



# LCE 306 – Meteorologia Agrícola

*Prof. Paulo Cesar Sentelhas*

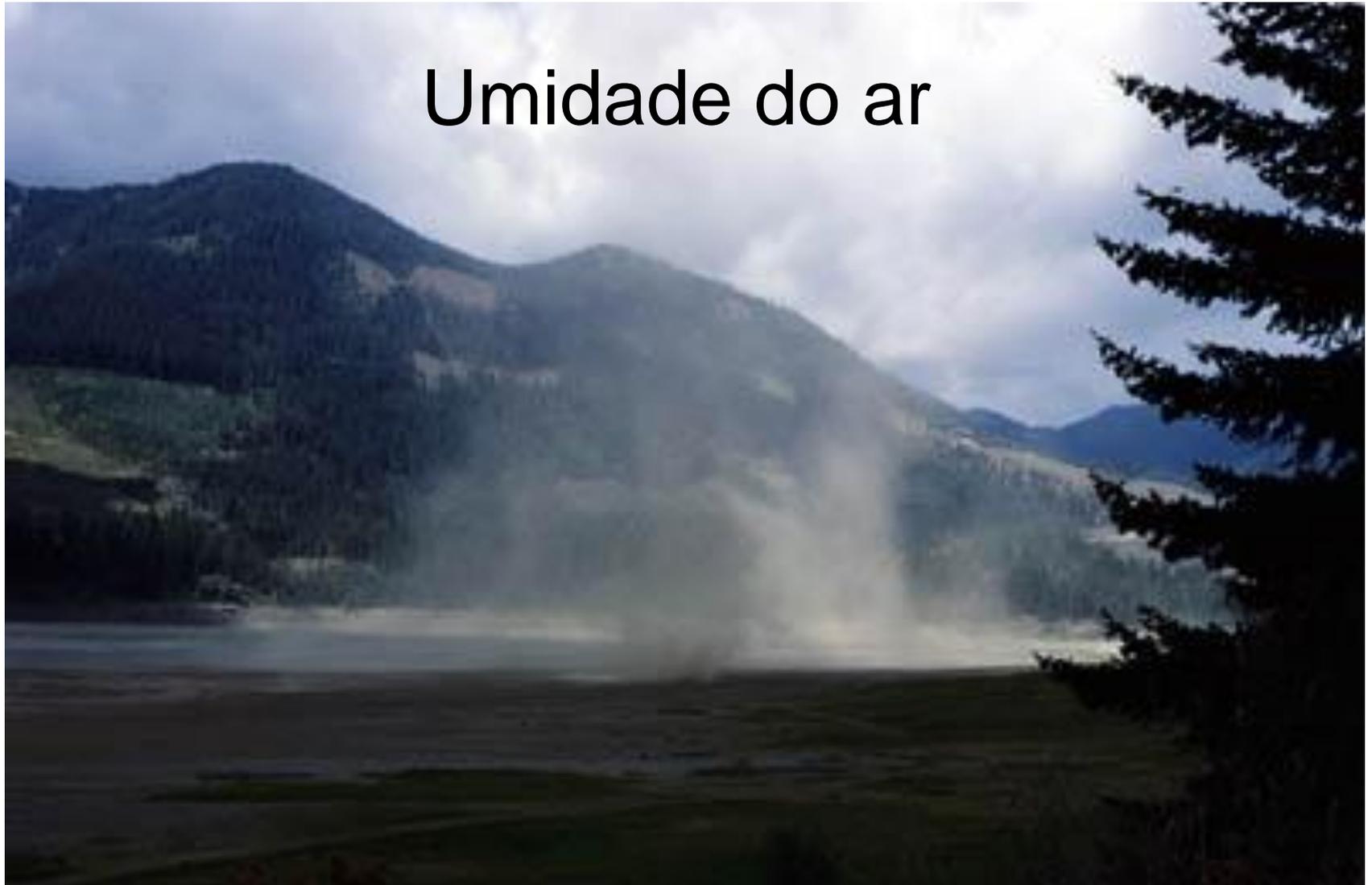
*Prof. Luiz Roberto Angelocci*

Aula # 7

## Umidade do ar, Chuva e Vento

ESALQ/USP – 2012

# Umidade do ar



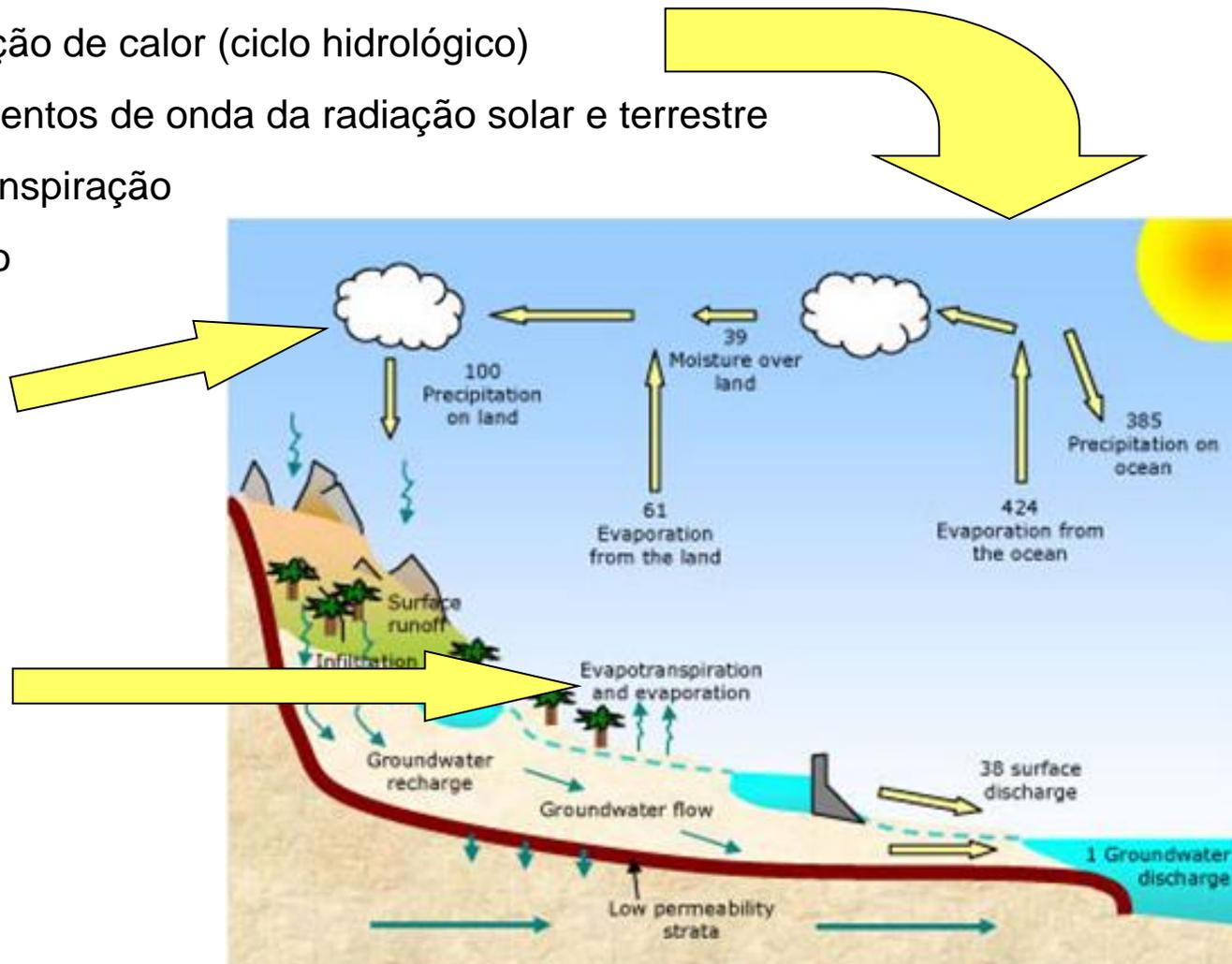
# Umidade do ar

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
- Evaporação/Evapotranspiração
- Condensação/Orvalho

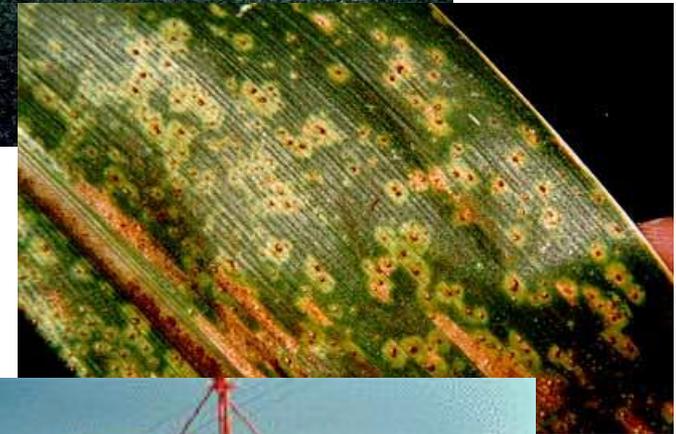
Liberação de energia na atmosfera devido à condensação

Consumo de energia na superfície p/ evaporação



Em função disso, afeta vários aspectos relacionados à agricultura, silvicultura, pecuária e conservação de alimentos:

- Conforto animal
- Consumo hídrico das plantas
- Relação plantas-doenças/pragas
- Armazenamento de produtos
- Incêndios florestais



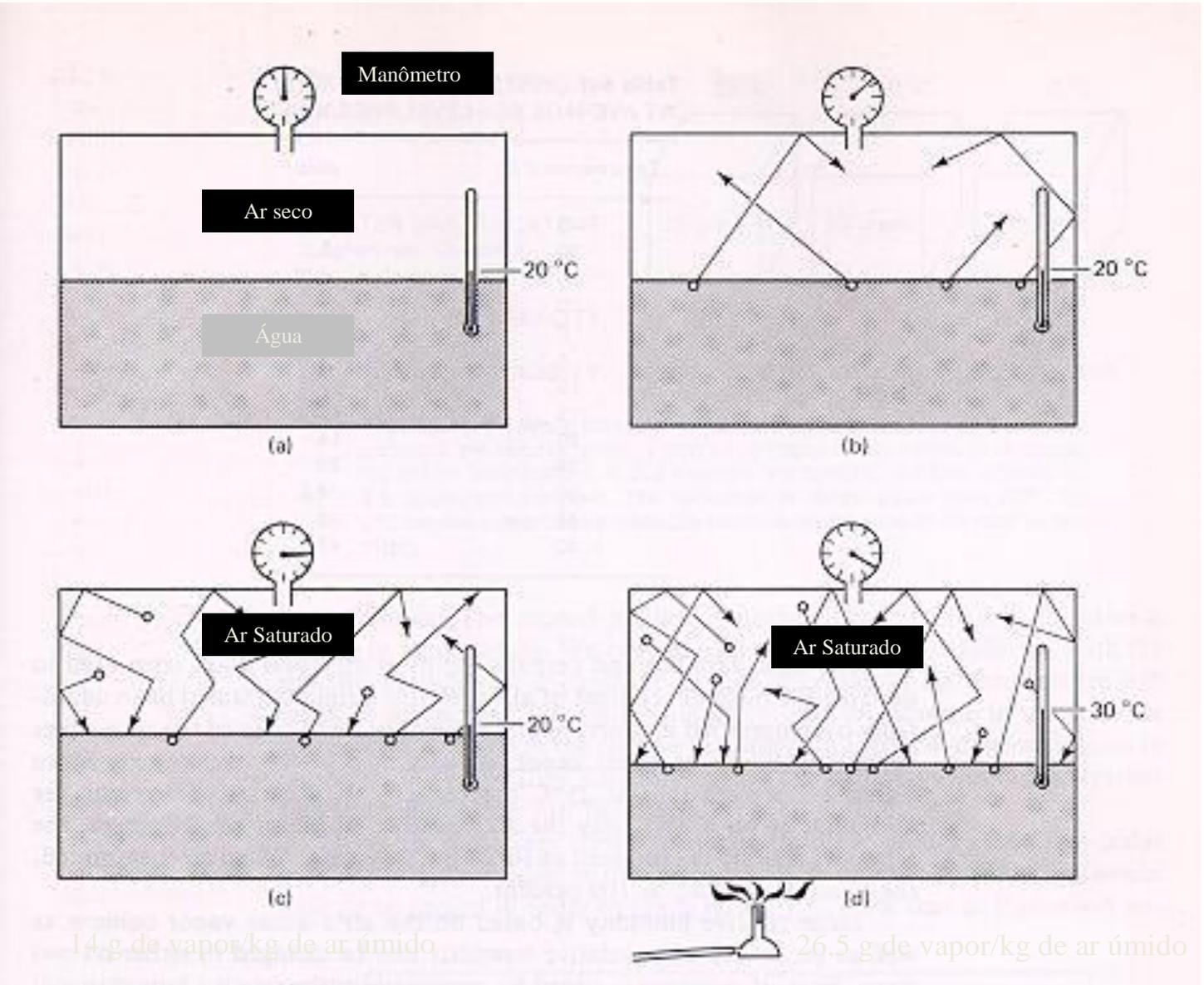
# Definições e Conceitos

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  $\Rightarrow$  AR SECO**
- **Caso a umidade corresponda a um valor entre 0% e 4% do volume de ar  $\Rightarrow$  AR ÚMIDO**
- **Caso a umidade corresponda a 4% do volume de ar  $\Rightarrow$  AR SATURADO**

Ar Saturado: quando a taxa de escape de moléculas de água de uma superfície líquida para o ar se iguala à taxa de retorno de moléculas de vapor d'água do ar para a superfície líquida. Essa taxa é dependente da temperatura do sistema, a qual determina a capacidade máxima de vapor d'água que o ar pode reter.

A figura a seguir ilustra esse processo, mostrando um sistema fechado, a 20°C, no qual em (a) têm-se o ar seco. À medida que a evaporação ocorre, a pressão exercida pelo vapor d'água aumenta (b = ar úmido), até se atingir a condição de saturação para essa temperatura (c). Caso haja o aumento da temperatura do sistema, a capacidade máxima de retenção de vapor do ar aumenta, como mostra a figura (d).



