

Universidade de São Paulo
Departamento de Geografia
FLG 0253 - CLIMATOLOGIA I

Umidade do ar

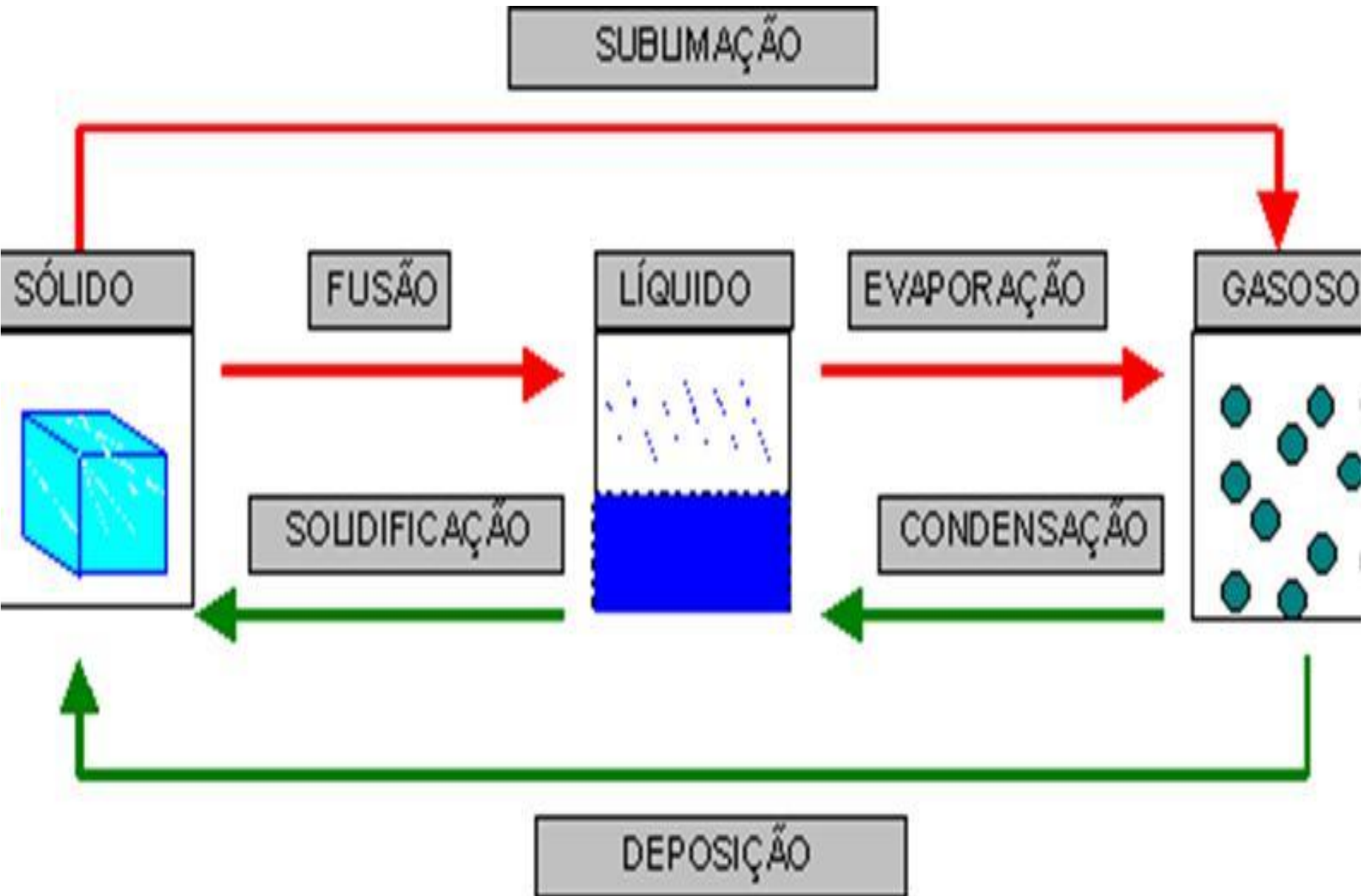
Prof. Dr. Emerson Galvani
Laboratório de Climatologia e
Biogeografia – LCB

Umidade do ar

A água é a única substância que ocorre nas três fases na atmosfera. A água na atmosfera e suas mudanças de fase desempenham papel importantíssimo em diversos processos físicos naturais:

- Transporte e distribuição de calor (ciclo hidrológico);**
- Absorção de comprimentos de onda da radiação solar e terrestre (efeito estufa natural);**
- Evaporação/Evapotranspiração (consumo de energia);**
- Condensação/Orvalho (liberação de energia);**

Mudanças de estado



Mudanças de estado absorção/liberação de calor

PROCESSO	CALOR
FUSÃO	80 cal/g (ABSORÇÃO)
EVAPORAÇÃO	600 cal/g (ABSORÇÃO)
CONDENSAÇÃO	600 cal/g (LIBERAÇÃO)
SOLIDIFICAÇÃO	80 cal/g (LIBERAÇÃO)
SUBLIMAÇÃO	680 cal/g (ABSORÇÃO)
DEPOSIÇÃO	680 cal/g (LIBERAÇÃO)

* Para temperatura da água a 20 oC

Definições e Conceitos

O teor de vapor d'água na atmosfera varia de 0 a 4% do volume de ar. Isso quer dizer que em uma dada massa de ar, o máximo de vapor d'água que ela pode reter é 4% de seu volume:

- Caso a umidade corresponda a 0% do volume de ar

⇒ AR SECO

- Caso a umidade esteja entre 0% e 4% do volume de ar

⇒ AR ÚMIDO

- Caso a umidade corresponda a 4% do volume de ar

⇒ AR SATURADO

UMIDADE RELATIVA DO AR

O índice mais conhecido para descrever as características higrométricas da atmosfera é a umidade relativa do ar. Por definição, umidade relativa do ar é a razão entre o conteúdo de vapor na condição atual/real (w) e a aquela na condição de saturação (w_s) para uma determinada temperatura do ar:

$$UR = \frac{w}{w_s} \times 100\%$$

A UR indica o quanto próximo o ar está da saturação, ao invés de indicar a real quantidade de vapor d'água no ar. Para ilustrar, na tabela seguinte temos que em 25° C, $w_s = 20$ g/kg. Se o ar contém 10 g/kg num dia com 25° C, UR = 50%.

Quando o ar está saturado, UR = 100%.

Conteúdo de vapor d'água na condição de saturação – ws (ao nível do mar).

TEMPERATURA (° C)	g de H ₂ O/kg de ar seco
-40	0,1
-30	0,3
-20	0,75
-10	2,0
0	3,5
5	5,0
10	7,0
15	10,0
20	14,0
25	20,0
30	26,5
35	35,0
40	47,0

Se vapor d'água é adicionado ou subtraído do ar, sua UR mudará, se a temperatura permanecer constante.

