

2025

Ar Condicionado 1



Edgard Gonçalves Cardoso

Tecnologia em Refrigeração,
Ventilação e Ar Condicionado

1/1/2025

25 03 06
ARCOND 04

Uma sala de $5 \times 5 \times 3 \text{ m}$ contém ar a 25°C e 100 kPa a uma umidade relativa de 75% . Determine a pressão parcial do ar seco, a umidade específica e as massas do ar seco e do vapor de água na sala.

Ar seco

$$P_{ar} \cdot V = m_{ar} \cdot R_{ar} \cdot T$$

$$m_{ar} = \frac{P_{ar} \cdot V}{R_{ar} \cdot T} \rightarrow m_{ar} = \frac{97,624 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 3}{0,287 \cdot (25 + 273)} \rightarrow m_{ar} = 85,61 \text{ kg}$$

Vapor d'água

$$P_v \cdot V = m_v \cdot R_v \cdot T$$

$$m_v = \frac{P_v \cdot V}{R_v \cdot T} \rightarrow m_v = \frac{2,376 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 3}{0,4615 \cdot (25 + 273)} \rightarrow m_v = 1,30 \text{ kg}$$

Pressão Parcial

$$P = 100 \text{ kPa}$$

$$U.R. = \frac{P_v}{P_{vs}}$$

$$P = P_{ar} + P_v$$

$$P_{vs}$$

$$P_{ar} = P - P_v$$

$$P_v = U.R. \cdot P_{vs}$$

$$P_{ar} = 100 - 2,376$$

$$P_v = 0,75 \cdot 3,169$$

$$P_{ar} = 97,624 \text{ kPa}$$

$$P_v = 2,376 \text{ kPa}$$

Umidade específica

$$w = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P_{ar}}$$

$$w = 0,622 \cdot \frac{2,376}{97,624}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

$$w = 0,015 \text{ kg/kg}$$

Credeal

Uma casa contém ar a 25°C e 65% de umidade relativa. A umidade condensará nas superfícies internas das janelas quando a temperatura da janela cair até 10°C ? Para 25°C , a pressão é 3,169 conforme tabela

$$p = P_v + P_v = 0,65 \cdot 3,169$$

$$P_{\text{set}} \quad P_v = 2,060 \text{ kPa}$$

Interpolando entre 1,705 kPa e 2,339 kPa, temos:

$$2,339 - 1,705 = 20 - 15$$

$$2,060 - 1,705 \quad T_{\text{po}} - 15$$

$$T_{\text{po}} = 17,8^\circ\text{C}$$

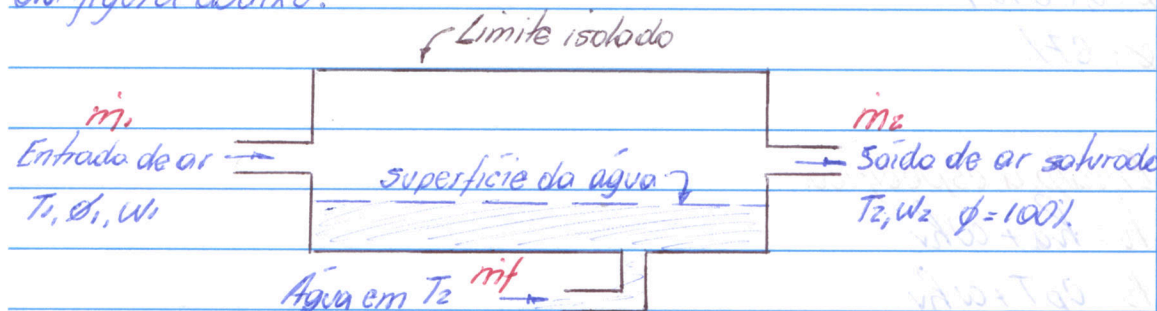
→ A umidade condensará nas janelas, pois a temperatura da superfície (10°C) está abaixo do ponto de orvalho ($17,8^\circ\text{C}$)

Uma tubulação de água a 5°C passa acima da superfície entre dois edifícios. O ar da vizinhança está a 35°C . Qual é a umidade relativa máxima que o ar pode ter antes que a condensação ocorra na tubulação?

Pela tabela:

25 03 13

EXERCÍCIO: Medem-se as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido no psicômetro giratório no ar atmosférico de forma que sejam 30°C e 25°C , respectivamente. Utilize a pressão atmosférica como 100 kPa e calcule a umidade absoluta, a umidade relativa e a entalpia específica que insere o canal da figura abaixo.



Umidade absoluta

$w_1 = C_p \cdot (T_2 - T_1) \cdot C_{d2} \cdot h_{v2}$	Temp $^{\circ}\text{C}$	Pressão kPa
$h_{v1} - h_{v2}$	0,01	0,6113
$w_2 = 0,622 \cdot \frac{P}{P - P_{v2}}$	5	0,8721
	10	1,2276
$w_2 = 0,622 \cdot \frac{3,169}{100 - 3,169}$	15	1,705
	20	2,339
$w_2 = 2,036 \cdot 10^{-2} \text{ kgv}$	25	3,169 $\leftarrow P_{v2}$
kgar seco	30	4,246
	35	5,628

Tabela Termodinâmica

Entalpia (kJ/kg)

