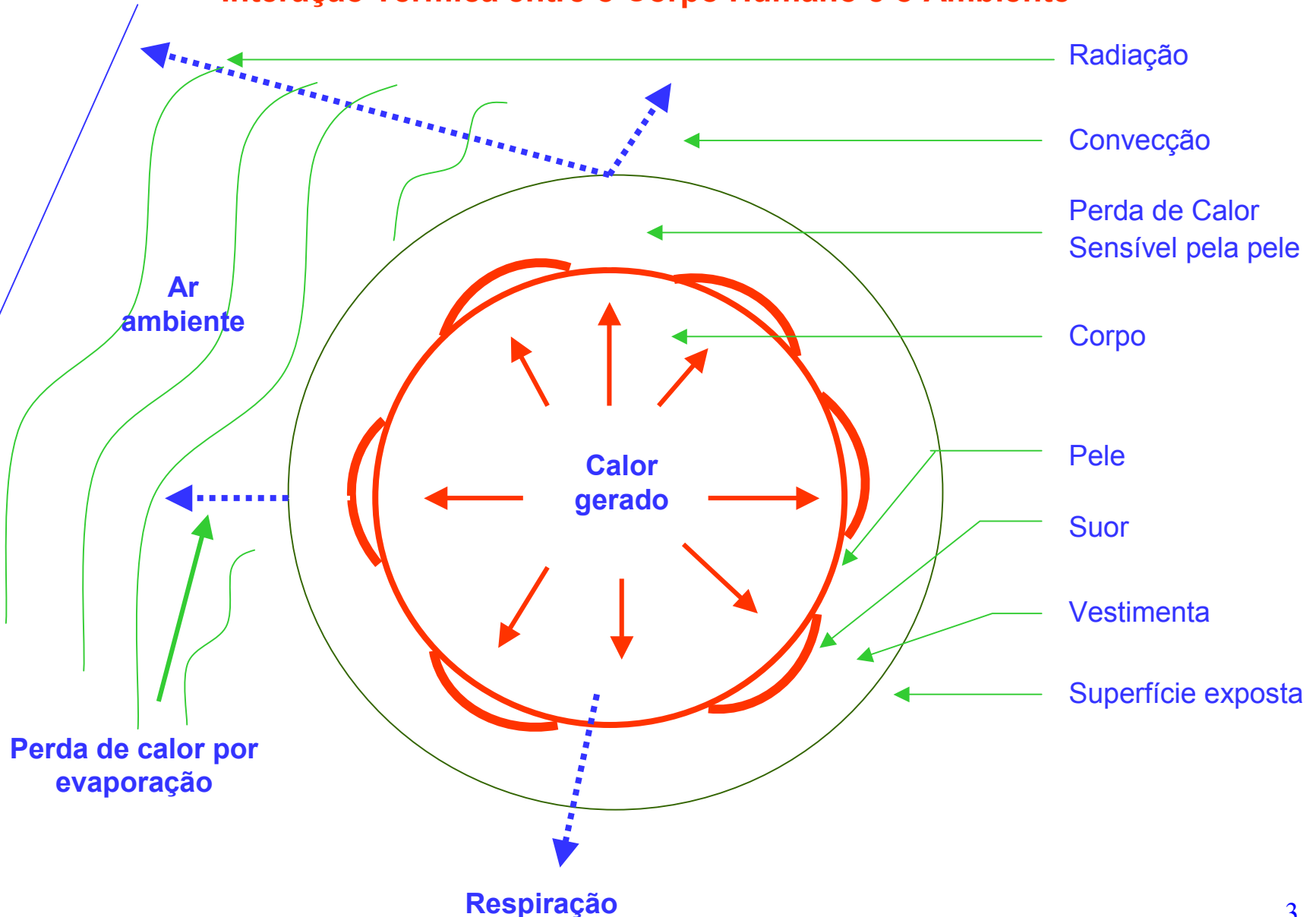


Conforto e Psicrometria

- ✓ Acústico;
- ✓ antropométrico;
- ✓ olfativo;
- ✓ tátil;
- ✓ térmico;
- ✓ visual.