De acordo com a lei de Dalton, a pressão atmosférica ( $P_{\text{atm}}$ ) é igual à soma das pressões parciais exercidas por todos os constituintes atmosféricos. Isso pode ser representado por:

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{N}} + P_{\text{O}} + \dots + P_{\text{CO}_2} + P_{\text{O}_3} + P_{\text{H}_2\text{Ov}}$$

Resumindo:

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{Ar Seco}} + P_{\text{H}_2\text{Ov}}$$

A pressão parcial exercida pelo vapor d'água ( $P_{\text{H}_2\text{Ov}}$ ) é simbolizada pela letra “e”. Para a condição de saturação, ou seja, para o máximo de vapor d'água que o ar pode reter, utilizamos o símbolo “es” e para a condição de ar úmido, ou seja, para a condição real de vapor d'água no ar, utilizamos o símbolo “ea”. Portanto, para chegarmos à umidade relativa (UR, em %), teremos a seguinte equação:

$$\text{UR} = (ea / es) * 100$$

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

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1013,3 \text{ mb} = 1013,3 \text{ hPa} = 101,33 \text{ kPa}$$

O gráfico psicrométrico, que é apresentado no slide a seguir, expressa a relação positiva entre a temperatura do ar e a pressão de vapor, mostrando quanto de vapor o ar pode reter para cada nível de temperatura do ar. A curva que mostra a relação entre  $T_{ar}$  e “es” pode ser expressa pela seguinte equação:

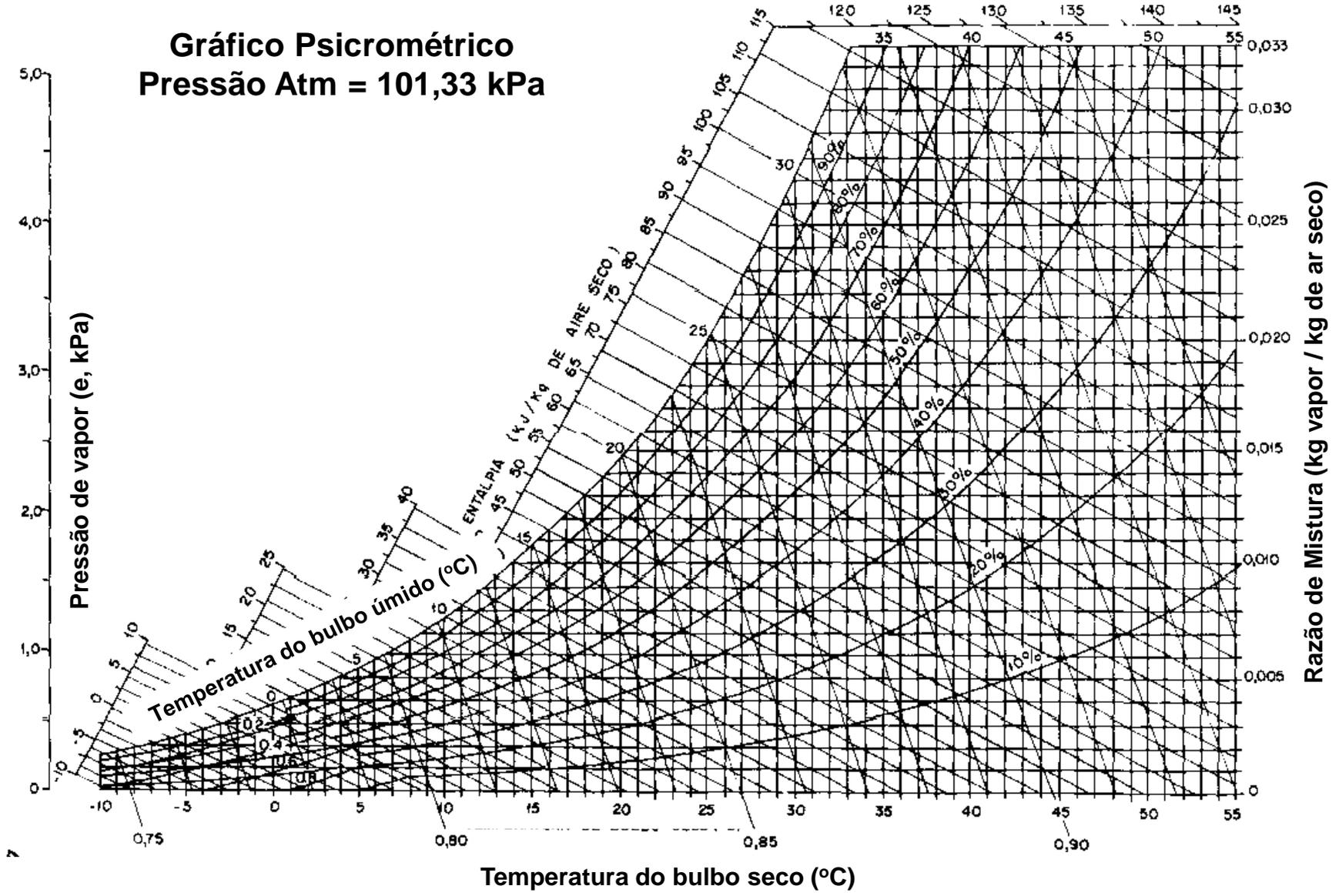
$$es = 0,611 * 10^{[(7,5 * T_{ar}) / (237,3 + T_{ar})]} \text{ (kPa)}$$

Essa equação é denominada de Equação de Tetens e com ela pode-se determinar o valor de es para qualquer temperatura do ar. Caso se deseje calcular es em outras unidades, o valor 0,611 deve ser substituído por 4,58 para mmHg ou 6,11 para milibar (mb). O exemplo a seguir mostra a variação de es ao longo do dia, representado por dois horários (7h e 14h):

$$7h \Rightarrow T_{ar} = 16^{\circ}\text{C} \Rightarrow es = 0,611 * 10^{[(7,5 * 16) / (237,3 + 16)]} = 1,82 \text{ kPa}$$

$$14h \Rightarrow T_{ar} = 28^{\circ}\text{C} \Rightarrow es = 0,611 * 10^{[(7,5 * 28) / (237,3 + 28)]} = 3,78 \text{ kPa}$$

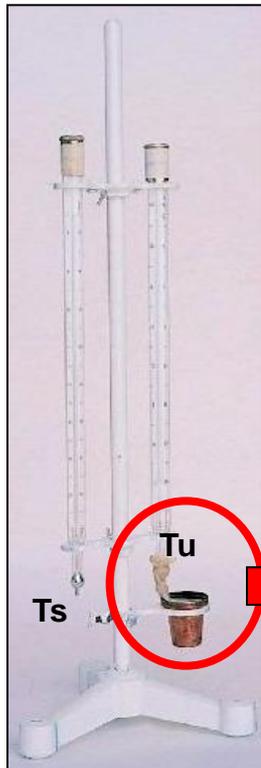
### Gráfico Psicrométrico Pressão Atm = 101,33 kPa



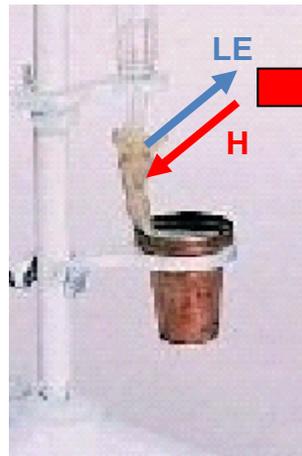
A determinação da pressão real de vapor ( $e_a$ ) pode se dar de duas formas. A mais simples, é se conhecendo a umidade relativa e a temperatura do ar. Com a temperatura calcula-se  $e_s$  e assim chega-se a:

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

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:



Conjunto  
Psicrométrico



$$H = \rho C_p (T_s - T_u) \quad \text{e} \quad LE = (\rho \lambda E / P_{atm}) (e_{s_{T_u}} - e_a)$$

Como neste caso  $H = LE$ , tem-se que:

$$\rho C_p (T_s - T_u) = (\rho \lambda E / P_{atm}) (e_{s_{T_u}} - e_a), \text{ ou seja}$$

$$(C_p P_{atm} / \lambda E) (T_s - T_u) = (e_{s_{T_u}} - e_a)$$

Portanto:

$$e_a = e_{s_{T_u}} - (C_p P_{atm} / \lambda E) (T_s - T_u)$$

$$(C_p P_{atm} / \lambda E) = \text{constante psicrométrica} = \gamma$$

$$e_a = e_{s_{T_u}} - \gamma (T_s - T_u)$$

$\gamma = 0,067 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$  para psicrômetros ventilados e

$\gamma = 0,081 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$  para psicrômetros não ventilados

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:

Déficit de saturação do ar  $\longrightarrow$   $\Delta e = e_s - e_a$  (kPa)

Temperatura do Ponto de Orvalho  $\longrightarrow$   $T_o = (237,3 * \text{Log } e_a / 0,611) / (7,5 - \text{Log } e_a / 0,611)$

Razão de Mistura  $\longrightarrow$   $w = (0,622 * e_a) / (P_{\text{atm}} - e_a)$  (g de vapor / g de ar)

Umidade Absoluta  $\longrightarrow$   $UA = 2168 [e_a / (273 + T_s)]$  (g/m<sup>3</sup>)

Umidade de Saturação  $\longrightarrow$   $US = 2168 [e_s / (273 + T_s)]$  (g/m<sup>3</sup>)

**Exemplo:**  $T_s = 28^\circ\text{C}$  e  $T_u = 17^\circ\text{C}$  (psicrômetro não ventilado)  
 $P_{\text{atm}} = 94 \text{ kPa}$

$$e_s = 0,611 * 10^{[(7,5*28)/(237,3+28)]} = 3,78 \text{ kPa}$$

$$e_{s_{T_u}} = 0,611 * 10^{[(7,5*17)/(237,3+17)]} = 1,94 \text{ kPa}$$

$$e_a = 1,94 - 0,081 (28 - 17) = 1,05 \text{ kPa}$$

$$UR = (1,05/3,78) * 100 = 27,8\%$$

$$\Delta e = 3,78 - 1,05 = 2,73 \text{ kPa}$$

$$T_o = (237,3 * \text{Log } 1,05/0,611) / (7,5 - \text{Log } 1,05/0,611) = 7,7^\circ\text{C}$$

$$U_A = 2168 * 1,05/(273+28) = 7,56 \text{ g/m}^3$$

$$U_S = 2168 * 3,78/(273+28) = 27,23 \text{ g/m}^3$$

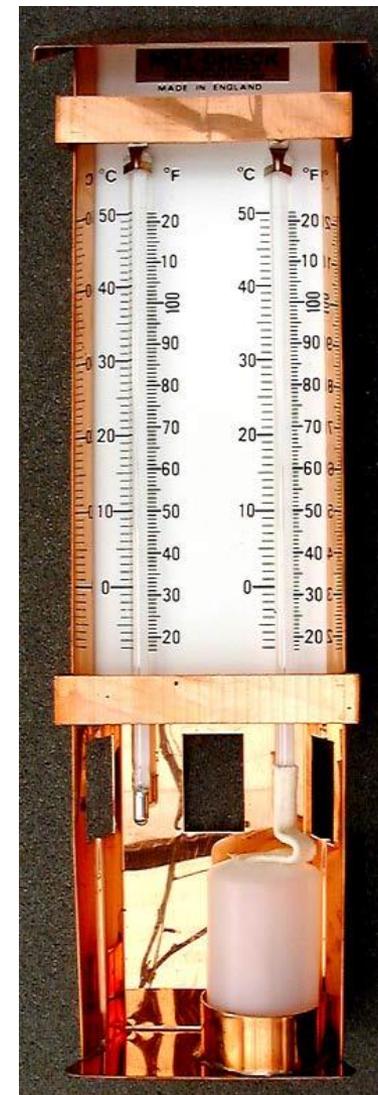
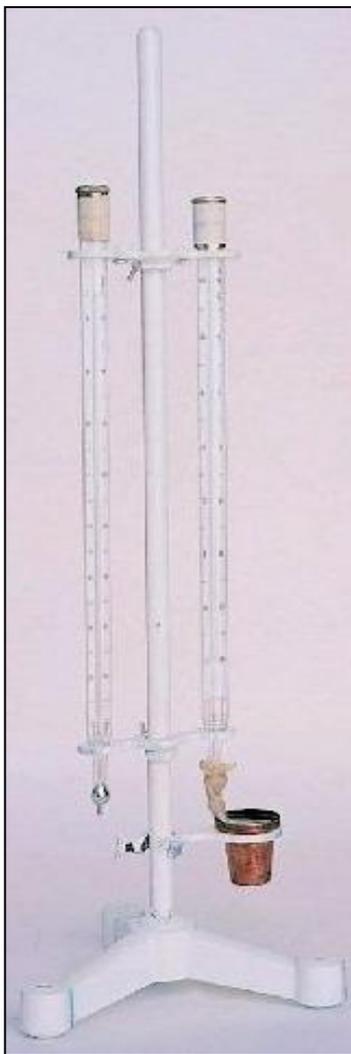
$$w = (0,622 * 1,05) / (94 - 1,05) = 0,007 \text{ g vapor/g ar}$$



# Equipamentos de medida da Umidade do ar

## Conjunto Psicrométrico ou Psicrômetro

O conjunto psicrométrico utiliza as equações apresentadas anteriormente para a determinação de “es” e “ea”, que posteriormente são empregados na determinação de UR. 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.



