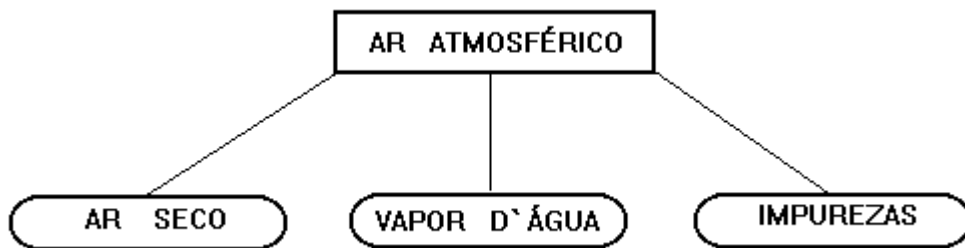


2 PROPRIEDADES DO AR ATMOSFÉRICO

O ar atmosférico (fig. 3) pode ser considerado uma mistura de ar seco, vapor d'água e impurezas.

FIGURA 3 - AR ATMOSFÉRICO



Considera-se o ar seco quando todo vapor d'água e contaminantes são removidos do ar atmosférico. As quantidades relativas aos diversos constituintes do ar seco estão apresentadas na (tab. 2).

TABELA 2 - COMPONENTES DO AR SECO

Componentes	% volume	% peso
Nitrogênio	78,09	75,52
Oxigênio	20,95	23,15
Argônio	0,93	1,28
Dióxido de carbono	0,03	0,04
Neônio, Hidrogênio, Hélio, Criptônio, Ozônio, etc.	traços leves	

Embora a composição do ar seco permaneça relativamente constante a quantidade de vapor d'água no ar atmosférico varia consideravelmente por ser condensável a pressões e temperaturas usuais, razão pela qual, as quantidades de ar úmido devem ser expressas de tal maneira que as quantidades relativas de vapor d'água e ar seco sejam sempre indicadas.

Assim as propriedades específicas do ar úmido serão geralmente referidas à unidade de peso do ar seco.

A temperatura e a pressão barométrica do ar atmosférico variam muito com as condições do tempo, localização geográfica e principalmente com a altitude.

O ar atmosférico padrão é útil como referência em aplicações de condicionamento de ar para estimativa de suas propriedades em várias altitudes.

Para efeitos do estudo dos processos normalmente encontrados no campo

da psicrometria, o ar úmido é formado pela mistura de dois gases: o vapor d'água e o ar seco. Esta aproximação é válida em ampla faixa de temperatura, considerando que as condições ambientes estão bastante longe das propriedades críticas dos componentes do ar seco.

As constantes importantes para o ar padrão (temperatura de 21,1°C e uma pressão barométrica de 101,325 kPa) e a água no SI são:

- aceleração da gravidade normal, $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$;
- constante de gás para o ar, $R = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$;
- densidade do ar ao nível do mar, $\rho_{\text{ar}} = 1,201 \text{ kg/m}^3$;
- calor específico à pressão constante do ar, $c_p = 1,0048 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$;
- calor específico a volume constante do ar, $c_v = 0,717 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$;
- densidade da água, $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$;
- calor específico da água líquida, $c_{\text{al}} = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$;
- calor latente de vaporização da água líquida, $c_{\text{lv}} = 2,4535 \cdot 10^3 \text{ kJ/kg}$.

As propriedades do ar úmido são normalmente apresentadas na forma de tabelas termodinâmicas ou cartas psicrométricas, mas para o desenvolvimento de rotinas computacionais as equações a seguir são muito úteis.