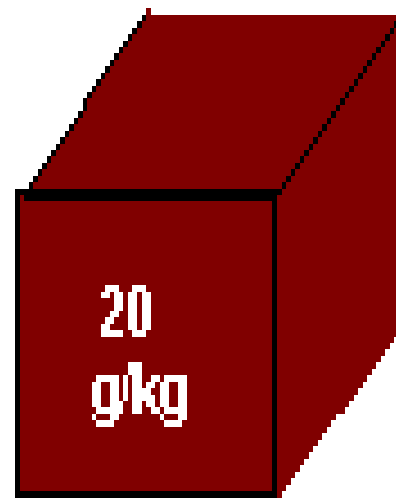
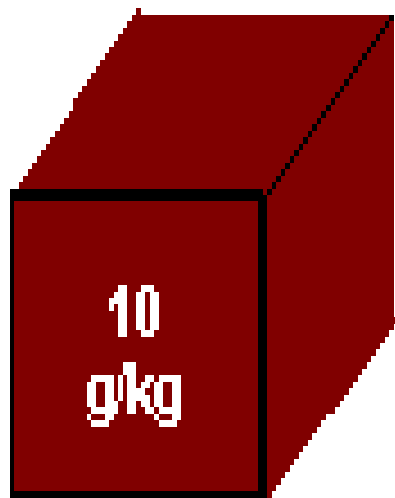
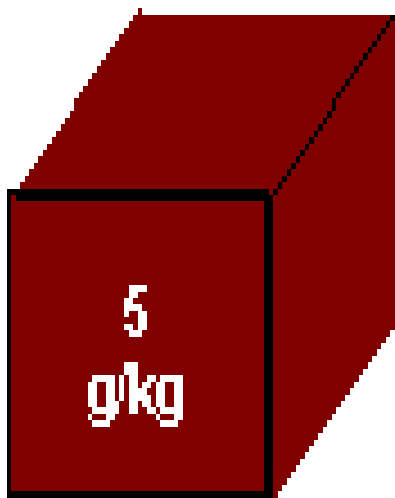
TEMPERATURA

25°C

25°C

25°C

QUANTIDADE DE VAPOR D'ÁGUA



CAPACIDADE

20g/kg

20g/kg

20g/kg

UMIDADE RELATIVA

$5/20 = 25\%$

$10/20 = 50\%$

$20/20 = 100\%$

Se o conteúdo de vapor d'água permanecer constante, um decréscimo na temperatura aumentará a UR e um aumento na temperatura causa uma diminuição na UR.

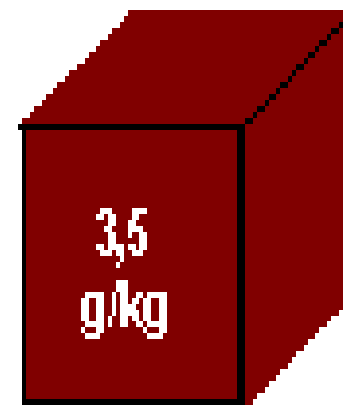
TEMPERATURA

20°C

10°C

0°C

QUANTIDADE DE VAPOR D'ÁGUA



CAPACIDADE

14 g/kg

7 g/kg

3.5 g/kg

UMIDADE RELATIVA

$3.5/14 = 25\%$

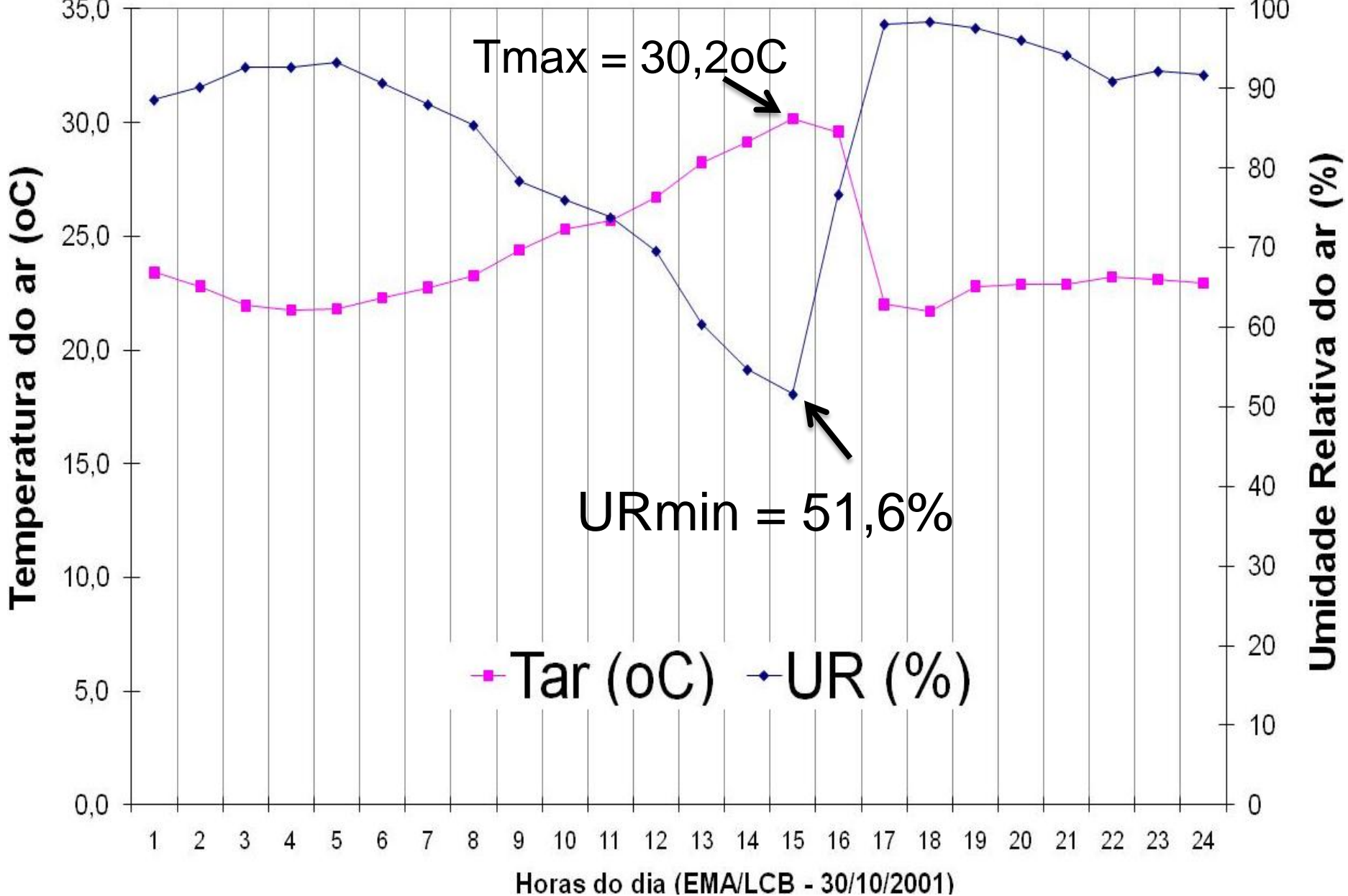
$3.5/7 = 50\%$

$3.5/3.5 = 100\%$

Ou seja, quanto maior a temperatura do ar maior sua capacidade em reter vapor d`água.

Assim, ao longo do dia com o aumento da temperatura do ar maior a razão de mistura do ar e, portanto, mais distante da saturação e menor a UR.

Variação diária da umidade relativa do ar – Estação LCB – São Paulo, SP



Qual o porquê do aumento acentuado da umidade relativa do ar a partir da 15 horas?

Dica: Neste dia não houve precipitação e foi um dia com cobertura de céu limpo.

**Resposta: Entrada de brisa
marítima (estamos a ~ 20 km do
oceano)**

**Como podemos afirmar isso?
Olhando o gráfico de direção do
vento.**

**Ventos vindo se Sudeste/Sul
indicam entrada de Brisa.**

Observe gráfico.

