

**Universidade de São Paulo
Instituto de Física de São Carlos - IFSC**

FCM 208 Física (Arquitetura)

Umidade e Conforto

Prof. Dr. José Pedro Donoso

- O ar atmosférico contém sempre uma certa quantidade de vapor de água.
- No verão, o ar está úmido e “pesado” porque ele tem grande **umidade relativa**, ou seja ele contém quase tanta umidade quanto pode conter.

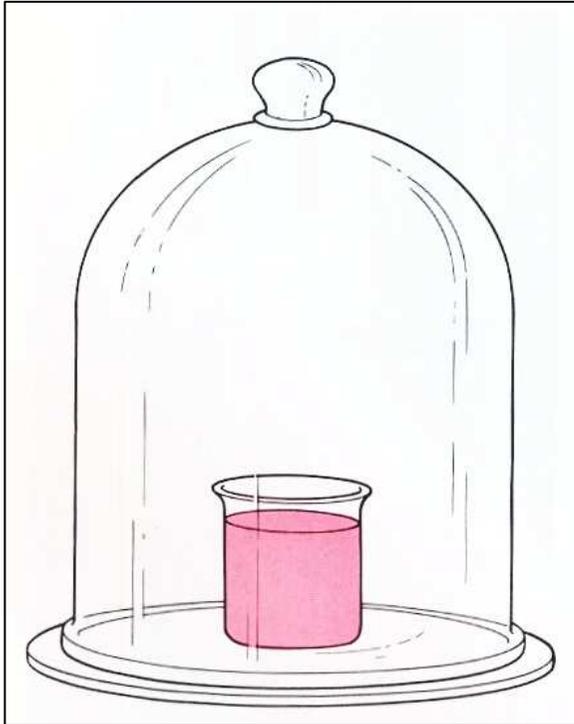
Exemplo: se um metro cúbico de ar *contém* 7 gramas de vapor de água, mas *pode* conter 14 gramas, sua umidade relativa é de 50%.

A **umidade relativa** (%RH) de um volume de ar é a relação entre o vapor de água que ele contém e o que conteria se estivesse saturado:

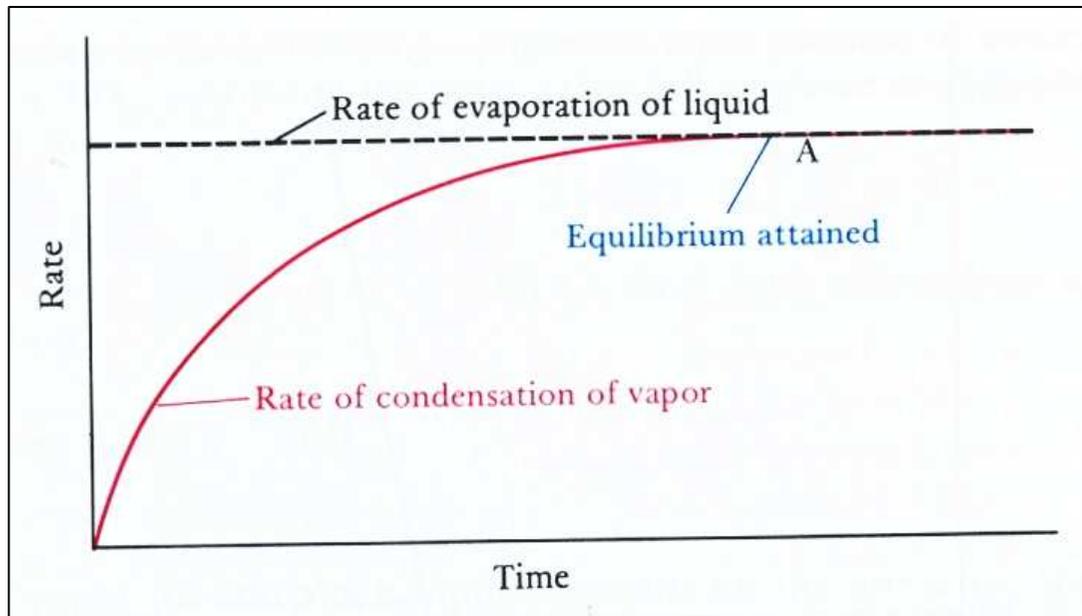
$$\%RH = \left(\frac{M}{M_o} \right) \times 100$$

onde **M** é massa de vapor de água no ar e **M_o** massa de vapor de água saturado