Líquido saturado: $104,87 \text{ kJ/kg}$

Evap.: $2442,30 \text{ kJ/kg}$

Vapor saturado: $2442,30 \text{ kJ/kg (Evap)} + \text{Vap. sat.} = 2556,25 \text{ kJ/kg}$

$$w_1 = \frac{1 \cdot (25 - 30) + 2,036 \cdot 10^{-2} \cdot 2442,30}{2556,25 - 104,87}$$

$$w_1 = 1,82 \cdot 10^{-2} \text{ kgv/kg ar seco}$$

Umidade relativa

$$\phi = \frac{w \cdot P}{(0,622 + w) \cdot P_{\text{sat}}}$$

$$\phi = \frac{1,82 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{(0,622 + 1,82 \cdot 10^{-2}) \cdot 4,246}$$

$$\phi = 0,66954$$

$$\phi = 67\%$$

Entalpia específica

$$h = h_a + w h_v$$

$$h = c_p T + w h_v$$

$$h = 1,30 + 1,82 \cdot 10^{-2} \cdot 2556,25$$

$$h = 76,52 \text{ kJ/kg ar seco}$$

25 03 13

ARCONDOS

Exercício: Uma unidade de ar condicionado comercial processa a quantidade de 5 kg/s de ar atmosférico. O vapor entra a uma pressão de 105 kPa. A temperatura de bulbo seco é de 35 °C e a temperatura de bulbo úmido é de 30 °C. O ar condicionado deixa a unidade em uma temperatura de bulbo seco de 20 °C, uma temperatura de bulbo úmido de 10 °C e uma pressão de 100 kPa. Quanto de água está sendo removido do ar em uma hora?

Umidade absoluta na saída

$$W_s = C_p \cdot (T_2 - T_1) + W_1 h_{v1} - h_{v2}$$

$$W_2 = 0,622 \cdot \left(\frac{P_{v2}}{P - P_{v2}} \right) \rightarrow W_2 = 0,622 \cdot \left(\frac{1,2276}{100 - 1,2276} \right) \rightarrow W_2 = 7,731 \cdot 10^{-3} \text{ kgv}$$

kgarseco

$$W_e = 1 \cdot (30 - 35) + 2,621 \cdot 10^{-2} \cdot 2430,48 \rightarrow W_e = 2,406 \cdot 10^{-2} \text{ kgv}$$

kgarseco

$$W_s = 1 \cdot (10 - 20) + 7,731 \cdot 10^{-3} \cdot 2477,75 \rightarrow W_s = 3,667 \cdot 10^{-3} \text{ kgv}$$

kgarseco

$$\dot{m}_{\text{água}} = \dot{m} \cdot (W_e - W_s)$$

$$\dot{m}_{\text{água}} = 5 \cdot (2,406 \cdot 10^{-2} - 3,667 \cdot 10^{-3})$$

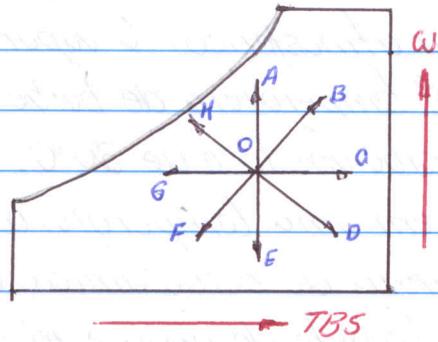
$$\dot{m}_{\text{água}} = 0,102 \text{ kg/s} \rightarrow \dot{m}_{\text{água}} = 0,102 \cdot 3600 \rightarrow \dot{m}_{\text{água}} = 367 \text{ kg/h}$$

Para obter a vazão volumétrica, adota-se a massa específica da água pelo seu valor máximo de 1000 kg/m³.

$$\dot{V}_{\text{água}} = \frac{367}{1000} = 0,367 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 367 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Credeal

PROCESSOS PSICOMÉTRICOS



TBS: Temperatura de Bulbo Seco

w: Umidade absoluta

AO: Umidificação

OB: Aquecimento com umidificação

OC: Aquecimento sensível

OD: Desumidificação química

OE: Desumidificação

OF: Resfriamento com desumidificação

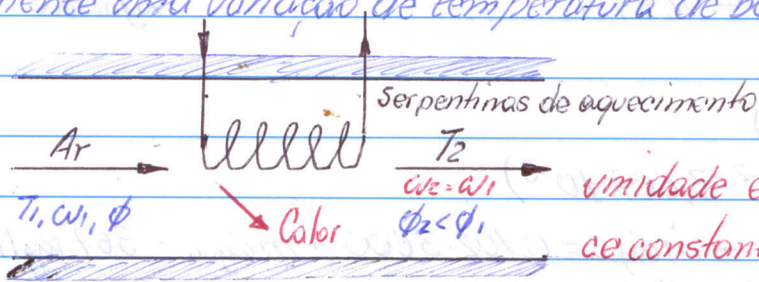
OG: Resfriamento sensível

OH: Resfriamento evaporativo

Material higroscópico: absorve umidade do ar

Aquecimento e resfriamento simples

Refere-se a taxa de transferência de calor que provoca somente uma variação de temperatura de bulbo seco



Durante o aquecimento simples, a

umidade específica permanece constante, mas a umidade relativa diminui

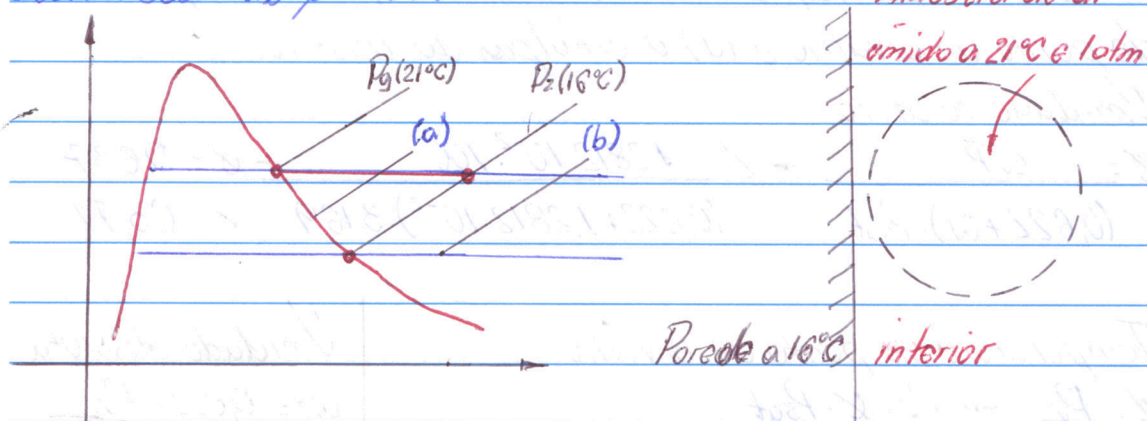
$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q} + \dot{m}_a \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right) = \dot{w} + \dot{m}_s \left(h_s + \frac{v_s^2}{2} + g \cdot z_s \right)$$

25 03 13

A temperatura interna de uma parede uma residência está a 16°C . Se o ar do quarto está a 21°C , qual é a máxima umidade relativa que o ar pode ter antes que a condensação ocorra sobre a parede?