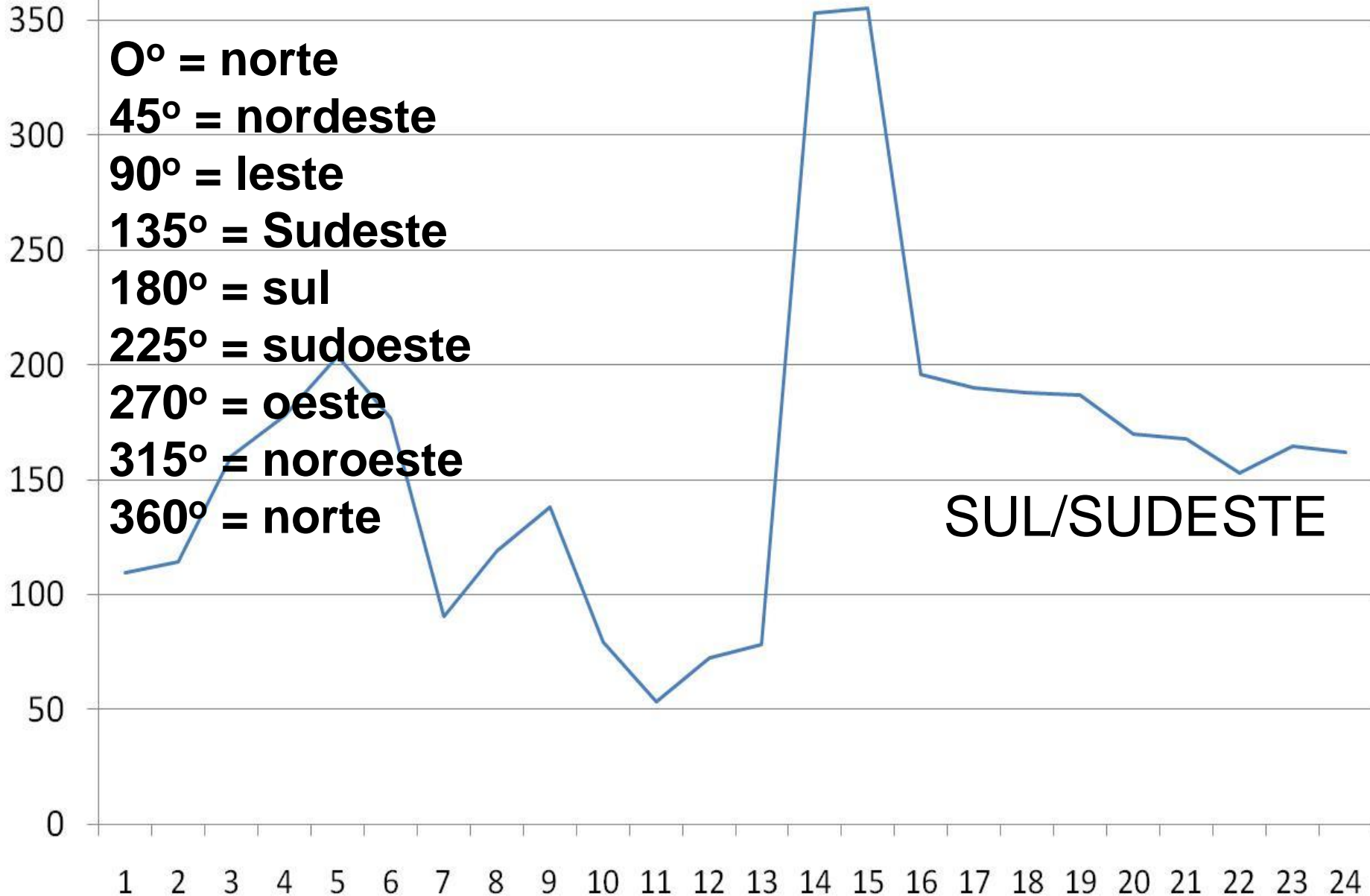
**Resposta: Entrada de brisa
marítima (estamos a ~ 60 km do
oceano)**

**Como podemos afirmar isso?
Olhando o gráfico de direção do
vento.**

**Ventos vindo se Sudeste/Sul
indicam entrada de Brisa.**

Observe gráfico.

Direção do vento EMA – LCB – USP – 30/01/2001



Para se obter UR, basta conhecer as temperaturas do bulbo seco (T_s) e do bulbo úmido (T_u), obtidas do conjunto psicrométrico e utilizar a tabela.

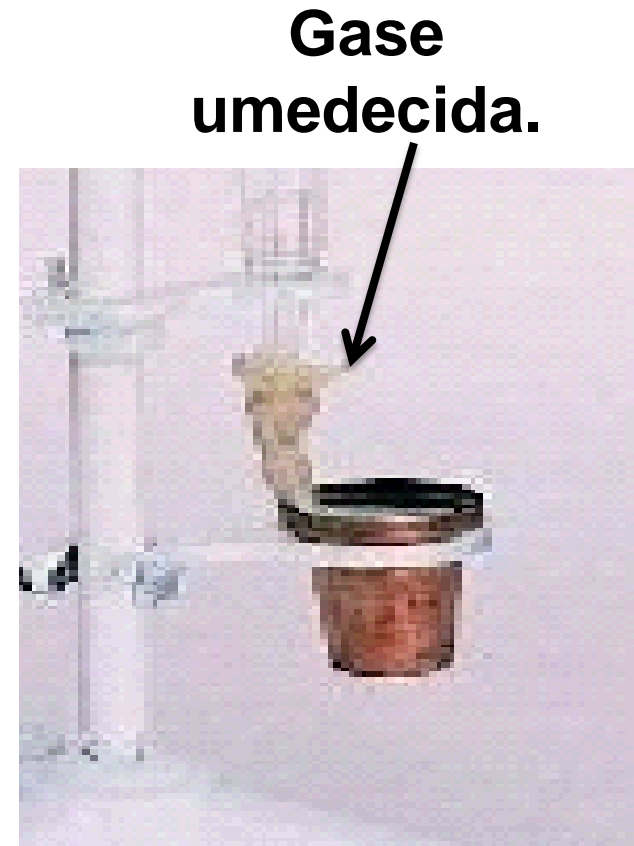
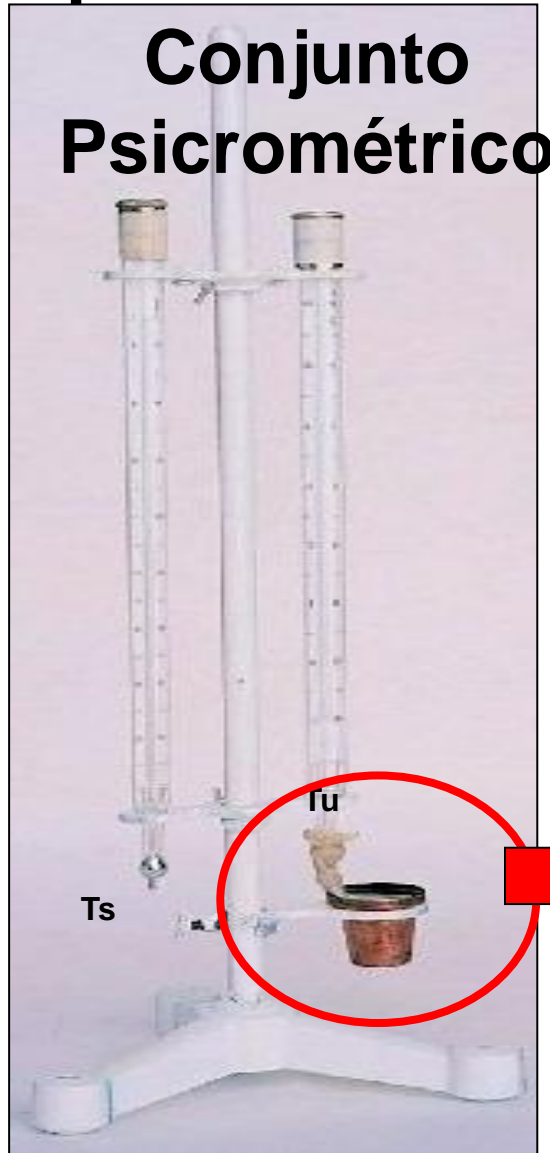