Conforto Térmico

Interação Térmica entre o Corpo Humano e o Ambiente



Conforto humano

$$M = E \pm R \pm C + B \pm S$$

M: metabolismo, W;

E: perda por evaporação, W;

R: transferência de calor por radiação, W;

C: transferência de calor por convecção, W;

B: perda de calor por respiração, W;

S: taxa de variação de energia armazenada no corpo, W.

Principais aplicações do Ar Condicionado

- ✓ hospitais;
- ✓ escritórios;
- ✓ indústria de alimentos;
- ✓ armazenamento de flores, bananas...
- ✓ indústria do fumo;
- ✓ plantação de cogumelos.

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

Definições

Carta Psicrométrica: é um diagrama que simplifica o estudo das propriedades do ar.

Temperatura de bulbo seco (TBS): temperatura do ar medida com um termômetro comum.

Temperatura de bulbo úmido (TBU): temperatura do ar medida com um termômetro comum, cujo bulbo de vidro foi coberto com uma gaze úmida (resfriamente evaporativo).

A redução da Temperatura de Bulbo Úmido depende do teor de umidade do ar; quanto menor esta última, maior o abaixamento. A diferença entre a TBS e a TBU fornece a Umidade Relativa, através da Carta Psicrométrica.

Umidade relativa (%): razão entre a quantidade de umidade do ar e a quantidade máxima que ele pode conter na mesma temperatura.

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

Temperatura de ponto de orvalho: é a menor temperatura a que o ar pode ser resfriado, sem que ocorra alguma condensação de vapor de água ou umidade.

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.

Calor latente: aplicado ao ar, refere-se às modificações do conteúdo de umidade do mesmo, sem alteração da temperatura.

Na Carta Psicrométrica:

Evaporação: consiste em percorrer uma linha de TBS igual ao acréscimo de umidade do ar.

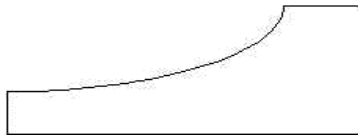
Condensação: é o contrário.

Calor Sensível: é o calor que aumenta a temperatura do ar, sem alterar o conteúdo de umidade do mesmo.

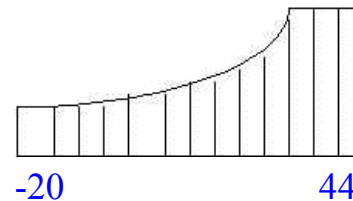
Na Carta Psicrométrica: uma alteração do Calor Sensível é representada por uma linha de Umidade Absoluta constante (horizontal). Ocorrem variações de entalpia e de TBU.

Carta Psicrométrica

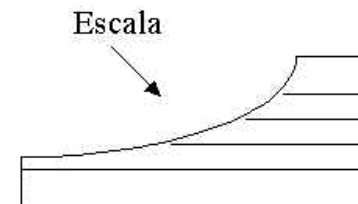
Forma



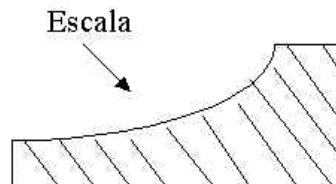
Temperatura de bulbo seco



Temperatura de ponto de orvalho

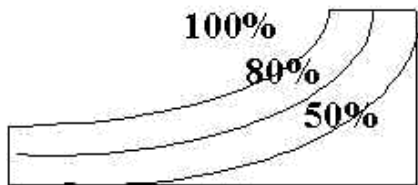


Temperatura de bulbo úmido

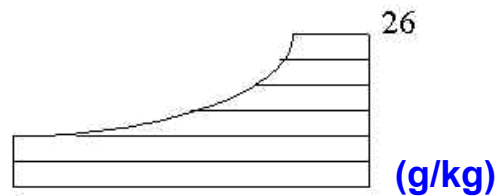


Psicrometria

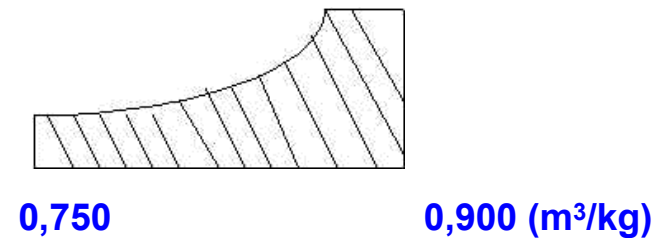
Umidade relativa



Umidade absoluta



Volume específico



Tipos de problemas para resolver com a carta:

- 1) Dados TBS e TBU \Rightarrow UR
- 2) Dados TBS e UR \Rightarrow TBU
- 3) Dados TBU e UR \Rightarrow TBS
- 4) Dados TBS e TBU \Rightarrow TPO
- 5) Dados TBU e UR \Rightarrow TPO
- 6) Dados TBS e UR \Rightarrow TPO
- 7) Dados TBS e TBU \Rightarrow UA (g/kg ar seco ou g/m³)

Dados: TBS = 25,6°C e TBU = 18,3°

⇒ UA = 10,3 g/kg

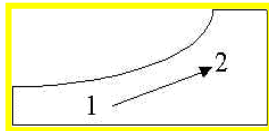


Traçar uma paralela às linhas de volume específico pelo cruzamento (TBS, TBU) → $v = 0,860 \text{ m}^3/\text{kg}$

Fazendo
$$UA = \frac{10,3 \text{ g/kg}}{0,860 \text{ m}^3/\text{kg}} = 11,9 \text{ g/m}^3$$

Aquecimento no inverno

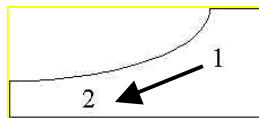
- 1) Exterior: TBS = -1,1°C e UR = 20%
- 2) Interior (projeto): TBS = 22 a 24°C e UR = 30 a 35%



Aquecimento: caldeira ou serpentina.

Umidificação: vasilha ou chuveiro.

Resfriamento para verão



- 1) Exterior: TBS = 29,4°C e UR = 70%
- 2) Interior: TBS = 23 a 26°C e UR = 45 a 50%

A serpentina extrai calor e umidade ao mesmo tempo.

Condensação no inverno:

- ✓ temperatura da superfície do vidro da janela = $-2,0^{\circ}\text{C}$.
- ✓ temperatura interna = 23°C .

Achar a **UR** sem que ocorra condensação:

Solução: TPO = $-2,0^{\circ}\text{C}$;

cruzamento (TPO, TBS) \Rightarrow UR = 19%

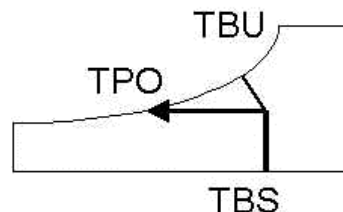
Nestas condições, não haverá condensação. Se UR > 19% \Rightarrow haverá condensação.

Condensação em duto de AC:

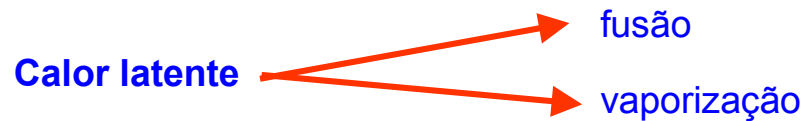
TBS = 23°C .

TBU = $17,5^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ TPO = $15,8^{\circ}\text{C}$.

Se TPO < $15,8^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ condensação.



Processos de resfriamento e de aquecimento

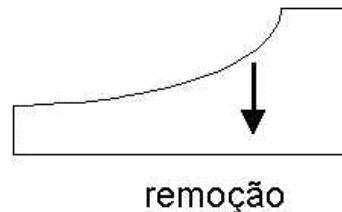


$$1TR = 55,6 \text{ kcal} / \text{min} @ 3.333 \text{ kcal} / \text{h}$$

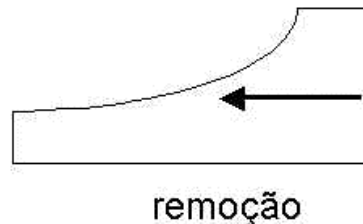
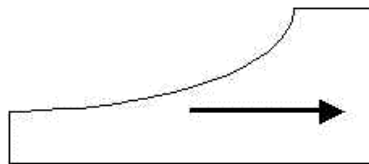
$$3.333 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \times 24\text{h} = 80.000 \text{ kcal.}$$

Calor necessário para fundir 1 tonelada de gelo em 24 horas.

Calor latente aplicado ao ar: mudanças relativas ao seu conteúdo de umidade.



