



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS (FZEA)

CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ZAZ 0316 - AGROMETEOROLOGIA
1º SEMESTRE DE 2024

Docentes:

Prof. Dra. Fernanda de Fátima da Silva Deveschio

Prof. Dr. Valdo Rodrigues Herling

AULA 5. UMIDADE DO AR

Introdução

A existência de água na atmosfera e suas mudanças de fase desempenham papel importantíssimo em vários processos físicos naturais, como o transporte e a distribuição de calor na atmosfera, a evaporação e evapotranspiração, a absorção de diversos comprimentos de onda da radiação solar e terrestre, etc. A presença de vapor d'água na atmosfera é igualmente importante como condicionante de ocorrência e controle de pragas/moléstias vegetais e animais, e também como determinante da qualidade, do armazenamento, da conservação dos produtos agrícolas, bem como do conforto animal.

Definições

O teor de vapor d'água na atmosfera varia desde valores quase nulos, em regiões desérticas e polares, até valores de 4% (em volume de ar úmido) nas regiões quentes e úmidas. O ar atmosférico é composto de uma mistura de gases e vapores.

A atmosfera é uma mistura de gases de composição média é de 78% N₂, 21% O₂, 0,03% CO₂. Outros gases aparecem em pequena quantidade (ppm) como: hélio, neônio, criptônio, xenônio, hidrogênio, metano e ozônio. Essa mistura de gases pode *reter vapor* d'água em *diferentes proporções* chegando até 4%.

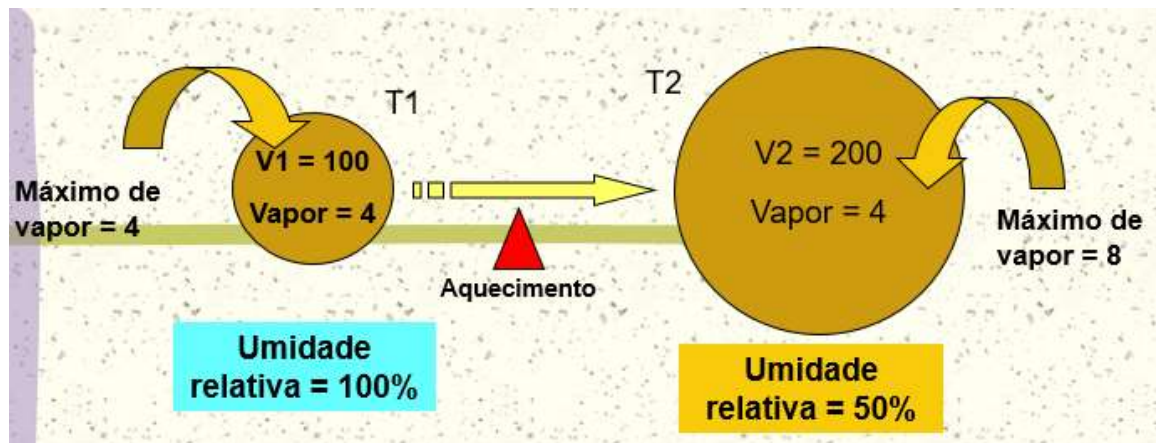
- Caso a umidade corresponda a 0% do volume de ar: AR SECO;
- Caso a umidade corresponda a um valor entre 0% e inferior a 4% do volume de ar: AR ÚMIDO;
- Caso a umidade corresponda a 4% do volume de ar: AR SATURADO.

De acordo com a *Lei de Dalton das pressões parciais*, cada constituinte atmosférico exerce pressão sobre a superfície independente da presença dos outros, de tal modo que a pressão total (atmosférica) é igual à soma das pressões de cada gás ou vapor. Como no presente caso o objetivo é estudar a pressão exercida pelo vapor d'água, pode-se considerar a pressão atmosférica (P_{atm}) como sendo composta pela pressão exercida por todos os constituintes atmosféricos exceto o vapor d'água ($P_{ar\ seco}$) mais a pressão exercida pelo vapor d'água (e_a).

O símbolo e_a foi convencionado para representar a pressão exercida pela massa atual de vapor d'água existente na atmosfera. A pressão parcial de vapor (e_a) varia desde zero, para o ar totalmente seco, até um valor máximo denominado de *pressão de saturação* de vapor d'água (e_s).

Pela *Lei dos gases ideais*, verifica-se que em condição de pressão constante, o volume de uma massa de ar é diretamente proporcional à sua temperatura ($V = n R T / P$). Portanto, o volume de ar se contrai ou expande com a variação de T . Essa variação de volume impõe um limite à quantidade de vapor d'água que pode ser retida pelo volume. Quanto maior T , maior essa quantidade.