Temp. $^{\circ}\text{C}$	Pressão kPa
T	P
0,01	0,6113
5	0,8721
10	1,2276
15	1,705
20	2,339
25	3,169
30	4,246

$$\phi = \frac{P_v}{P_{\text{sat}}(21^{\circ}\text{C})} \leq \frac{P_{\text{sat}}(16^{\circ}\text{C})}{P_{\text{sat}}(21^{\circ}\text{C})}$$

$$\phi = \frac{1,8318}{2,505}$$

$$\phi = 0,7313$$

$$\phi = 73,13\%$$

O ar de uma sala tem uma temperatura de bulbo seco a 25°C e uma temperatura de bulbo úmido a 20°C . Considerando uma pressão de 100 kPa , determine: (a) a umidade absoluta; (b) a umidade relativa; (c) a temperatura de ponto de orvalho e (d) a entalpia da mistura.

Umidade relativa:

$$\phi = \frac{wP}{(0,622 + w) \cdot P_{\text{sat}}} \rightarrow \phi = \frac{1,2812 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{(0,622 + 1,2812 \cdot 10^{-2}) \cdot 3,169} \rightarrow \phi = 0,637$$

$$\phi = 63,7\%$$

Temperatura de ponto de orvalho

$$\phi = \frac{P_v}{P_{\text{sat}}} \rightarrow P_v = \phi \cdot P_{\text{sat}}$$

$$P_v = 0,637 \cdot 3,169$$

$$P_v = 2,019\text{ kPa} \rightarrow T_{\text{po}} = 17,5^\circ\text{C}$$

Umidade absoluta

$$w_2 = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P - P_v}$$

$$w_2 = 0,622 \cdot \frac{2,019}{100 - 2,019}$$

$$w_2 = 1,4897 \cdot 10^{-2}\text{ kgv/kgorseco}$$

Entalpia da mistura

$$h = h_a + w h_v$$

$$h = C_p T + w h_v$$

$$h = 1,25 + 1,2812 \cdot 10^{-2} \cdot 2517,47$$

$$h = 57,25\text{ kJ/kgorseco}$$

$$w_1 = C_p \cdot (T_2 - T_1) + w_2 \cdot h_{v2}$$

$$h_{v1} - h_{v2}$$

$$w_1 = 1 \cdot (20 - 25) + 1,4897 \cdot 10^{-2} \cdot 2454,12$$

$$2547,17 - 83,94$$

$$w_1 = 1,2812 \cdot 10^{-2}\text{ kgv/kgorseco}$$

Tabela B.1 — Propriedades termodinâmicas da água

Tabela B.1.1

Água saturada: tabela em função da temperatura

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m³/kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,01	0,6113	0,001000	206,132	0,00	2375,33	2375,33	0,00	2501,35	2501,35	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,118	20,97	2361,27	2382,24	20,98	2489,57	2510,54	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001000	106,377	41,99	2347,16	2389,15	41,99	2477,75	2519,74	0,1510	8,7498	8,9007
15	1,705	0,001001	77,925	62,98	2333,06	2396,04	62,98	2465,93	2528,91	0,2245	8,5569	8,7813
20	2,339	0,001002	57,7897	83,94	2318,98	2402,91	83,94	2454,12	2538,06	0,2966	8,3706	8,6671
25	3,169	0,001003	43,3593	104,86	2304,90	2409,76	104,87	2442,30	2547,17	0,3673	8,1905	8,5579
30	4,246	0,001004	32,8922	125,77	2290,81	2416,58	125,77	2430,48	2556,25	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001006	25,2158	146,65	2276,71	2423,36	146,66	2418,62	2565,28	0,5052	7,8478	8,3530
40	7,384	0,001008	19,5229	167,53	2262,57	2430,11	167,54	2406,72	2574,26	0,5724	7,6845	8,2569
45	9,593	0,001010	15,2581	188,41	2248,40	2436,81	188,42	2394,77	2583,19	0,6386	7,5261	8,1647
50	12,350	0,001012	12,0318	209,30	2234,17	2443,47	209,31	2382,75	2592,06	0,7037	7,3725	8,0762
55	15,758	0,001015	9,56835	230,19	2219,89	2450,08	230,20	2370,66	2600,86	0,7679	7,2234	7,9912
60	19,941	0,001017	7,67071	251,09	2205,54	2456,63	251,11	2358,48	2609,59	0,8311	7,0784	7,9095
65	25,03	0,001020	6,19656	272,00	2191,12	2463,12	272,03	2346,21	2618,24	0,8934	6,9375	7,8309

EXERCÍCIO EXTRA: AS TEMPERATURAS DE BULBO SECO E ÚMIDO DO AR ATMOSFÉRICO A 95 kPa SÃO DE 25°C E 17°C, RESPECTIVAMENTE. DETERMINE:

- A UMIDADE ABSOLUTA
- A UMIDADE RELATIVA
- A ENTALPIA DO AR EM kJ/kg DE AR SECO



Umidade absoluta: (a)

$$w_1 = \frac{C_p \cdot (T_2 - T_1) + w_2 \cdot h_{v2}}{h_{v1} - h_{v2}} \rightarrow w_1 = \frac{1.0 \cdot (17 - 25) + 0.013096 \cdot 2547.17}{2547.17 - 71.364}$$

$$w_1 = 9.7875 \cdot 10^{-3} \text{ kgv/kgar seco}$$

$$w_2 = 0.622 \cdot \frac{P_{v2}}{P - P_{v2}}$$

$$w_2 = \frac{0.622 \cdot 1.959}{95 - 1.959}$$

$$w_2 = 0.013096 \text{ kgv/kgar seco}$$

Umidade relativa (b)

$$\phi = \frac{wP}{(0.622 + w) \cdot P_{\text{sat}}} \rightarrow \phi = \frac{0.0097875 \cdot 95}{(0.622 + 0.0097875) \cdot 3.169} \rightarrow \phi = 0.47901$$

$$\phi = 0.47901 \text{ (or)} \phi = 47.90\%$$

Entalpia da mistura (entalpia do ar em kJ/kg de ar seco) (c)

$$h = C_{p\text{ar}} \cdot T + w_1 \cdot h_v$$

$$h = 1.0 \cdot 25 + 9.7875 \cdot 10^{-3} \cdot 2547.17$$

$$h = 49.93 \text{ kJ/kgar seco}$$

Tabela B.1 — Propriedades termodinâmicas da água

Tabela B.1.1

Água saturada: tabela em função da temperatura

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m³/kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0,01	0,6113	0,001000	206,132	0,00	2375,33	2375,33	0,00	2501,35	2501,35	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,118	20,97	2361,27	2382,24	20,98	2489,57	2510,54	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001000	106,377	41,99	2347,16	2389,15	41,99	2477,75	2519,74	0,1510	8,7498	8,9007
15	1,705	0,001001	77,925	62,98	2333,06	2396,04	62,98	2465,93	2528,91	0,2245	8,5569	8,7813
20	2,339	0,001002	57,7897	83,94	2318,98	2402,91	83,94	2454,12	2538,06	0,2966	8,3706	8,6671
25	3,169	0,001003	43,3593	104,86	2304,90	2409,76	104,87	2442,30	2547,17	0,3673	8,1905	8,5579
30	4,246	0,001004	32,8922	125,77	2290,81	2416,58	125,77	2430,48	2556,25	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001006	25,2158	146,65	2276,71	2423,36	146,66	2418,62	2565,28	0,5052	7,8478	8,3530
40	7,384	0,001008	19,5229	167,53	2262,57	2430,11	167,54	2406,72	2574,26	0,5724	7,6845	8,2569
45	9,593	0,001010	15,2581	188,41	2248,40	2436,81	188,42	2394,77	2583,19	0,6386	7,5261	8,1647
50	12,350	0,001012	12,0318	209,30	2234,17	2443,47	209,31	2382,75	2592,06	0,7037	7,3725	8,0762
55	15,758	0,001015	9,56835	230,19	2219,89	2450,08	230,20	2370,66	2600,86	0,7679	7,2234	7,9912
60	19,941	0,001017	7,67071	251,09	2205,54	2456,63	251,11	2358,48	2609,59	0,8311	7,0784	7,9095
65	25,03	0,001020	6,19656	272,00	2191,12	2463,12	272,03	2346,21	2618,24	0,8934	6,9375	7,8309

Interpolação

$$20-15 = 2,339 - 1,705$$

$$17-15 \quad P_2 - 1,705$$

$$P_{v2} = 1,9586 \text{ kPa}$$

$$20-15 = 83,94 - 62,98$$

$$17-15 \quad h_{v2} - 62,98$$

$$h_{v2} = 71,364 \text{ kJ/kg}$$

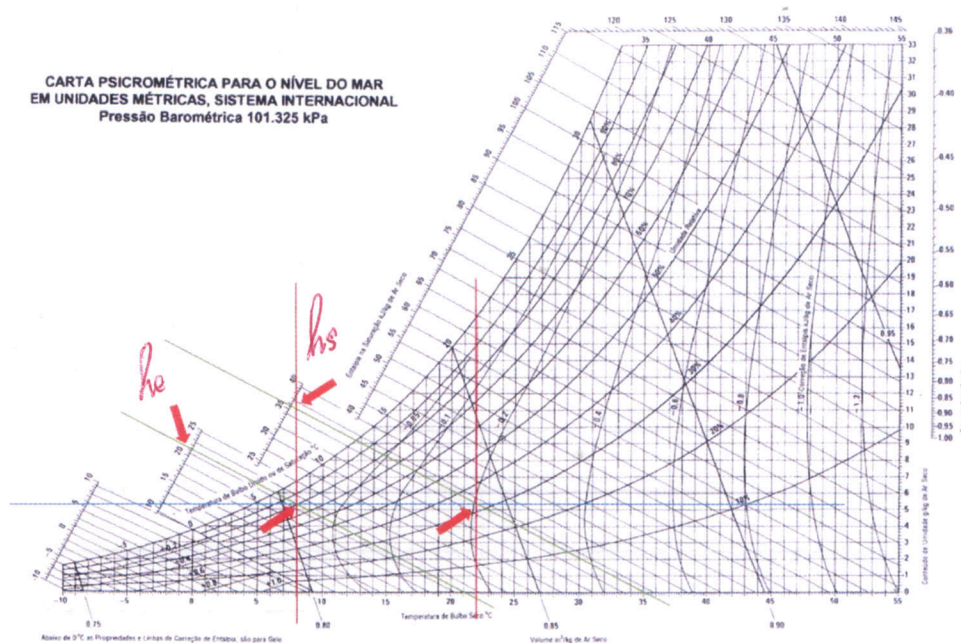
$$20-15 = 2454,12 - 2465,93$$

$$17-15 \quad h_{v1} - 2465,93$$

$$h_{v1} = 2461,206 \text{ kJ/kg}$$

25 03 20

EXERCÍCIO 2: Deve-se aquecer o ar externo de 8°C com umidade de a 80% a 22°C . Para um fluxo de massa de 2 kg/s , calcule a transferência de calor e o umidade relativa na saída. Obs.: utilizar carta psicrométrica no nível do mar.



$$h_e = 21,3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_s = 35,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{ar} = 2 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ar} \cdot \Delta h$$

