

HIDROLOGIA I

SHS - 411

PROF. GABRIEL DIBBERN SACCHI
GABRIEL.SACCHI@USP.BR

Módulo 2

Umidade Atmosférica

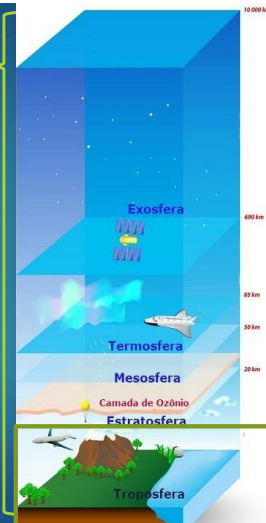
INTRODUÇÃO E CONCEITOS IMPORTANTES
PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DE MEDIDA
DEFINIÇÕES E ÍNDICES DE UMIDADE
ÁGUA PRECIPITÁVEL

Atmosfera Terrestre

Camada gasosa que envolve a Terra

AR ATMOSFÉRICO

- ▶ Mistura de gases + Vapor d'água
 - ▶ Nitrogênio – 78,03%
 - ▶ Oxigênio – 20,99%
 - ▶ Outros gases – 0,98%



Umidade Atmosférica:

Componente do ciclo hidrológico

Fonte de toda precipitação

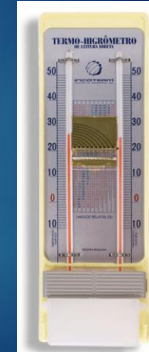
Controla a taxa de evaporação do solo e superfícies líquidas

Controla a e transpiração dos vegetais

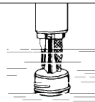
INSTRUMENTOS DE MEDIDA DA UMIDADE ATMOSFÉRICA

Psicrômetro

- ▶ Finalidade: Determinar a temperatura e a umidade relativa do ar.
- ▶ Funcionamento: constituído de dois termômetros de mercúrio (bulbo seco e bulbo úmido)
 - ▶ bulbo seco (T)
 - ▶ bulbo úmido (T'): envolto em gaze e mantido constantemente molhado. Quanto mais seco estiver o ar, maior será a quantidade de água evaporada, apresentando como consequência o abaixamento da temperatura do termômetro de bulbo úmido
- ▶ A diferença da temperatura (T-T') entre os termômetros indica indiretamente a umidade relativa do ar



1. Remove cap (B) then immerse end of body to saturate wick (A).



2. Fill psychrometer reservoir with water. Replace cap (B).



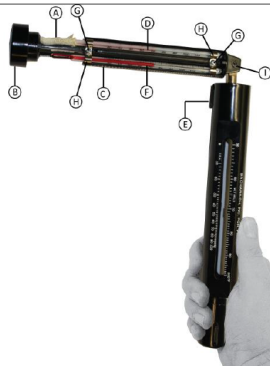
3. Be sure wick covers "wet" bulb. The other bulb is dry.



4. Pull body (C) from tube (E) until body hangs free.

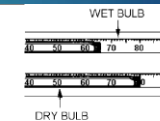


5. Use tube (E) as handle; whirl body (C) about 1-½ minutes.

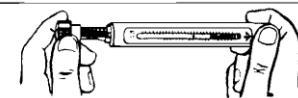


- A. Wick
- B. End cap
- C. Psychrometer body
- D. Wet bulb thermometer
- E. Tube
- F. Dry bulb thermometer
- G. Screws
- H. Thermometer clips
- I. Roll pin

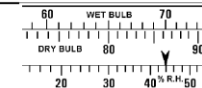
6. Read wet and dry bulb thermometers; replace body in tube.



7. Set thermometer readings on upper two calculator scales.



8. Read % relative humidity as indicated by arrow.



Termohigrógrafo

Instrumento utilizado na **leitura e registro em forma impressa da temperatura e da umidade relativa do ar**. O instrumento pode ser usado todas as vezes que as leituras das variações da umidade e da temperatura são exigidas: uso meteorológico em estações meteorológicas, indústria alimentícia, laboratórios, horticultura, museus, etc.