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



Psicrometria

Adição:

TBS: aumenta

TBU: aumenta

TPO: não altera

UR: diminui

Resfriamento sensível:

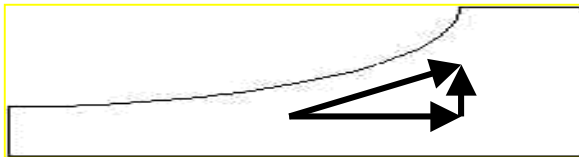
TBS: diminui

TBU: diminui

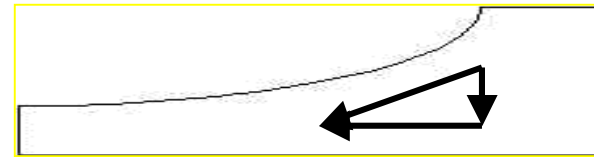
TPO: não altera

UR: aumenta

Aquecimento e umidificação



Resfriamento e desumidificação



Fator de calor sensível

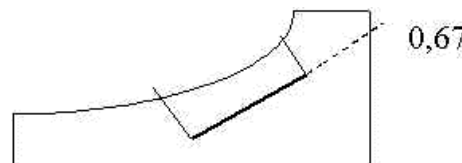
Exemplo:

Carga térmica de resfriamento = 10 TR

✓ Ar externo (1): TBS = 26,7°C e TBU = 19,4°C

✓ Ar condicionado (2): TBS = 15,6°C e TBU = 14,4°C

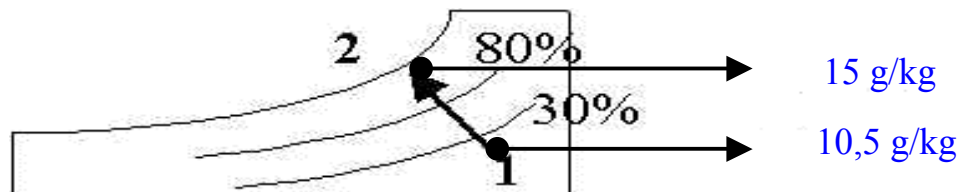
Qual é o fator de calor sensível?



Extrair: 6,3 TRs calor sensível - 3,7 TRs calor latente

Resfriamento Evaporativo

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

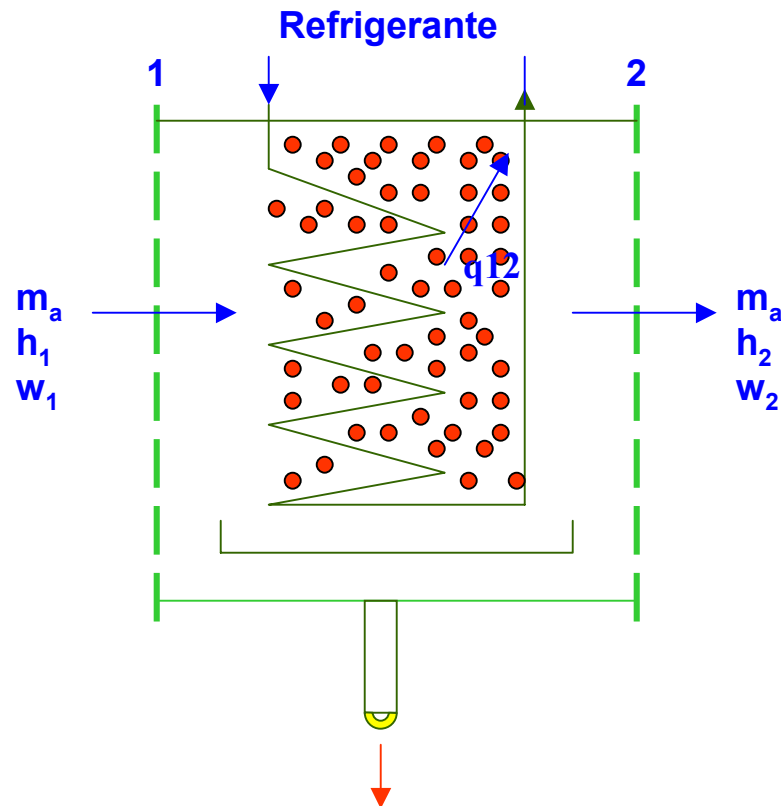


(1) - TBS = 35°C UR = 30%

(2) - TBS = 24°C UR = 80%

TBU constante

Psicrometria



$$m_a h_1 = m_a h_2 + q_{12} + m_w h_{w2} \Rightarrow 1^a \text{ Lei da Termodinâmica}$$