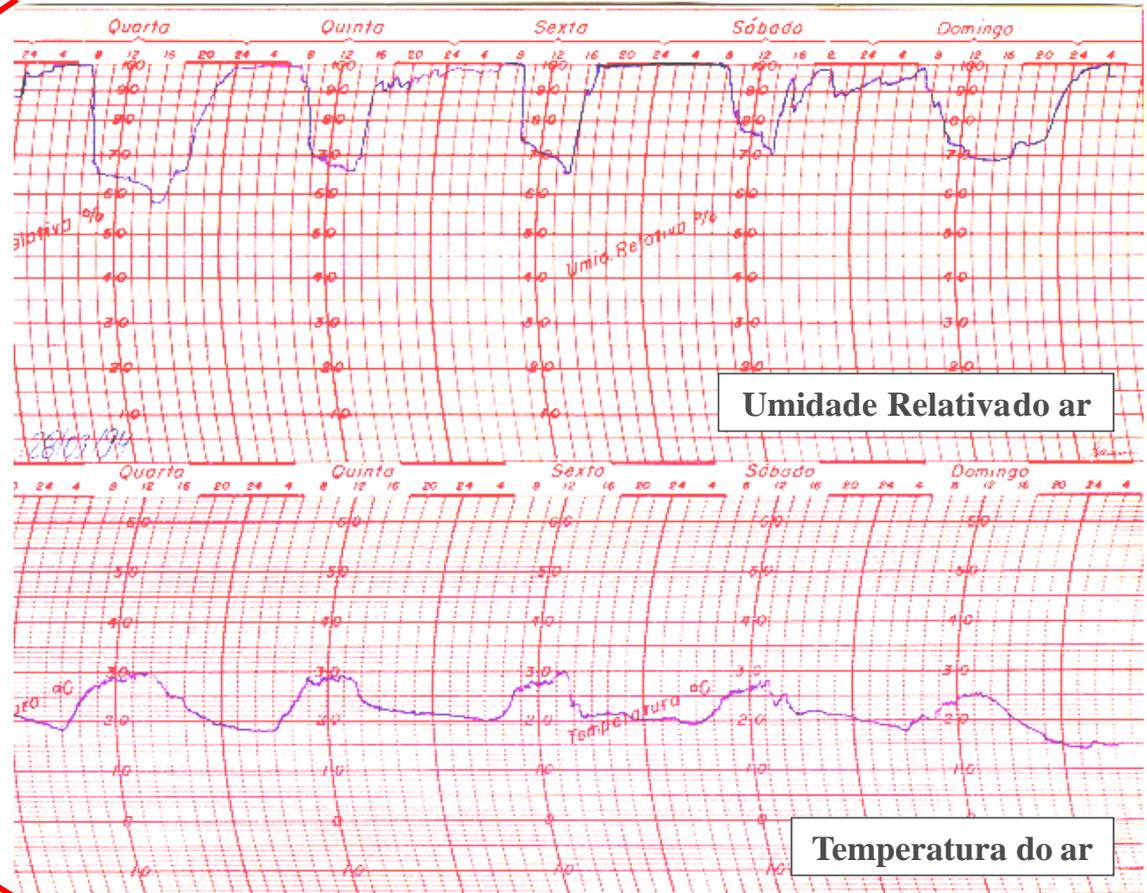
## Psicrômetro Assmann



O psicrômetro Assmann é considerado padrão para a medida da umidade do ar. No entanto, este é um equipamento mecânico. Outras versões desse tipo de sensor vem sendo desenvolvidas, mas todas usando o princípio das medidas das temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido.

As versões mais atuais dos psicrômetros envolvem medidas dessas temperaturas com o uso de termopares, em abrigos meteorológicos onde há um fluxo constante de ar. Esses psicrômetros possibilitam medidas automatizadas, o que facilita a determinação da UR.

## Higrógrafos mecânicos



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. Esses equipamentos são empregados para a obtenção de medidas contínuas nas estações meteorológicas convencionais e registram os valores de UR no higrograma. Esse equipamento requer calibrações freqüentes, pois o cabelo vai perdendo elasticidade com o tempo.

## Sensor capacitivo de UR

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.



## Medida da Umidade do ar em Condições Padrões

Os sensores de UR, para medidas rotineiras, devem ser instalados dentro dos abrigos meteorológicos (1,5 a 2,0 m de altura), 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**

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

**Higró-  
grafo**

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



$UR_i$  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

## Estação Automática :

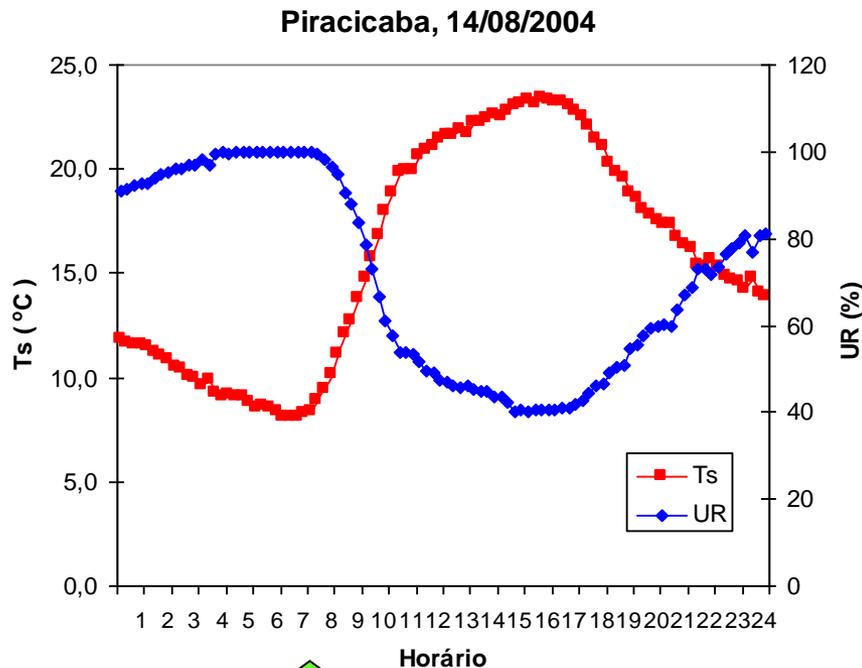
**Real**

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

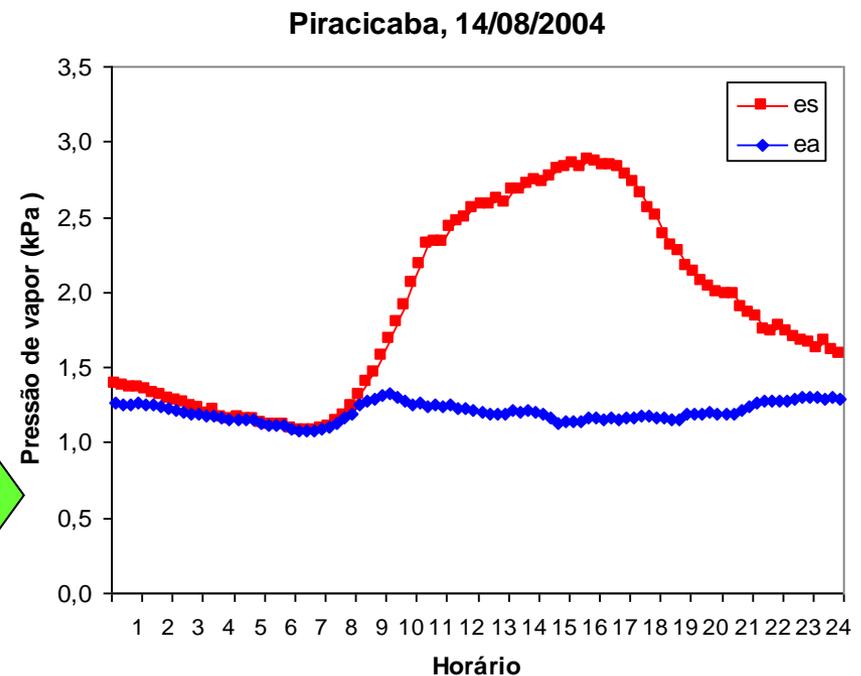


$UR_i$  é a umidade relativa do ar medida a cada intervalo de tempo e n é o total de observações feitas ao longo de um dia

# Variação temporal da umidade do ar - escala diária



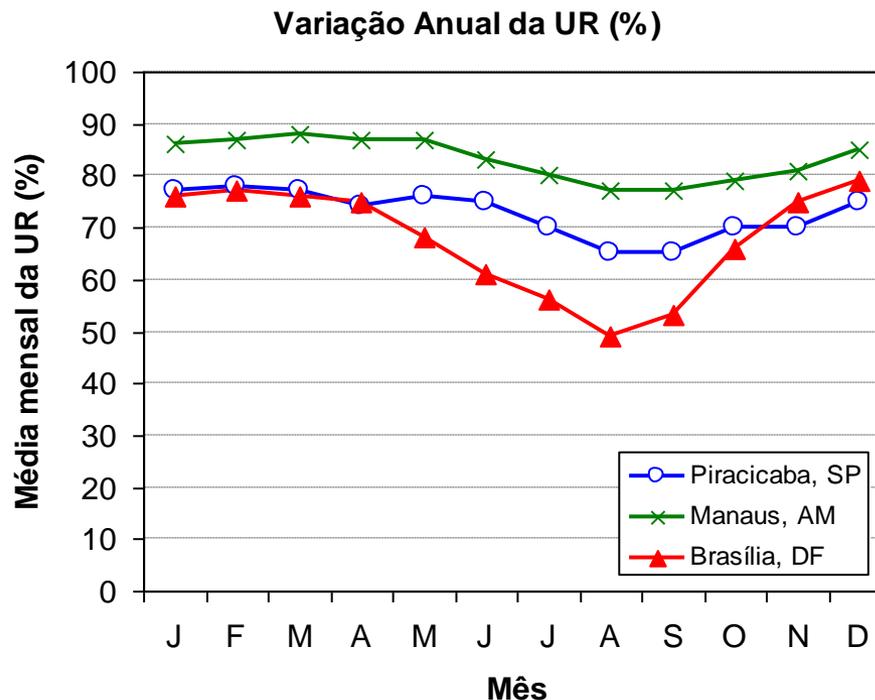
Na escala diária praticamente não há variação de “ea” ao longo do dia, ao passo que “es” varia exponencialmente com a temperatura do ar. Isso faz com que a UR varie continuamente ao longo do dia, chegando ao valor mínimo no horário de  $T_{\text{max}}$  e a um valor máximo a partir do momento em que a temperatura do ponto de orvalho ( $T_o$ ) é atingida.



Desse modo, a UR tem uma variação inversa à da temperatura do ar ( $T_s$ ), como pode-se observar na figura acima, porém o efeito direto da  $T_s$  é sobre “es”, como pode-se observar na figura ao lado.

# Variação temporal da umidade do ar - escala anual

Na escala anual, a UR média mensal acompanha basicamente o regime de chuvas, pois havendo água na superfície haverá vapor d'água no ar. Observa-se na figura abaixo que nas três localidades analisadas, a UR média mensal é maior na estação chuvosa e menor na estação seca. No entanto, em Manaus a UR é sempre maior que nas duas outras localidades, devido à estação seca ser mais curta e menos intensa. Em Piracicaba e em Brasília, a UR média mensal é praticamente igual na estação chuvosa, porém menor em Brasília na estação seca, o que se deve ao fato da estiagem ser muito mais intensa e prolongada nessa região do que em Piracicaba.





# Determinação da Duração do Período de Molhamento (DPM)

DPM é o tempo em que as superfícies vegetais (folhas, frutos, flores e colmo) se apresentam com molhamento, o qual é principalmente proveniente da condensação de orvalho. Essa variável é de extrema importância no contexto da fitossanidade vegetal, já que ela é fundamental para o processo infeccioso de doenças fúngicas e bacterianas.



**Lesões causadas por doenças em folhas e frutos**



A DPM, portanto, tem relação direta com a umidade do ar, já que somente haverá condensação quando a umidade relativa estiver próxima de 100%. A DPM pode ser medida por sensores ou estimada em função do tempo (número de horas) em que a UR ficou acima de 90%.

## Medida da Duração do Período de Molhamento (DPM)

Utilização de sensores eletrônicos, cujo princípio é baseado na redução da resistência entre eletrôdos quando existe a presença de água no forma líquida. Esses sensores podem simular uma folha ou, então, serem instalados diretamente no tecido vegetal onde se deseja monitorar essa variável.



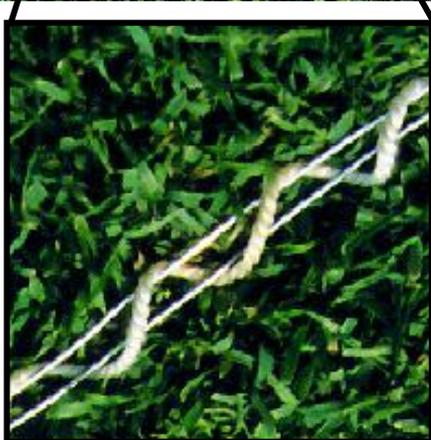
**Folha artificial –  
sensor plano**



**Folha artificial – sensor cilíndrico**

# Medida da Duração do Período de Molhamento (DPM)

Sensor para gramado



Sensor para caule e folhas



# Estimativa da Duração do Período de Molhamento (DPM)

O método mais comum para a estimativa da DPM é por meio do número de horas com UR maior do que 90% (NHUR>90%). Esse método funciona bem para climas úmidos, como o do Estado de São Paulo. No entanto, para climas semi-áridos é necessário se reduzir o limiar para se considerar a superfície com orvalho.

