

Bioclimatologia e Conforto Térmico Animal

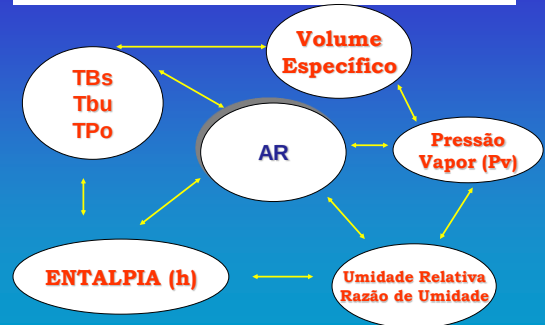
PSICROMETRIA



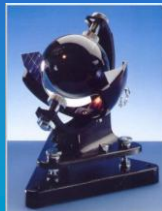
Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva

NUPEA - ESALQ/USP.

CONSIDERAÇÕES GERAIS



Dados históricos
Tomada de decisão



Monitoramento



Aquisição de
Dados



Controle no volume de ar

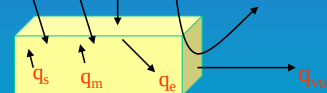


Balanco de calor e massa

Desenvolvimento

- Baseados no controle do volume de ar da estrutura
- Balanço de calor sensível e latente

$$q_s + q_m + q_{so} + q_h + q_{vi} = q_w + q_e + q_{vo}$$

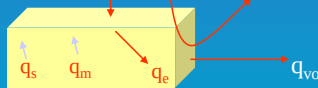


Balanço de calor e massa Desenvolvimento

Balanço de calor sensível

$$q_s = (\sum UA + FP + 1006 \cdot \rho \dot{V}) \cdot (t_i - t_o)$$

$$(q_s) + (q_m) + q_{so} + q_h + q_{vi} = q_w + (q_e) + q_{vo}$$



Balanço de calor e massa Desenvolvimento

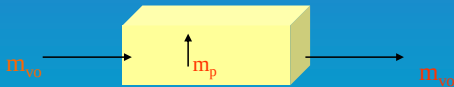
$$\dot{V} = \frac{q_s - (\sum UA + FP) \cdot (t_i - t_o)}{1006 \cdot \rho \cdot (t_i - t_o)}$$

$$t_i = t_o + \frac{q_s}{\sum UA + FP + 1006 \cdot \rho \cdot \dot{V}}$$

Balanço de calor e massa Desenvolvimento

Balanço de umidade

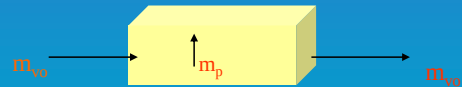
$$m_p + m_{vi} = m_{vo}$$



Balanço de calor e massa Desenvolvimento

Balanço de umidade $m_p + m_{vi} = m_{vo}$

$$m_p = \rho_i \dot{V}_i W_i - \rho_o \dot{V}_o W_o = \dot{m}_a \cdot (W_i - W_o)$$



PSICROMETRIA

• Compreensão do comportamento da mistura ar e vapor de água - **Psicrometria** - palavra grega "psukros", que significa umidade.

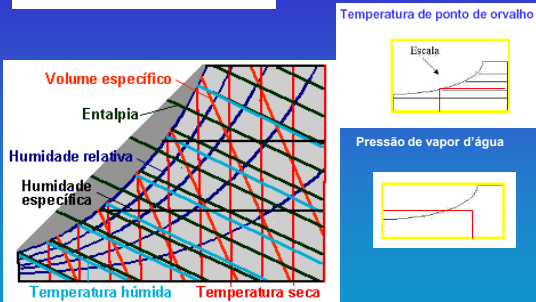
• **Importância:** estudo do conforto térmico de ambientes para produção de animais e plantas; conservação de produtos agrícolas após a colheita (relação entre o produto e o ar depende de processos como secagem (aquecimento e/ou resfriamento), umidificação, refrigeração).

• **Na Engenharia** - admite o comportamento de **gás perfeito**, tanto para o vapor de água, como para o ar atmosférico seco. (**Resultados satisfatórios**)

Psicrometria

Psicrometria é o estudo das propriedades do ar, tais como temperatura, umidade e ponto de orvalho.