Tabela Psicrométrica para altitudes entre 600 e 800 m

(°C)	Diferença em °C entre o termômetro seco e úmido													
t, seco	0 0,5	1 1,5	2 2,5	3 3,5	4 4,5	5 5,5	6 6,5	7 7,5	8 8,5	9 9,5	10 10,5	11 11,5	12	
17,0	100 95	90 85	80 75	70 65	61 56	52 47	43 38	34 30	26 22	18 14	10			
17,5	100 95	90 85	80 75	70 66	61 57	52 48	44 40	35 31	27 23	19 16	13			
18,0	100 95	90 85	80 75	71 66	62 57	53 49	44 40	36 32	28 24	20 16	13 10			
18,5	100 95	90 85	80 76	71 67	62 58	54 50	46 42	37 33	29 26	22 18	14 11			
19,0	100 95	90 86	81 76	72 67	63 58	54 50	46 42	38 34	30 26	23 19	16 12	9		
19,5	100 95	90 86	81 77	72 68	63 59	55 51	47 43	39 35	31 28	24 20	17 13	10		
20,0	100 95	91 86	81 77	72 68	64 59	55 52	47 43	40 36	32 29	25 21	18 14	11 7		
20,5	100 96	91 86	82 77	73 69	64 60	55 52	48 45	41 37	33 30	26 23	19 16	12 9	6	
21,0	100 95	91 87	82 78	74 69	65 61	57 53	49 45	41 38	34 30	27 23	20 17	14 11	8	
21,5	100 96	91 87	82 78	74 70	66 62	57 54	50 46	42 39	35 31	28 25	21 18	15 12	9	
22,0	100 96	91 87	82 78	74 70	66 62	58 54	50 47	43 39	36 32	29 25	22 19	16 12	10	
22,5	100 95	92 87	83 78	74 70	66 63	59 55	51 48	44 41	37 34	30 27	23 20	17 14	11	
23,0	100 96	91 88	83 78	74 70	66 63	59 56	52 48	44 41	38 34	31 28	25 21	18 15	12	
23,5	100 96	91 87	83 79	75 71	67 63	59 56	52 49	45 42	38 35	32 29	26 23	19 16	13	
24,0	100 96	91 87	83 79	75 72	67 63	60 57	53 50	46 42	39 35	33 29	26 23	20 17	15	
24,5	100 96	92 87	83 80	76 72	68 64	60 57	53 50	47 43	40 36	33 30	27 24	21 18	15	
25,0	100 96	92 87	84 80	76 72	68 64	61 58	54 51	47 44	40 37	34 31	28 25	22 19	16	
25,5	100 96	92											17	
26,0	100 96	92											19	
26,5	100 96	92											20	
27,0	100 96	92											20	
27,5	100 96	92											21	
28,0	100 96	92											22	
28,5	100 96	92											23	
29,0	100 96	92											24	
29,5	100 96	92											24	
30,0	100 96	92											25	
31,0	100 96	93											27	
32,0	100 96	93											28	
33,0	100 96	93											30	
34,0	100 96	93											31	
35,0	100 96	93											32	

Método prático para obtenção da umidade relativa do ar.

(°C)		Diferença entre Ts e Tu										
Ts	0 0,5		1 1,5		2 2,5		3 3,5		4 4,5		5 5,5	
	17,0	100	95	90	85	80	75	70	65	61	56	52
17,5	100	95	90	85	80	75	70	66	61	57	52	48
18,0	100	95	90	85	80	75	71	66	62	57	53	49
18,5	100	95	90	85	80	76	71	67	62	58	54	50
19,0	100	95	90	85	80	76	72	67	63	58	54	50
19,5	100	95	90	85	80	77	72	68	63	59	55	51
20,0	100	95	90	85	80	77	72	68	64	59	55	52
20,5	100	95	90	85	80	77	73	69	64	60	55	52
21,0	100	95	91	87	82	78	74	69	65	61	57	53
21,5	100	96	91	87	82	78	74	70	66	62	57	54
22,0	100	96	91	87	82	78	74	70	66	62	58	54
22,5	100	95	92	87	83	78	74	70	66	63	59	55
23,0	100	96	91	88	83	78	74	70	66	63	59	56
23,5	100	96	91	87	83	79	75	71	67	63	59	56
24,0	100	96	91	87	83	79	75	72	67	63	60	57
24,5	100	96	92	87	83	80	76	72	68	64	60	57
25,0	100	96	92	87	84	80	76	72	68	64	61	58