2.1 PRESSÃO DO VAPOR DE ÁGUA NO AR ÚMIDO

A pressão exercida pelo ar úmido obedece praticamente à lei da mistura de gases perfeitos, que é dada por:

$$p = p_a + p_v \quad (2)$$

onde

- p pressão total da mistura
- p_a pressão parcial do ar seco
- p_v pressão parcial do vapor d'água na mistura

Para o ar saturado podem ser utilizadas as tabelas de dados psicrométricos, para a determinação da pressão de vapor d'água e quando o ar não estiver saturado, a expressão a seguir, pode ser usada para o seu cálculo:

$$p_v = p_{vs} - p A (t_{bs} - t_{bu}) \quad (3)$$

onde

- p_v pressão de vapor d'água na mistura, Pa
- p_{vs} pressão de saturação do vapor d'água (quando $\phi = 100\%$), Pa
- p pressão barométrica, Pa
- A constante para psicrômetro giratório e $t_{bu} > 0^\circ\text{C}$, $6,66 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- t_{bs} temperatura de bulbo seco, $^\circ\text{C}$
- t_{bu} temperatura de bulbo úmido, $^\circ\text{C}$

2.2 UMIDADE ESPECÍFICA

A umidade específica é dada por:

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad (4)$$

onde

w umidade específica, kg vapor/kg ar seco

m_v massa de vapor d'água, kg vapor

m_a massa de ar seco, kg ar seco

Verifica-se que as quantidades de vapor d'água que se pode adicionar à mistura são pequenas, sendo a umidade específica geralmente expressa em g de vapor/ kg ar seco.

Aplicando a lei geral dos gases perfeitos, a umidade específica pode ser apresentada em termos da pressão barométrica, p e da pressão parcial de vapor, p_v através da seguinte equação:

$$w = 0,62198 \frac{p_v}{p - p_v} \quad (5)$$

2.3 UMIDADE RELATIVA

É a relação entre a pressão parcial de vapor d'água na mistura, p_v a uma determinada temperatura e a pressão parcial que o vapor d'água teria, p_s se a mistura estivesse saturada à mesma temperatura e pressão total da mistura.

$$\phi = \frac{p_v}{p_{vs}} \quad (6)$$

Naturalmente, a umidade relativa varia entre 0 e 1 e, por isso, é hábito fornecer o valor de ϕ em porcentagem. Assim $\phi = 0$ está reservado para o ar seco, enquanto que $\phi = 100\%$ indica que o ar úmido está saturado.

Nos processos psicrométricos geralmente o fluxo de ar seco é mantido constante, enquanto que o vapor d'água é adicionado ou retirado do ar úmido. Assim, o fluxo mássico de ar seco, se conserva através da instalação ou equipamento operando em regime, enquanto que o fluxo mássico de ar úmido pode ou não se conservar, dependendo se houver ou não variação do conteúdo de umidade do ar. Assim as propriedades volume específico, entalpia específica e calor específico são representadas com base no ar seco.

2.4 VOLUME ESPECÍFICO

O volume específico é dado por:

$$v = \frac{V}{m_a} \quad (7)$$

onde

v volume específico, m^3/kg ar seco
 V volume da mistura, m^3

2.5 ENTALPIA ESPECÍFICA

A entalpia específica da mistura é dada pela contribuição isolada da entalpia do ar seco e do vapor d'água, dada a hipótese de validade de gases perfeitos. Assim:

$$h = h_a + w h_v \quad (8)$$

onde

h entalpia específica, kJ/kg ar seco
 h_a entalpia do ar seco, kJ/kg ar seco
 h_v entalpia do vapor d'água, kJ/kg ar seco
 w umidade específica, kg/kg ar seco

Uma equação aproximada para a entalpia específica é dada por:

$$h = T + w (2501 + 1,805 T) \quad (9)$$

onde

T temperatura de bulbo seco, $^{\circ}C$

2.6 CALOR ESPECÍFICO

O calor específico referido à massa de ar seco é dado pela combinação dos calores específicos do ar seco, c_{pa} e o calor específico do vapor d'água, c_{pv} , de acordo com a expressão:

$$c_p = c_{pa} + w c_{pv} \quad (10)$$

onde

c_p calor específico, kJ/kg ar seco $^{\circ}C$
 c_{pa} calor específico do ar seco, kJ/kg $^{\circ}C$
 c_{pv} calor específico do vapor d'água, kJ/kg $^{\circ}C$

2.7 TEMPERATURA DE BULBO SECO

É a temperatura medida por um termômetro sensível, limpo, seco, protegido contra irradiações, não sendo afetado pelo vapor d'água do ar.

2.8 TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO

É a temperatura do ar indicada por termômetro comum, exposto a uma corrente de ar cujo bulbo esteja coberto por um tecido poroso umedecido.