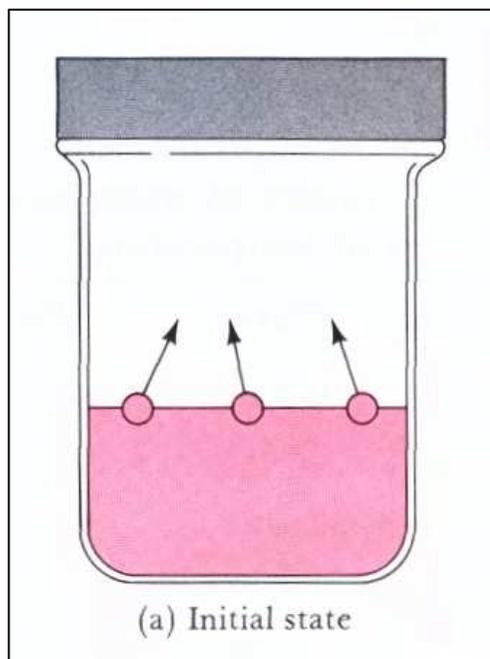
Processo de evaporação



Um líquido é colocado num recipiente fechado a vácuo. Como as moléculas no líquido estão em movimento, algumas saem à superfície e formam uma fase vapor acima dele. A pressão de vapor aumentará rapidamente no início, atingindo depois de um certo tempo, um valor constante.

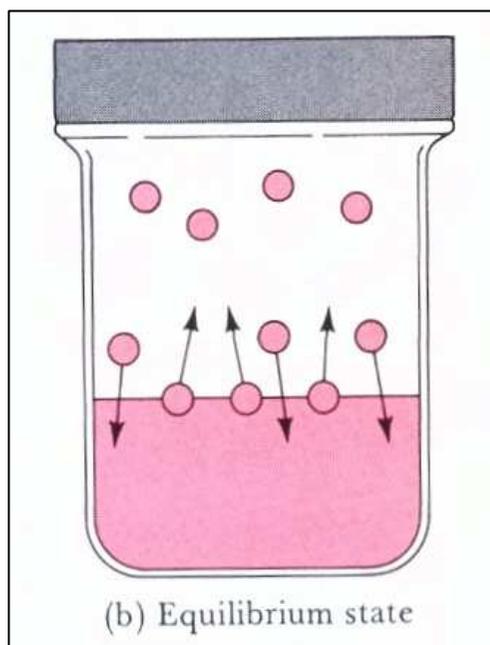


O número de moléculas que deixa a superfície é proporcional a área da superfície do líquido. Como esta área é constante, a **taxa de evaporação** é constante



(a) A taxa com que as moléculas escapam da superfície é constante, mais a taxa com que as moléculas entram no líquido desde o vapor é proporcional ao número de moléculas no vapor.