Exemplo:
Ts = 25 °C
Tu = 20 °C
Ts - Tu = 5°C
UR = 61%



Gráfico Psicrométrico
Pressão Atm = 101,33 kPa

Outra maneira é o gráfico psicrométrico

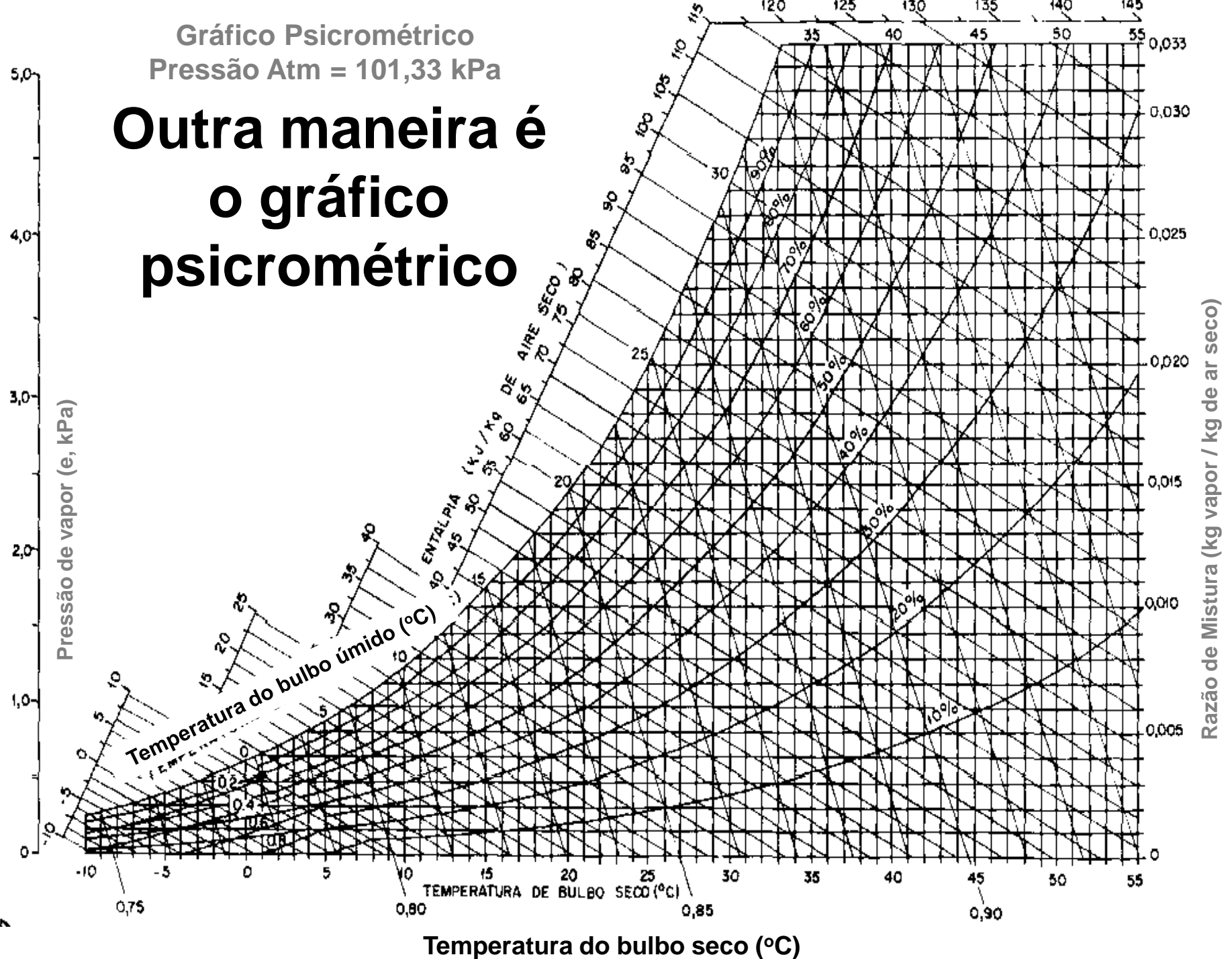
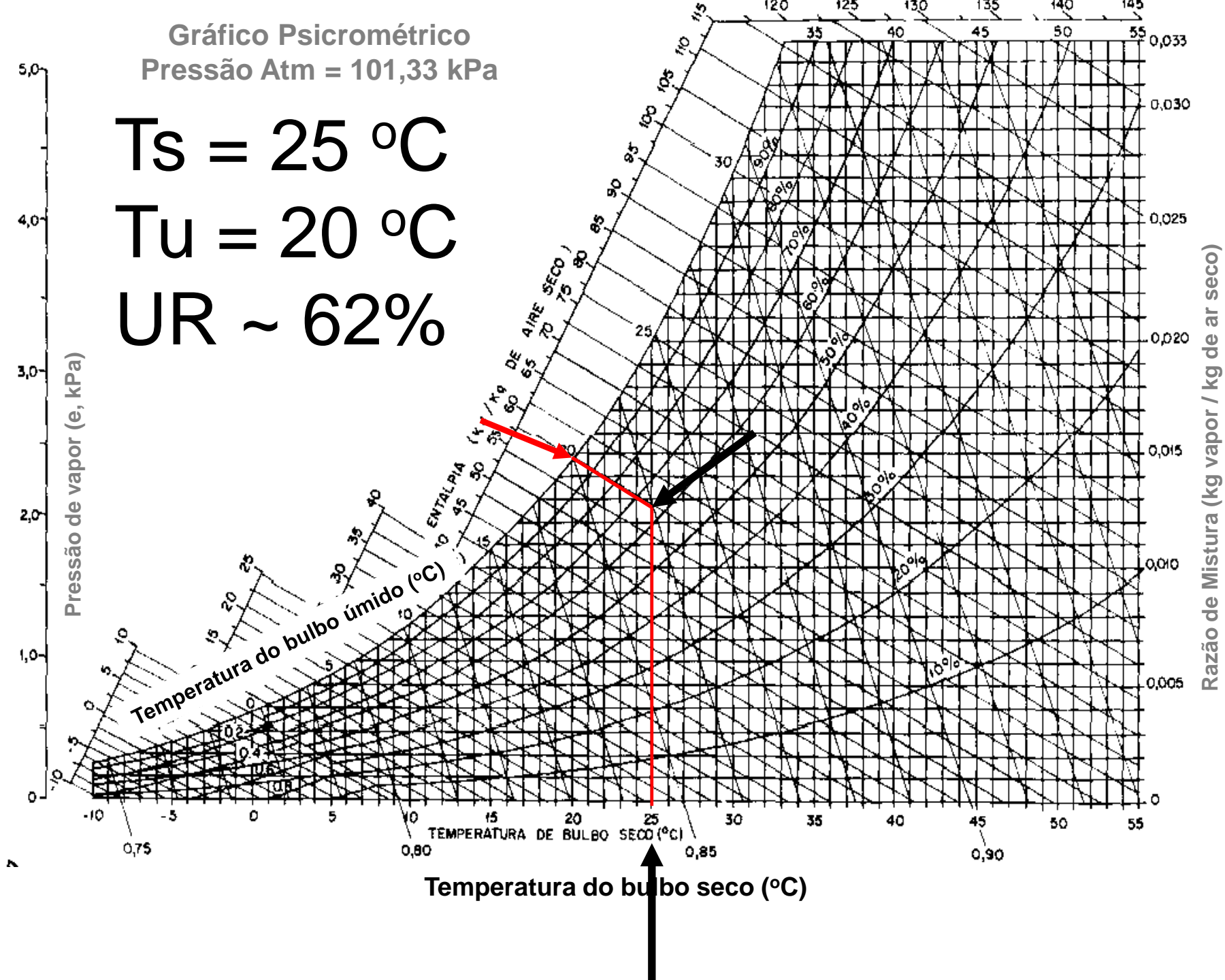