Para o ar saturado as temperaturas de bulbo seco e úmido são coincidentes.

Para o ar não saturado $t_u < t_s$. Isto é devido à vaporização da água do tecido que envolve o bulbo, que se processa por absorção de calor.

O aparelho utilizado para medir a temperatura de bulbo úmido é denominado de psicrômetro, que também fornece a temperatura de bulbo seco.

2.9 TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO

É a temperatura em que a mistura está saturada e começa o vapor d'água a se condensar.

Alternativamente para temperaturas entre 0 e 70°C, a temperatura de ponto de orvalho pode ser calculada pela seguinte equação:

$$t_o = -35,957 - 1,8726\alpha + 1,6893\alpha^2 \quad (11)$$

onde, $\alpha = \ln(p_v)$

2.10 CALOR SENSÍVEL

É o calor fornecido ou removido do ar úmido que altera sua temperatura de bulbo seco que é calculado por:

$$Q_s = \dot{m} c_p \Delta t \quad (12)$$

onde

Q_s calor sensível, W

\dot{m} vazão mássica de ar

c_p calor específico à pressão constante do ar seco, kJ/kg °C

Δt variação na temperatura de bulbo seco, °C

2.11 CALOR LATENTE

É a quantidade de calor que altera a quantidade de vapor d'água do ar úmido sem alterar sua temperatura de bulbo seco que é calculado por:

$$Q_L = \dot{m} c_{lv} \Delta w \quad (13)$$

onde

Q_L calor latente, W

\dot{m} vazão mássica de ar

c_{lv} calor latente de vaporização da água, kJ/kg vapor

Δw variação na umidade específica, g/kg ar seco

2.12 CALOR TOTAL

O calor total, Q_T é a soma do calor sensível e latente fornecido ou retirado de uma certa massa de ar em um determinado processo que é calculado por:

$$Q_T = Q_s + Q_L \quad (14)$$

ou pode-se usar a variação de entalpias:

$$Q_T = \dot{m} \Delta h \quad (15)$$

onde

Δh variação na entalpia, kJ/kg ar seco

Em projetos de sistemas de climatização, as quantidades de ar, V_i são expressas diretamente em m^3/h ou l/s e as fórmulas são utilizadas para o ar padrão, como segue:

$$Q_s = 1,2 V_i \Delta t \quad (16)$$

$$Q_L = 2,95 V_i \Delta w \quad (17)$$

2.13 FATOR DE CALOR SENSÍVEL

O fator de calor sensível, FCS é a relação entre o calor sensível e o calor total, onde o calor total é a soma do calor sensível com o calor latente.

$$FCS = \frac{Q_s}{Q_s + Q_L} \quad (18)$$

onde

Q_s calor sensível

Q_L calor latente

2.14 VARIAÇÃO DA PRESSÃO BAROMÉTRICA COM A ALTITUDE

A pressão barométrica ao nível do mar, chamada de pressão normal, vale 101,325 kPa. Para outras altitudes, a pressão local, p_L varia de acordo com a seguinte expressão (ASHRAE, 1996):

$$p_L = 101,325 \left(1 - 2,25569 \times 10^{-5} L\right)^{5,2561} \quad (19)$$

onde

L altitude, m

A (eq. 19) vale para altitudes ente -500 e 11000 m.

A densidade para a altitude L , ρ_L pode ser calculada através da expressão:

$$\rho_L = \rho \frac{p_L}{p} \quad (20)$$

onde

ρ densidade ao nível do mar, 1,201 kg/m³

p pressão atmosférica ao nível do mar, 101,325 kPa

2.15 EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

EXEMPLO 2.15.1 - Determinar a pressão de vapor de saturação em ar úmido e a pressão do ar seco a 24°C e uma pressão barométrica de 101325 Pa e de 92600 Pa.

EXEMPLO 2.15.2 - Calcular a pressão do vapor d'água, umidade relativa, a umidade específica, o volume específico, a entalpia específica e a temperatura de ponto de orvalho para uma amostra de ar úmido no estado de 24°C de bulbo seco e 17°C de bulbo úmido e pressão barométrica de 101325 Pa.