Índices de Umidade do Ar

- ▶ DEFINIÇÕES:
 - ▶ PRESSÃO DE VAPOR (e)
 - ▶ PRESSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR OU PRESSÃO SATURANTE (e_s)
 - ▶ TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (T_d)
- ▶ ÍNDICES:
 - ▶ UMIDADE RELATIVA (UR)
 - ▶ UMIDADE ABSOLUTA (ρ_v)
 - ▶ UMIDADE ESPECÍFICA (q)

Pressão de Vapor (e):

Pressão parcial exercida pelo vapor d'água na mistura ar úmido

$$e = p - p_{ar.seco}$$

e [mm Hg; milibar; kPa]

- ▶ Unidades:
 - ▶ 1 mb = 103 dina/cm²
 - ▶ 1013,2 mb = 760 mm Hg = 101,3 kPa
 - ▶ 1 kPa = 10 mb

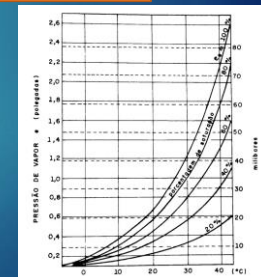
Pressão de Saturação do Vapor ou Pressão Saturante (e_s)

Para uma temperatura (T), existe uma quantidade máxima de vapor d'água, e_s , que o ar pode conter

Fórmula de Tetens:

$$e_s = 6,11 \times 10^{(7,5T)/(237,3+T)}$$

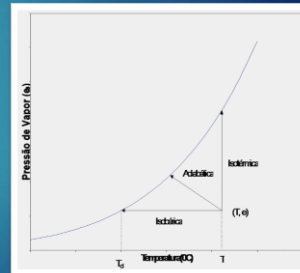
e_s = tensão saturante do vapor em mb
 T = temperatura do ar em °C



...quando o ar possui a pressão de vapor e_s

é impossível comprimir o vapor d'água sob a forma gaseiforme

- assim, quando seu volume é reduzido, o vapor saturante se liquefaz, condensa-se
- a condensação também ocorre ao resfriar-se a massa de ar
- tanto um como outro processo tende a aumentar as forças de atração moleculares.

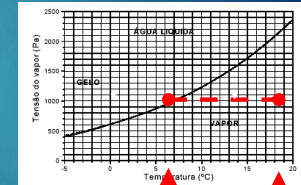


Temperatura do Ponto de Orvalho (T_d)

Temperatura a que deve ser baixada a temperatura do ar para que a quantidade de água no mesmo seja saturante, mantendo-se a pressão constante.

$$T_d = \frac{\ln(e) + 0,4926}{0,0708 - 0,00421 \cdot \ln(e)}$$

T_d em °C e "e" em kPa



$T_d, e_s (=e)$ T, e

Umidade Relativa (UR)

Relação percentual entre a pressão de vapor (e) e a pressão de saturação do vapor (e_s)

$$UR = \frac{e}{e_s} \cdot 100$$

relação percentual entre a quantidade de umidade existente e a quantidade que esse volume poderia conter

Umidade Absoluta (ρ_v)

Relação entre a massa de vapor d'água (m_v) e o volume ocupado por ele (V)

$$\rho_v = m_v / V$$

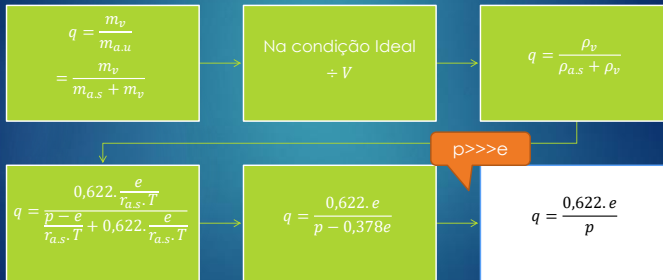
Massa específica de vapor, densidade do vapor, concentração de vapor de água

$$\rho_v = 2168 \cdot \frac{e}{273 + T}$$

- ▶ e (kPa)
- ▶ ρ_v (g/m³)
- ▶ T (°C)