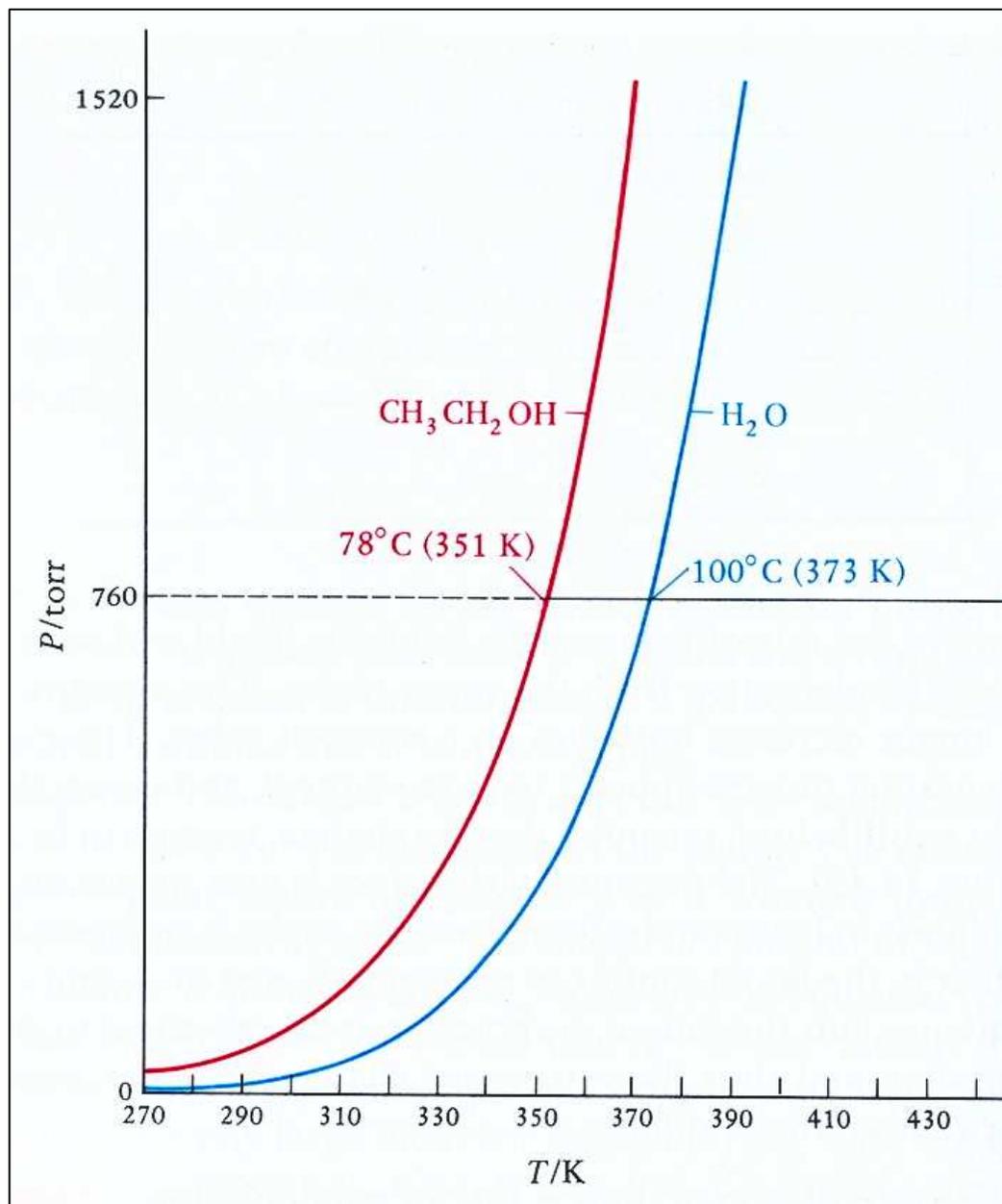
(b) Quando o número de moléculas no vapor é tal que a taxa de escape da superfície é igual a taxa de condensação do vapor, o líquido é o vapor estão em **equilíbrio**:



taxa de evaporação = taxa de condensação

Chama-se **pressão de vapor saturado** a pressão em que o vapor e o líquido existem em equilíbrio.

Mc Quarrie & Rock, *General Chemistry* (3rd edition. Freeman 1991)



Curvas de **pressão de vapor saturado** da água e do etanol, em função da temperatura.

Mc Quarrie & Rock
General Chemistry
(3rd edition. Freeman 1991)

Outra forma de expressar a **umidade relativa** do ar é em função da pressão parcial. Quando se adiciona vapor de água a um certo volume de ar, numa dada temperatura T , aumenta-se a pressão parcial do vapor de água. Quando esta pressão parcial for igual à pressão de vapor nesta T , o ar está saturado. A umidade relativa se expressa como a razão:

$$\%RH = \left(\frac{P}{P_o} \right) \times 100$$

onde P é a pressão parcial de vapor de água e P_o a pressão de vapor saturado. Chama-se **pressão de vapor saturado** a pressão em que o vapor e o líquido existem em equilíbrio (o número de moléculas de vapor que se condensam é igual ao número de moléculas do líquido que se evaporam).