$$m_a w_1 = m_a w_2 + m_w \Rightarrow \text{Conservação de massa}$$

$$\therefore m_w = m_a (w_1 - w_2)$$

$$q_{12} = m_a [(h_1 - h_2) - (w_1 - w_2) h_{w2}]$$

Exercício

Ar úmido a TBS de 30°C e UR = 50% entra em uma serpentina de resfriamento a 5m³/s e é processado até a condição de saturação final a 10°C. Qual é a capacidade de refrigeração requerida para $h_{w2} = 42,01 \text{ kJ / kg}$? (utilizar diagrama psicrométrico).

Resolução:

$$m_{ar} \frac{5 \text{ m}^3/\text{s}}{0,878 \text{ m}^3/\text{kg}} = 5,7 \text{ kg/s}$$

sendo:

$$h_{w2} = 42,01 \text{ kJ/kg} \quad \text{e}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,1855 \text{ kJ}$$

$$h_{w2} = 10,04 \text{ kcal/kg}$$

sendo:

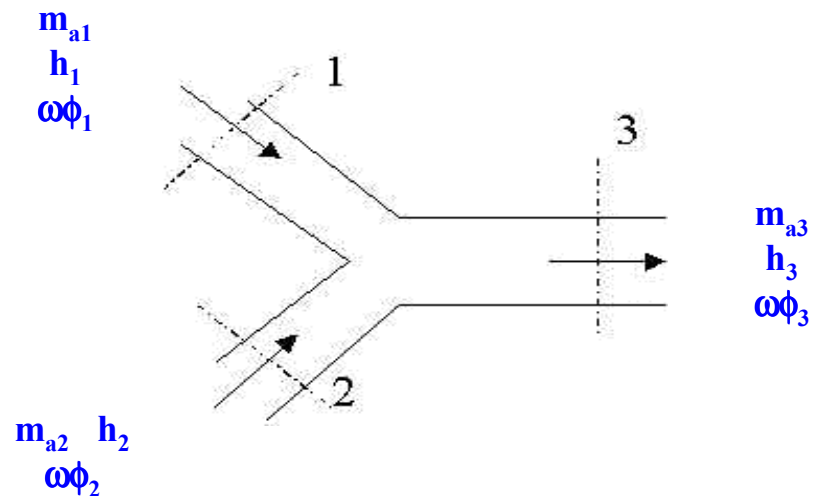
$$q_{12} = m_a [(h_1 - h_2) - (w_1 - w_2) h_{w2}]$$

Vem:

$$q_{12} = 5,7 [(15,4 - 7,0) - (0,0135 - 0,0078) 10,04]$$

$$q_{12} = 47,55 \text{ kcal/s} = 171.180 \text{ kcal/h}$$

Mistura de ar



Exemplo:

Quantidade de ar necessário = 18000 m³/h

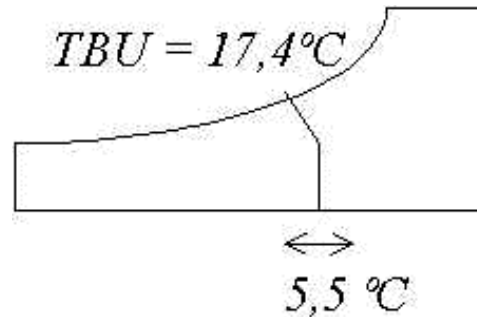
Quantidade de ar de retorno = 16200 m³/h

Ar de retorno: **(1)** TBS = 26,7°C
 TBU = 16,7°C

Ar externo **(2)** (Q = 1800 m³/h):
 TBS = 32,2 °C
 TBU = 23,9°C

Pede-se: **(3)** TBS da mistura
 TBU da mistura

Solução:



Método de resolução:

1) Localização das condições (1) e (2)