Gráfico Psicrométrico
Pressão Atm = 101,33 kPa

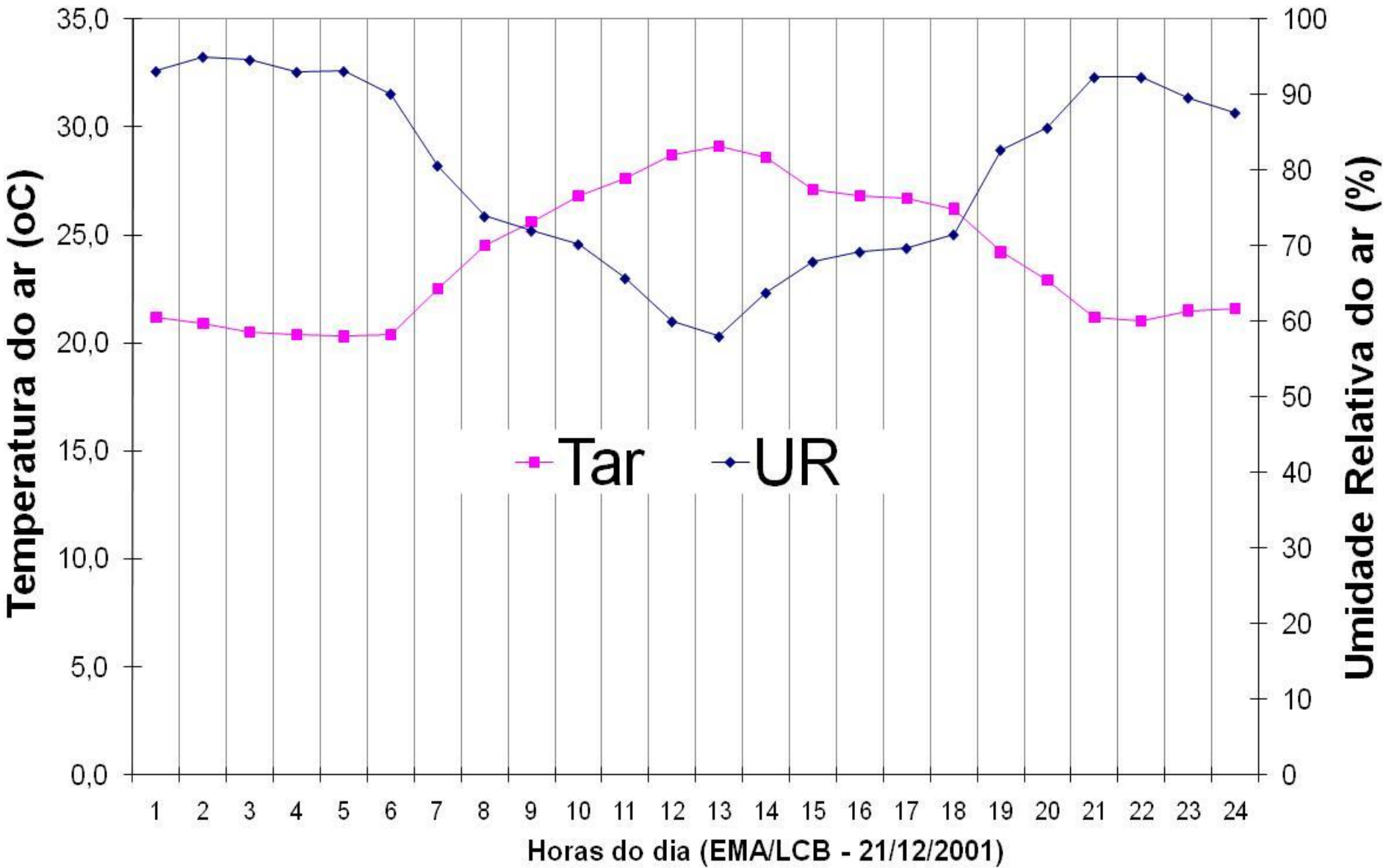
$T_s = 25\text{ °C}$

$T_u = 20\text{ °C}$

UR ~ 62%

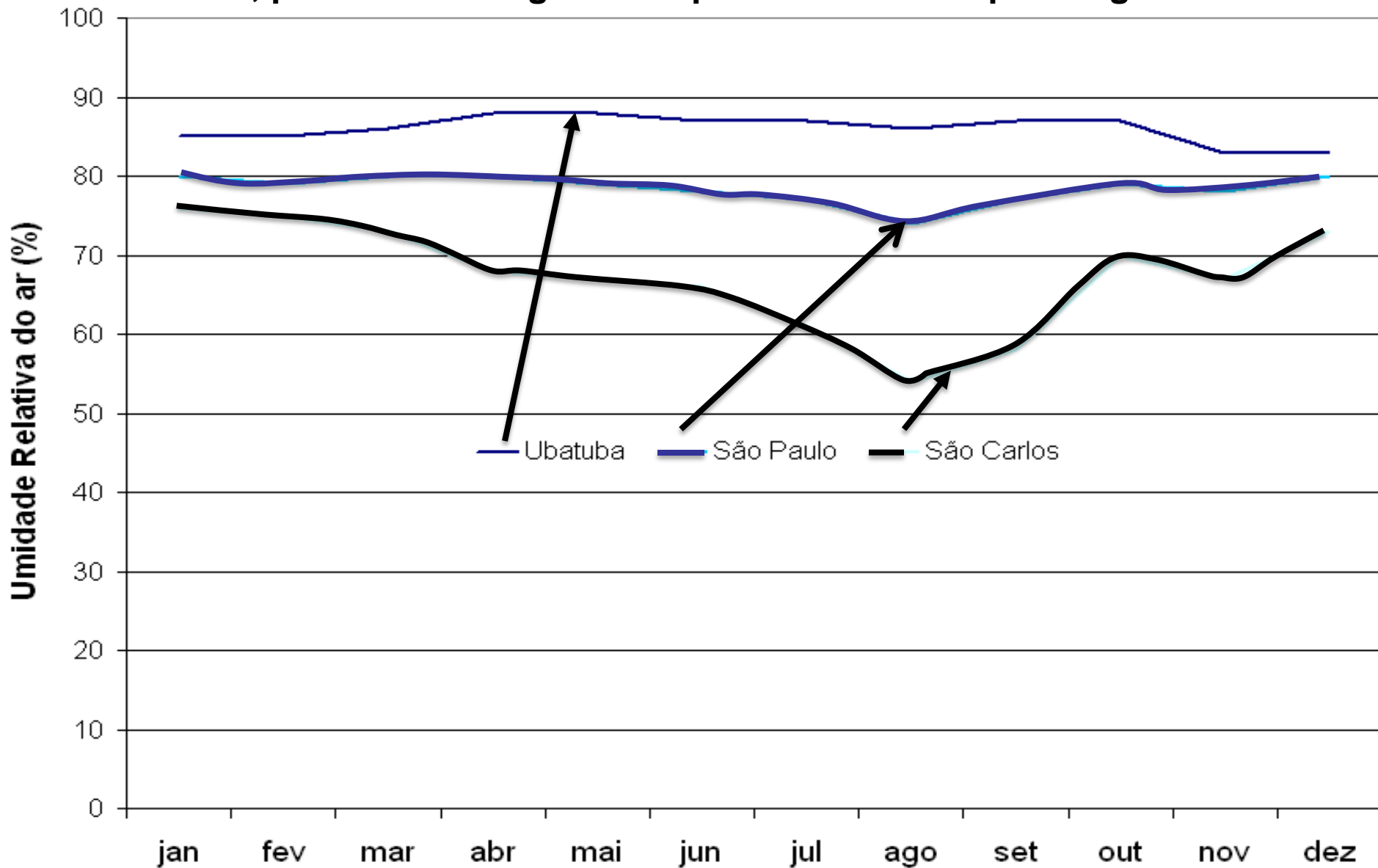


Variação diária da umidade relativa do ar – Estação LCB – São Paulo, SP



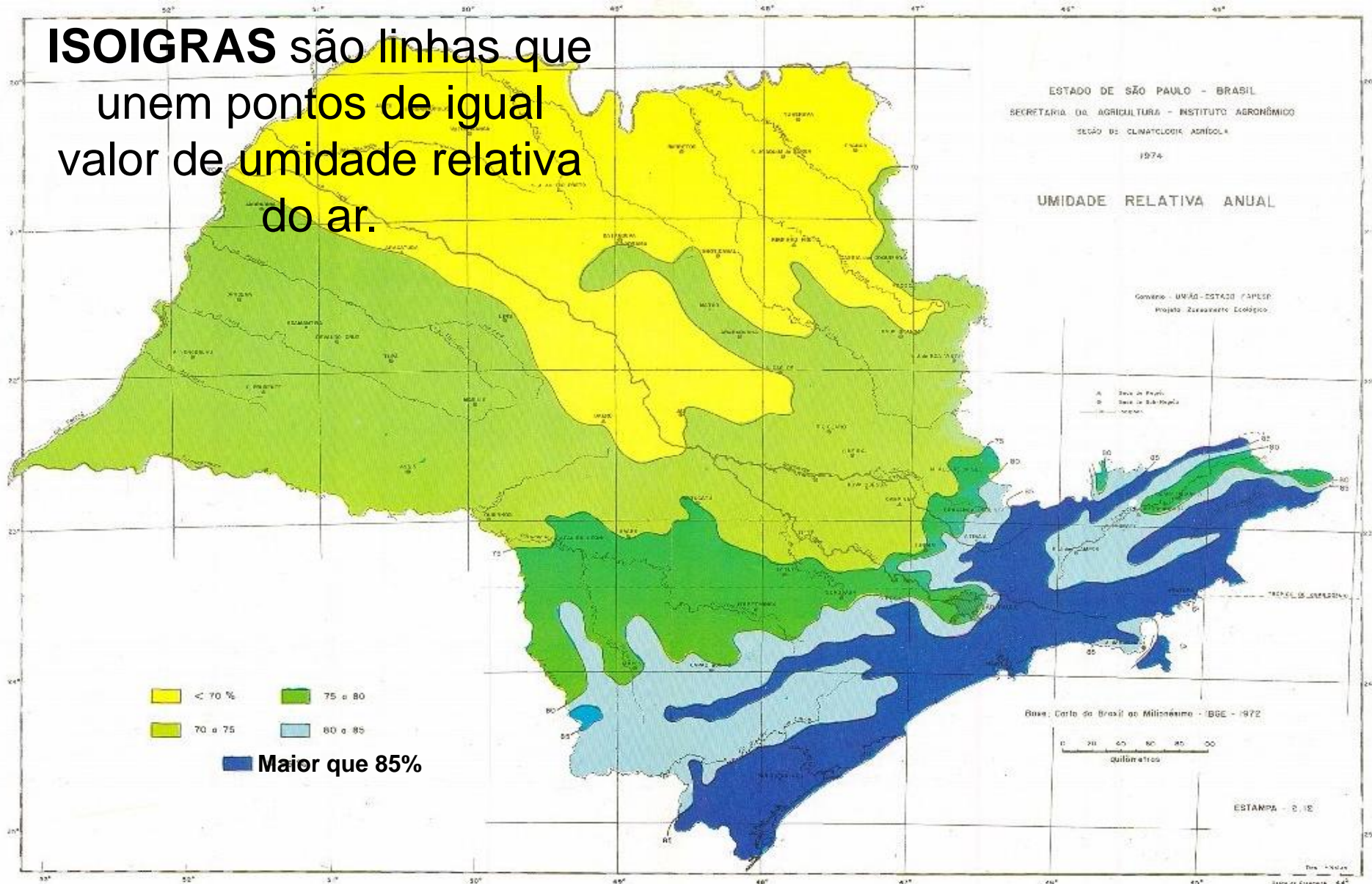
Variação anual da umidade relativa do ar

Na escala anual, a UR média mensal acompanha basicamente o regime de chuvas, pois havendo água na superfície haverá vapor d'água no ar.



Variação espacial da umidade do ar