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
P_o (torr)	4.6	6.5	9.2	12.8	17.4	23.8	31.6	42.2	55.3
M_o (gr/m ³)	4.85		9.4	12.8	17.3	23	30.4	39.6	51.2

Pressão de vapor de água saturado, a diversas temperaturas	
Temperatura (°C)	Pressão de vapor saturado (mbar)
0	6,09
10	11,9
20	23,3
30	42,3
40	73,2
60	198
80	472
100	1010
150	4744
200	15482

U. Amaldi, *Imagens a Física* (Ed. Scipione)

- A quantidade de vapor de água presente no ar pode variar bastante, mas sua pressão nunca supera um valor limite, chamado **pressão de vapor saturado**.
- Quando se ultrapassa tal valor, o vapor se condensa em gotículas.
- Por exemplo, a 20 °C, a pressão máxima a que se pode encontrar o vapor é 23.3 mbar. Se a pressão do vapor aumenta, uma parte dele se torna líquida.
- Isso acontece quando , ao ligarmos o chuveiro quente, o espelho do banheiro fica embaçado devido às gotículas de água que se formam na superfície do vidro

Higrômetros



A medida da umidade do ar é feita por meio de higrômetros. O higrômetro de cabelo se baseia na propriedade de um fio de cabelo variar seu comprimento em função da umidade relativa do ar.

Higrômetro analógico *Incoterm*. Tipo aneróide com fio sintético

Unidades de Pressão:

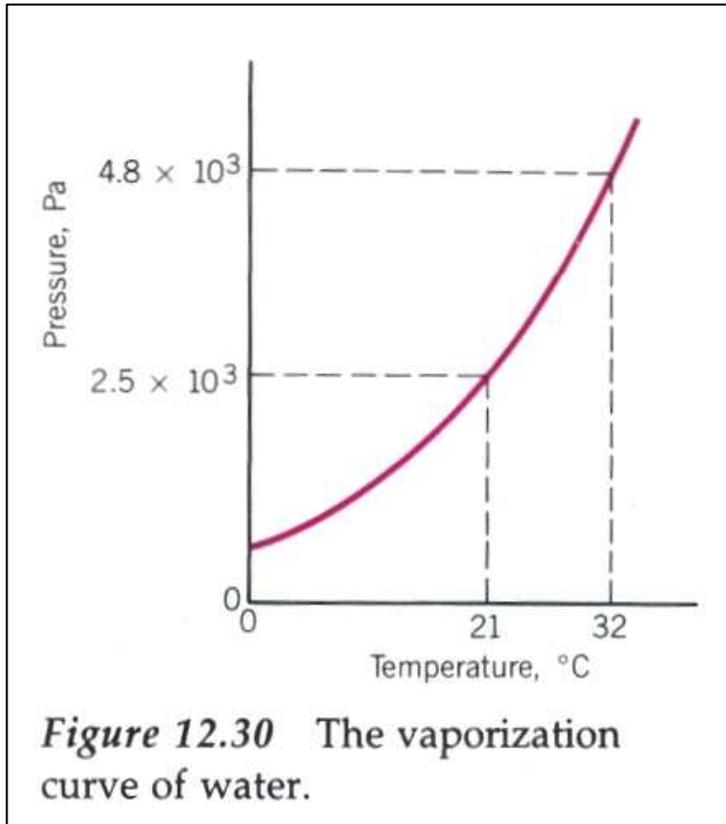
1 atmosfera (atm) = 1.013×10^5 N/m²
= 101.3 kPa
= 1.01325 bar
= 760 torr
= 760 mmHg
= 14.7 lb/pol²
= 2.12 lb/pé²

1 pascal (1 Pa) = 1 N/m²

1 bar = 10^5 N/m²

1 torr = 133.3 Pa

Exemplo: Qual a umidade relativa de um lugar onde a pressão do vapor de água é de 2×10^3 Pa (15 torr) e a temperatura é de (a) 32 °C (b) 21 °C?



Cutnell & Johnson, *Physics*
(3rd edition, Wiley, 1995)

Solução: O gráfico indica que a 32 °C, a pressão de vapor de água saturado é $P_0 = 4.8 \times 10^3$ Pa (36 torr). A umidade relativa é

$$\% RH = \left(\frac{P}{P_0} \right) \times 100 = \left(\frac{15}{36} \right) \times 100 = 42\%$$

a 21 °C, a pressão de vapor de água saturado é $P_0 = 2.5 \times 10^3$ Pa (18.8 torr), e a umidade relativa é

$$\% RH = \left(\frac{P}{P_0} \right) \times 100 = \left(\frac{15}{18.8} \right) \times 100 = 80\%$$



A **umidade relativa** pode aumentar seja pelo aumento da quantidade de vapor de água no ar, numa certa temperatura, seja pela diminuição da temperatura do ar, o que leva a redução da pressão de vapor saturado. Com a queda da temperatura o ar tornar-se saturado de vapor de água formando **neblina**

Cutnell & Johnson, *Physics* (3rd edition, Wiley, 1995)



Ponto de orvalho

Quando se coloca cerveja gelada num copo no verão, o ar próximo ao copo se esfria e fica saturado, de modo que o vapor de água se condensa no copo como *orvalho*.