Umidade Específica (q)

relação entre a massa do vapor d'água e a massa de ar úmido



A equação psicrométrica:

$$e = e' - A \cdot p \cdot (T - T')$$

- ▶ e = pressão de vapor do ar (mb)
- ▶ e' = pressão de vapor de saturação à temperatura T' (mb)
- ▶ p = pressão barométrica local (mb)
- ▶ T = temperatura do ar (°C)
- ▶ T' = temperatura do bulbo úmido (°C)
- ▶ A = fator de proporcionalidade-varia ligeiramente c/ velocidade de ventilação

Pressão Saturante (e_s)
 $e_s = 6,11 \times 10^{(7,5T)/(237,3+T)}$
 e_s [mB]; T [°C]

$$A = cte \cdot (1 + 0,00115 \cdot T')$$

- ▶ cte - constante psicrométrica =
 - ▶ $6,6 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ - para psicrômetro com aspiração forçada
 - ▶ $8,0 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ - para psicrômetro sem aspiração forçada

Água Precipitável

Água Precipitável

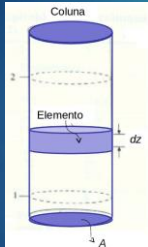
Água precipitável, W

- Altura de lâmina de água equivalente à condensação de todo o vapor de água contido em uma coluna de ar úmido

É importante na avaliação de eventos extremos, em particular da precipitação máxima provável (PMP)

Água precipitável

Considerando uma coluna atmosférica estática:



Massa de vapor d'água no elemento:

$$dw = \rho_{vapor} \cdot A \cdot dz$$

$$dw = q \cdot \rho_{au} \cdot A \cdot dz$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

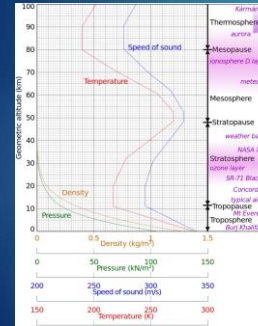
$$q = \frac{m_{vapor}}{m_{au}}$$

Integrando, temos:

$$\Delta m = \bar{q} \cdot \bar{\rho}_{au} \cdot A \cdot \Delta z$$

Importante lembrar que "q" e "ρ_{au}" variam dentro da coluna

...temperatura x altitude



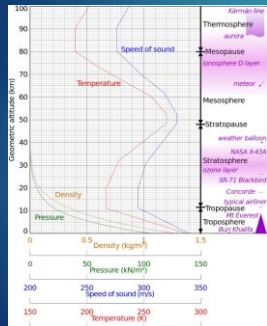
Taxa de Decaimento

$$\frac{dT}{dz} = -\alpha$$

$$T_2 = T_1 - \alpha(z_2 - z_1)$$

Onde:
T [K]; α [K/km]; z [km]

...pressão x altitude



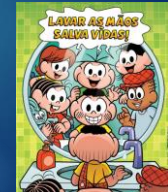
$$\frac{dp}{dz} = -\rho_{ar} \cdot g$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{g}{\alpha \cdot r_{ar}}}$$

Onde:
p [Pa]; T [K]; r_{ar} [J/(K kg)]; α [K/km]

Referências Bibliográficas

TUCCI, C.E.M. (organizador) – Hidrologia, Ciência e Aplicação, 4ª ed., Editora UFRGS/ABRH, 1993: 943 p



Aplicações

Exercício

Calcule a água precipitável em uma coluna de ar saturado de 10km de altura sobre uma área de 1m², sabendo-se que na superfície a pressão é de 101,3kPa, a temperatura do ar é de 30°C e a taxa de decaimento da temperatura é de 6,5 °C/km.