2) % de Ar de retorno: $16.200 / 18.000 = 0,9 = 90\%$

3) $\Delta TBS = 32,2 - 26,7 = 5,5^{\circ}\text{C}$

4) a) TBS da mistura

$P * \Delta TBS = 0,9 * 5,5 = 4,95 = K$ (a temperatura da mistura estará mais próxima da do ar de retorno (90%))

b) $TBS_{\text{ext}} - K = 32,2 - 4,95 = 27,2^{\circ}\text{C} = TBS_{\text{mistura}}$

c) Com uma linha de bulbo úmido, a partir de TBS_{mist} : $TBU_{\text{mist}} = 17,4^{\circ}\text{C}$

Entalpia (conteúdo total de calor em kcal/kg)

Exemplo: resfriamento e desumidificação

$$(1) \begin{cases} \text{TBS inicial} = 25,6^{\circ}\text{C} \\ \text{TBU inicial} = 18,3^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

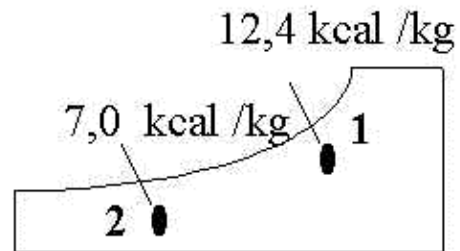
$$(2) \begin{cases} \text{TBS final} = 12,8^{\circ}\text{C} \\ \text{TBU final} = 10,0^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

Pede-se:

- a) calor total extraído
- b) calor latente e umidade extraída
- c) calor sensível extraído

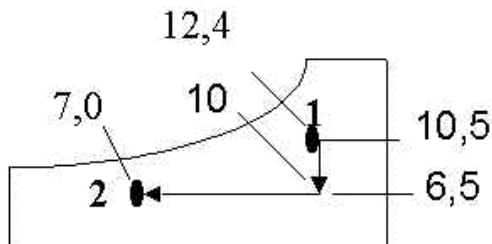
Solução:

a) *calor total extraído*



$$Q = 12,4 - 7 = 5,4 \text{ kcal / kg}$$

b) calor latente e umidade extraídos:



$$\text{Calor latente} = 12,4 - 10,0 = 2,4 \text{ kcal /kg ar}$$

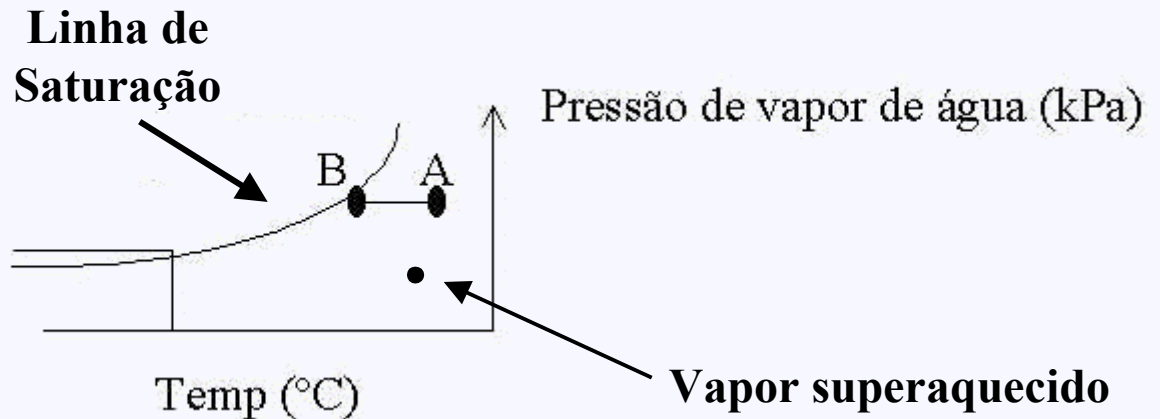
$$\Delta \text{ umidade} = 10,5 - 6,5 = 4 \text{ g /kg ar}$$

c) calor sensível = $10,0 - 7,0 = 3,0 \text{ kcal /kg ar}$

$$\text{Fator de calor sensível} = \frac{3,0}{5,4} = 0,56$$

Psicrometria

Se ocorrer uma queda de temperatura, haverá condensação



- ✓ A região à direita da linha de saturação representa vapor superaquecido;
- ✓ Se vapor superaquecido for resfriado a pressão constante (que é o caso na carta, pois p é a pressão atmosférica), a linha de saturação será atingida tendo início a condensação.