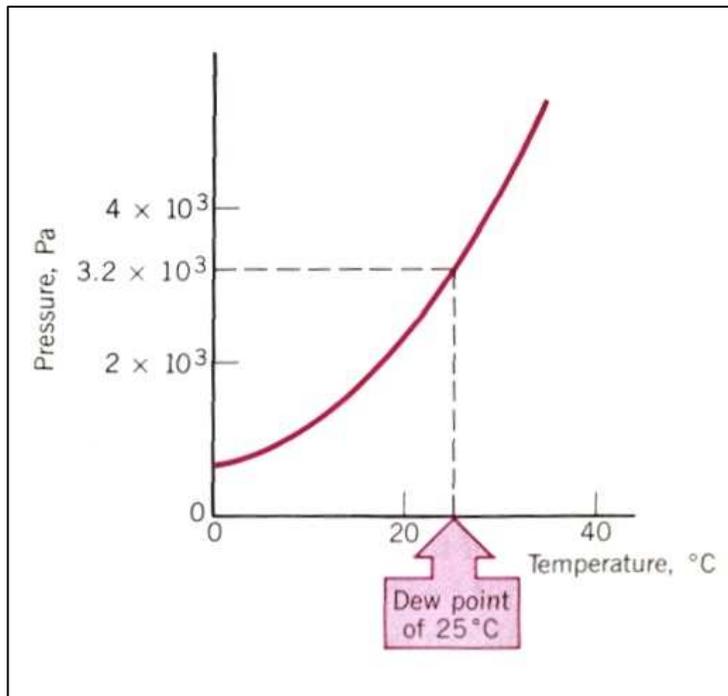
O **ponto de orvalho** (ponto de rocío, em espanhol) é a temperatura em que o ar úmido fica saturado.

Muita gente começa a sentir desconforto quando o ponto de orvalho fica acima de 20 °C. O ar com ponto de orvalho acima de 24 °C, por exemplo, é muito úmido.

Para determinar o **ponto de orvalho**, se coloca água e um termômetro numa vasilha de metal e se adiciona, aos poucos, água gelada, agitando a mistura. A **temperatura** em que começa a se formar o orvalho na face externa da vasilha é o ponto de orvalho.

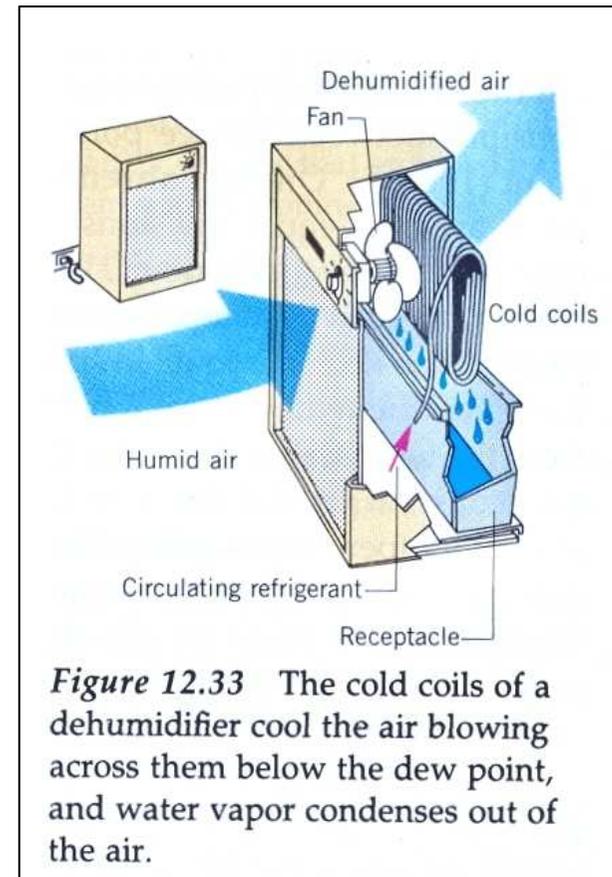
Formação de geada

Ao cair da tarde, o solo, perdendo calor por radiação, realiza um processo contínuo de queda na temperatura e o ar em contato com o solo também sofre uma queda em temperatura, havendo uma transferência de calor entre os dois por convecção. Quando a superfície da terra se resfria abaixo do **ponto de orvalho**, se forma uma condensação de noite. Mais, se o **ponto de orvalho** estiver abaixo de 0 °C, se forma **geada**.