Carta Psicrométrica



Mistura Ideal

Ar seco + vapor d'água = Ar úmido

Importância do conhecimento das condições de umidade do ar:

- Conservação de produtos (frutas, legumes, ovos ...)
- Armazenamento e manuseio de grãos
- Determinação do conforto térmico

Condicionamento do ar para diferentes aplicações

Tipo de Equipamento	Processo em vista
Bateria de Aquecimento	Aquecimento
Bateria de Arrefecimento	Arrefecimento desumidificação
Injeção de vapor	Umidificação
Lavador de ar (sem temp. controlada)	Umidificação
Lavador de ar (com temp. controlada)	Umidificação, desumidificação
Excicadores (dissecantes)	Desumidificação

PARÂMETROS FUNDAMENTAIS

Constante do ar seco

$$R_a = \frac{R}{M_a} = 287,0 \frac{J}{kg.K} = 53,4 \frac{lb_f.pés}{lbm.R}$$

Constante universal dos gases

$$R = 1.545,32 \frac{lb_f.pés}{lbmol.R} = 8.314,0 \frac{J}{kgmol.K}$$

M_a = peso molecular do ar seco = 28,965.

Constante do vapor de água

$$R_v = \frac{R}{M_v} = 462,0 \frac{J}{kg.K} = 85,8 \frac{lb_f.pés}{lbm.R}$$

M_v = peso molecular do vapor de água = 18,05

Densidade do ar seco, ao nível do mar, kg/m^3

$$\rho_a = \frac{P_a}{R_a.T}$$

Pressão atmosférica, Pa

$$P_{atm} = p_{N_2} + p_{O_2} + p_{CO_2} + p_{OG} + p_v$$

Pressão do ar seco, Pa

$$P_a = p_{N_2} + p_{O_2} + p_{CO_2} + p_{OG}$$

P_v = pressão do vapor de água, Pa

ENTÃO:

$$P_{atm} = P_a + P_v$$

Umidade específica, W - é razão entre a massa de vapor de H_2O (m_v) e a massa de ar seco (m_a) na mistura.

$$W = \frac{m_v}{m_a}$$

Umidade Relativa ϕ : é a razão da fração molar do vapor de água (X_v) numa mistura com a fração molar (X_s) do vapor de água numa mistura saturada na mesma temperatura e pressão.

$$\phi = \frac{X_v}{X_s} \Big|_{T,P} \quad X_v = \frac{P_v}{P_{atm}} \quad \phi = \frac{P_v}{P_s}$$

$$X_s = \frac{P_s}{P_{atm}}$$

Grau de Saturação μ é a razão entre a umidade específica (W) e umidade específica de uma mistura saturada (W_s) na mesma temperatura e pressão

$$\mu = \frac{W}{W_s} \Big|_{T,P}$$

Temperatura de ponto de orvalho: é a temperatura do ar úmido saturado à mesma pressão e umidade específica de uma mistura de ar dada.

$$t_{po} = -60,45 + 7,0322 \ln(P_v) + 0,37(\ln(P_v))^2$$

$$(-60 \leq t_{bs} < 0 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$t_{po} = -35,957 - 1,8726(P_v) + 1,1689(\ln(P_v))^2$$

$$(0 \leq t_{bs} \leq 70 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Usando a lei dos gases perfeitos, chega-se as seguintes relações:

$$m_v = \frac{P_v \cdot V}{R_v \cdot T} = \frac{P_v \cdot V \cdot M_v}{R \cdot T}$$

$$m_a = \frac{P_a \cdot V}{R_a \cdot T} = \frac{P_a \cdot V \cdot M_a}{R \cdot T}$$

Trabalhando as relações anteriormente definidas, tem-se:

$$W = \frac{M_v \cdot P_v}{M_a \cdot P_a} = 0,6219 \frac{P_v}{P_a} \quad W = 0,6219 \frac{P_v}{P_{atm} - P_v}$$

$$W = 0,6219 \frac{\phi \cdot P_s}{P_a}$$

Entalpia - h

$$h = h_a + W \cdot h_v$$

h = entalpia da mistura, (KJ/Kg_a)

h_a = entalpia do ar seco, (KJ/Kg_a)

h_v = entalpia do vapor de água, (KJ/Kg_v).

$$h_a = c_{p_a} \cdot T$$

$$h_v = h_{vs} + c_{p_v} \cdot T$$

c_{p_a} = calor específico do ar seco (assumido constante) = 1.0 kJ/(kg.°C)

c_{p_v} = calor específico do vapor de água (assumido constante) = 1,86 kJ/(kg.°C)

h_{vs} = entalpia do vapor de água saturada, à 0°C = 2501,3 kJ/kg.

$$h = 1,0 \cdot T + W(2501,3 + 1,86 \cdot T)$$

Exemplo: Calcular a entalpia do ar saturado à 15,6°C e pressão atmosférica padrão.