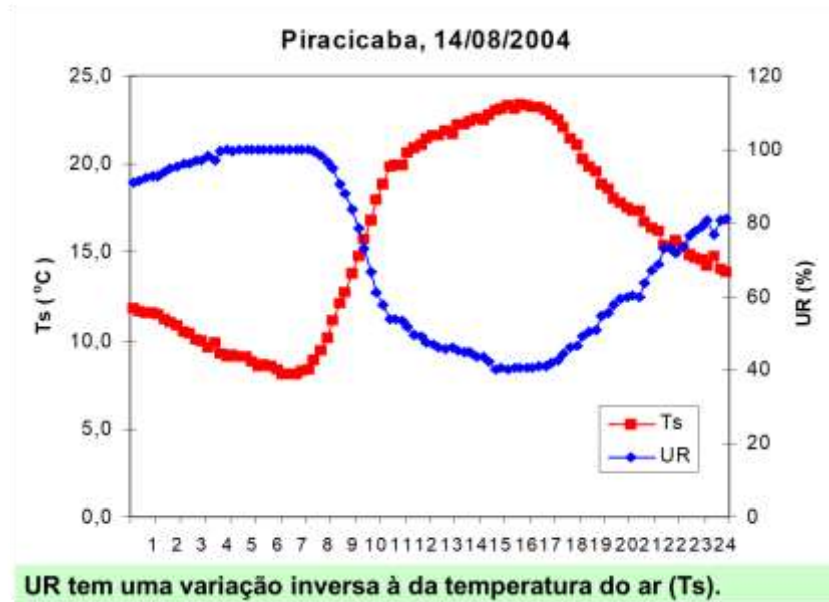
Exemplo:



Com o aquecimento, haverá a expansão do ar, atingindo V_2 , cujo valor arbitrário será 200. Como o sistema é fechado, não houve nem perda e nem ganho de vapor d'água, o qual permaneceu igual a 4.

Como o máximo de vapor que V_2 pode reter agora é 8 (4% do volume), o valor relativo de umidade neste caso será 50%.

Esse exemplo é uma analogia ao que ocorre diariamente na atmosfera. Com o aumento da temperatura, o ar tem uma maior capacidade absoluta de reter vapor (em termos percentuais é sempre 4% do volume) e com o resfriamento essa capacidade diminui. Como a quantidade real de vapor no ar varia muito pouco ao longo do dia, a variação da umidade relativa do ar se dará em função da variação da capacidade máxima absoluta do ar reter vapor d'água.



Determinação da umidade relativa (UR_{ar})

A UR_{ar} é a relação entre a quantidade de vapor em um dado instante com a quantidade de vapor máximo que o ar pode reter.

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

Onde:

UR (Umidade relativa): é uma relação entre pressão de vapor que é função da T °C.

es: tensão de saturação.

ea: tensão atual de vapor

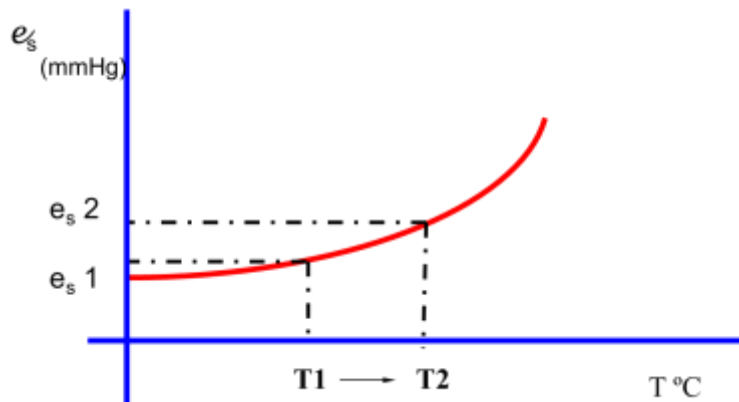
“ea” e “es” são expressos em unidade de pressão (atm, mmHg, mb, hPa ou kPa).

Logo, a quantidade máxima (saturante) de vapor d'água pode ser descrita por uma função da temperatura ambiente. A pressão exercida pelo teor saturante de vapor d'água é representada por es, e sua dependência da T pode ser descrita pela *equação de Tetens*:

$$e_s = 4,58 \cdot 10^{\frac{7,5t}{237,5+t}}$$

e_s = pressão de vapor d'água de saturação (mmHg)
 t = temperatura do ar (°C)

Essa expressão mostra a relação positiva entre a temperatura do ar e a tensão saturação (e_s), mostrando quanto de vapor o ar pode reter para cada nível de temperatura do ar.



