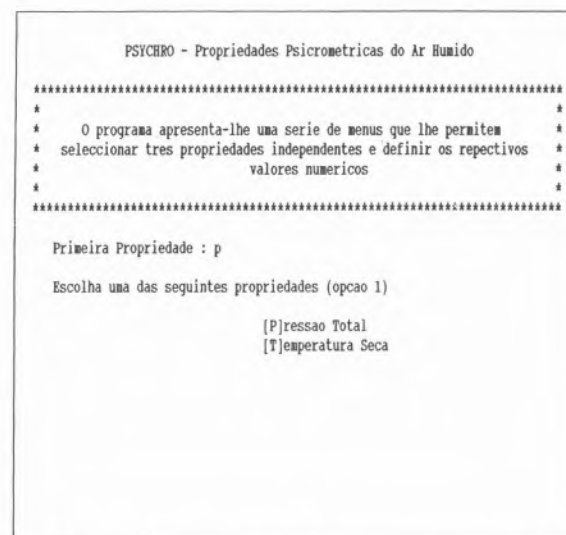


Fig. 3 - Selecção de primeira propriedade

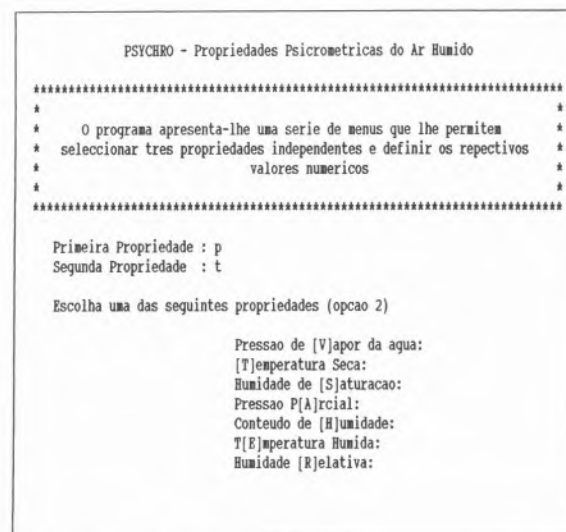


Fig. 4 - Selecção de segunda propriedade

```

PSYCHRO - Propriedades Psicrometricas do Ar Humido
*****
*
* Indique os valores conhecidos das tres propriedades seleccionadas
*
*****

Valor da Pressao Total (bar): 1
Valor da Temperatura Seca (graus C): 60
Valor da Temperatura Humida (graus C): 30
    
```

Fig. 5 - Selecção da terceira propriedade

```

PSYCHRO - Propriedades Psicrometricas do Ar Humido

RESULTADOS CALCULADOS

As propriedades para uma mistura vapor de agua/ar nas condicoes
especificadas sao:

Pressao Total (bar) = 1.000
Pressao Parcial de Agua no Ar (bar) = .023
Pressao de Vapor da Agua (bar) = .199
Temperatura Seca (graus C) = 60.000
Temperatura Humida (graus C) = 30.000
Conteudo de Humidade do Ar (Kg H2O/Kg ar seco) = .014
Humidade de Saturacao (Kg H2O/Kg ar seco) = .155
Humidade Relativa (%) = 11.390
Calor Especifico do Ar Humido (KJ/Kg ar seco) = 1.032
Volume Especifico de Ar Humido (m3/Kg ar seco) = .964
Entalpia Total de Ar Humido (KJ/Kg ar seco) = 98.067
Percentagem de Saturacao (%) = 9.332
Calor Latente de Vaporizacao (KJ/Kg ar seco) = 2361.317

Prima RETURN para terminar
    
```

Fig. 6 - Entrada dos valores das propriedades seleccionadas

```

PSYCHRO - Propriedades Psicrometricas do Ar Humido
*****
*
* O programa apresenta-lhe uma serie de menus que lhe permitem
* seleccionar tres propriedades independentes e definir os respectivos
* valores numericos
*
*****

Primeira Propriedade : p
Segunda Propriedade : t
Terceira Propriedade : w

Escolha uma das seguintes propriedades (opcao 3)

Pressao P[ar]cial:
Conteudo de [H]umidade:
T[em]peratura Humida:
Humidade [R]elativa:
    
```

Fig. 7 - Resultados calculados

O programa tem uma estrutura modular e é constituído pelas seguintes subrotinas.