Na curva de **pressão de vapor saturado** da água, o ponto de orvalho (*dew point*) é a temperatura correspondente a pressão parcial do vapor de água no ar. Quanto mais perto a temperatura está do ponto de orvalho, mais perto de 100% fica a umidade relativa.

As serpentinas de um des-umificador funcionam como um copo gelado. As serpentinas são mantidas frias pela circulação de um líquido refrigerante. Quando o ar sopra através delas, o vapor condensa formando gotículas que são recolhidas num reservatório



Cutnell & Johnson, *Physics* (Wiley, 1995)

Efeitos fisiológicos da umidade

- Suar é um mecanismo pelo qual ocorre o esfriamento do corpo.
- Se a %RH do ambiente for alta (90%), só uma quantidade muito pequena de suor é evaporado, o que diminui o esfriamento. A rapidez de evaporação diminui quando a umidade aumenta.
- Numa cidade como São Paulo, onde a umidade relativa do ar é bastante elevada, mesmo a temperaturas relativamente baixas (22 °C) sentimos **desconforto** (sensação de calor opressivo). Isto ocorre porque a umidade relativa dificulta a evaporação do suor.

Aplicações

1- Num certo dia, quando a temperatura é 28 °C, se forma uma película de umidade no exterior de um copo de refrigerante, o qual está a 16 °C. O ar saturado a 28 °C contém 29 g/m³ de água, e a 16 °C contém 13.5 g/m³.

Qual a umidade relativa desse dia?

Resposta: 50%

2-Uma sala têm 7 m × 9 m × 3.5 m. Num dia de agosto a temperatura foi 28 °C e a umidade relativa 40%. O ar saturado a 28 °C contém 29 g/m³ de água.

Qual a massa de vapor de água que existe na sala?

Resposta: $m \approx 2.5$ kg, ou 2.5 litros

3-A que se deve a sensação de frio que experimentamos quando, num dia ensolarado, saímos da água do mar.

Resposta: evaporação da água residual que fica sobre a pele

4- Calcular a umidade relativa do ponto de orvalho de um dia em que a temperatura do ar for 30 °C e a pressão parcial de vapor de água for 22.2 torr. A pressão de vapor saturado a 30 °C é 31.6 torr e a 24 °C é de 22.2 torr.

Resposta: %RH = $(22.2/31.6) = 70\%$ De acordo a Tabela, o ponto de orvalho é de 24 °C. Esse dia pode ser considerado muito desconfortável

5- O ar de uma sala de 40 m³ que está a 30 °C e %RH de 90% é esfriado por um aparelho de ar condicionado até 20 °C. A umidade relativa é reduzida de forma simultânea para 50%. Quanta água é removida do ar da sala a 30 °C pelo aparelho de ar condicionado?

Solução: a massa de vapor de água em ar a 30 °C e %RH de 70% é:
 $(0.90 \times 30.4) = 27.4 \text{ g/m}^3$. Para 20 °C, %RH : 50%, é de $(0.50 \times 17.3) = 8.7 \text{ g/m}^3$.
A massa de água removida pelo aparelho de ar condicionado (desprezando a perda por compressão do aparato) será: $27.4 - 8.7 = 18.7 \text{ g/m}^3$, ou seja remove 0.75 litros de água do volume da sala

Referências bibliográficas

- *Física para ciências biológicas e biomédicas*. Emico Okuno, Iberê L. Caldas, Cecil Chow. (Ed. Habra 1986) Seção 19.8
- *Manual de Conforto Térmico* Anésia B. Frota, Sueli R. Schiffer (Studio Nobel, 1995)
- *College Physics*, F.J. Bueche (Schaum's) Cap. 18
- *General Chemistry*, Mc Quarrie & Rock (3rd edition) Chapter 14
- *Física*. P. Tipler, Volume 2, 3a edição (Editora Guanabara Koogan, 1994)
- *Imagem da Física*. Ugo Amaldi (Editora Scipione, 2006)