Solução: As equações a serem usadas são:

$$W_s = 0,6219 \frac{P_s}{P_a} = 0,6219 \frac{P_s}{P_{atm} - P_s} \quad h_s = c_{p_a} \cdot T + W_s(h_{vs} - c_{p_v} \cdot T)$$

Resolvendo, temos:

$$W_s = 0,6219 \frac{1767,9}{101325 - 1767,9} = 0,01104 \text{ kg}_v/\text{kg}_a$$

$$h_s = 1,0 \cdot 15,6 + 0,01104(2501,3 - 1,86 \cdot 15,6) = 43,5 \text{ kJ/kg}_a$$

Saturação Adiabática

Condições ou hipóteses:

- $UR_2 = 100\% \Rightarrow$ Ar no ponto 2 é saturado
- t_2 = Temperatura adiabática de saturação (t_{as})
- Estado constante
- Fluxo constante

Balanco de energia

$$h_{a1} + W_1 h_{v1} + (W_2 - W_1) h_{H_2O_l} = W_2 h_{v2} + h_{a2}$$

Rearranjando, e sabendo que: $h_a = c_{p_a} \cdot T$

$$W_1(h_{v1} - h_{H_2O_l}) = c_{p_a}(t_2 - t_1) + W_2(h_{v2} - h_{H_2O_l})$$

$$W_1(h_{v1} - h_{H_2O_l}) = c_{p_a}(t_2 - t_1) + W_2 h_{fg}$$

Saturação Adiabática: (cont.)

h_{i0} = entalpia de vaporização da água, kJ/kg_v

$t_2 = t_{as} = f(\phi_1, P_1, t_1 \text{ e } P_2)$;

$\phi_1 = f(t_1, P_1, t_2, P_2)$

Exemplo : Saturador Adiabático

Dados: $P_1 = 101325 \text{ Pa}$; $t_1 = 26,7^\circ\text{C}$; $t_2 = 17,8^\circ\text{C}$

Determinar : W_1 e ϕ_1

Solução: A mistura do ar é saturada no ponto 2, portanto $p_{v2} = p_{s2}$. Então,

$$W_2 = 0,6219 \frac{p_{v2}}{p_a} = 0,6219 \frac{2029,81}{101325 - 2029,81} = 0,01271 \text{ kg}_v/\text{kg}_a$$

$$W_1 = \frac{c_p(t_2 - t_1) + W_2 h_{f2}}{h_{v1} - h_{f1}} = \frac{1 \cdot (17,8 - 26,7) + 0,01271 \cdot 2459}{255 - 75} = 0,00902 \text{ kg}_v/\text{kg}_a$$

$$W_1 = 0,6219 \frac{p_{v1}}{P_{atm} - p_{v1}} = 0,6219 \frac{p_{v1}}{101325 - p_{v1}} = 0,00902 \Rightarrow p_{v1} = 1.448,3 \text{ Pa}$$

$$\phi_1 = \frac{p_{v1}}{p_{s1}} = \frac{1.448,3}{3.488,9} = 0,415 \Rightarrow \phi_1 = 41,5\%$$

Portanto o estado do ar úmido pode ser determinado através da pressão e da temperatura. **Conclusão:**

- 1 Saturação adiabática não é um meio prático de se determinar tais condições porque o sistema teria que ser infinitamente longo na direção do fluxo.
- 2 Existe um meio mais prático de se obter as condições de uma mistura de ar; é através da temperatura de bulbo úmido e a carta psicrométrica.