Programa PSYCHRO - Programa principal.

Subrotina INPDAT - Faz a lista das propriedades do ar consideradas por PSYCHRO.

Subrotina PSYCO - Permite ao utilizador seleccionar quais as três propriedades conhecidas e indicar os respectivos valores.

Subrotina SUBS - Calcula as propriedades termodinâmicas usando as Equações 1 a 10.

Subrotina OUTDAT - Lista os valores calculados das propriedades desconhecidas.

Subrotina SCREEN - Responsável pela comunicação com o monitor.

Durante a execução, vão surgindo menus detalhados que tornam a sua utilização transparente e dispensam experiência anterior com meios computacionais.

No programa PSYCHRO foram adoptadas algumas hipóteses, já referidas, nomeadamente: (i) comportamento ideal do ar; (ii) razão psicrométrica igual ao valor de calor húmido, ou seja, no diagrama humidade/temperatura as linhas de saturação adiabática coincidem com as linhas de igual temperatura húmida; (iii) as equações 3 e 10 são válidas apenas na gama 0 °C a 200 °C; o próprio programa alerta o utilizador para este facto caso seja introduzido um valor fora desta gama. Cópias do programa PSYCHRO podem ser obtidas junto dos autores. O programa faz também parte da programoteca da SPQ.

5 - EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO

Problema: Dadas três propriedades psicrométricas, Pressão total, Temperatura seca e Temperatura húmida, pretende-se conhecer os valores das restantes propriedades.

$$P_t = 1 \text{ bar}; T_a = 60 \text{ °C}; T_w = 30 \text{ °C}$$

Para correr o programa bastará escrever a palavra PSYCHRO como resposta ao "prompt" do computador. O programa apresenta uma série de menus (Figuras 2 a 7) onde se podem seleccionar três propriedades independentes conhecidas, fixar os correspondentes valores numéricos e obter de seguida os valores das restantes propriedades.

NOMENCLATURA

A, B, C - Constantes da Eq. de Antoine

C_h - Calor específico do ar húmido, [KJ/Kg ar seco]

H - Entalpia total de ar húmido, [KJ/Kg ar seco]

H_v - Calor latente de vaporização da água à temperatura T_a , [KJ/Kg ar seco]

P_a - pressão parcial de água no ar, [bar]

P_t - pressão total, [bar]

P_{va} - pressão de vapor da água, [bar]

T_a - temperatura seca, [°C]

T_o - temperatura base para o cálculo de entalpia, [°C]

T_w - temperatura húmida, [°C]

V_h - Volume específico de ar húmido, [m³/Kg ar seco]

Y - percentagem de saturação

Y_a - conteúdo de humidade, [Kg H₂O/Kg ar seco]

Y_s - conteúdo de humidade na saturação, [Kg H₂O/Kg ar seco]

y - humidade relativa

REFERÊNCIAS

Ohe, S., 1976, "Computer Aided Data Bank of Vapor Pressure" Data Book Publ. Comp., Tokyo.

Geankopolis, C. J., 1983, "Transport Process and Unit Operations" 2nd Ed., Allyn & Bacon, Inc., Newton Mass.

Perry & Chilton, 1973, "Chemical Engineers Handbook" 5th Ed., Mc Graw-Hill.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da JNICT - Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica através do programa JNICT/FSE.

* Eng.ª Química, Bolseira da JNICT/CIÊNCIA na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

** Eng.ª Químico, Prof. Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto