

Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado

(Relative Air Humidity Measurements in a Closed Environment)

Eden V. Costa

Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense

Boa Viagem, 24210-340, Niterói, RJ, Brasil

Eden@if.uff.br

Recebido em 15 de abril, 2003. Aceito em 08 de setembro, 2003.

Umidade do ar é o vapor d'água presente na atmosfera. Neste trabalho medimos a umidade relativa do ar em um ambiente fechado onde a temperatura foi mantida constante. Nestas condições, a umidade cresce até o vapor d'água tornar-se saturado. Neste instante, a umidade é máxima. O aparato experimental utilizado consiste de recipiente fechado de vidro, higrômetro, termômetro e relógio. Trata-se, portanto, de um experimento simples, possível de ser realizado em um laboratório didático e capaz de preencher a lacuna dos livros de texto de física, que, em geral, negligenciam este tópico.

Air humidity is the water vapor existing in the atmosphere. In this paper it is presented measurements of the relative air humidity inside a closed container where temperature was kept constant. Under these conditions, humidity increases until water vapor becomes saturated. At this moment, humidity reaches its maximum value. The experimental set includes: a closed glass container, a hygrometer, a thermometer and a chronometer. Thus, it is a simple experiment, which is possible to be reproduced in a general physics laboratory and used as a complement to textbooks that do not include this topic.

I Introdução

Nos livros didáticos de física em uso atualmente, não consta o tema umidade relativa do ar. Curiosamente, diariamente, o serviço de meteorologia divulga a previsão do tempo onde são dados os valores de temperatura e umidade relativa do ar. Sendo assim, percebemos ser conveniente desenvolver este tema, presente em nosso dia-a-dia, mas ausente nos livros didáticos de física atualmente adotados.

Evaporação é a transição de fase líquido→vapor (vaporização) em uma temperatura menor do que a de ebulição. No processo são atuantes as moléculas da interface, caracterizando-se, portanto, como um fenômeno de superfície. A pressão p exercida pelo vapor sobre a massa líquida, chama-se pressão de vapor.

Considere um ambiente fechado onde há água em evaporação. Quando o sistema líquido-vapor atingir o equilíbrio, a pressão de vapor será máxima P . Dizemos então que o vapor d'água está saturado. A Tabela 1 mostra a pressão máxima de vapor d'água saturado para alguns valores de temperaturas [1].

Umidade relativa do ar (grau higrométrico do ar) é a razão entre a pressão de vapor d'água na atmosfera e a pressão de vapor d'água saturado:

$$UR = \frac{p}{P}. \quad (1)$$

Assim, em um ambiente saturado, a umidade relativa do ar é igual a 1. A Tabela 2 mostra a densidade do vapor d'água saturado para alguns valores de temperaturas.

Considere um ambiente onde m é a massa de vapor d'água presente na sua atmosfera e M a massa de vapor d'água necessária para saturá-lo. A umidade relativa do ar é igual a

$$UR = \frac{m}{M}. \quad (2)$$

A massa que se evapora na unidade de tempo (taxa de evaporação) é dada por [2]

$$\frac{dm}{dt} = k \frac{A(P - p)}{p_{\text{ext}}}, \quad (3)$$

em que k é uma constante característica do líquido, A é a área da superfície livre do líquido e p_{ext} é a pressão externa ao líquido.

A temperatura é diretamente proporcional a pressão máxima de vapor P (Tabela 1). Sendo assim, quanto maior a temperatura, maior a taxa de evaporação.

Durante a evaporação, a concentração de vapor p junto à superfície líquida cresce e, como consequência, diminui a taxa de evaporação.

Tabela 1. Pressão máxima do vapor d'água saturado para alguns valores de temperatura.

T(°C)	19	21	24	27	30	33	36	39
P(Torr)	16,5	18,7	22,4	26,7	31,8	37,7	44,6	52,5

Tabela 2. Densidade do vapor d'água saturado para alguns valores de temperatura.

T(°C)	19	21	24	27	30	33	36	39
$\rho(\text{g/m}^3)$	16,4	18,4	21,9	25,9	30,5	35,8	41,9	48,4

II Teoria

Vamos considerar a evaporação da água em um ambiente cuja pressão externa é constante. Valendo-se da proporcionalidade entre a pressão e a massa de vapor, a equação (3) torna-se

$$\frac{dm}{dt} = B(M - m). \quad (4)$$

B é constante. Podemos escrever

$$\frac{dm}{(M - m)} = B dt. \quad (5)$$

Por integração obtemos que

$$-\ln(M - m) = Bt + C. \quad (6)$$

Vamos considerar a umidade relativa do ar inicial, tal que a massa de vapor d'água em $t = 0$ é m_0 . Assim,

$$-\ln(M - m_0) = C. \quad (7)$$

Deste modo,

$$\ln\left(\frac{M - m}{M - m_0}\right) = -Bt \quad (8)$$

$$m = M - (M - m_0) \exp(-Bt). \quad (9)$$

Por exemplo, se a evaporação ocorrer em um ambiente cuja umidade relativa do ar inicial for igual a 0,62 ($m_0=0,62M$), então a equação (9) torna-se

$$UR = 1 - (0,38) \exp(-Bt). \quad (10)$$

A equação (10) mostra que a umidade relativa do ar cresce exponencialmente com o tempo.

Alguns outros fenômenos físicos são descritos por equação semelhante à equação (10). Por exemplo:

- o crescimento da velocidade de uma gota de chuva.
- o crescimento da carga elétrica armazenada no capacitor em um circuito RC,
- o crescimento da corrente elétrica em um circuito RL.

Uma vez que, na equação (10), a dependência é exponencial, não é possível determinar, exatamente, o intervalo de tempo necessário para a saturação do vapor. Como o expoente é adimensional, o inverso da constante B tem dimensão de tempo. Vamos considerar o caso particular em que $Bt = 1$. Nesta condição, temos que

$$UR = 1 - (0,38) \exp(-1), \quad (11)$$

$$UR = 0,86. \quad (12)$$

Assim, o intervalo de tempo igual a $(1/B)$ é o necessário para que a umidade relativa do ar atinja 0,86.

III Aparato Experimental e resultados

Nossa intenção foi medir o intervalo de tempo necessário para que o vapor d'água presente em um ambiente fechado sob temperatura constante torne-se saturado. Para isso, seguimos a sugestão apresentada por Preston [3]. Construímos três recipientes de vidro com volumes iguais a um litro. No seu interior colocamos um termômetro, um higrômetro, um relógio e 3,0 ml de água. A área da superfície livre da água em cada um deles é igual a: 42 cm², 84 cm² e 168 cm² (Fig. 1).

Os recipientes foram mantidos sob temperatura constante e igual a 21°C. Nesta temperatura, a massa de vapor d'água necessária para saturar um ambiente cujo volume é um litro é 18,4 mg (tabela 2). A umidade relativa do ar inicial nos recipientes é igual a 0,62. Sendo assim, a massa inicial de vapor d'água em cada um deles é: 0,62 x 18,4mg = 11,4 mg.

Portanto, para saturar o vapor d'água do ambiente, faltam 7,0 mg. Logo, enquanto a umidade relativa do ar varia entre 0,62 e 1,0, a pressão externa ao líquido varia entre a normal (760 Torr) e 767 Torr. Este aumento de pressão é menor do que 1,0 %, o que justifica a premissa inicial quando estabelecemos ser constante a pressão externa ao líquido.

O sistema foi monitorado. A variação da umidade relativa do ar em função do tempo, para o recipiente cuja área da superfície livre da água é igual a 168 cm² pode ser vista na Fig. 2.

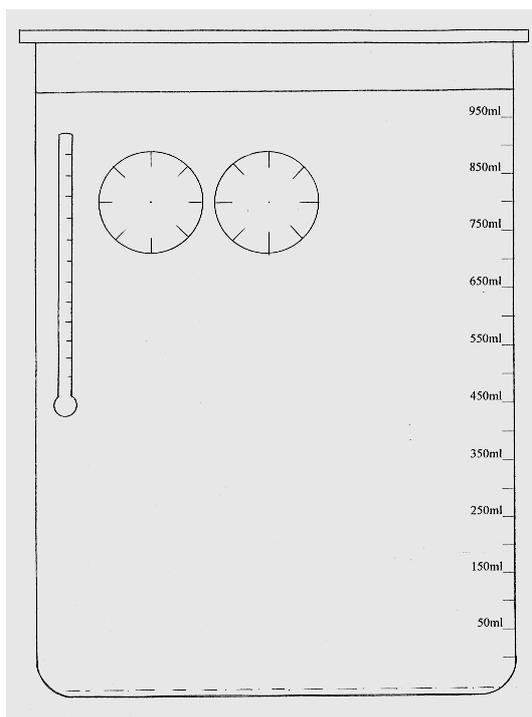


Figura 1. Recipiente fechado de vidro com volume igual a um litro. Em seu interior há um termômetro, um higrômetro, um relógio e 3,0 ml de água. A área da base pode ser igual a: 42 cm^2 , 84 cm^2 ou 168 cm^2 .

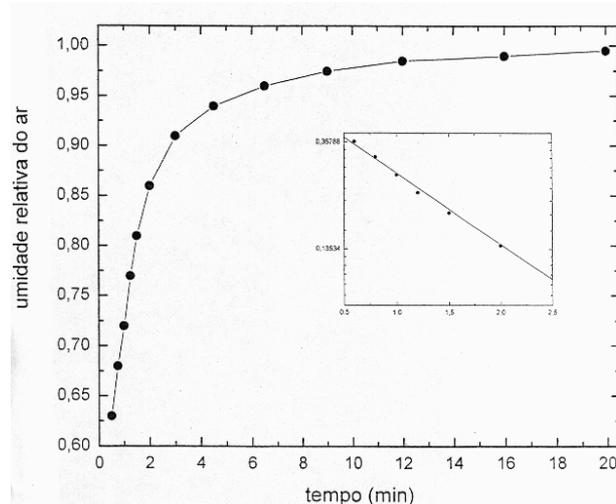


Figura 2. Umidade relativa do ar em função do tempo em um ambiente fechado com volume igual a um litro e sob temperatura constante (21°C). A umidade relativa do ar inicial é 0,62. A área da superfície livre do líquido é igual a 168 cm^2 . O intervalo de tempo necessário para que a umidade relativa do ar atinja 0,86 é de $(2,00 \pm 0,05)$ minutos. Os valores medidos (círculos) estão conectados por segmento de reta. Em destaque o gráfico em papel mono-log.

Os valores medidos do intervalo de tempo necessário para a umidade relativa do ar atingir 0,86 podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3

área da superfície livre da água	(cm^2)	168	84	42
intervalo de tempo necessário para a umidade relativa do ar atingir 0,86	(min)	$(2,00 \pm 0,05)$	$(5,50 \pm 0,05)$	$(13,00 \pm 0,05)$

IV Conclusões

Este trabalho é uma aplicação da equação (10) em um ambiente fechado onde, inicialmente, a umidade relativa do ar é igual a 0,62 e a pressão atmosférica é normal (760 Torr). A temperatura do ambiente manteve-se constante e igual a 21°C . Sendo assim, foi possível verificar:

(1) a dependência entre o intervalo de tempo necessário para a saturação do vapor e a área da superfície livre do líquido. Fato costumeiro em nosso cotidiano, na secagem de roupas. Por isso, estendemos a roupa para que seque rapidamente; (2) a dependência entre a umidade relativa do ar e a taxa de evaporação. Por isso, o vento influi na taxa de evaporação, ao dissipar o vapor d'água próximo à superfície líquida. Desta forma, ele diminui a umidade do ar, facilitando a evaporação da água restante.

É comum pensar que o único papel dos condicionadores de ar é refrigerar, mas eles têm um outro papel importante: reduzir a umidade relativa do ar. Por isso pinga água desses aparelhos.

Os resultados mostram ser viável a utilização deste ex-

perimento em um laboratório didático. Trata-se, portanto, de um experimento simples, de fácil manuseio, e, capaz de preencher a lacuna existente nos livros de física básica, que, em geral, não abordam este tema.

Agradecimentos

Agradeço a minha esposa e companheira Nadia Regina C. Costa e a meu filho e amigo Tales C. Costa, pela colaboração, dedicação e afincamento na tomada das medidas.

Referências

- [1] G. W. C. Kaye, *Tables of Physical and Chemical Constants*, Longman, 1995.
- [2] D. E. Gray, *American Institute of Physics Handbook*, McGraw-Hill Book Company, 1997.
- [3] D. W. Preston, *Experiments in Physics (Laboratory Manual)*, John Wiley & Sons, 1994.