ISOIGRAS são linhas que unem pontos de igual valor de umidade relativa do ar.

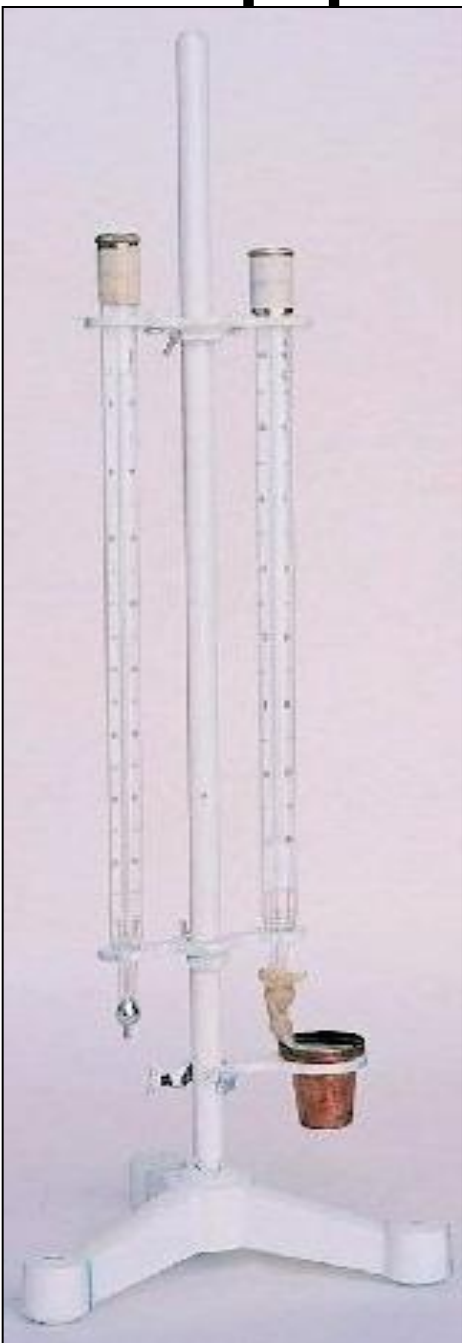
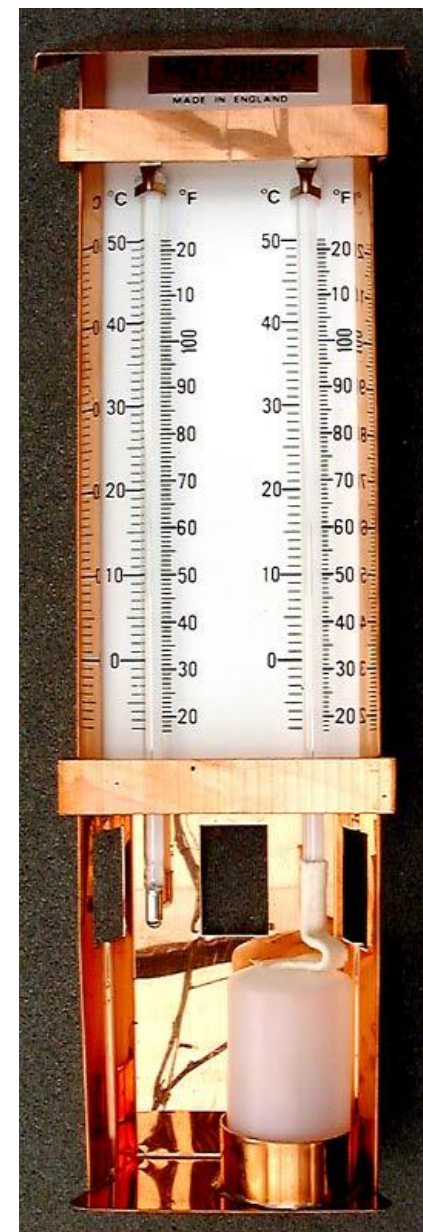


No estado de São Paulo a UR média anual é maior na faixa litorânea e menor no norte e noroeste do estado.

Equipamentos de medida da Umidade do ar

Conjunto Psicrométrico ou Psicrômetro

Os psicrômetros podem ser de ventilação natural, como os dois apresentados à direita e à esquerda, ou de ventilação forçada, como o da figura abaixo.

