

# UMIDADE DO AR 4

Rita Yuri Ynoue  
Michelle S. Reboita  
Tércio Ambrizzi  
Gyrlene A. M. da Silva  
Nathalie T. Boiaski

## 4.1 Introdução

## 4.2 A água

### 4.2.1 Fases da água

### 4.2.2 Saturação

### 4.2.3 Ciclo da água

## 4.3 Umidade

### 4.3.1 Temperatura do ponto de orvalho

### 4.3.2 Medindo a umidade

## 4.4 Formas de condensação

### 4.4.1 Orvalho e geada

### 4.4.2 Núcleos de condensação

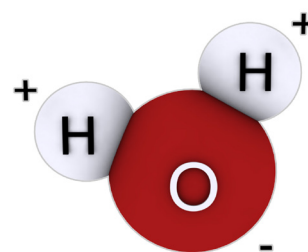
## Referências

## 4.1 Introdução

Neste texto veremos que a umidade do ar está relacionada com a quantidade de vapor d'água na atmosfera. Como visto no texto **Atmosfera Terrestre**, o vapor d'água é um dos principais gases do efeito estufa e, portanto, está relacionado à temperatura do ar, tendo como sua principal fonte as superfícies dos oceanos. Também veremos a importância do vapor d'água na distribuição global de água (ciclo hidrológico) e as diferentes estimativas e medições da umidade do ar.

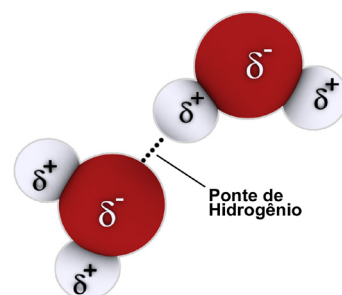
## 4.2 A água

A **água** é imprescindível para a vida na Terra. Ela cobre mais de 70% da superfície do planeta e é a única substância que existe nas fases gasosa, líquida e sólida dentro das temperaturas e pressões observadas na Terra. Cada molécula de água é composta de dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio, estruturados de acordo com a **Figura 4.1**.



**Figura 4.1:** A molécula de água. / Fonte: Adaptado de Ucar.

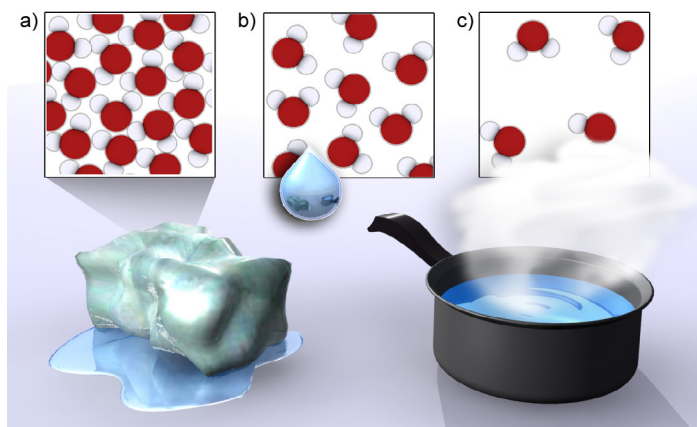
Quando duas moléculas de água se aproximam, o lado positivo de uma é atraído pelo lado negativo da outra, gerando uma interação química denominada **ponte de hidrogênio** (**Figura 4.2**), ou seja, o átomo de oxigênio de uma molécula de água se liga ao átomo de hidrogênio da outra. Esta interação é responsável pela alta capacidade térmica da água, pela tensão superficial e pelo alto ponto de ebulição. A ligação por ponte de hidrogênio também explica por que o gelo flutua na água. À medida que a água é resfriada ao seu ponto de solidificação, a presença das ligações de ponte de hidrogênio leva à formação de uma estrutura cristalina hexagonal do gelo. Essa estrutura reticular faz com que o gelo tenha uma densidade menor que a da água, ou seja, o gelo se expande ao congelar, enquanto quase todas as outras substâncias se contraem na solidificação.



**Figura 4.2:** Ponte de hidrogênio entre duas moléculas de água. / Fonte: Adaptado de Infoescola.

## 4.2.1 Fases da água

A água pode ser encontrada na atmosfera em seus três **estados físicos** ou **fases**: gasoso, líquido e sólido (**Figura 4.3**). Vamos denominar gelo ou cristal quando ela estiver na fase sólida (**Figura 4.3a**); água ou água líquida quando estiver na fase líquida (**Figura 4.3b**) e vapor d'água a água na fase gasosa (**Figura 4.3c**). No estado gasoso, as moléculas se movem livremente em todas as direções; nesse estado, as substâncias não têm forma definida. No estado líquido, as moléculas estão mais próximas umas das outras, mas ainda se movem uma com relação à outra, ou seja, possuem movimento de translação. No estado sólido, as moléculas se organizam num padrão mais rígido, onde ainda vibram, mas não apresentam mais movimento de translação. Nessa fase, apresentam uma forma geométrica definida.



**Figura 4.3:** Fases da água: a) sólida; b) líquida e c) gasosa. / Fonte: Adaptado de Ucar.

A fase da água (bem como de qualquer substância) é determinada pela pressão e temperatura em que ela se encontra. Por exemplo, em condições ambientes normais aqui do Brasil, a água é encontrada nos seus estados líquido e gasoso; entretanto, se diminuirmos a temperatura, a água poderá passar para o estado sólido. A passagem da água de um estado para o outro é denominada **mudança de fase**. Essas mudanças podem ser realizadas variando-se a temperatura ou a pressão e recebem as seguintes denominações:

- Fusão: mudança do estado sólido para o líquido.
- Vaporização: mudança do estado líquido para o gasoso. Existem três tipos de vaporização:
  - Evaporação: as moléculas da superfície do líquido ganham calor e tornam-se gás a temperaturas abaixo do ponto de ebulição. Ponto de ebulição é a temperatura na qual a pressão de vapor (conceito que será abordado adiante) da substância que está em estado líquido é igual à pressão atmosférica. A evaporação é um fenômeno de superfície na qual algumas moléculas têm energia cinética suficiente para “escapar” da tensão superficial.
  - Ebulição: o líquido está na temperatura de ebulição e fica borbulhando, recebendo calor e tornando-se gás.
  - Calefação: o líquido recebe uma grande quantidade de calor em um curto período e torna-se gás rapidamente.
- Condensação: mudança do estado gasoso para o líquido (inverso da vaporização).
- Solidificação: mudança do estado líquido para o sólido (inverso da fusão).
- Sublimação: mudança direta do estado sólido para o gasoso.
- Ressublimação ou deposição: mudança direta do estado gasoso para o sólido, também pode ser chamada sublimação.

A **Figura 4.4** mostra as mudanças de fase da água ao se manter a pressão constante e variando-se a temperatura.

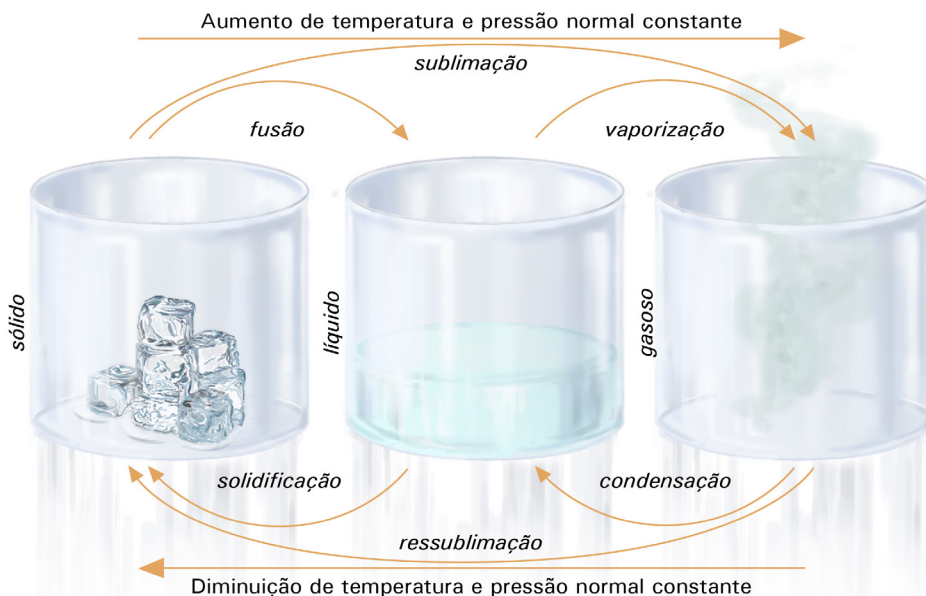
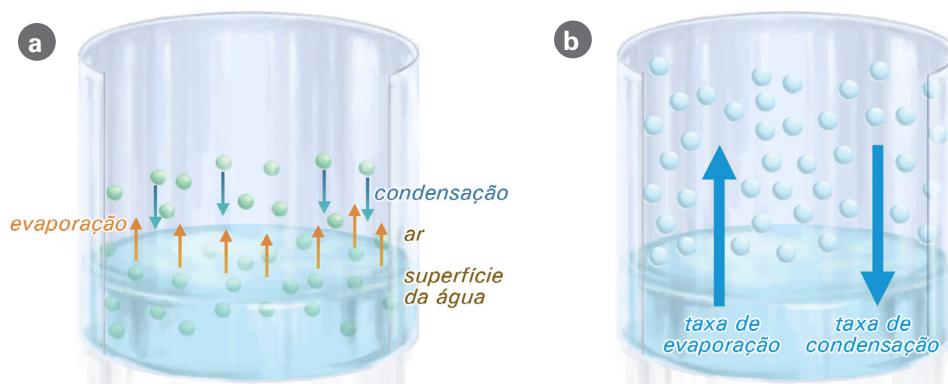


Figura 4.4: Mudanças de fase da água. / Fonte: Adaptado de [Brasil Escola](#).

## 4.2.2 Saturação

Um importante conceito em Meteorologia é a saturação do ar com relação ao vapor d'água. Considere um copo com água, como ilustrado na **Figura 4.5a**. As moléculas de água líquida têm diferentes velocidades, algumas mais lentas, outras mais rápidas. Na superfície, as moléculas com maiores velocidades e direcionadas para fora podem escapar para o ar. Essas moléculas sofrem uma mudança de estado, pois passaram do estado líquido para o estado gasoso, ou seja, sofreram evaporação. Da mesma forma que algumas moléculas estão evaporando, algumas moléculas de vapor colidem na superfície do líquido e se juntam a ele, sofrendo condensação. Chamaremos de **taxa de evaporação** o número de moléculas que evaporam num determinado período e de **taxa de condensação** o número de moléculas que condensam nesse mesmo período. Numa atmosfera com pouco vapor d'água, a taxa de evaporação normalmente é maior que a taxa de condensação. Entretanto, à medida que a quantidade de vapor d'água aumenta, a taxa de condensação também aumenta. Eventualmente, pode-se chegar a situação da **Figura 4.5b**, onde a taxa de evaporação é igual à taxa de condensação. Este estado de equilíbrio é denominado **saturação**.

Ao se inserir mais vapor d'água no ar saturado, essas moléculas “em excesso” se condensarão. Na atmosfera, no entanto, o estado de saturação é atingido normalmente com a diminuição da temperatura.



**Figura 4.5:** a. Condensação e evaporação da água; b. Saturação. / Fonte: Adaptado de Apollo (a) e Geog (b).

### 4.2.3 Ciclo da água

A água está em movimento contínuo abaixo do solo, sobre a superfície terrestre e na atmosfera. A esse movimento damos o nome de **ciclo da água** ou **ciclo hidrológico**, ilustrado na **Figura 4.6**. Por se tratar de um ciclo, não há um ponto inicial, mas um bom lugar para começar são os oceanos, e a energia que impulsiona o ciclo da água vem do Sol. A radiação solar atinge a superfície dos oceanos, aquecendo a água. As moléculas da superfície da água que têm energia suficiente para quebrar a tensão superficial evaporam para o ar. Correntes de ar transportam o vapor tanto na direção horizontal quanto na direção vertical. Correntes ascendentes levam o vapor para cima na atmosfera, onde temperaturas mais baixas fazem com que ele se condense em gotas de nuvens ou ressublime em cristais de gelo.

Dentro das nuvens, as partículas de água colidem, agregam-se, crescem até atingirem tamanho suficiente para cair, e caem do céu como precipitação, que pode ser na forma de chuva (água líquida), neve (cristais de gelo) ou granizo (pedaços de gelo). Grande parte da precipitação ocorre sobre os oceanos; entretanto, parte do vapor e das nuvens é levada pelos ventos para cima dos continentes. A precipitação como neve pode se acumular como camadas de gelo e geleiras em locais mais frios. Esta neve frequentemente derrete quando chega a primavera e a água derretida escorre sobre a terra (escoamento superficial).

Parte da precipitação como chuva também escorre sobre a terra, acumulando-se em lagos ou juntando-se aos rios, eventualmente retornando aos oceanos e reiniciando o ciclo. Parte da precipitação também pode ser interceptada pela vegetação ou ainda infiltrada nas profundezas do solo (água subterrânea), enchendo os aquíferos, os quais armazenam grande quantidade de água doce por longos períodos de tempo. Sobre os continentes, há evaporação da água dos rios, lagos e da própria superfície terrestre, bem como a transpiração das plantas e animais. A **Tabela 4.1** mostra a estimativa da distribuição global de água nos seus diversos reservatórios.



Figura 4.6: O ciclo da água. / Fonte: Adaptado de Water.

Tabela 4.1: Distribuição global da água. / Fonte: Adaptado de GLEICK.

Estimativa da distribuição global de água	Volume (1.000 km <sup>3</sup> )	Porcentagem de água total	Porcentagem de água fresca
<b>Oceanos, mares e baías</b>	1.338.000	96,5	-
<b>Calotas polares, geleiras e neve permanente</b>	24.064	1,74	68,7
<b>Água subterrânea</b>	23.400	1,7	-
Água subterrânea fresca	10.530	0,76	30,1
Água subterrânea salina	12.870	0,94	-
<b>Umidade do solo</b>	16,5	0,001	0,05
<b>Gelo terrestre e superfícies permanentemente congeladas</b>	300	0,022	0,86
<b>Lagos</b>	176,4	0,013	-
Água fresca nos lagos	91	0,007	0,26
Água salina nos lagos	85,4	0,006	-
<b>Atmosfera</b>	12,9	0,001	0,04
<b>Pântanos</b>	11,47	0,0008	0,03
<b>Rios</b>	2,12	0,0002	0,006
<b>Água em seres vivos</b>	1,12	0,0001	0,003
<b>Total</b>	1.385.984	100	100

## 4.3 Umidade

**Umidade** é a quantidade de vapor d'água na atmosfera e há várias maneiras de expressá-la. Vamos começar pela **umidade absoluta**, que é definida como a massa de vapor d'água contida em certo volume de ar (lembrando que o ar é composto de vários gases, entre os quais, o vapor d'água):

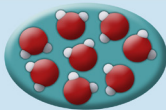
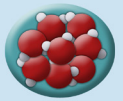
$$\text{Umidade absoluta} = \frac{\text{massa de vapor d'água}}{\text{volume de ar}} \quad 4.1$$

Com a unidade: gramas de vapor d'água em um metro cúbico de ar ( $\text{g m}^{-3}$ )



Para entender melhor esta e as próximas definições, vamos introduzir o conceito de parcela de ar. **Uma parcela de ar** é uma pequena bolha encapsulada num balão elástico imaginário, de massa constante e um determinado volume grande o suficiente para conter um número muito grande de moléculas, mas pequeno o suficiente para que as propriedades dinâmicas e termodinâmicas dentro dele sejam uniformes.

Por exemplo, observe a **Figura 4.7**. Se uma parcela tem 1 metro cúbico de ar, contendo 20 gramas de vapor d'água, a umidade absoluta é de 20 gramas por metro cúbico ( $20 \text{ g m}^{-3}$ ). Já na bolha 2, a umidade absoluta diminui para  $10 \text{ g m}^{-3}$  pois, embora a massa seja a mesma que na bolha 1 (20 g), o seu volume é maior ( $2 \text{ m}^3$ ). Como esta definição está atrelada ao volume de ar, toda vez que houver expansão ou contração dessa parcela de ar, a umidade absoluta irá diminuir ou aumentar, mesmo que a quantidade de vapor d'água continue a mesma. Veremos que tais processos são comuns na atmosfera e, portanto, a umidade absoluta não é normalmente utilizada.

		Volume da bolha	Massa de vapor d'água	Umidade absoluta
Bolha 2		$2 \text{ m}^3$	20g	$10 \text{ g m}^{-3}$
Bolha 1		$1 \text{ m}^3$	20g	$20 \text{ g m}^{-3}$

**Figura 4.7:** Conceito de umidade absoluta. / Fonte: Adaptado de AHRENS, 2009.



Existe uma outra forma de quantificar a umidade do ar, que é mais interessante para a Meteorologia. É através da **umidade específica**, definida como a massa de vapor d'água contida numa massa de ar; ou seja:

$$\text{Umidade específica (q)} = \frac{\text{massa de vapor d'água}}{\text{massa de ar}}$$

4.2

Com a unidade: gramas de vapor d'água por quilograma de ar ( $\text{g.kg}^{-1}$ ).

Esta forma é mais comumente usada, pois, se a quantidade de vapor d'água permanecer constante, a umidade específica não variará com a expansão ou contração da parcela de ar, e isso porque, ao se expandir um volume, por exemplo, sua massa continuará a mesma, como mostra a **Figura 4.8**.

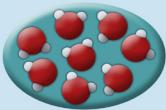
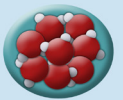
Variação do Volume		Massa da parcela	Massa de vapor d'água	Umidade específica
Bolha 2		1kg	1g	$1\text{g kg}^{-1}$
Bolha 1		1kg	1g	$1\text{g kg}^{-1}$

Figura 4.8: Conceito de umidade específica. / Fonte: Adaptado de AHRENS, 2009.

Uma outra forma parecida é a **razão de mistura**, definida como a massa de vapor d'água contida numa massa de ar seco (ou seja, massa de ar seco = massa de ar – massa de vapor d'água):

$$\text{Razão de mistura (r)} = \frac{\text{massa de vapor d'água}}{\text{massa de ar seco}}$$

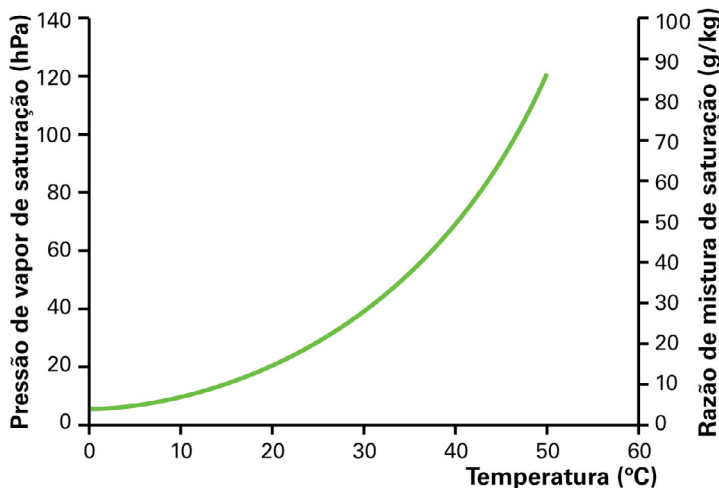
4.3

A razão de mistura é muito próxima da umidade específica, pois a massa de vapor d'água costuma ser muito menor que a massa de ar seco. Além disso, possui a mesma propriedade de não mudar com a variação de volume.

Outra forma de quantificar o vapor d'água é através da pressão exercida por esse gás: **pressão do vapor d'água** (e). A lei das pressões parciais de Dalton baseia-se na seguinte regra: “Em uma mistura gasosa, a pressão de cada componente é independente da pressão dos

demais e a pressão total é igual à soma das pressões parciais dos componentes”. Por exemplo, suponha uma parcela de ar com pressão total de 1.000 hPa. Se o ar dentro da parcela é composto de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de vapor d’água, então, o nitrogênio exerce uma pressão de 780 hPa; o oxigênio, 210 hPa e o vapor d’água, 10 hPa. Assim, quanto maior a quantidade de vapor d’água, maior será a pressão de vapor.

A pressão de vapor ( $e$ ) num volume de ar depende da temperatura do ar e da densidade das moléculas de vapor d’água. Para altas temperaturas, as moléculas de ar (do vapor d’água e dos outros constituintes da atmosfera) se movem mais rapidamente, exercendo uma maior pressão nas paredes da parcela. A uma temperatura constante, ao se inserir mais moléculas de vapor d’água, haverá mais massa disponível e, portanto, a pressão exercida por esse gás aumenta. Entretanto, há um limite máximo na quantidade de vapor que pode existir em uma parcela de ar para uma determinada pressão e temperatura. Este limite máximo é denominado saturação, conforme vimos anteriormente. A **pressão de vapor de saturação** ( $e_s$ ) é, portanto, a pressão na qual as taxas de evaporação e condensação se tornam iguais ou, ainda, a pressão que as moléculas de vapor d’água exercem quando o ar está saturado de vapor d’água a uma determinada temperatura. Como podemos ver na **Figura 4.9**, a pressão de saturação de vapor depende basicamente da temperatura. Quanto maior a temperatura, maior será a pressão de vapor necessária para atingir a saturação.



**Figura 4.9:** Variação da pressão de saturação do vapor com a temperatura.  
/ Fonte: Adaptado de [Ltid](#).

Uma das medidas de umidade mais utilizada na meteorologia é a umidade relativa, entretanto, é preciso um pouco de cuidado para entendê-la. A definição de **umidade relativa** é a razão entre a quantidade de vapor existente da atmosfera e a quantidade de vapor que saturaria esta atmosfera (para uma determinada temperatura e pressão). Podemos substituir esta quantidade de vapor pela pressão de vapor, e a umidade relativa seria dada então por:

$$\text{Umidade relativa} = \frac{\text{pressão de vapor}}{\text{pressão de vapor de saturação}} \times 100\% \text{ ou } UR = \frac{e}{e_s} \times 100\% \quad 4.4$$




Com a unidade: %

Ar com 50% de umidade relativa é o ar que contém apenas metade do vapor d'água necessário para atingir a saturação. Ar com 100% de umidade relativa é um ar saturado e ar com mais de 100% de umidade relativa é denominado ar supersaturado.

Da mesma forma, pode-se obter a umidade relativa pela seguinte expressão:

$$\text{Umidade relativa} = \frac{\text{razão de mistura}}{\text{razão de mistura de saturação}} \times 100\% \text{ ou } UR = \frac{r}{r_s} \times 100\% \quad 4.5$$

A umidade relativa pode variar através de dois processos: alterando a quantidade de vapor d'água ou alterando a temperatura. Para entender o primeiro processo, veja a **Figura 4.10**. Neste caso, vamos supor que a temperatura permaneça constante ( $T = 20^\circ\text{C}$ ), ou seja, a pressão de saturação do vapor d'água e a razão de mistura de saturação permanecerão constantes ( $r_s = 15 \text{ g kg}^{-1}$ , ao nível médio do mar).

Variação da UR com o conteúdo de vapor d'água			
TEMPERATURA	20 °C	20 °C	20 °C
QUANTIDADE DE VAPOR D'ÁGUA (RAZÃO DE MISTURA)			
RAZÃO DE MISTURA DE SATURAÇÃO	15 g/kg	15 g/kg	15 g/kg
UMIDADE RELATIVA	20%	50%	100%

**Figura 4.10:** Variação da UR com o conteúdo de vapor d'água. / Fonte: Adaptado de UFPR.

Inicialmente, a parcela de ar tem razão de mistura de  $3 \text{ g kg}^{-1}$ . Como a razão de mistura de saturação é de  $15 \text{ g kg}^{-1}$ , então, a umidade relativa:

$$UR = \frac{r}{r_s} \times 100\% = \frac{3}{15} \times 100\% = 20\% \quad 4.6$$




Ao se adicionar mais  $4,5 \text{ g kg}^{-1}$  de vapor d'água, a razão de mistura aumenta para  $7,5 \text{ g kg}^{-1}$ ; entretanto, como a temperatura foi mantida constante, a razão de mistura de saturação continua a mesma, ou seja,  $15 \text{ g kg}^{-1}$ . A umidade relativa passa a:

$$UR = \frac{r}{r_s} \times 100\% = \frac{7,5}{15} \times 100\% = 50\% \quad 4.7$$

Se adicionarmos mais vapor d'água, de tal forma que a razão de mistura fique igual à razão de mistura de saturação, a umidade relativa chega a 100%. Isso significa que, qualquer quantidade de vapor d'água que seja adicionada além do valor da razão de mistura de saturação, ocorrerá condensação.

Resumindo, a uma temperatura constante, ao se adicionar vapor d'água, a umidade relativa aumenta, pois a razão de mistura se aproxima da razão de mistura de saturação. Ao se diminuir a quantidade de vapor d'água, a umidade relativa diminui, pois a razão de mistura se afasta da razão de mistura de saturação.

Outra forma para se variar a umidade relativa é alterando a temperatura. Neste caso, vamos supor que a quantidade de vapor continue sempre a mesma, conforme a **Figura 4.11**.

Variação da UR com a temperatura			
TEMPERATURA	20 °C	15 °C	5 °C
QUANTIDADE DE VAPOR D'ÁGUA (RAZÃO DE MISTURA)	 5 g/kg	 5 g/kg	 5 g/kg
RAZÃO DE MISTURA DE SATURAÇÃO	15 g/kg	10 g/kg	5 g/kg
UMIDADE RELATIVA	33%	50%	100%

**Figura 4.11:** Variação da UR pela variação da temperatura. / Fonte: Adaptado de UFPR.

Conforme mostra a **Figura 4.9**, a pressão de vapor de saturação (e, portanto, a razão de mistura de saturação) aumenta para temperaturas maiores e diminui para temperaturas menores. Suponhamos que inicialmente a parcela de ar esteja a 20 °C, ou seja, sua razão de mistura de saturação será 15 g kg<sup>-1</sup>, mas dentro da parcela há somente 5 g kg<sup>-1</sup>. Assim, a umidade relativa será:

$$UR = \frac{r}{r_s} \times 100\% = \frac{5}{15} \times 100\% = 33\% \quad 4.8$$

Se diminuirmos a temperatura para 15 °C, a razão de mistura de saturação baixará para 10 g kg<sup>-1</sup>. Mantendo a quantidade de vapor d'água da parcela constante (5 g kg<sup>-1</sup>), a umidade relativa aumentará:

$$UR = \frac{r}{r_s} \times 100\% = \frac{5}{10} \times 100\% = 50\% \quad 4.9$$

Diminuindo ainda mais a temperatura, a razão de mistura de saturação também diminuirá até que se atinja o valor da razão de mistura da parcela, chegando à saturação (UR=100%) a 5 °C, neste caso. Assim, supondo que a quantidade de vapor d'água permaneça constante (ou seja, a razão de mistura da parcela permanece constante), ao se aumentar a temperatura, a razão de mistura de saturação também aumenta e a umidade relativa diminui; ao se diminuir a temperatura, a razão de mistura de saturação diminui e a umidade relativa aumenta.

Em São Paulo, em dias em que o conteúdo de vapor d'água não varia muito ao longo do dia, como após a passagem de frentes frias e a entrada do ar mais frio, a variação da umidade relativa é controlada pela variação da temperatura. Com o nascer do Sol, a temperatura aumenta e a umidade relativa diminui. À tarde, quando são atingidas as temperaturas máximas, a umidade relativa cai ao seu valor mínimo. Entretanto, ao entardecer, a temperatura começa a diminuir e a umidade relativa torna a aumentar, atingindo o seu valor máximo próximo ao início da manhã, quando a temperatura atinge o seu valor mínimo.

A **Figura 4.12** mostra a variação da temperatura e umidade relativa para a estação meteorológica automática localizada no Mirante de Santana, na zona norte da cidade de São Paulo, no dia 6 de junho de 2011, após a entrada de uma massa de ar polar (massa de ar fria e seca). Nota-se que a umidade relativa fica estável por volta de 90% entre meia-noite e 7 horas, período em que a temperatura (curva vermelha, escala à esquerda) também fica mais ou menos constante, por volta de 10 °C. Após o nascer do Sol, a temperatura aumenta e a umidade relativa diminui.

O valor mínimo de umidade relativa (36%) ocorre às 16 horas, quando a temperatura atinge o seu valor máximo (22,7 °C). Entretanto, à medida que a temperatura começa a diminuir, a umidade relativa torna a aumentar, chegando a 70% no final do dia.

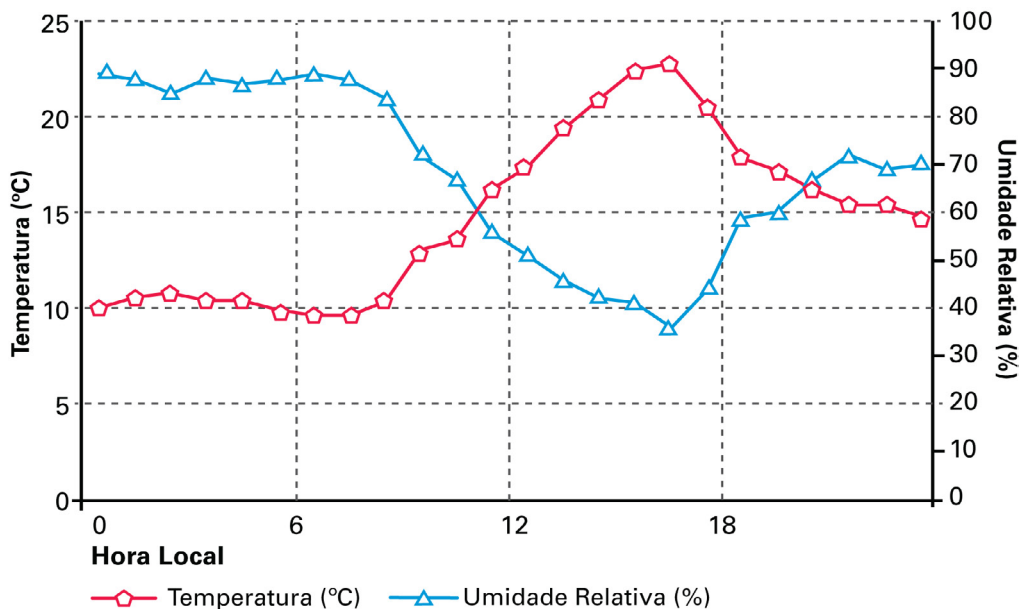


Figura 4.12: Variação da umidade relativa e da temperatura do ar ao longo do dia 6 de junho de 2011 na estação Mirante de Santana em São Paulo. / Fonte: Adaptado de Inmet.

### 4.3.1 Temperatura do ponto de orvalho

A **temperatura do ponto de orvalho** é obtida ao se resfriar o ar até atingir a saturação, mantendo a pressão e o conteúdo de vapor d'água constantes. Dessa forma, a temperatura de ponto de orvalho é sempre menor ou igual à temperatura do ar. No exemplo da **Figura 4.11**, a temperatura de ponto de orvalho é 5 °C. Quanto maior a quantidade de vapor d'água na atmosfera, maior será a temperatura de ponto de orvalho; quanto menor a quantidade de vapor d'água, menor será a temperatura de ponto de orvalho. Esta é uma medida interessante, pois através dela pode-se estimar a temperatura mínima que será alcançada na próxima madrugada e se haverá formação de orvalho ou geada. Quanto menor a temperatura de ponto de orvalho, menor será a temperatura mínima esperada, considerando uma noite com ventos calmos e céu sem nuvens. Isso acontece porque, com

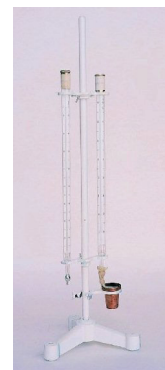
menor quantidade de vapor d'água na atmosfera, menor será a absorção de radiação terrestre pela atmosfera durante a noite, e, portanto, menor a temperatura mínima a ser atingida.

A diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho também fornece uma estimativa da umidade relativa. Quanto maior for essa diferença, menor será a umidade relativa. Quanto menor a diferença, maior será a umidade relativa. Quando a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho forem iguais, a umidade relativa será 100%. Entretanto, vamos interpretar novamente o significado da umidade relativa. Uma massa de ar polar, tendo temperatura do ar de  $-2^{\circ}\text{C}$  e temperatura de ponto de orvalho/congelamento de  $-2^{\circ}\text{C}$ , terá uma umidade relativa de 100%. Uma massa de ar desértica, tendo uma temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  e temperatura de ponto de orvalho de  $10^{\circ}\text{C}$ , terá uma umidade relativa de 21%. Apesar de a massa de ar no deserto ter umidade relativa menor, seu conteúdo de vapor d'água é maior do que o da massa de ar polar, pois sua temperatura de ponto de orvalho é maior. Assim, a massa de ar do deserto tem umidade absoluta, umidade específica e razão de mistura maiores do que essa massa de ar polar.

### 4.3.2 Medindo a umidade

O instrumento mais comum para se medir a umidade relativa é o **psicrômetro** (**Figura 4.13**), que consiste em dois termômetros idênticos, montados lado a lado: o **termômetro de bulbo seco**, que fornece a temperatura do ar, e o **termômetro de bulbo úmido**. O termômetro de bulbo úmido tem um pedaço de musselina (tecido muito leve e transparente) amarrado em torno do bulbo. Para usar o psicrômetro, o tecido é molhado e exposto a uma corrente de ar contínua, ou gira-se o instrumento (psicrômetro giratório) ou força-se uma corrente de ar através dele. A temperatura vai diminuindo, devido à retirada de calor pela evaporação da água da musselina. Quando a temperatura atinge seu valor mínimo (e estacionário), lê-se a temperatura de bulbo úmido.

A temperatura de bulbo úmido é, portanto, a menor temperatura que pode ser atingida considerando-se apenas este processo de evaporação. Quanto mais seco o ar, maior o resfriamento. A umidade relativa é calculada pela diferença entre as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, denominada depressão do bulbo úmido. Assim, quanto maior esta



**Figura 4.13:**  
Psicrômetro. /  
Fonte: INMET.

diferença, menor será a umidade relativa; quanto menor a diferença, maior a umidade relativa. Se o ar está saturado, nenhuma evaporação ocorrerá e os dois termômetros terão leituras idênticas.

A **Tabela 4.2** pode ser usada para se estimar a umidade relativa a partir da medição das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido. Vamos considerar um exemplo para São Paulo que possui pressão atmosférica média de 930 hPa (pressão ao nível da estação meteorológica). Suponha que as leituras tenham sido:

- Temperatura de bulbo seco = 27 °C;
- Temperatura de bulbo úmido = 20 °C.

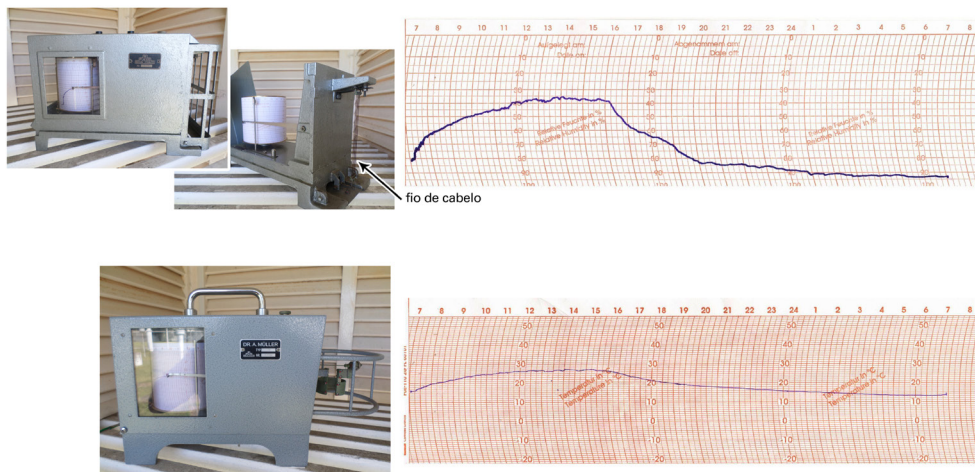
A depressão de bulbo úmido, ou seja, a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido será =  $27 - 20 = 7$  °C. Assim, a umidade relativa será de 53%.

**Tabela 4.2:** Tabela psicrométrica. / Fonte: Prof<sup>a</sup>. Rita Ynoue, IAG/USP.

UR (%) (p=930 hPa)		Temperatura de bulbo seco (°C)																	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Diferença entre temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido (°C)	0,5	95	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	1,0	90	90	90	90	91	91	91	91	92	92	92	92	92	92	93	93	93	93
	1,5	84	85	85	86	86	86	87	87	87	88	88	88	88	89	89	89	89	90
	2,0	79	80	81	81	82	82	83	83	83	84	84	84	85	85	85	86	86	86
	2,5	75	75	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	82	83	83
	3,0	70	71	71	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	78	79	79	80
	3,5	65	66	67	68	69	70	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	76
	4,0	60	62	63	64	65	66	66	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73
	4,5	56	57	58	60	61	62	63	63	64	65	66	67	67	68	69	69	70	70
	5,0	51	53	54	55	57	58	59	60	61	62	63	63	64	64	65	66	67	67
	5,5	47	48	50	51	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64	64
	6,0	43	44	46	47	49	50	51	53	54	55	56	57	58	59	59	60	61	62
	6,5	38	40	42	43	45	46	48	49	50	52	53	54	55	56	56	57	58	59
	7,0	34	36	38	40	41	43	44	46	47	48	49	51	52	53	53	54	55	56
	7,5	30	32	34	36	38	39	41	42	44	45	46	47	49	50	51	52	52	53
	8,0	26	28	30	32	34	36	37	39	41	42	43	44	46	47	48	49	50	51
	8,5	22	24	26	29	31	32	34	36	37	39	40	42	43	44	45	46	47	48
	9,0	18	20	23	25	27	29	31	33	34	36	37	39	40	41	42	43	44	45
	9,5	14	17	19	21	24	26	28	29	31	33	34	36	37	38	40	41	42	43
	10,0	10	13	16	18	20	22	24	26	28	30	32	33	34	36	37	38	39	41
	10,5	6	9	12	15	17	19	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38
	11,0	3	6	9	11	14	16	18	20	22	24	26	28	29	31	32	33	35	36
	11,5		2	5	8	11	13	15	17	20	21	23	25	27	28	30	31	32	33



Outro instrumento utilizado na medição de umidade é o **higrômetro** de cabelo. O cabelo humano e o pelo da crina de cavalo têm a propriedade de se esticar com o aumento da umidade e se contrair com seu decréscimo, sendo utilizados também em termo-higrógrafos como o da **Figura 4.14**.



**Figura 4.14:** Termo-higrógrafo. O cabelo humano usado como sensor de umidade. / Fonte: Profª. Rita Ynoue, IAG/USP.

## 4.4 Formas de condensação

Ao se atingir a saturação, pode haver formação de gotas de água líquida ou cristais de gelo.

As gotas de água estão associadas ao processo de condensação e podem existir na atmosfera, na forma de nevoeiro, neblina ou nuvem, como também ocorrer sobre uma superfície, sendo o caso do orvalho.

### 4.4.1 Orvalho e geada

**Orvalho** é a condensação do vapor d'água atmosférico sobre uma superfície. Normalmente, ocorre após uma noite com céu aberto e sem vento. A superfície resfria, emitindo radiação terrestre para o espaço. O ar imediatamente acima da superfície também resfria por condução. Se a superfície resfria até atingir o ponto de orvalho, o vapor d'água da atmosfera adjacente se condensa, formando pequenas gotas de água, o orvalho. Se a temperatura de ponto de orvalho for menor que 0 °C e se a temperatura do ar adjacente à superfície atingir esta temperatura

de congelamento, o vapor d'água pode se depositar como pequenos cristais de gelo sobre a superfície, dando-lhes uma aparência branca. Caso já tenha acontecido a formação de orvalho, e a temperatura continuar diminuindo abaixo de 0 °C, este orvalho pode ser congelado. Esses dois casos são denominados **geada branca** em Agrometeorologia. Outro tipo mais severo de **geada** ocorre em condições de pouca umidade do ar e perda radiativa intensa da superfície. Neste caso, a vegetação é resfriada à sua temperatura letal. Em função da baixa umidade, não há deposição de gelo e há morte dos tecidos vegetais pelo congelamento das células vegetais, condição denominada **geada negra**.

#### 4.4.2 Núcleos de condensação

Da mesma forma que o orvalho e a geada necessitam de uma superfície para se formarem, gotas de nuvem precisam de pequenas partículas sobre as quais o vapor d'água possa condensar-se. Sabemos que o ar das grandes cidades é bastante poluído, sendo constituído de vários gases e material particulado, denominados poluentes. Entretanto, mesmo em locais aparentemente limpos, há uma boa quantidade de partículas no ar. Várias delas servem como superfícies para a condensação do vapor atmosférico e, por isso, são chamadas de **núcleos de condensação**. Sem essas partículas, a umidade relativa deveria ser superior a 100% para que a condensação se iniciasse. Descreveremos essas partículas em suspensão na atmosfera mais tarde, quando discutirmos o texto **Poluição Atmosférica**.

Apesar de o gelo derreter a 0 °C, a água na atmosfera, normalmente, não congela a 0 °C. Se a saturação ocorre a temperaturas entre 0 e -4 °C, o excesso de vapor d'água condensa-se formando água supercongelada (água à temperatura abaixo de 0 °C, mas ainda na fase líquida). Na atmosfera, o gelo não se forma neste intervalo de temperatura. Da mesma forma que para se formar gotas de água líquida são necessários núcleos de condensação e umidade relativa próximos de 100%, a formação de cristais de gelo requer a existência de núcleos de gelo. Diferentemente de núcleos de condensação que são abundantes na atmosfera, os núcleos de gelo são raros, e isso porque um núcleo de gelo deve ter a forma de uma estrutura com seis lados, imitando o alinhamento das moléculas na fase sólida. Assim, entre 0 e -4 °C, a remoção de vapor d'água se dá pela condensação de água supercongelada. Em temperaturas menores, a probabilidade de formar gelo aumenta e para o intervalo entre -10 e -40 °C, a saturação pode levar à formação tanto de cristais de gelo

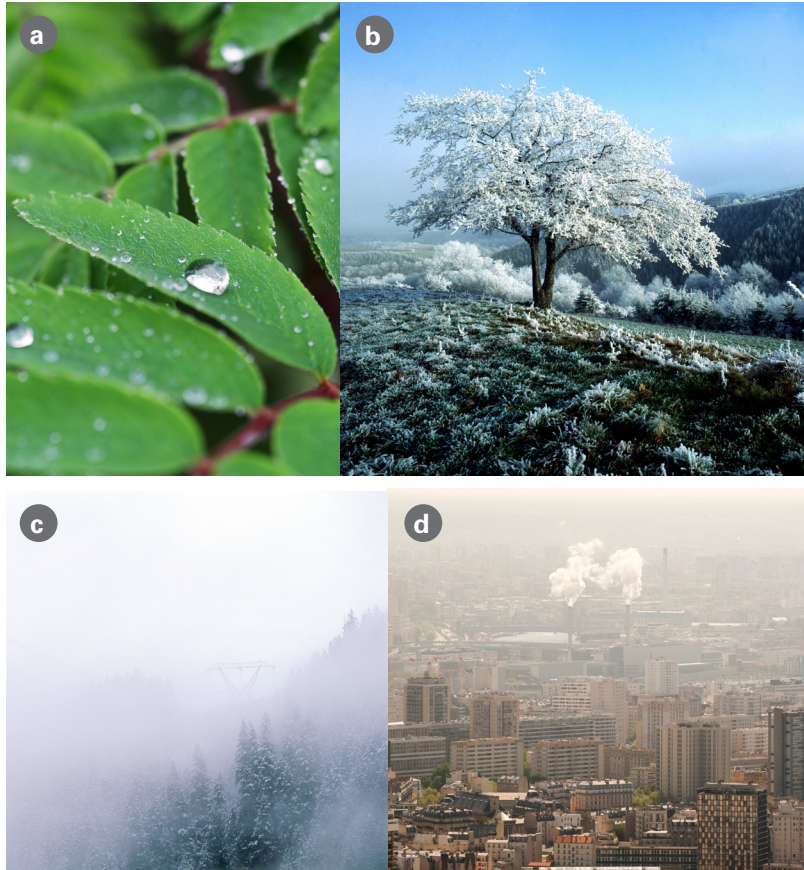
quanto de gotas de água supercongeladas. Para temperaturas menores que  $-40^{\circ}\text{C}$  haverá apenas a formação de cristais de gelo, com ou sem a presença de núcleos de gelo.