$$\text{DPM} = \text{NHUR} > 90\%$$

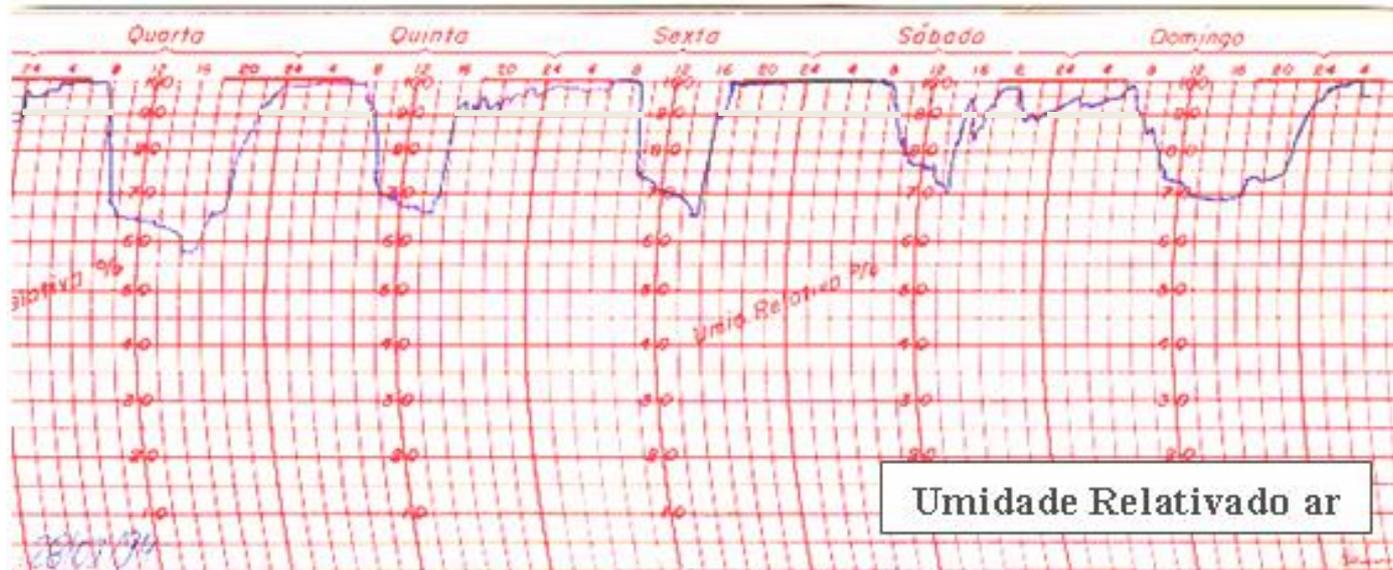
DPM = 8h

DPM = 10h

DPM = 17h

DPM = 17h

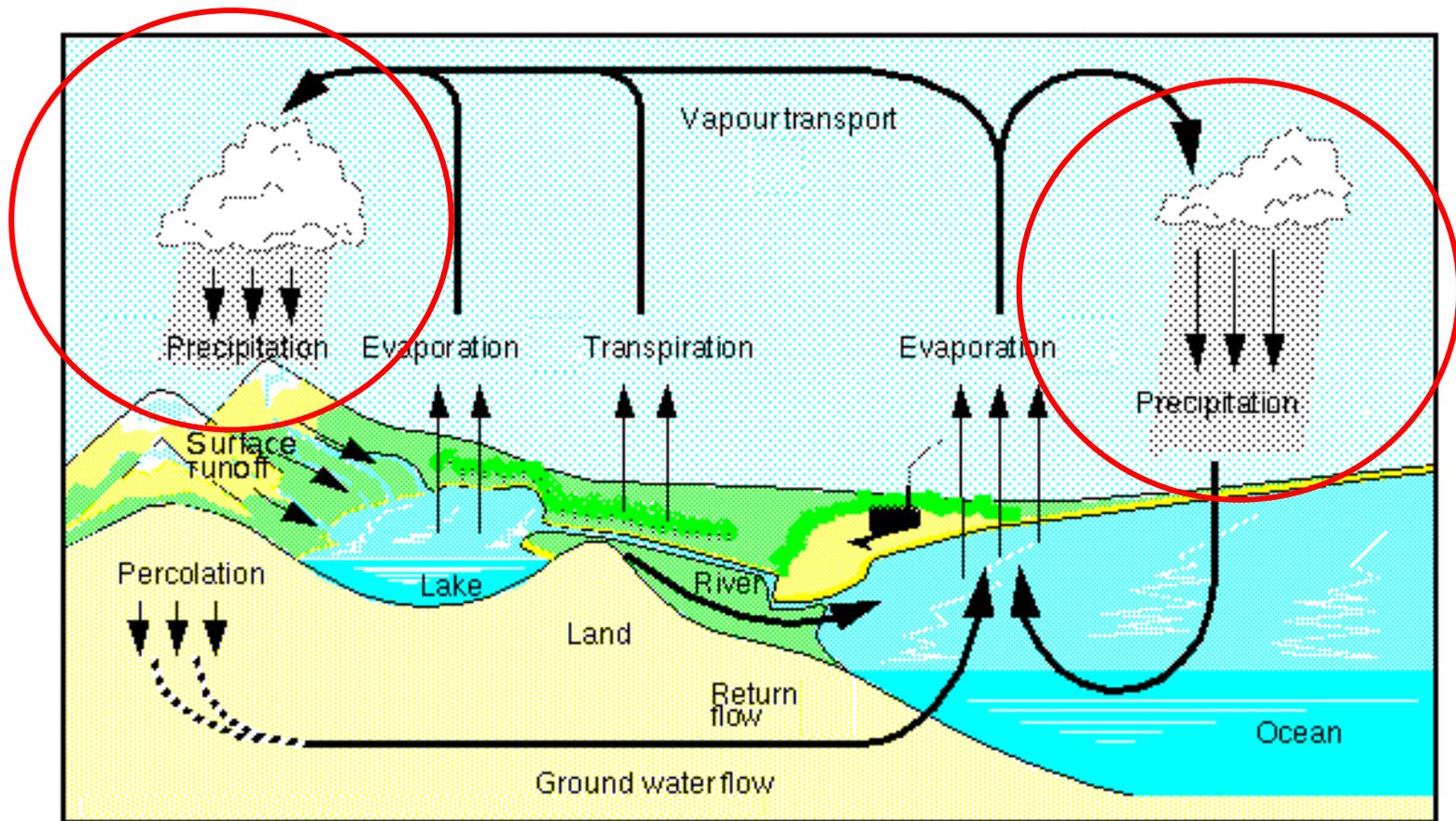
DPM = 11h



# Precipitação Pluvial (Chuva)



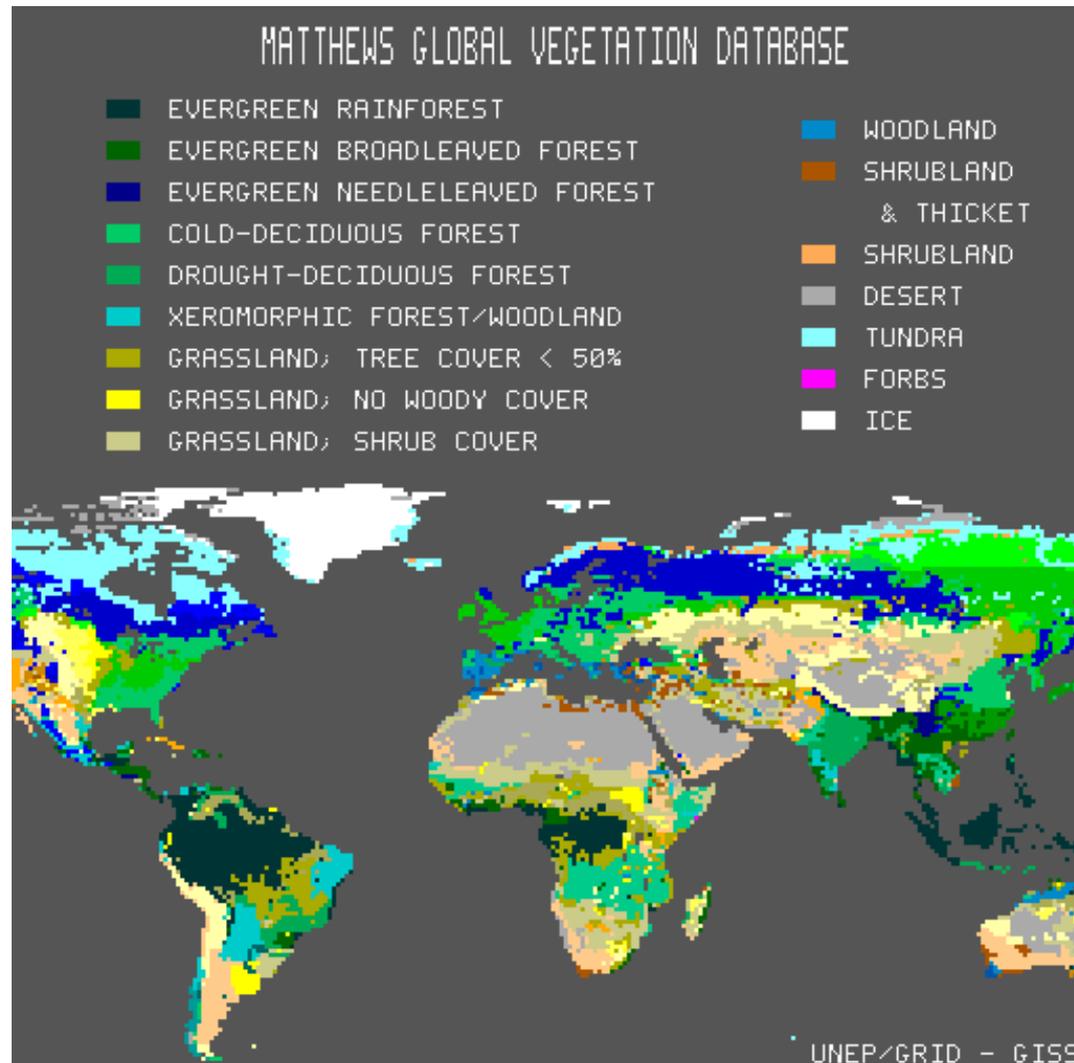
# Ciclo Hidrológico



Courtesy Erich Roeckner, Max Planck Institute for Meteorology

A precipitação pluvial, ou simplesmente chuva, é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre, após os processos de evaporação/transpiração e condensação, completando assim o “Ciclo Hidrológico”.

A quantidade e a distribuição das chuvas definem o clima de uma região (seco ou úmido) e, juntamente com a temperatura do ar, define o tipo de vegetação natural que ocorre nas diferentes regiões do globo. De forma análoga, a quantidade e a distribuição das chuvas definem também o potencial agrícola.



# Condensação na Atmosfera

Para que haja condensação na atmosfera, há necessidade da presença de núcleos de condensação, em torno dos quais se formam os elementos de nuvem (pequenas gotículas de água que permanecem em suspensão no ar). O principal núcleo de condensação é o NaCl. No entanto, em algumas regiões específicas, outras substâncias podem atuar como núcleos de condensação, como é o caso do 2-metiltreitol, álcool proveniente da reação do isopreno emitido pela floresta com a radiação solar, considerado o principal núcleo de condensação para formação das chuvas convectivas na região Amazônica.



Além dos núcleos de condensação, há necessidade de que o ar fique saturado de vapor, o que ocorre por duas vias: aumento da pressão de vapor d'água no ar e resfriamento do ar (mais eficiente e comum). Esse resfriamento do ar se dá normalmente por processo adiabático, ou seja, a parcela de ar sobe e se resfria devido à expansão interna, que se deve à redução de pressão.

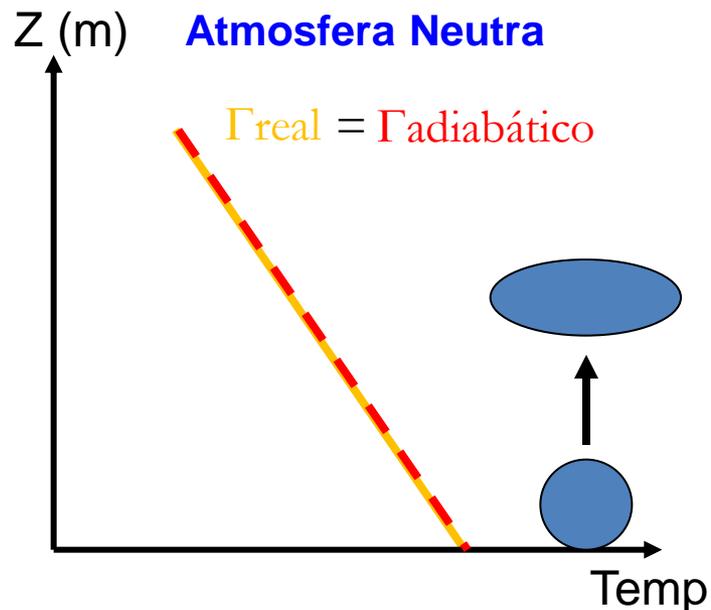
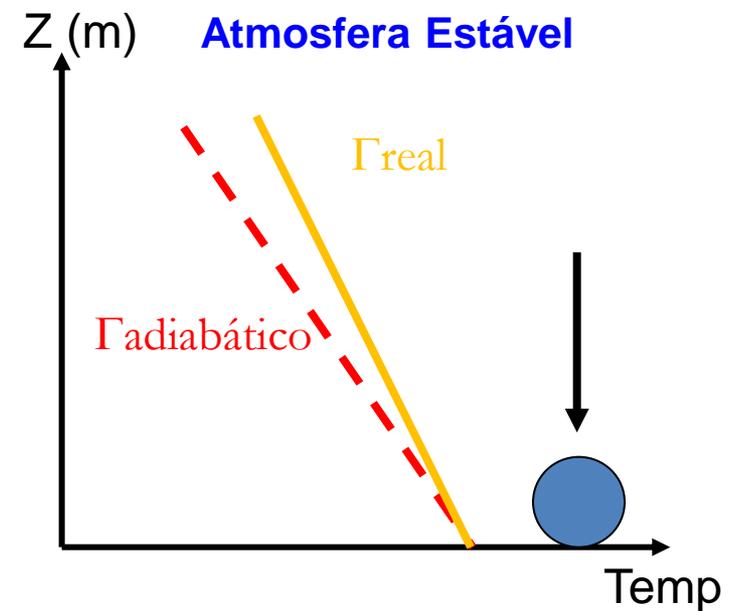
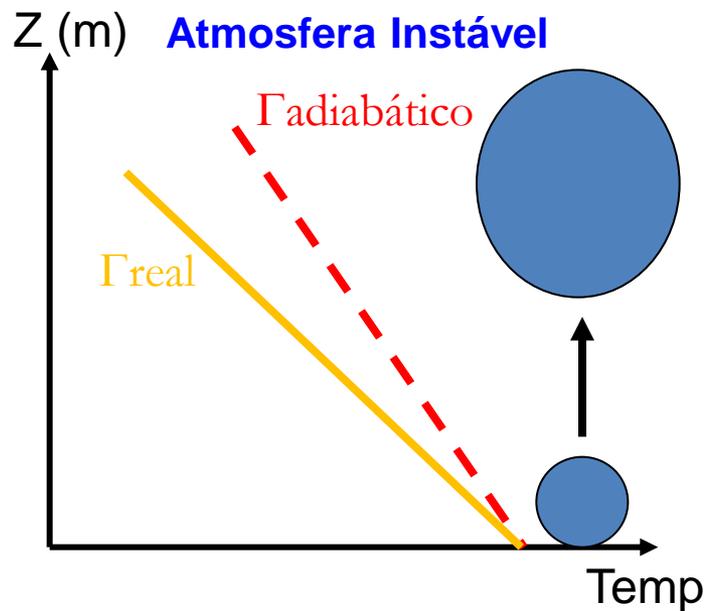
A taxa de decréscimo da temperatura do ar com a elevação é denominada de GRADIENTE ADIABÁTICO ( $\Gamma$ ):

$$\Gamma_{\text{ar seco}} = - 0,98^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar saturado}} = - 0,4^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar úmido}} = - 0,6^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

A ascensão de uma parcela de ar irá depender das condições atmosféricas. Isso explica por que em alguns dias ocorre formação intensa de nuvens pelo processo convectivo e em outros dias não. Quando as condições atmosféricas favorecem a formação dos movimentos convectivos e, conseqüentemente, a formação de nuvens, a atmosfera é dita “instável”, ao passo que sob condições desfavoráveis à formação de nuvens, a atmosfera é dita “estável”.



Essas figuras exemplificam o que ocorre com os movimentos convectivos nas três condições atmosféricas: instável, estável e neutra. Observe que na condição estável a ascensão da parcela de ar é inibida, não havendo, portanto, possibilidade de formação de nuvens. Nas outras condições há movimentos ascendentes, sendo mais intensos na condição de instabilidade atmosférica.

# Formação das Chuvas

O processo de condensação por si só não é capaz de promover a ocorrência de precipitação, pois nesse processo são formadas gotículas muito pequenas, denominadas de elementos de nuvem, que permanecem em suspensão na atmosfera, não tendo massa suficiente para vencer a força de flutuação térmica.

Para que haja a precipitação deve haver a formação de gotas maiores, denominadas de elementos de precipitação, resultantes da coalescência das gotas menores, que ocorre devido a diferenças de temperatura, tamanho, cargas elétricas e, também, devido ao próprio movimento turbulento.



# Tipos de Chuva quanto ao Processo de Formação

## Chuva Frontal

Originada do encontro de massas de ar com diferentes características de temperatura e umidade. Dependendo do tipo de massa que avança sobre a outra, as frentes podem ser denominadas basicamente de frias e quentes. Nesse processo ocorre a “convecção forçada”, com a massa de ar quente e úmida se sobrepondo à massa fria e seca. Com a massa de ar quente e úmida se elevando, ocorre o processo de resfriamento adiabático, com condensação e posterior precipitação.



Características das chuvas frontais



**Distribuição:** generalizada na região

**Intensidade:** fraca a moderada, dependendo do tipo de frente

**Predominância:** sem horário predominante

**Duração:** média a longa (horas a dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente.

# Chuva Convectiva

Originada do processo de convecção livre, em que ocorre resfriamento adiabático, formando-se nuvens de grande desenvolvimento vertical.



Storm near Elko, Nevada.



Características das chuvas convectivas



- Distribuição:** localizada, com grande variabilidade espacial
- Intensidade:** moderada a forte, dependendo do desenvolvimento vertical da nuvem
- Predominância:** no período da tarde/início da noite
- Duração:** curta a média (minutos a horas)

## Chuva Orográfica

Ocorrem em regiões onde barreiras orográficas forçam a elevação do ar úmido, provocando convecção forçada, resultando em resfriamento adiabático e em chuva na face a barlavento. Na face a sotavento, ocorre a sombra de chuva, ou seja, ausência de chuvas devido ao efeito orográfico.

### Exemplo do efeito orográfico na Serra do Mar, no Estado de São Paulo

Santos – P = 2153 mm/ano

Cubatão – P = 2530 mm/ano

Serra a 350m – P = 3151mm/ano

Serra a 500m – P = 3387 mm/ano

Serra a 850m – P = 3874 mm/ano

S.C. do Sul – P = 1289 mm/ano

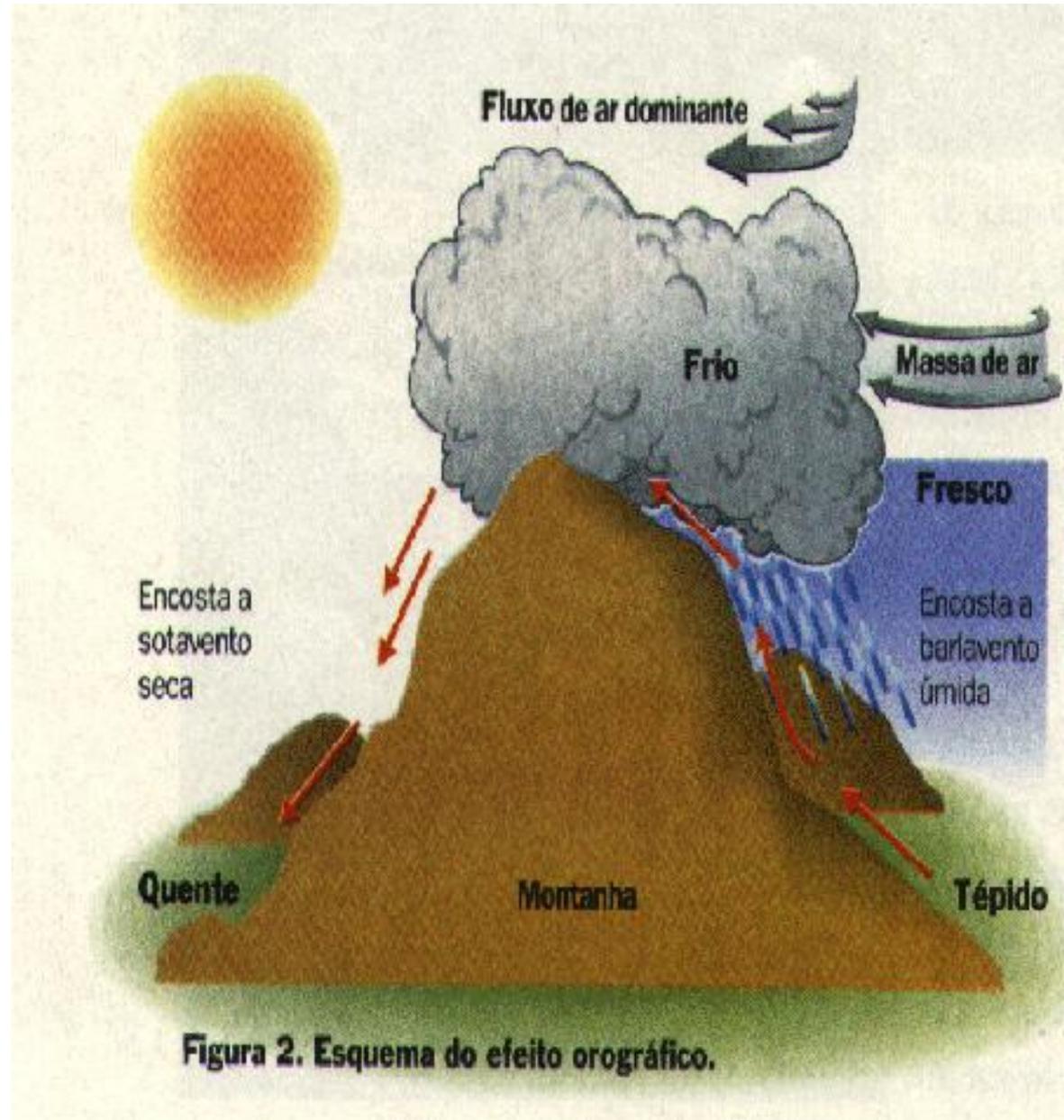


Figura 2. Esquema do efeito orográfico.

# Medida da Chuva

A medida da chuva é feita pontualmente em estações meteorológicas, tanto automáticas como convencionais. O equipamento básico para a medida da chuva é o pluviômetro, o qual tem diversos tipos (formato, tamanho, sistema de medida/registo). A unidade de medida da chuva é a altura pluviométrica (h), que normalmente é expressa em milímetros (mm). Em alguns países são utilizadas outras unidades, como a polegada (inches – in.), sendo  $1\text{mm} = 0,039\text{ in.}$  A altura pluviométrica (h) é dada pela seguinte relação:

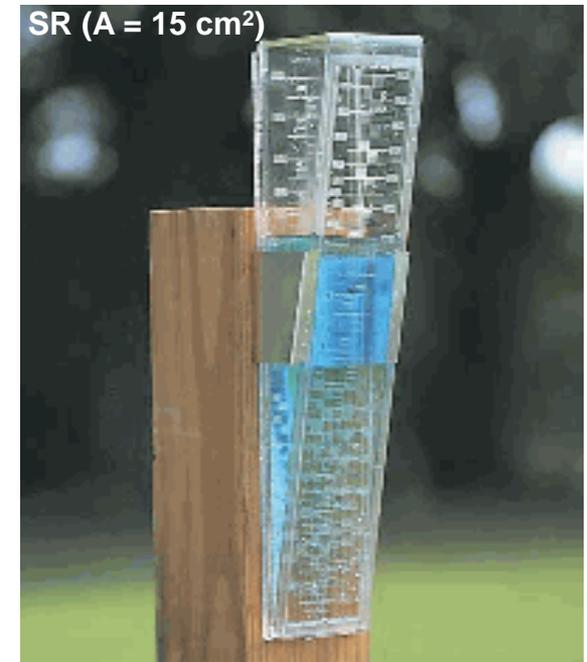
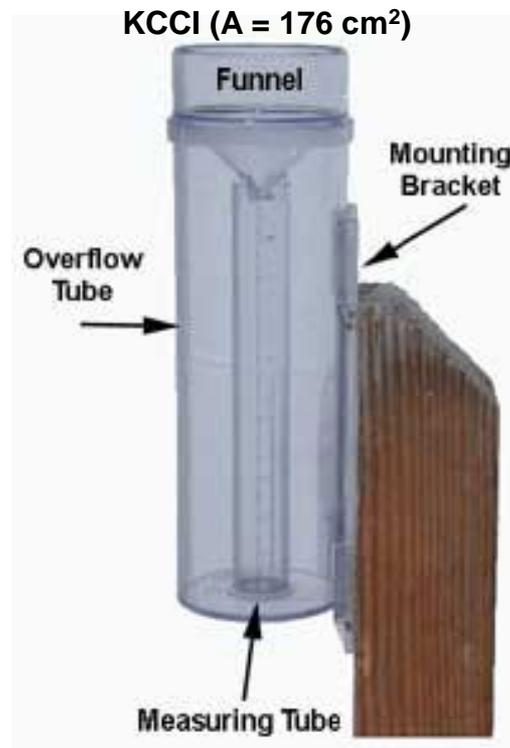
$$h = \text{Volume precipitado} / \text{Área de captação}$$

Se 1 litro de água for captado por uma área de  $1\text{ m}^2$ , a lâmina de água coletada terá a altura de 1mm. Em outras palavras,  $1\text{mm} = 1\text{L} / 1\text{m}^2$ . Portanto, se um pluviômetro coletar 52 mm, isso corresponderá a 52 litros por  $1\text{m}^2$ .

$$h = 1\text{L} / 1\text{m}^2 = 1.000\text{ cm}^3 / 10.000\text{ cm}^2 = 0,1\text{ cm} = 1\text{mm}$$

# Equipamentos para medida da chuva

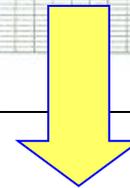
## Pluviômetros



Os pluviômetros são instrumentos normalmente operados em estações meteorológicas convencionais ou mini-estações termo-pluviométricas. O pluviômetro padrão utilizado na rede de postos do Brasil é o Ville de Paris (foto da esquerda). Outros tipos de pluviômetro (fotos do centro e da direita) são comercializados ao um custo menor e tem por finalidade monitorar as chuvas em propriedades agrícolas. A durabilidade desses pluviômetros e sua precisão, em função da menor área de captação, são menores do que a dos pluviômetros padrões. A área de captação mínima recomendável é de  $100 \text{ cm}^2$ .

## Pluviógrafo

Os pluviógrafos são dotados de um sistema de registro diário, no qual um diagrama (pluviograma) é instalado. Ele registra a chuva acumulada em 24h, o horário da chuva e a sua intensidade. São equipamentos usados nas estações meteorológicas convencionais



O pluviograma acima mostra uma chuva ocorrida no dia 11/03/1999, em que foi registrado cerca de 76mm em 5h. A chuva se concentrou entre 20h do dia 10/03 e 1h do dia 11/03. A intensidade máxima foi observada entre 20:30 e 21:30, com cerca de 53mm/h.

## Pluviômetros de balança



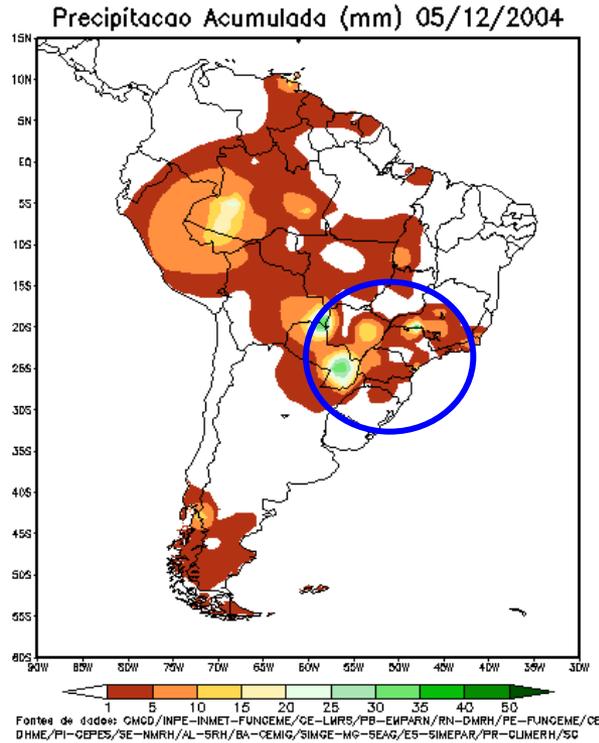
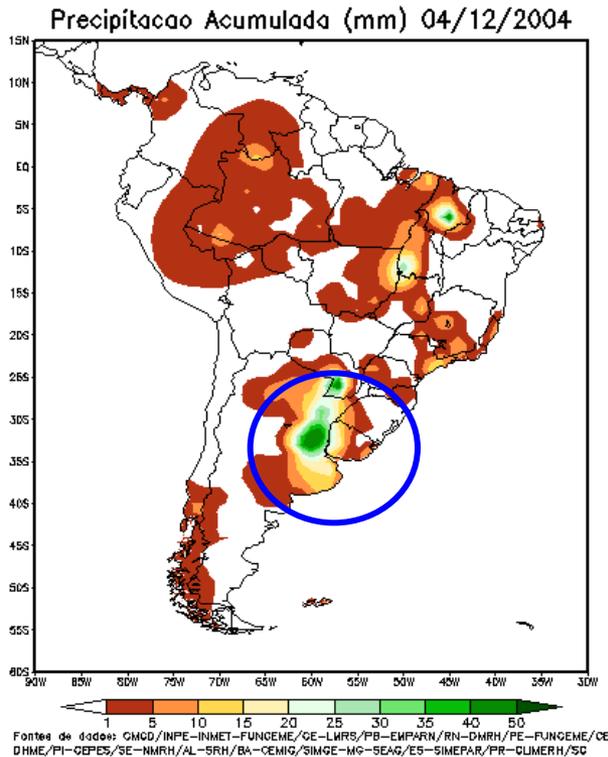
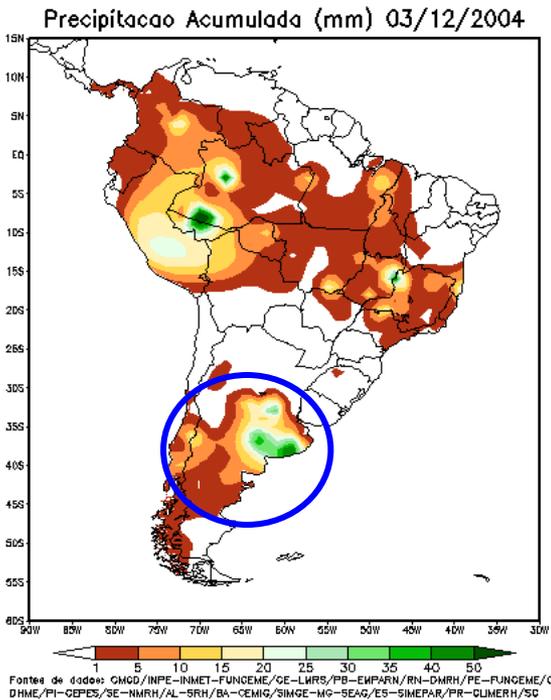
**Básculas dispostas em um sistema de gangorra**



Os pluviômetros de balança são sensores eletrônicos para a medida da chuva, usados nas estações meteorológicas automáticas. Eles possuem duas básculas, dispostas em sistema de gangorra, com capacidade para armazenar de 0,1 a 0,2mm de chuva. Conforme a chuva vai ocorrendo o sistema é acionado e um contador disposto no sistema de aquisição de dados registra a altura pluviométrica acumulada. Esse equipamento registra o total de chuva, o horário de ocorrência e a intensidade.