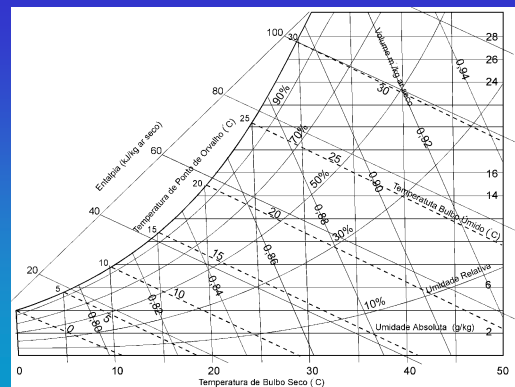
Temperatura de BU e Carta Psicrométrica

Psicrômetro: Dois termômetros: um T_{bs} (t_1 , no processo de saturação adiabática); o outro, envolvido numa capa de algodão molhado T_{bu} (t_2 , no processo de saturação adiabática). Embora o processo de transferência de calor e massa do termômetro de BU não seja o mesmo que o processo de saturação adiabática, o erro é pequeno quando este termômetro é usado nas seguintes condições:

- Diferença entre a T_{bu} e T_{bs} for menor que 0,25°C à pressão atmosférica e T > 0°C.
- T_{bs} - T_{bu} < 11°C
- Inexistência de condições incomuns de radiação
- Para termômetro de BU descoberto (não protegido) a velocidade do ar deve ser maior que 0,5 m/s.

Exercício : Dado T_{bs} e T_{bu}

Calcular: W, ϕ , h, e T_{po}

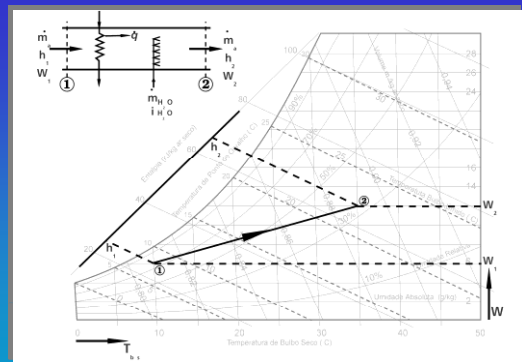


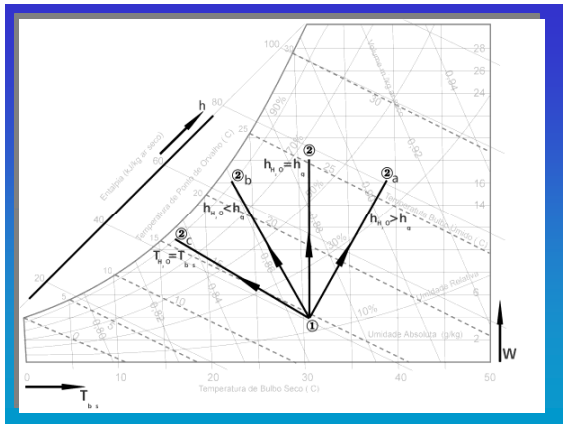
Processos com Ar Úmido

Aquecer ou Resfriar x Umidificar ou Desumidificar o ar (variação de entalpia e/ou umidade absoluta).

Entalpia: quantidade de energia interna em relação a um ponto de referência. A entalpia de uma mistura de ar seco e vapor de água é a soma das entalpias dos componentes.

Umidade absoluta: é a massa de água contida em 1 kg de ar seco.

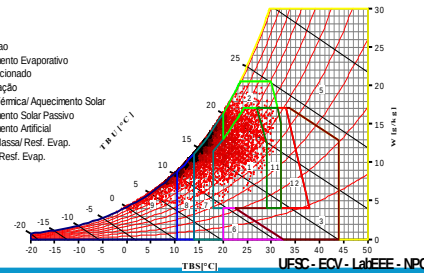




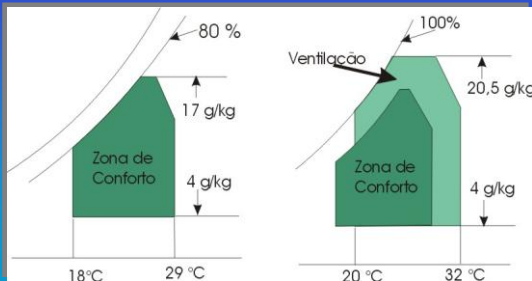
Processos Psicrométricos

ZONAS:

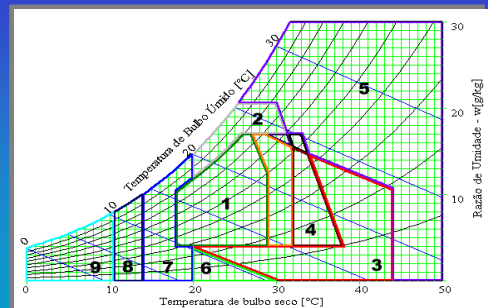
1. Conforto
2. Ventilação
3. Resfriamento Evaporativo
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
11. Vent./Massa/ Resf. Evap.
12. Massa/ Resf. Evap.