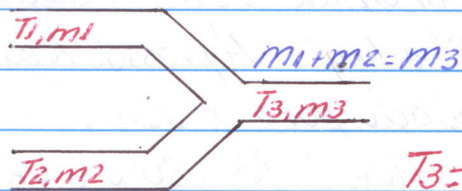
$$\dot{Q} = \dot{m}_{ar} \cdot (h_s - h_e)$$

$$\dot{Q} = 2 \text{ kg/s} \cdot (35,7 \text{ kJ/kg} - 21,3 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{Q} = 28,8 \text{ kW}$$

25 03 20

EXEMPLO



T_3 = Temperatura de Mistura (T_m)

Pela razão volumétrica:

$$T_3 = \frac{T_1 \cdot V_1 + T_2 \cdot V_2}{V_3}$$

$$\begin{aligned} m_{ar,1} &= h_2 - h_3 = w_2 - w_3 \\ m_{ar,2} &= h_3 - h_1 = w_3 - w_1 \end{aligned}$$

Pela percentagem de ar:

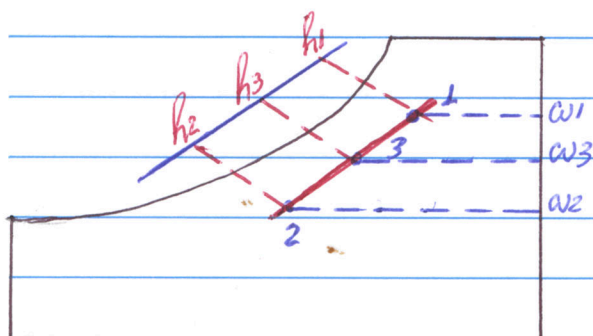
$$T_3 = T_1 \cdot \%_1 + T_2 \cdot \%_2$$

Pela massa de ar

$$T_3 = \frac{T_1 \cdot m_1 + T_2 \cdot m_2}{m_3}$$

Pela razão mássica

$$T_3 = \frac{T_1 \cdot \dot{m}_1 + T_2 \cdot \dot{m}_2}{\dot{m}_3}$$



25 03 20

EXERCÍCIO 1: Duas correntes de ar úmido são misturadas adiabaticamente. As vazões são 0,25 e 1 kg/s. A pressão local vale 92,6 kPa e as condições de entrada para os dois fluxos são: **fluxo 1:** $T_{BS} = 15^\circ\text{C}$ e $UR = 60\%$; **fluxo 2:** $T_{BS} = 30^\circ\text{C}$ e $UR = 80\%$. Nestas condições, qual a temperatura da mistura?

$$T_m = m_{a,ext} \cdot T_{a,ext} + m_{r,e} \cdot T_{r,e}$$

m_{total}

$$T_m = \frac{0,25 \cdot 15 + 1 \cdot 30}{1,25}$$

1,25

$$T_m = 27^\circ\text{C}$$

$$T_{BS} = 27^\circ\text{C}$$

$$T_{BU} = 24,6^\circ\text{C}$$

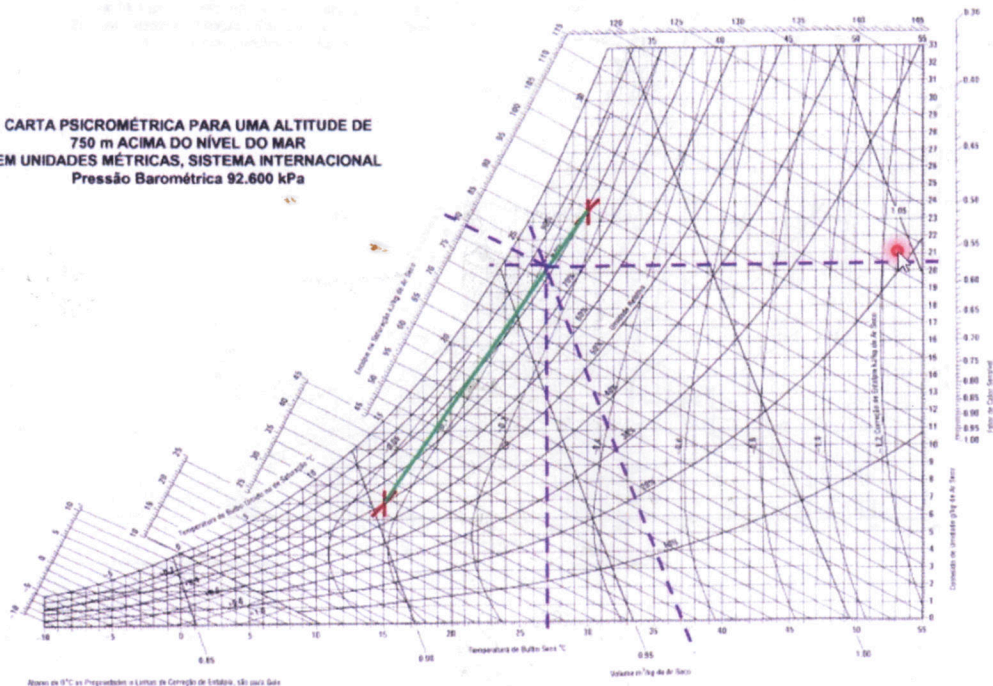
$$T_{PO} = 23,8^\circ\text{C}$$

$$v = 0,961 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h = 79,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\phi = 82,8\%$$