O **Instituto Nacional de Meteorologia** (INMET) adota as seguintes definições para os tipos de condensação na atmosfera:

- **Chuva:** É o resultado da condensação na atmosfera que cai em direção ao solo, quando as gotas superam as correntes verticais de ar. Normalmente, é medida a altura da precipitação em milímetros.
- **Chuvisco ou Garoa:** Precipitação bastante uniforme, composta exclusivamente de gotas d'água muito pequenas (diâmetro menor que 0,5 mm), muito próximas umas das outras e que parecem flutuar no ar.
- **Granizo:** Precipitação que se origina de nuvens convectivas, como cumulonimbus, e que cai em forma de bolas ou pedaços irregulares de gelo, quando os pedaços têm formatos e tamanhos diferentes. Pedaços com um diâmetro de cinco milímetros ou mais são considerados granizo; pedaços menores de gelo são classificados como bolas de gelo, bolas de neve ou granizo mole. Bolas isoladas são chamadas de pedras. É referido como “GR” quando está em observação e pelo Metar. Granizo pequeno ou bolas de neve são referidos como “GS” quando estão em observação e pelo Metar.
- **Neve:** Precipitação de cristais de gelo translúcidos e brancos, em geral em forma hexagonal e complexamente ramificados, formados diretamente pelo congelamento do vapor d'água que se encontra suspenso na atmosfera. É produzida frequentemente por nuvens do tipo estrato, mas também pode se originar das nuvens do tipo cúmulo. Normalmente, os cristais são agrupados em flocos de neve. É informada como “SN” quando está em observação e pelo Metar.
- **Névoa:** Conjunto de microscópicas gotículas de água suspensas na atmosfera. Não reduz a visibilidade como o nevoeiro e, frequentemente, é confundida com chuvisco.
- **Névoa Seca:** Suspensão de partículas de poeira fina e/ou fumaça no ar. Invisíveis a olho nu, as partículas reduzem a visibilidade e são suficientemente numerosas para dar ao ar um aspecto opaco. É referida como “HZ” quando está em observação e pelo Metar.
- **Nevoeiro:** Massa de minúsculas, porém visíveis, gotículas de água suspensas na atmosfera, próximas ou junto à superfície da Terra, que reduzem a visibilidade horizontal para menos de mil metros. É formado quando a temperatura e o ponto de condensação do ar

se tornam os mesmos – ou quase os mesmos – e suficientes núcleos de condensação estão presentes. É referido como “FG” quando está em observação e pelo Metar.

A **Figura 4.15** mostra algumas fotos das formas de condensação citadas anteriormente.



**Figura 4.15:** Formas de condensação, da esquerda para direita: **a.** orvalho; **b.** geada; **c.** nevoeiro; **d.** poluição. / Fonte: [Thinkstock](#)

## Referências

- AHRENS, C.D. **Meteorology today**: an introduction to weather, climate, and the environment. 9. ed., Belmont, CA: Brooks/Cole, 2009.
- APOLLO. Disponível em: <<http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter7/graphics/saturate2.free.gif>> Acesso em: 09/2012.
- BRASIL ESCOLA. Disponpivel em: <[http://www.brasilestola.com/upload/e/mudanca%20de%20fase\(2\).jpg](http://www.brasilestola.com/upload/e/mudanca%20de%20fase(2).jpg)> Acesso em: 09/2012.
- GEOG. Disponível em: <[http://www.geog.ucsb.edu/~joel/g110\\_w08/lecture\\_notes/water\\_vapor/agburt05\\_01c.jpg](http://www.geog.ucsb.edu/~joel/g110_w08/lecture_notes/water_vapor/agburt05_01c.jpg)> Acesso em: 09/2012.
- GLEICK, P.H. Water resources. In: SCHNEIDER S.H. **Encyclopedia of climate and weather**. New York: Oxford University Press, 1996. v. 2, p.817-823.
- INFOESCOLA. Disponível em: <<http://static.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/07/ponte-de-hidrogenio.jpg>> Acesso em: 09/2012.
- INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/glossario/glossario.html>> Acesso em: 09/2012.
- INMET. Diponível em: <<http://www.ufjf.br/labcaa/equipamentos/>>. Acesso em: 09/2012.
- INMET. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/html/rede\\_obs.php](http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs.php)> Acesso em: 09/2012.
- INPE. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/dsr/vianei/CursoHF/Image3.gif>> Acesso em: 09/2012.
- O Ciclo da Água**: The Water Cycle, Portuguese, from USGS Water Science for Schools <<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>
- UCAR. Disponível em: <<http://www.ucar.edu/learn/images>> Acesso em: 09/2012.
- UFPR. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/Image319.gif>> Acesso em: 09/2012.
- UFPR. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/Image320.gif>> Acesso em: 09/2012.
- WATER. Disponível em: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/portuguese/wcmaindiagram2.jpg>> Acesso em: 09/2012.

## Glossário

**Geadas:** Cristais de gelo provenientes da deposição de vapor d'água sobre uma superfície.

**Mudança de fase da água:** Quando a água muda de fase (estado), por exemplo, de líquida para vapor, de vapor para gelo, etc.

**Núcleos de condensação:** partículas em suspensão na atmosfera que servem de superfície para a condensação do vapor d'água.

**Orvalho:** Gotas de água provenientes da condensação de vapor d'água sobre uma superfície.

**Ponto de ebulição:** temperatura na qual a pressão de vapor da substância que está em estado líquido é igual à pressão atmosférica.

**Pressão de vapor d'água:** Pressão exercida pelas moléculas de vapor d'água nas paredes de uma parcela de ar.

**Pressão de vapor de saturação:** Pressão que as moléculas de vapor d'água exercem quando o ar está saturado de vapor d'água a uma determinada temperatura.

**Saturação:** Taxa de evaporação igual a de condensação. Quando o ar está com toda quantidade de vapor d'água que pode manter. Essa quantidade de vapor varia conforme a temperatura do ar.

**Temperatura de ponto de orvalho:** É a temperatura na qual o ar deve ser resfriado para atingir a saturação sem haver mudança na pressão e conteúdo de vapor d'água.

**Umidade:** Quantidade de vapor d'água na atmosfera podendo ser expressa de várias maneiras.