CONTROLE DO AMBIENTE



CONTROLE DO AMBIENTE



Umidificação do Ar (sem Transferência de Calor)

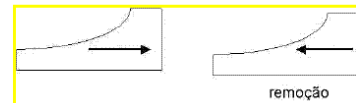
- Umidade pode ser adicionada ao ar sem adição de calor

$$\frac{\Delta h}{\Delta W} = \frac{h_2 - h_1}{W_2 - W_1} = h_v$$

Como pode ser observado na equação a direção do processo na carta psicrométrica pode variar consideravelmente. (Casos:)

- Se a água injetada é vapor saturado na temperatura de bulbo seco, o processo continuará em temperatura de bulbo seco constante.
- Se a entalpia da água (h_v) é maior que a entalpia de saturação (h_s), o ar será aquecido e umidificado.
- Se a entalpia da água (h_v) é menor que a entalpia de saturação o ar será resfriado e umidificado.
- Se a água é injetada na temperatura de bulbo úmido do ar, o processo segue a linha de temperatura constante de bulbo úmido.

Aquecimento e resfriamento sensível: alteração da temperatura do ar com umidade absoluta constante.



Adição:

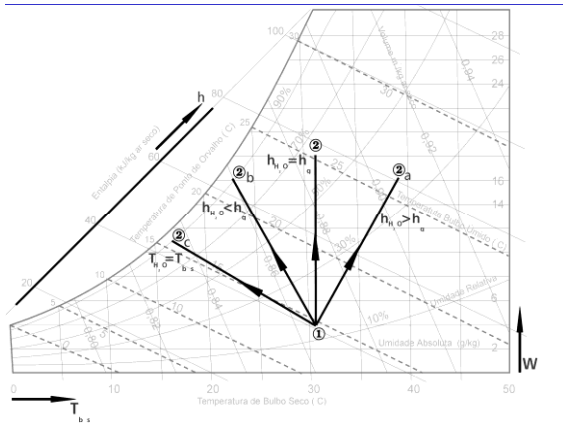
TBS: aumenta
TBU: aumenta

TPO: não altera
UR: diminui

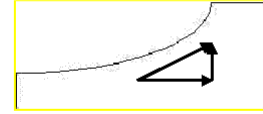
Resfriamento sensível:

TBS: diminui
TBU: diminui

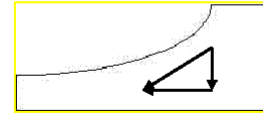
TPO: não altera
UR: aumenta.



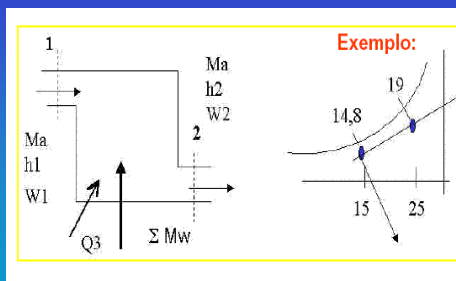
Aquecimento e umidificação :



Resfriamento e desumidificação

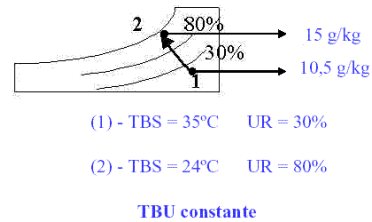


Resfriamento e Umidificação

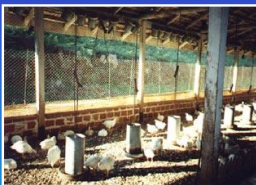


Resfriamento Evaporativo

Extraí-se calores sensível e latente. Adiciona-se umidade.



Conforto Térmico



Manejo de cortinas



Aberturas laterais, lanternim