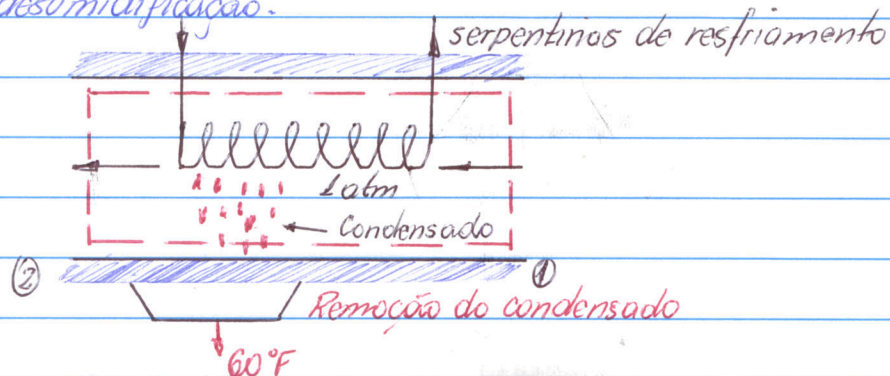
CARTA PSICROMÉTRICA PARA UMA ALTITUDE DE
750 m ACIMA DO NÍVEL DO MAR
EM UNIDADES MÉTRICAS, SISTEMA INTERNACIONAL
Pressão Barométrica 92.600 kPa



25 03 20

Aquecimento com umidificação: solução utilizada em situações de baixa temperatura e umidade.

Resfriamento com desumidificação: resulta em uma redução da temperatura de bulbo seco e da umidade absoluta. O equipamento que realiza esse processo é a serpentina de resfriamento e desumidificação.



Capacidade total

$$m_{a1} = m_{a2}$$

$$\dot{Q} = m_a (h_e - h_s)$$

Capacidade sensível

$$\dot{Q}_s = m_a (h_s - h_a)$$

Capacidade latente

$$\dot{Q}_l = m_a (h_e - h_s)$$

Quantidade de água retirada

$$m_{\text{água}} = m_a (w_s - w_e)$$

$$T_e > T_s$$

$$w_e > w_s$$

$$\phi_e < \phi_s$$

Resfriamento evaporativo: o ar muito quente e a umidade relativa é muito baixa. Neste caso, adiciona-se umidade.

$$\rho = 1$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \rho \cdot \dot{V} \cdot (w_e - w_s)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \rho \cdot \dot{V} \cdot (w_e - w_s)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 1 \cdot \dot{V} \cdot (w_e - w_s)$$

$$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{h}} \cdot \frac{\text{gV}}{\text{kg}} + \frac{\text{gV}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 1 \cdot 10 \cdot (23 - 18)$$

$$0,92$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 54,35 \text{ g/h}$$

0,05 = 53 mm → utilizamos uma régua para medir a distância

$$x = 20 \text{ mm}$$

$$x = \frac{0,05 \cdot 20}{53} \text{ mm} \rightarrow x = 0,018867924$$

$$w_e =$$

25 03 27

EXERCÍCIO 6 DA LISTA: Ar seco e quente a 40°C e umidade relativa de 10% atravessa um resfriador evaporativo. É adicionada água a medida que o ar atravessa uma série de pavios e a mistura sai a 27°C . Determine: a) a umidade relativa de saída; b) a quantidade de água adicionada; c) a menor temperatura que poderia ser produzida. Nível do mar.

a) $UR = 45\%$ → Cruzando TBS 40°C e UR 10% , temos:

$$w_e = 10 \text{ g/kg ar seco}$$

$$h_e = 53 \text{ kJ/kg}$$

→ Resfriamento evaporativo, ou seja, adiabático, h_s é igual na entrada e na saída

$$b) m_{H_2O} = (w_s - w_e)$$

$m_{\text{ar seco}}$

$$m_v = (10 - 4,3)$$

$m_{\text{ar seco}}$

$$m_v = 5,7 \text{ g/kg ar seco}$$

$m_{\text{ar seco}}$

c) $T_s = 18,8^\circ\text{C}$ → Cruzando a linha entre TBS 27°C e TBS 40°C , com $w_e = 10 \text{ g/kg ar seco}$ e $w_s = 4,3 \text{ g/kg ar seco}$ e $UR = 45\%$.

Eficiência (ϵ)

$$\epsilon = \frac{TBS_e - TBS_s}{TBS_e - TBS_U}$$

$$TBS_e - TBS_U$$

$$\epsilon = \frac{40 - 27}{40 - 18,8}$$

$$40 - 18,8$$

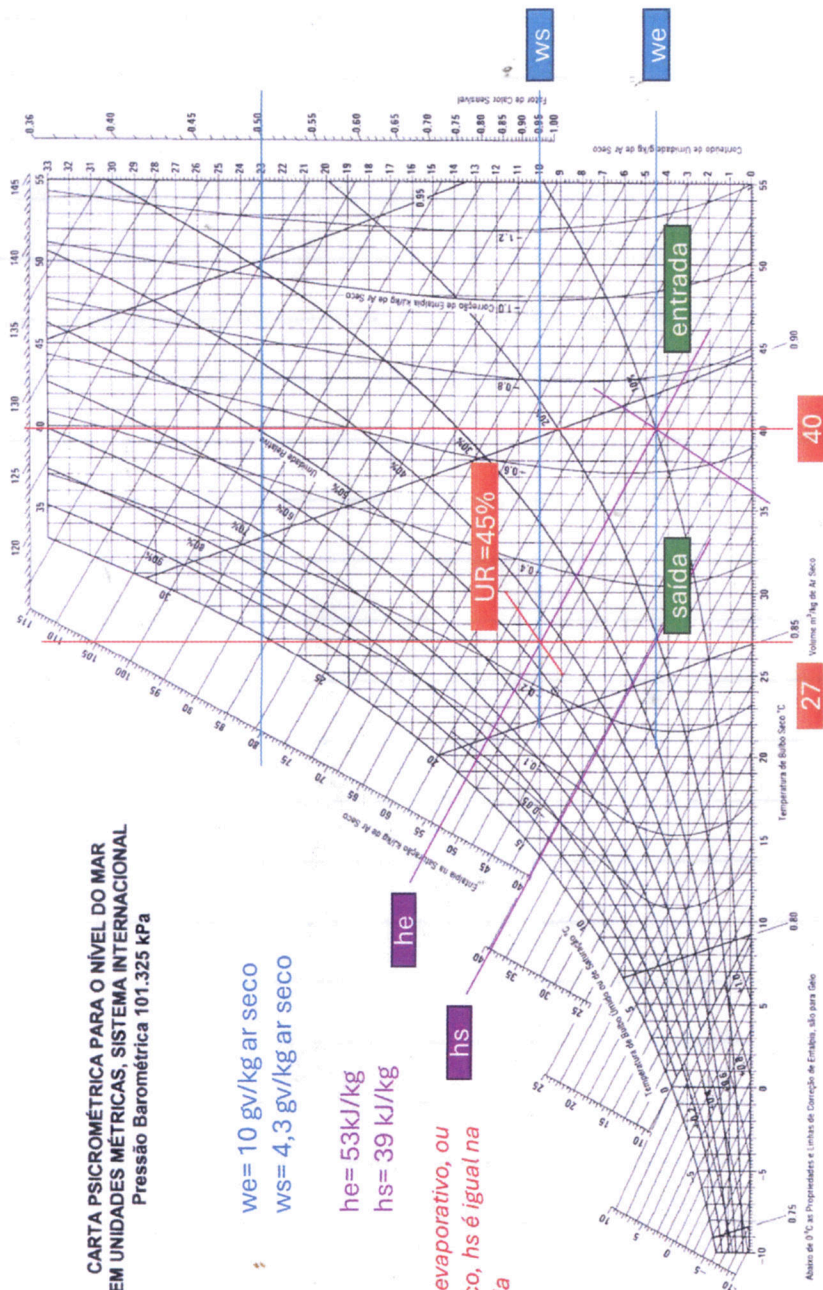
$$\epsilon = 61,32\% \rightarrow \text{eficiência do sistema evaporativo}$$