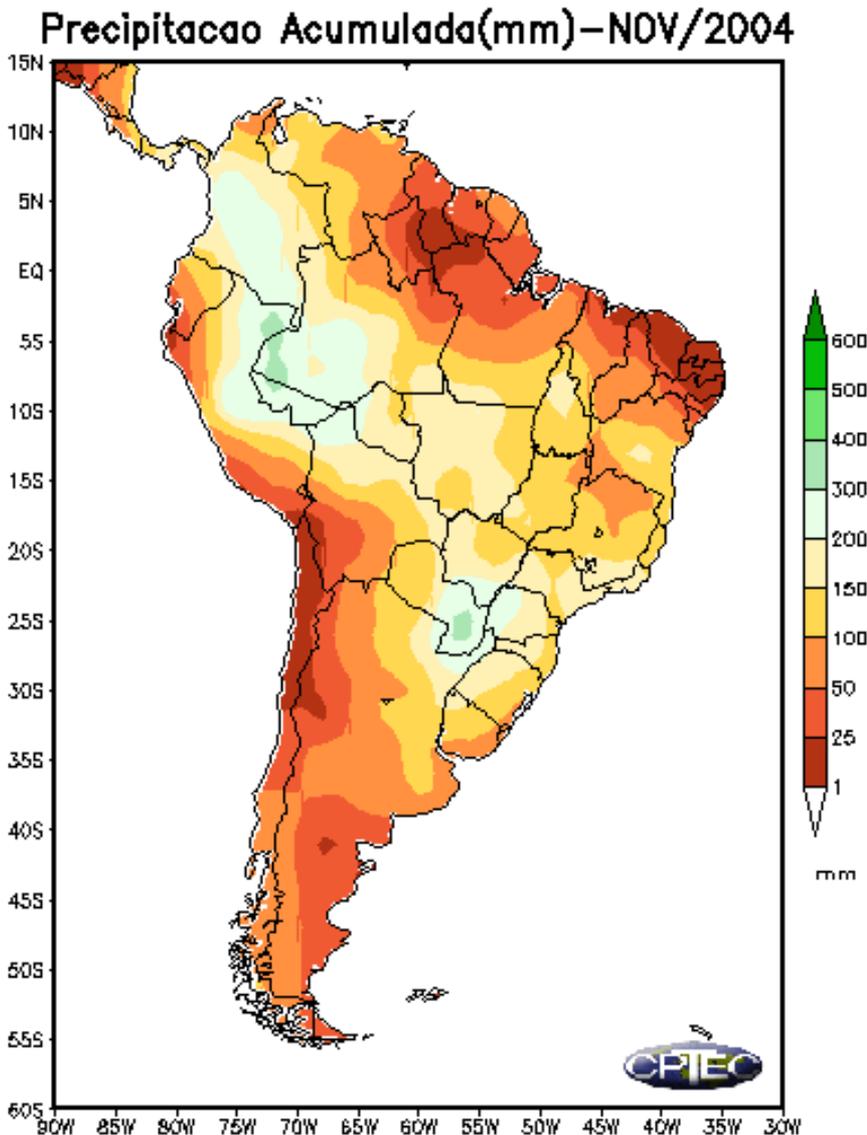
# Variabilidade Espacial das Chuvas

As figuras mostram a variabilidade espacial das chuvas em três dias consecutivos. Observe as chuvas causadas por um sistema frontal avançando da Argentina para o Brasil.



Na escala diária, a variabilidade espacial depende dos sistemas meteorológicos que atuam na região. Esses sistemas são em suma a resultante da interação dos fatores determinantes do clima nas três escalas estudadas.

# Variabilidade Espacial das Chuvas

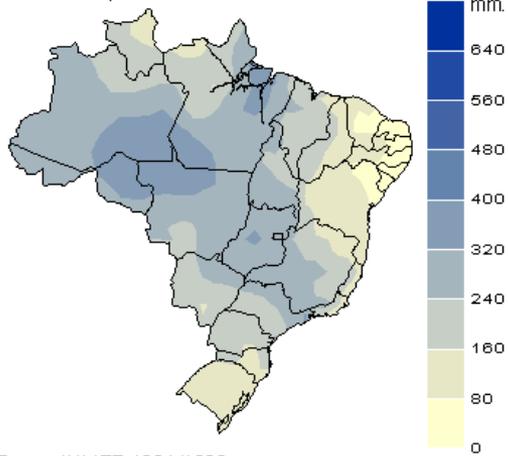


A variabilidade espacial das chuvas na escala diária, gera também a variabilidade espacial na escala mensal, que por sua vez gera tal variabilidade na escala anual.

A figura ao lado ilustra a chuva acumulada no mês de novembro de 2004. Observa-se que os maiores índices pluviométricos foram observados no oeste do Paraná, no Acre e no sudoeste do Amazonas. Por outro lado, os menores índices de chuva foram observados no extremo norte da Região Norte, entre o Pará e Roraima, e também nos estados nordestinos do CE, RN, PB, PE e AL.

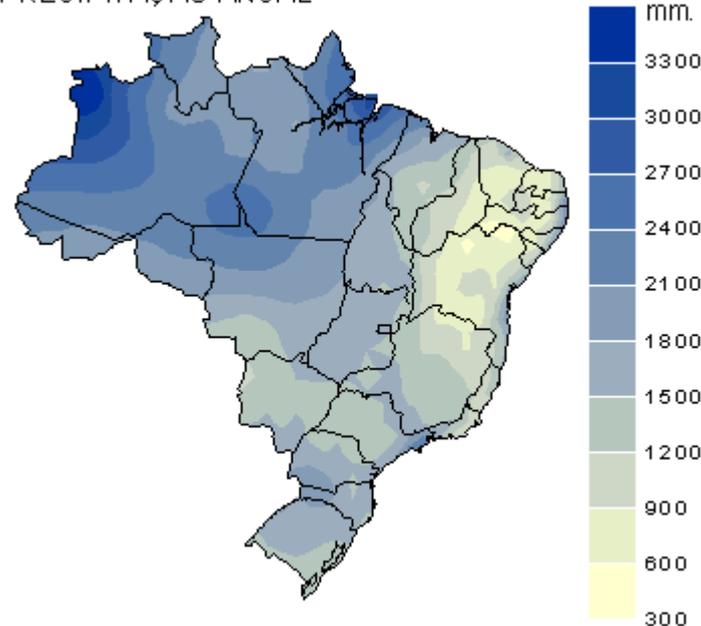
# Variabilidade Espacial e Temporal das Chuvas

PRECIPITAÇÃO - JANEIRO



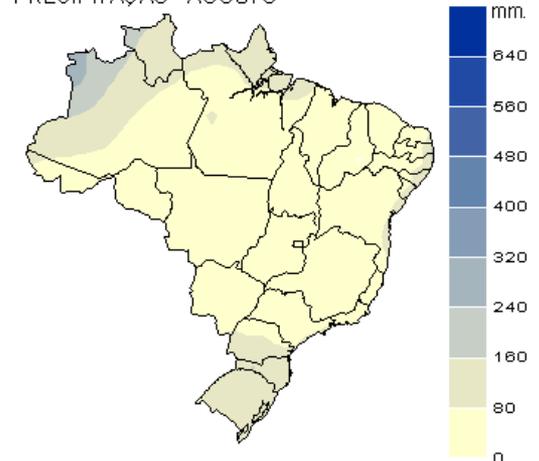
Fonte: INMET 1931/1990

PRECIPITAÇÃO ANUAL



Fonte: INMET 1931/1990

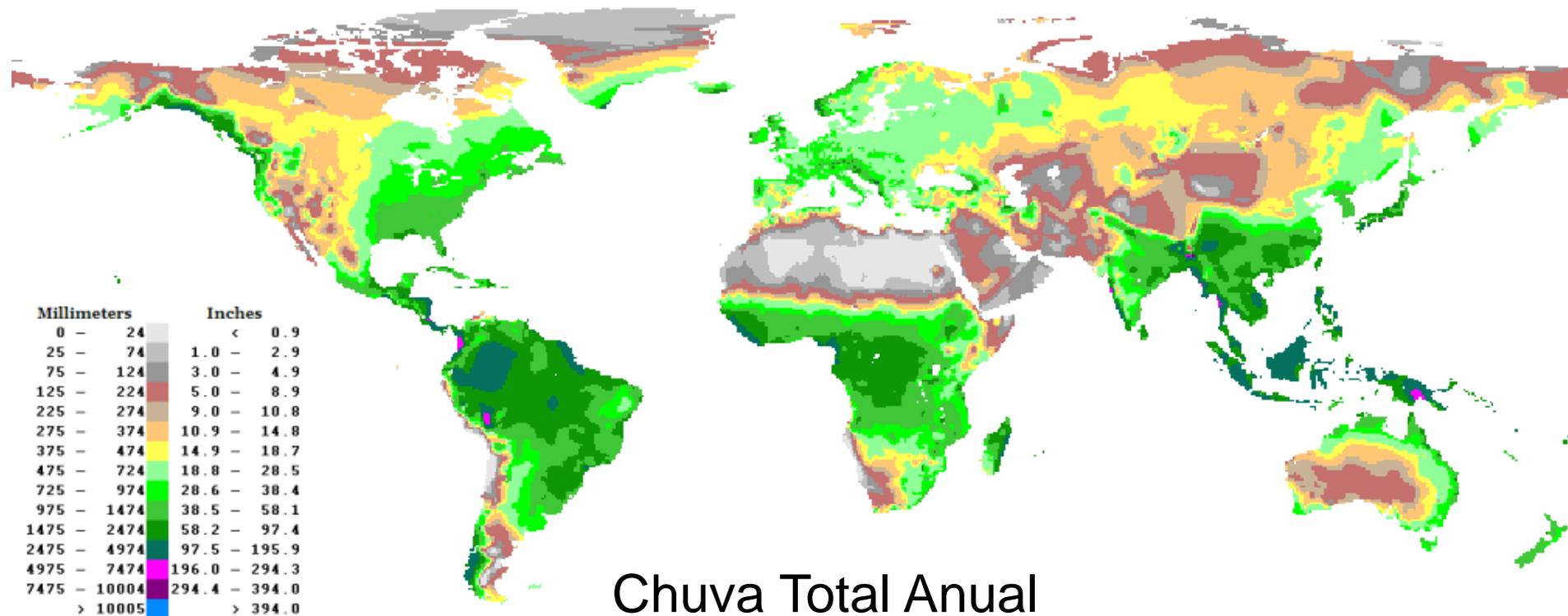
PRECIPITAÇÃO - AGOSTO



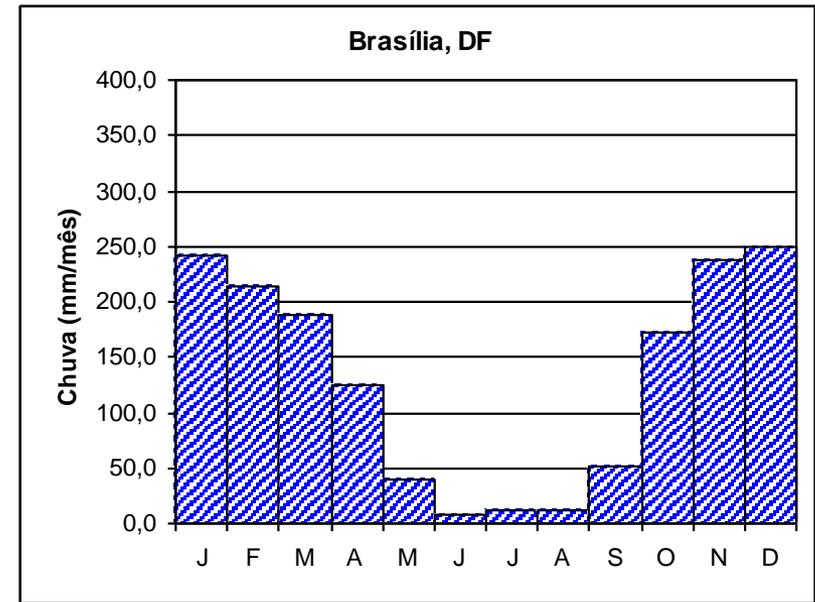
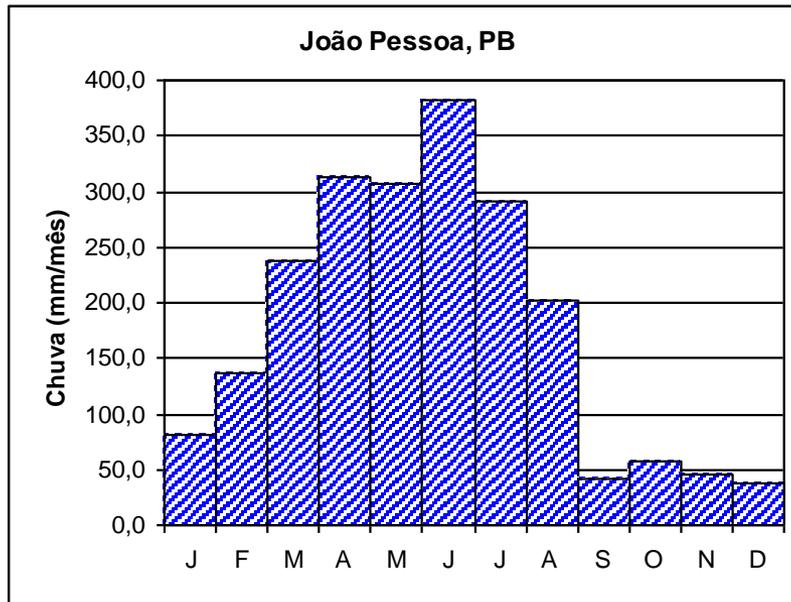
Fonte: INMET 1931/1990

Como dito anteriormente, a variabilidade espacial das chuvas na escala diária, gera também a variabilidade espacial na escala mensal, que por sua vez gera tal variabilidade na escala anual. Essa variabilidade ao longo do tempo é denominada variabilidade temporal.