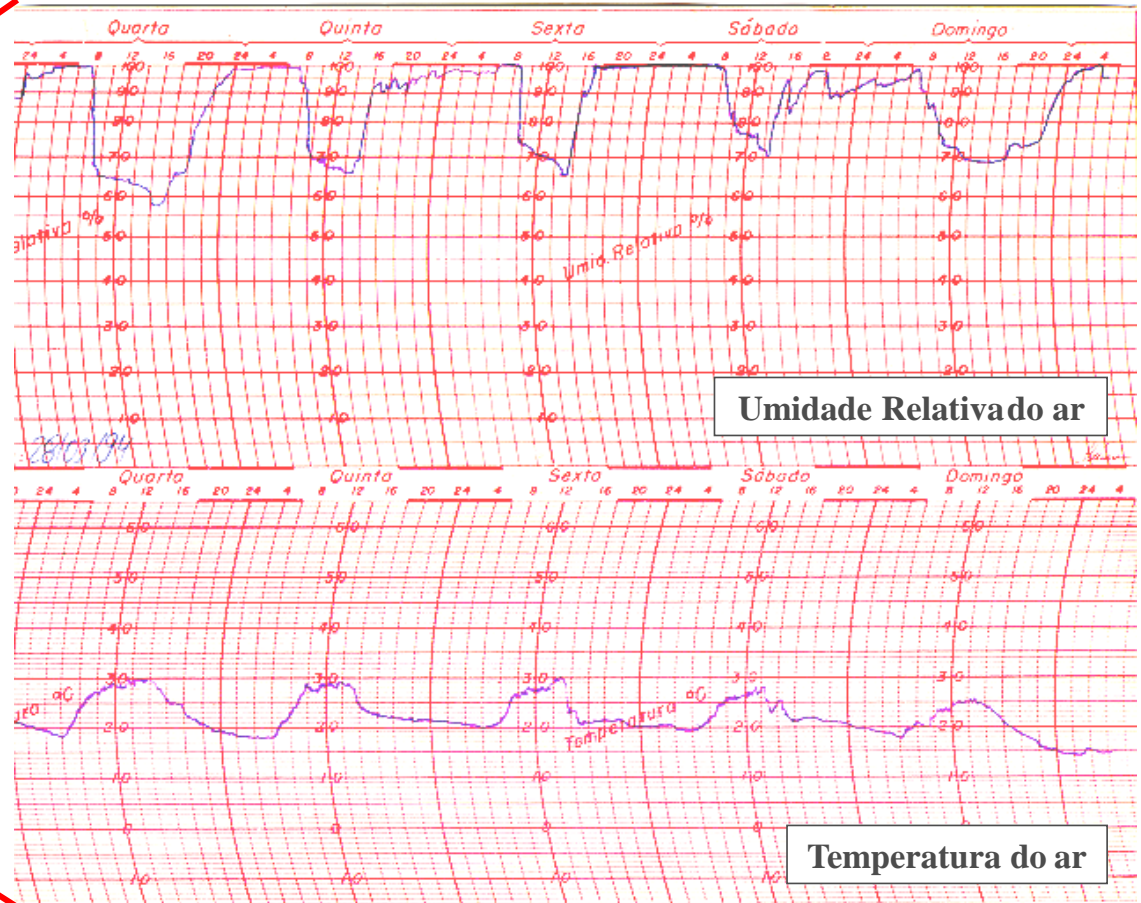


O psicrômetro Assmann é considerado padrão para a medida da umidade do ar.



Higrógrafos mecânicos

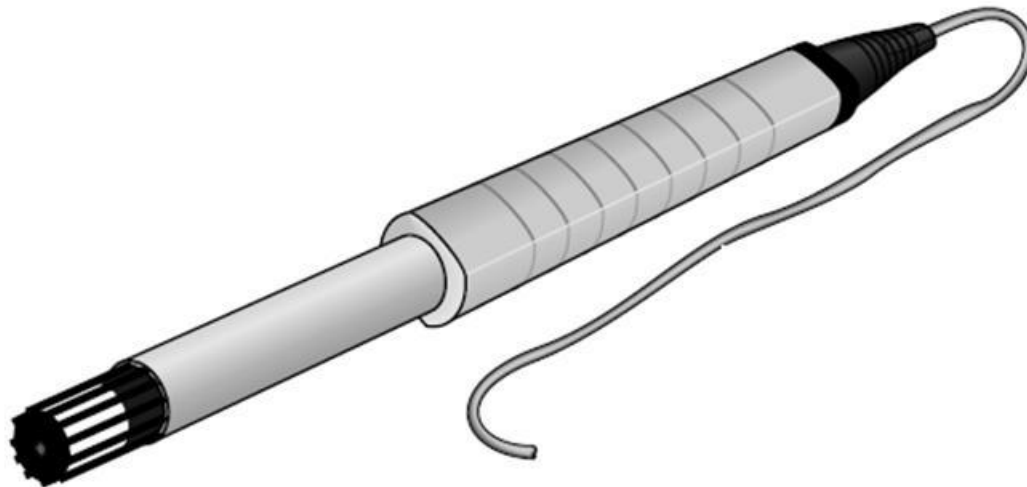
Sentelhas, 2006



Os higrógrafos mecânicos, normalmente associados ao termógrafo bimetálico, usam como elemento sensor, para umidade do ar, o cabelo humano, o qual tem a propriedade de se dilatar e contrair em função da umidade do ar.

Sensor capacitivo de UR associado a EMA

Esse sensor é empregado nas estações meteorológicas automáticas. O sensor constitui-se de um filme de polímero que ao absorver vapor d'água do ar altera a capacitância de um circuito ativo. Requer calibração e limpeza periódicas.



Instalação dos sensores de UR

Os sensores de UR, para medidas rotineiras, devem ser instalados dentro dos abrigos meteorológicos, tanto nas estações convencionais como nas automáticas



**Abrigos meteorológico –
Estação Convencional**



**Abrigo
meteorológico –
Estação Automática**

Cálculo da Umidade Relativa Média do ar

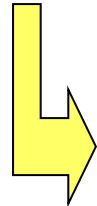
Estação Convencional:

INMET $UR_{med} = (UR_{9h} + UR_{máx} + UR_{mín} + 2 \cdot UR_{21h}) / 5$

IAC $UR_{med} = (UR_{7h} + UR_{14h} + 2 \cdot UR_{21h}) / 4$

Valores
Extremos $UR_{med} = (UR_{máx} + UR_{mín}) / 2$

Higrógrafo $UR_{med} = (\sum UR_i) / 24$

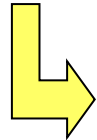


UR_i é a umidade relativa do ar medida a cada intervalo de 1 hora e 24 é o total de observações feitas ao longo de um dia

Cálculo da Umidade Relativa Média do ar

Estação Automática :

Real
$$UR_{med} = (\sum UR_i) / n$$



UR_i é a umidade relativa do ar medida a cada intervalo de tempo e n é o total de observações feitas ao longo de um dia

Os valores de umidade relativa do ar podem ser diferentes em função da metodologia de cálculo. Quando for comparar dados de UR verifique se os valores médios foram obtidos da mesma forma. Veja os valores do exercício proposto.

Outras maneiras de avaliar a umidade do ar

Umidade Absoluta (UA): g de vapor/m³ de ar

Umidade Específica (UE): g de vapor / g de ar

Pressão parcial do vapor d'água (e): atm, mmHg, mb, hPa ou kPa

Temperatura do ponto de orvalho (To): temperatura na qual ocorre condensação do vapor por resfriamento da parcela de ar (oC).

Não serão tratadas diretamente nesta disciplina.

- **Sugestões de leitura para este tema:**

- **Capítulo 07 do livro:**

- AYOADE, J.O. Introdução a Climatologia para os trópicos. 3ª ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1991. 332p. (tradução Professora Maria Juraci Zani dos Santos)

- **Capítulo 02 do livro:**

- -SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. INMET: Brasília, 2000. 515p. (versão digital disponível em www.agritempo.gov.br clicar em publicações e em seguida livros).

- **Capítulo 06 e 15 do livro:**

- PEREIRA, A.R., SENTELHAS, P.C., ANGELOCCI, L.R. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.