**CARTA PSICROMÉTRICA PARA O NÍVEL DO MAR
EM UNIDADES MÉTRICAS, SISTEMA INTERNACIONAL**
Pressão Barométrica 101.325 kPa

$w_e = 10 \text{ gv/kg ar seco}$
 $w_s = 4,3 \text{ gv/kg ar seco}$

$h_e = 53 \text{ kJ/kg}$
 $h_s = 39 \text{ kJ/kg}$

Resfriamento evaporativo, ou
seja, adiabático, h_s é igual na
entrada e saída



25 03 27

EXERCÍCIO 5 DA LISTA: Em um local onde a pressão atmosférica é de 100 kPa , o ar externo a 5°C e umidade relativa de 40% é aquecido até 25°C , e a umidade relativa final é elevada para 40% enquanto a temperatura permanece constante pelo introdução do vapor a 400 kPa na corrente de ar. Determine:
a) a taxa de transferência de calor (kW) necessária se a vazão volumétrica de entrada de ar é de $60 \text{ m}^3/\text{min}$. b) a taxa de vapor fornecida (kg/s)

25 03 27

Exercício: O fluxo de ar úmido na vazão mássica de $0,1 \text{ kg/s}$, $TBS = 25^\circ\text{C}$ e umidade de 20% deve ser umidificado por vapor saturado a 105°C . O valor final da umidade relativa deve ser 70% e a pressão local é de $92,6 \text{ kPa}$. Qual será a pressão final do processo?

Um fluxo de ar úmido na vazão mássica de $0,1 \text{ kg/s}$, $TBS = 25^\circ\text{C}$ e umidade de 20% deve ser umidificado por vapor saturado a 105°C . O valor final da umidade relativa deve ser 70% e a pressão local é de $92,6 \text{ kPa}$ qual será a temperatura final do processo?

$$2683,83 = \frac{\Delta h}{\Delta \omega}$$

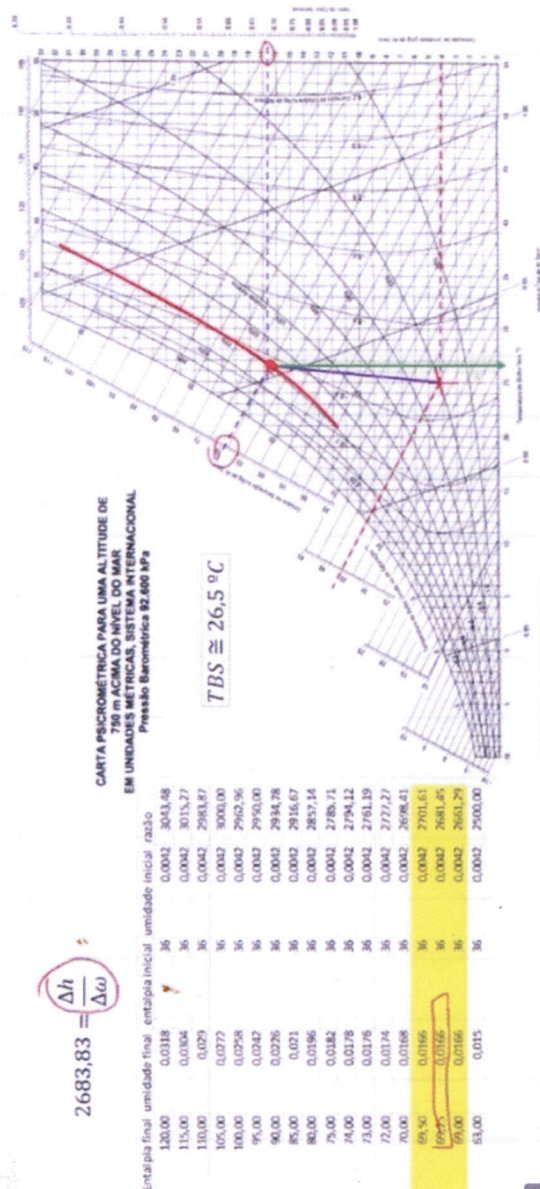


Tabela B.1.1
Água saturada: tabela em função da temperatura

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m³/kg)		Energia interna (kJ/kg)		Entalpia (kJ/kg)		Entropia (kJ/kg K)	
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Vapor sat.
T	P	v _f	v _g	u _f	u _g	h _f	h _g	s _f	s _g
100	101,3	0,001044	1,67290	418,91	2087,58	2536,50	2676,05	1,3068	6,0480
105	120,8	0,001047	1,41936	440,00	2077,34	2512,34	2683,83	1,3629	5,9228
110	143,3	0,001052	1,21014	461,12	2056,96	2518,09	2691,47	1,4184	5,8202
									7,2958
									7,2986