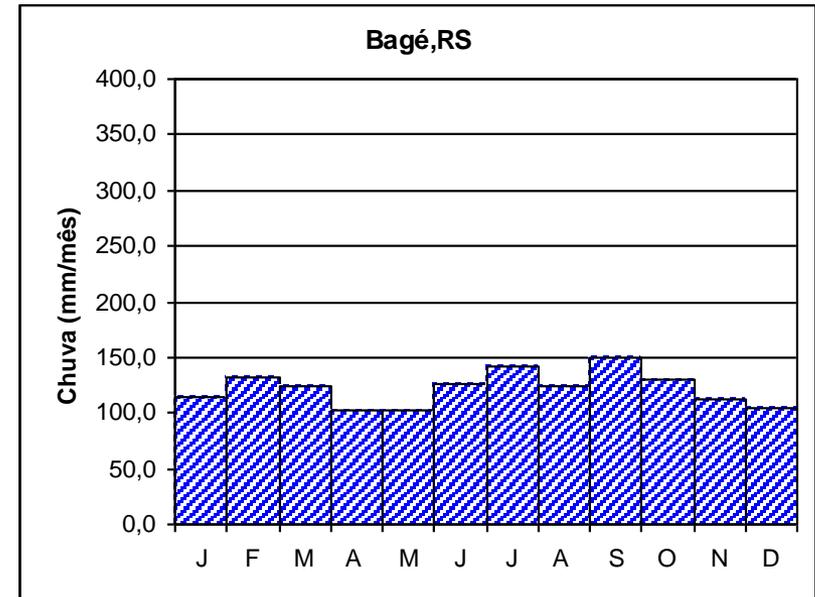
# Variabilidade Espacial das Chuvas no Mundo



# Variabilidade Temporal das Chuvas no Brasil



Dependendo da região do país, as chuvas se distribuem diferentemente ao longo do ano. Novamente, isso é consequência da interação dos diversos fatores determinantes do clima. Em João Pessoa, PB, a estação chuvosa se concentra no meio do ano, enquanto que em Brasília essa estação se dá entre o final e o início do ano. Por outro lado, em Bagé, RS, as chuvas se distribuem regularmente ao longo de todo o ano.





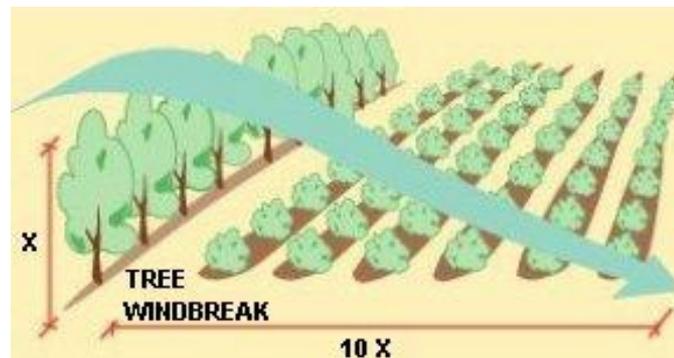
## Vento: velocidade e direção



# Vento: velocidade e direção

Como já discutido anteriormente, os ventos se originam em decorrência da diferença de pressão atmosférica entre duas regiões. Os fatores da macroescala são responsáveis pela formação dos ventos predominantes, enquanto que os fatores da topo e da microescala tem influência na formação dos ventos locais.

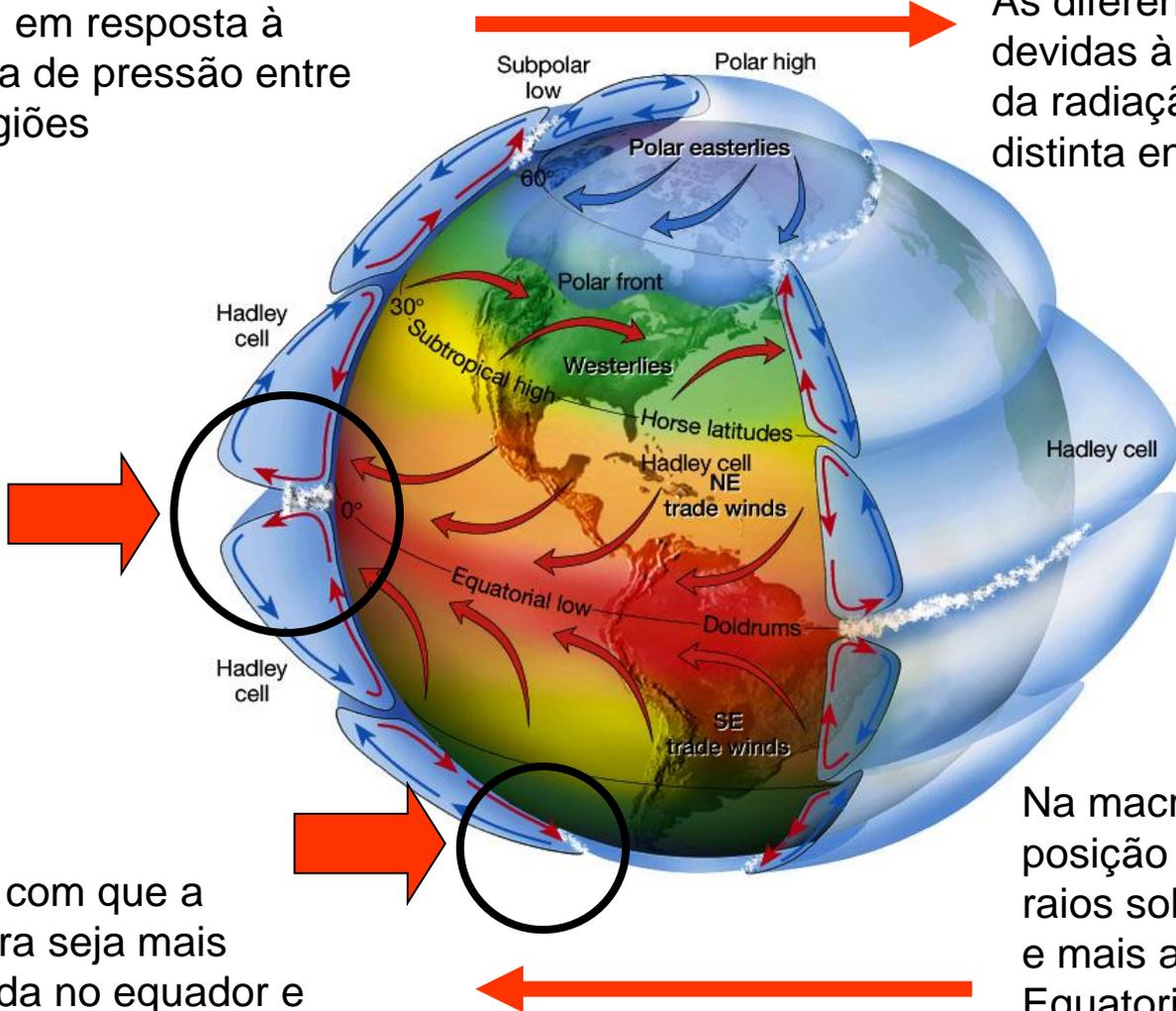
O vento, especialmente a sua velocidade, tem efeitos consideráveis em vários aspectos relacionados à agricultura, atuando tanto de modo favorável como desfavorável. Logicamente, os efeitos desfavoráveis são os mais relevantes nos estudos envolvendo a agricultura, e nesse caso os ventos excessivos podem ser controlados com o uso dos quebra ventos (estrutura natural ou artificial destinada a reduzir a velocidade do vento). Para tanto é necessário se conhecer sua direção e velocidade. Além disso, a velocidade do vento é muito importante no processo de evapotranspiração, exercendo grande influência no consumo hídrico das plantas. Essa variável será também muito útil na estimativa da evapotranspiração das culturas e, conseqüentemente, para o manejo da irrigação.



# Movimentos Atmosféricos

Os movimentos atmosféricos ocorrem em resposta à diferença de pressão entre duas regiões

As diferenças de pressão são devidas à incidência e absorção da radiação solar de maneira distinta entre duas regiões



Isso faz com que a atmosfera seja mais expandida no equador e mais contraída nos pólos

Na macro-escala, devido à posição relativa Terra-Sol, os raios solares são mais intensos e mais absorvidos na região Equatorial do que nos Pólos

De acordo com o explanado anteriormente, verifica-se que uma massa de ar está sujeita às seguintes forças:



1) Aceleração da Gravidade: responsável principal pela pressão atmosférica



2) Flutuação Térmica: contribui para a variação da  $P_{atm}$   
( $> T < P_{atm}$  /  $< T > P_{atm}$ )



3) Gradiente Horizontal de Pressão: responsável pela movimentação da atmosfera de uma região para outra

Essas 3 forças atuam tanto na parcela de ar em repouso como em movimento e, portanto, são denominadas *primárias*. Quando a massa de ar começa a se movimentar duas outras forças, denominadas *secundárias*, começam a atuar:

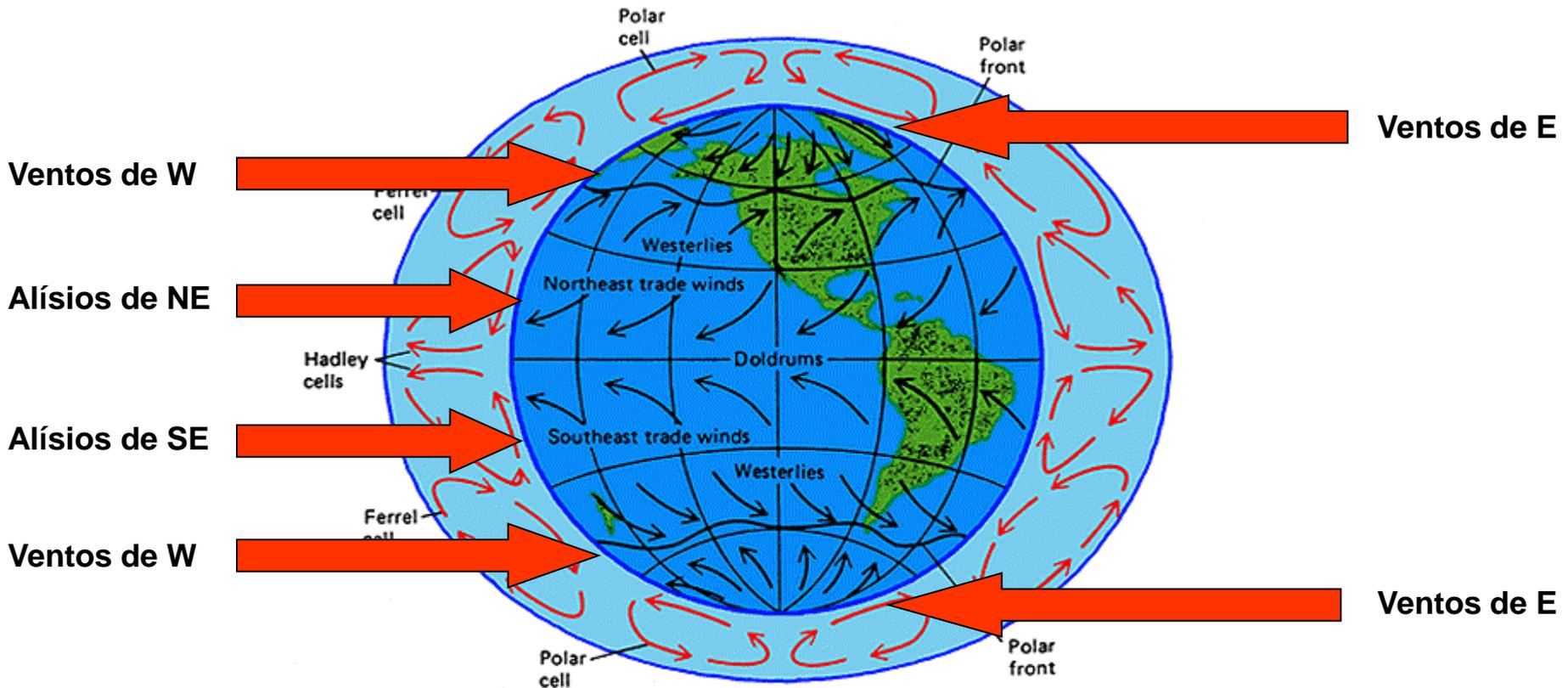


1) Atrito: responsável pela desaceleração do movimento



2) de Coriolis: responsável pela mudança da direção do movimento devido à rotação da Terra. Essa força é perpendicular ao movimento, mudando a trajetória para a esquerda no HS e para a direita no HN