($r_{ar} = 287 \text{ J/kg.K}$)

Resultados dos cálculos

cálculo da água precipitável em uma coluna da atmosfera

taxa de decaimento de T(°C/km)	6.5	constant e do ar	r_{ar} (J/kg.K)=	287	área transversal da coluna	A(m²)=	1	g/a.r _a							
altitude	T	p	ρ _{ar}	es	q	q ^{médio}	ρ _{ar} ^{médio}	Δm	Δm acum	Δm					
km	°C	K	kPa	kg/m ³	kPa		kg/m ³	kg	kg	%					
0	30	303	101,30												

1- Temperatura nível 2

$$T_2 = T_1 - \alpha(z_2 - z_1)$$

T [°C] ou [K]

α [°C/km] ou [K/km] ou [°C/m] ou [K/m]

z [km] ou [m]

$$T[K] = T [°C] + 273$$

ATENÇÃO
 X [°C/km] = X [K/km]
 Cuidado para não converter

2 - Pressão no nível 2

$$p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{g}{\alpha \cdot r_{ar}}}$$

Não usar Tem °C
pra não ter valor
negativo

p [Pa]; T [K]; r_{ar} [J/(K kg)]; α [K/km]

$$\frac{g}{\alpha \cdot r_{ar}} = \frac{9,81 \left(\frac{m}{s^2} \right)}{0,0065 \left(\frac{K}{m} \right) \cdot 287 \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right)} = 5,26$$

$$J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

3 - Dens. Abs. do ar (nível 1,2)

$$\rho_{ar} = \frac{p}{r_{ar} \cdot T}$$

ρ_{ar} [kg/m³]

p [Pa]

r_{ar} [J/(K kg)]

T [K]

4 - Tensão de saturação (nível 1,2)

$$e_s = 6,11 \times 10^{(7,5T)/(237,3+T)} / 10$$

e_s [kPa]

T [°C]

5 - Umidade específica (nível 1,2)

$$q = \frac{0,622 \cdot e}{p}$$

6 – Água precipitável

$$\Delta m = \bar{q} \cdot \bar{\rho}_{ar} \cdot A \cdot \Delta z$$

Δm [kg]

\bar{q} [kg/kg]

$\bar{\rho}_{ar}$ [kg/m³]

A [m²]

Δz [m]

Conhecidos os dados do nível 1 (p e T) e α

1 - Temperatura nível 2

$$T_2 = T_1 - \alpha(z_2 - z_1)$$

T [K]; α [K/km]; z [km]

2 - Pressão no nível 2

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

p [Pa]; T [K]; γ [J/(K kg)]; α [K/km]

3 - Dens. Abs. do ar (nível 1,2)

$$\rho_{ar} = \frac{p}{r_{ar} T}$$

ρ_{ar} [kg/m³]; p [Pa]; r_{ar} [J/(K kg)]; T [K]

4 - Tensão de saturação (nível 1,2)

$$e_s = 6,11 \times 10^{(7,5T)/(237,4+T)}$$

e_s [mB]; T [°C]

5 - Umidade específica (nível 1,2)

$$q = \frac{0,622 \cdot e}{p - e}$$

6 - Água precipitável

$$\Delta m = \bar{q} \cdot \bar{\rho}_{ar} \cdot A \cdot \Delta z$$

Δm [kg]; \bar{q} [kg/kg]; $\bar{\rho}_{ar}$ [kg/m³]; A [m²]; Δz [m]

Resultados dos cálculos

cálculo da água precipitável em uma coluna da atmosfera

altura	T		p	ρ_{ar}	es	q	q ^{médio}	ρ_{ar} ^{médio}	Δm	Δm acum	Δm
	km	°C									
0	30	303	101,30								

Conhecidos (T), (p) e (e) ou qualquer outro conjunto de 3 informações relacionadas com eles é possível determinar os demais índices de umidade do ar.

- ▶ Uma massa de ar está sujeita a uma pressão de 94 kPa e as leituras do psicrômetro são:
 - ▶ bulbo seco (T = 28°C) e bulbo úmido (T' = 17°C)
- ▶ Determine:
 - ▶ a tensão de vapor (e) [mb]
 - ▶ a tensão de vapor saturante (e_s) [mb]
 - ▶ déficit de umidade [mb]
 - ▶ a umidade relativa (UR)
 - ▶ a umidade específica (q)
 - ▶ a temperatura do ponto de orvalho (Td)
 - ▶ a umidade absoluta (ρ_w)