25 04 10

PROCESSO COM DESUMIDIFICAÇÃO E REAQUECIMENTO

$$T_m = \dot{V}_{a,ext} \cdot T_{a,ext} + \dot{V}_{a,ret} \cdot T_{a,ret}$$

$$T_m = \frac{m_{a,ext} \cdot T_{a,ext} + m_{a,ret} \cdot T_{a,ret}}{m_{total}}$$

$$T_m = \frac{\dot{V}_{a,ext} \cdot T_{a,ext} + \dot{V}_{a,ret} \cdot T_{a,ret}}{\dot{V}_{total}}$$

Temperatura da mistura

Difusão (D): diferença entre a temperatura da sala (T_s) e a temperatura de insuflação (T_i) -

$D = T_s - T_i$: para regime de verão

$D = T_i - T_s$: para regime de inverno

Difusão pequena: potência do ventilador alta; dutos com diâmetro elevado

$$Q_s = \dot{m}_{ar} \cdot C_p \cdot \Delta T = h_e - h_s$$

$$\dot{m}_{ar} = \frac{Q_s}{C_p \cdot \Delta T}$$

Difusão alta: potência de ventilação pequena; dutos com diâmetro pequeno; problemas para vencer perdas de carga.

$$Q_f = Q_g$$

$$\dot{m}_f \cdot C_{pf} \cdot \Delta T_f = \dot{m}_g \cdot C_{pg} \cdot \Delta T_g$$

Fator de by-pass

$$FBP = \frac{T_{a,saída} - T_{serpentina}}{T_{a,entrando} - T_{serpentina}}$$

$$T_{a,entrando} - T_{serpentina}$$

Credeal

$$\text{Fator de contato} = F_c = 1 - FBS$$

EXERCÍCIO: Para a instalação a seguir, utilizando o equipamento disponibilizado, com seus respectivos dutos, trace a evolução do ar no projeto e calcule: FCS, T_m , FBS, Capacidade total de SRO e vazão total de ar (para carga térmica = 20 kW)

Temperatura da mistura:

$$T_m = \%AE \cdot T_{AE} + \%S \cdot T_S$$

$$T_m = 0,30 \cdot 0,35 + 0,70 \cdot 24$$

$$T_m = 27,3^\circ\text{C}$$

FBS (FATOR DE BYPASS)

$$FBS = \frac{T_{AR,S} - T_{SERP}}{T_{AR,E} - T_{SERP}} \rightarrow FBS = \frac{13 - 11}{27,3 - 11} \rightarrow FBS =$$

FATOR DE CONTATO (FC)

$$FC = 1 - FBS$$

25 04 10

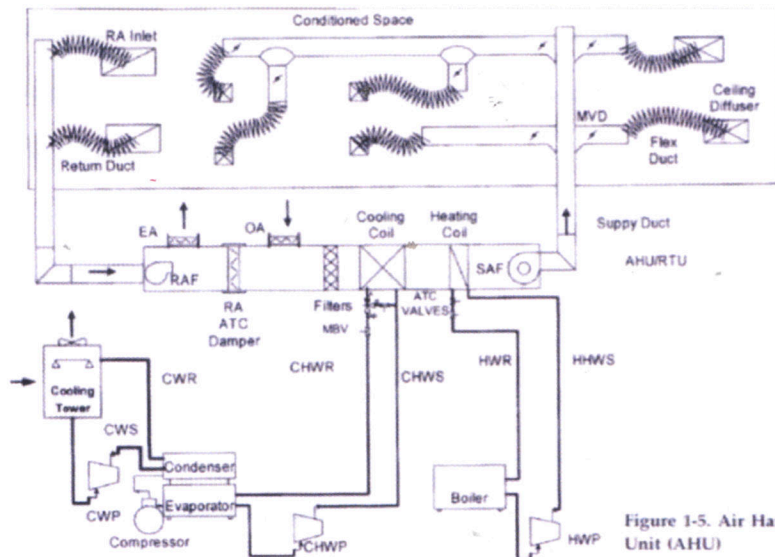
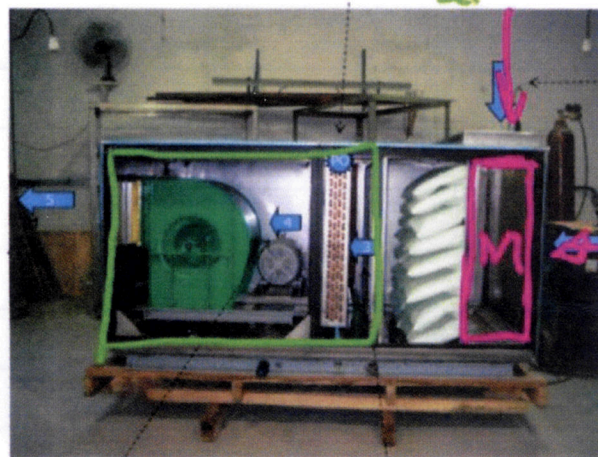


Figure 1-5. Air Handling Unit (AHU)

(PO) é o ponto de orvalho da serpentina (temp. superficial) $T_{ser} = 11^\circ\text{C}$



(2) Ar Externo - 30%
(35°C / 70% UR)

(1) Retorno - 70%
(24°C / 50% UR)

(4) Saída da Serpentina
(13°C / 95% UR)

CARTA PSICOMÉTRICA PARA O NÍVEL DO MAR
EM UNIDADES MÉTRICAS, SISTEMA INTERNACIONAL
Pressão Barométrica 101325 kPa