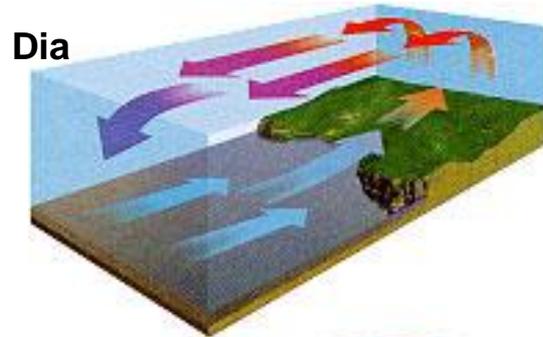
# Ventos Predominantes



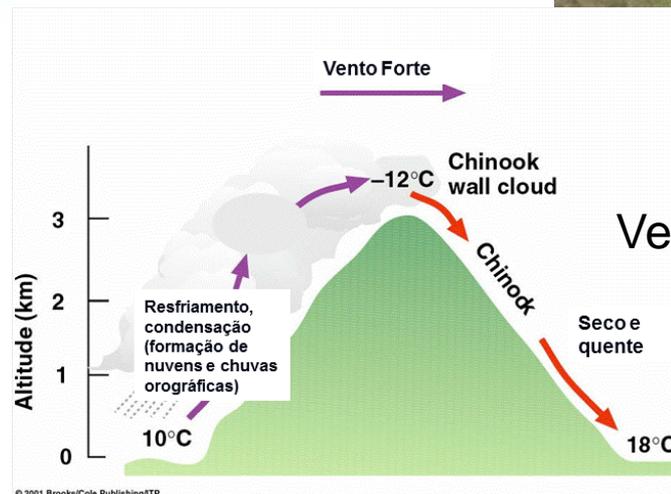
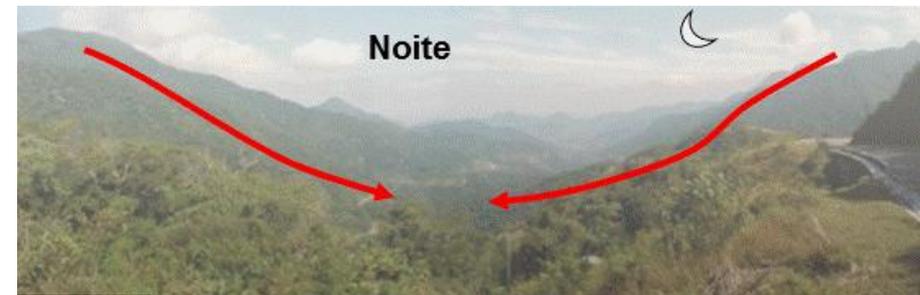
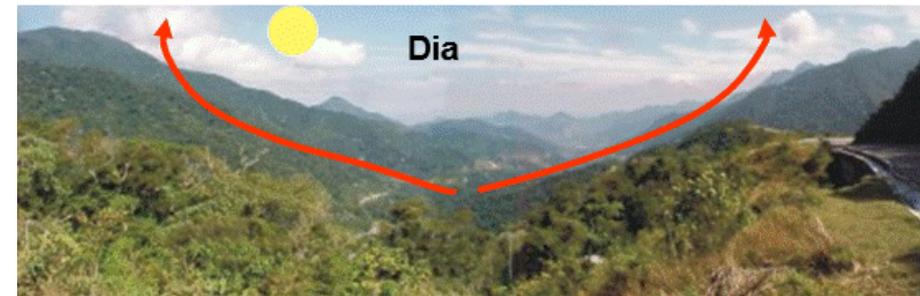
Na macro-escala, os ventos de superfície estão associados à Circulação Geral da Atmosfera, a qual é resultado da ação das 5 forças mencionadas anteriormente.

# Ventos Locais

## Brisas Terra-Mar



## Brisas de Vale e de Montanha

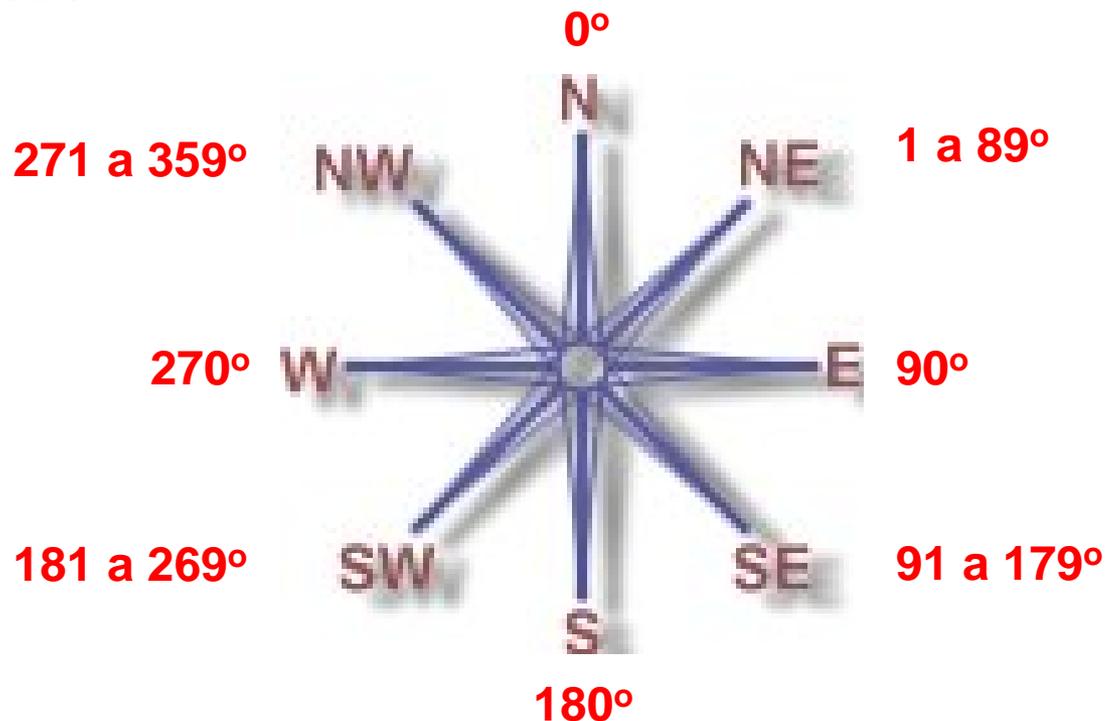


## Ventos Fohen ou Chinook

# Medida do Vento

## Direção do vento

A direção do vento é indicada pela direção de onde o vento é proveniente, ou seja, de onde ele vem. A direção é expressa tanto em termos da direção de onde ele provém como em termos do azimute, isto é, do ângulo que o vetor da direção forma com o Norte geográfico local. Assim, um vento de SE terá um ângulo variando entre 91 e 179°.



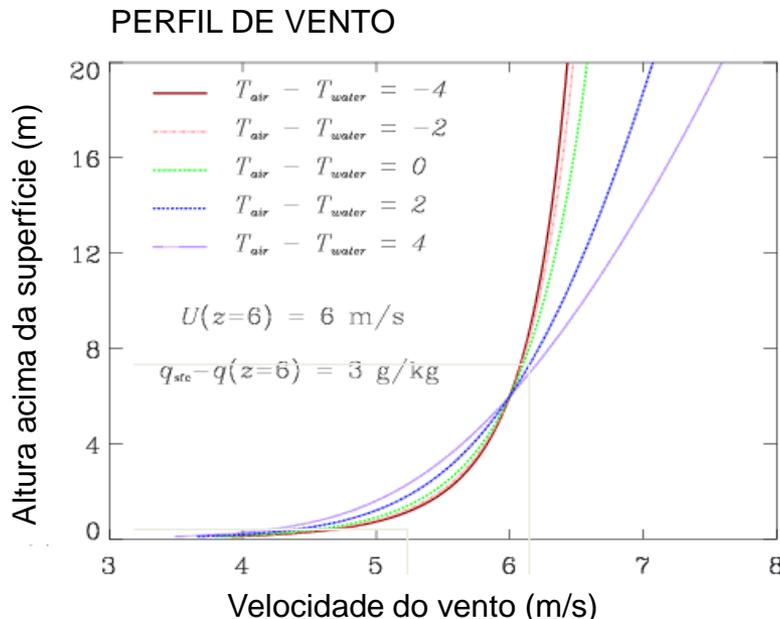
# Medida do Vento

## Velocidade do vento

A velocidade do vento expressa a distância percorrida pelo vento em um determinado intervalo de tempo. É medida a 10 m de altura (para fins meteorológicos) ou 2 m (para fins agrometeorológicos). Normalmente é expressa em metros por segundo (m/s), quilômetros por hora (km/h) ou knots (kt):

$$1 \text{ kt} = 0,514 \text{ m/s ou } 1 \text{ m/s} = 1,944 \text{ kt}$$

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h ou } 1 \text{ km/h} = 0,278 \text{ m/s}$$



A velocidade do vento aumenta exponencialmente com a altura. Isso se dá em função da redução do atrito conforme o fluxo de ar se distancia da superfície. Assim, a velocidade do vento a 10m de altura (p/ fins meteorológicos) será maior do que aquela medida a 2m (p/ fins agrônômicos)

$$U_{2m} = 0,748 * U_{10m}$$

# Medida do Vento

## Equipamentos



Anemômetro Universal –  
Equipamento mecânico que  
fornece dados de direção,  
velocidade e rajadas



Bateria de anemômetros de caneca  
para medida automática da velocidade  
do vento

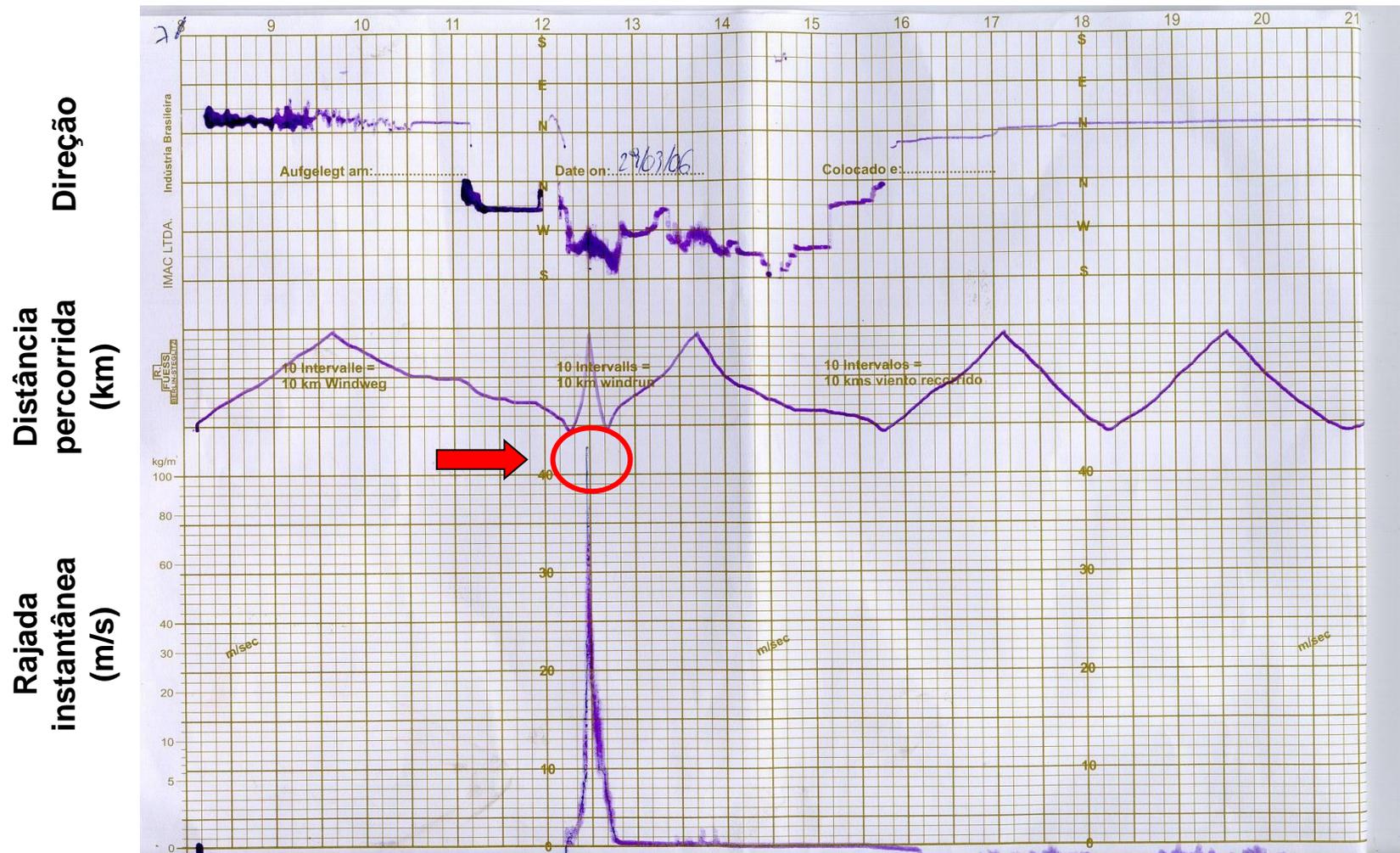


Anemômetro de hélice –  
Equipamento automático para  
medida da velocidade e  
direção do vento



Sensor automático de baixo custo –  
mede a direção e velocidade do vento

# Medida do Vento



Anemograma, obtido pelo Anemógrafo Universal, do vendaval ocorrido em 29/03/2006 em Piracicaba. Neste dia, a rajada máxima do vento chegou a cerca de 44 m/s, o que correspondeu a 158 km/h, recorde observado na cidade.

# Escala de Vento de Belfort

Essa escala ajuda a interpretar os dados de velocidade máxima do vento (rajadas) medidos nas estações meteorológicas convencionais (a 10 m de altura)

<b>Grau</b>	<b>Descrição</b>	<b>Velocidade (km/h)</b>
<b>0</b>	<b>Calmaria</b>	<b>0 – 2</b>
<b>1</b>	<b>Vento Calmo</b>	<b>2 – 6</b>
<b>2</b>	<b>Brisa Amena</b>	<b>7 – 11</b>
<b>3</b>	<b>Brisa Leve</b>	<b>12 – 19</b>
<b>4</b>	<b>Brisa Moderada</b>	<b>20 – 29</b>
<b>5</b>	<b>Brisa Forte</b>	<b>30 – 39</b>
<b>6</b>	<b>Vento Forte</b>	<b>40 – 50</b>
<b>7</b>	<b>Vento Muito Forte</b>	<b>51 – 61</b>
<b>8</b>	<b>Vento Fortíssimo</b>	<b>62 – 74</b>
<b>9</b>	<b>Temporal</b>	<b>75 – 87</b>
<b>10</b>	<b>Temporal Forte</b>	<b>88 – 101</b>
<b>11</b>	<b>Temporal Muito Forte</b>	<b>102- 117</b>
<b>12</b>	<b>Tornado, Furacão</b>	<b>&gt; 118</b>

## **Teste rápido #7**

- 1) Comente sobre a variabilidade espacial e temporal da umidade e da chuva. Qual a relação entre elas?
- 2) Calcule as variáveis  $e_s$ ,  $e_a$ , UR,  $\Delta e$  e  $T_o$ , a partir dos seguintes dados obtidos às 14h de um mesmo dia: no interior de uma estufa plástica ( $T_s = 38^\circ\text{C}$  e  $T_u = 27^\circ\text{C}$ ) e na condição externa (posto meteorológico –  $T_s = 27^\circ\text{C}$  e  $T_u = 21,5^\circ\text{C}$ ). Explique o que está ocorrendo.
- 3) Um pluviômetro com coletor de diâmetro de 15 cm mediu uma chuva de 2338 ml. Qual a altura pluviométrica em mm e em polegadas?
- 4) A estação meteorológica observou uma rajada de vento de 20,4 m/s. Qual a velocidade desse vento em km/h e qual sua classificação de acordo com a escala de Belfort?