Exercício 1: Qual será a variação da pressão de saturação (e_s) ao longo do dia, em dois horários diferentes (7h e 14h), considerando temperatura do ar às 7h: $T_{ar} = 16^\circ\text{C}$; e às 14h: $T_{ar} = 28^\circ\text{C}$.

Exercício 2: Comparação entre a mesma UR = 70% em Recife a 30°C e em São Paulo a 15°C . Quais das cidades estará mais úmida?

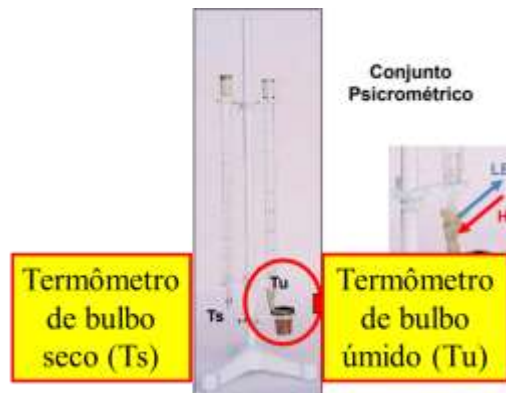
Determinação da umidade atual e de saturação

A determinação da e_a pode se dar de duas formas:

1) A mais simples, é se conhecendo a UR e a Temp do ar:

$$e_a = (UR * e_s) / 100$$

2) A outra forma é por meio da equação psicrométrica, conhecendo-se as temperaturas do bulbo seco (T_s) e do bulbo úmido (T_u), obtidas do conjunto psicrométrico:



Psicrômetro: equipamento para medida da UR baseada na temperatura. Podem ser de ventilação natural ou de ventilação forçada.

$$e_a = e_s' - 0,00067 \cdot P_a (t_s - t_u)$$

e_a = pressão do vapor atual

e_s' = pressão de saturação calculada com a temperatura do bulbo úmido (mmHg)

P_a = pressão atmosférica (mmHg)

T_s = temperatura de termômetro seco

T_u = temperatura de termômetro úmido

Além da umidade relativa (UR), o conhecimento da pressão real e de saturação de vapor d'água no ar nos fornece outras informações bastante utilizadas nas ciências agronômicas, como:

- **UA: Umidade Atual**

$$UA = 288 \cdot \frac{e_a}{T + 273} \quad \frac{gH_2O}{m^3 ar}$$

Onde:

e_a = pressão vapor atual – mmHg

T = temperatura °C

- **US: Umidade de Saturação**

$$US = 288 \cdot \frac{e_s}{T + 273} \frac{gH_2O}{m^3 ar}$$

e_s = pressão de saturação – mmHg

- **to: Temperatura do ponto de orvalho**

Orvalho é a água condensada sobre uma superfície próxima ao solo quando a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho, devido ao resfriamento intenso durante noites de céu limpo e sem vento.

A temperatura na qual uma parcela de ar atinge a saturação apenas por resfriamento é denominada de *temperatura do ponto de orvalho* (T_o).

$$e_a = 4,58 \cdot 10^{\frac{7,5t_o}{237,5+t_o}}$$

e_a = pressão vapor atual – mmHg

Exercício 3: Sabendo-se que em dado instante o psicrômetro registra 20°C para o termômetro de bulbo seco, e 15°C para o termômetro de bulbo úmido, e a pressão atmosférica é de 712 mmHg, calcular:

- Tensão de saturação do ar (mmHg) e tensão atual de vapor (mmHg)
- Umidade atual do ar (g/m^3), umidade de saturação (g/m^3) e UR (%).

Exercício 4: Você está utilizando um secador que trabalha com fluxo de ar de 200 m^3/h para secar 1 tonelada de milho de 14% para 10% de umidade peso. O ar de entrada possui 42°C e umidade relativa (UR) de 25%. Na saída o ar estará com 37°C e 92% de UR. Quanto tempo levará para secar 1,0 tonelada de milho, sabendo-se que a capacidade do secador é de 200 kg de sementes?

Exercício 5: Você está utilizando um secador que trabalha com fluxo de ar de 350 m^3/h para secar 2 tonelada de soja de 20% para 14% de umidade peso. O ar de entrada possui 59°C e umidade relativa (UR) de 25%. Na saída o ar estará com 37°C e 90% de UR. Quanto tempo levará para secar 2,0 tonelada de soja, sabendo-se que a capacidade do secador é de 200 kg de sementes?