

Física 2 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda

AULA 6 – 19/03/2025

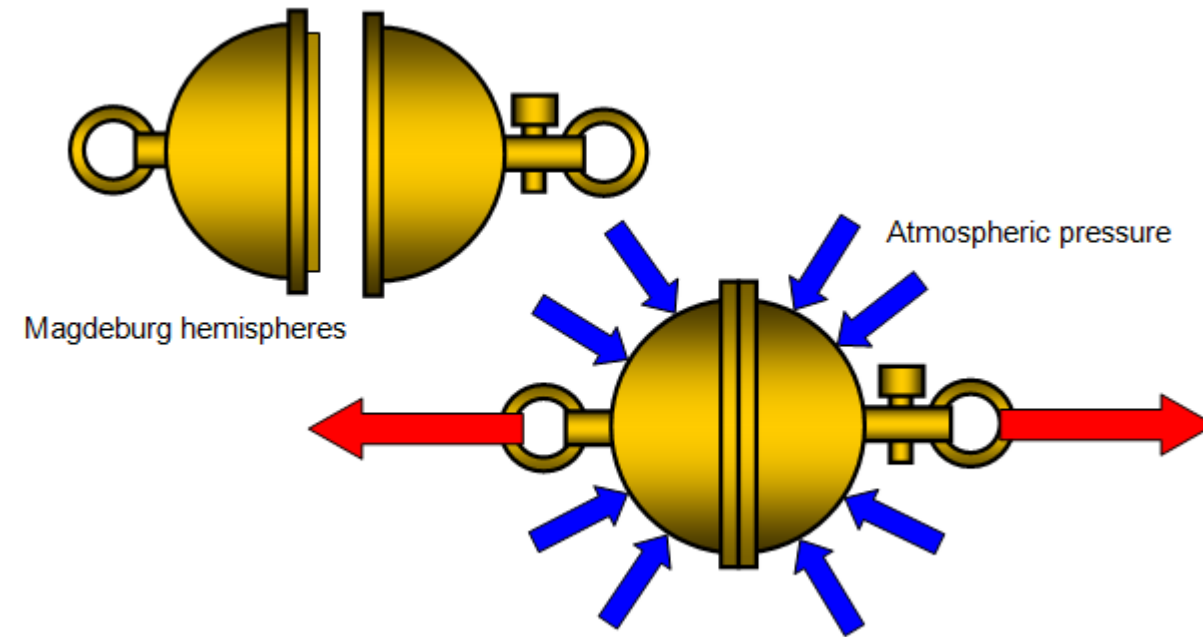
crmiranda@usp.br



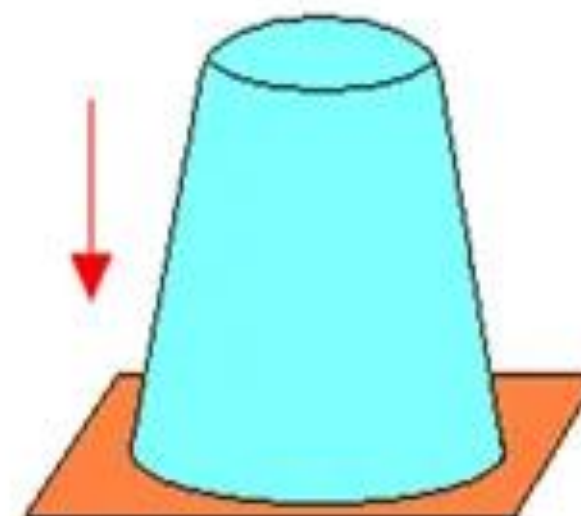
Cronograma

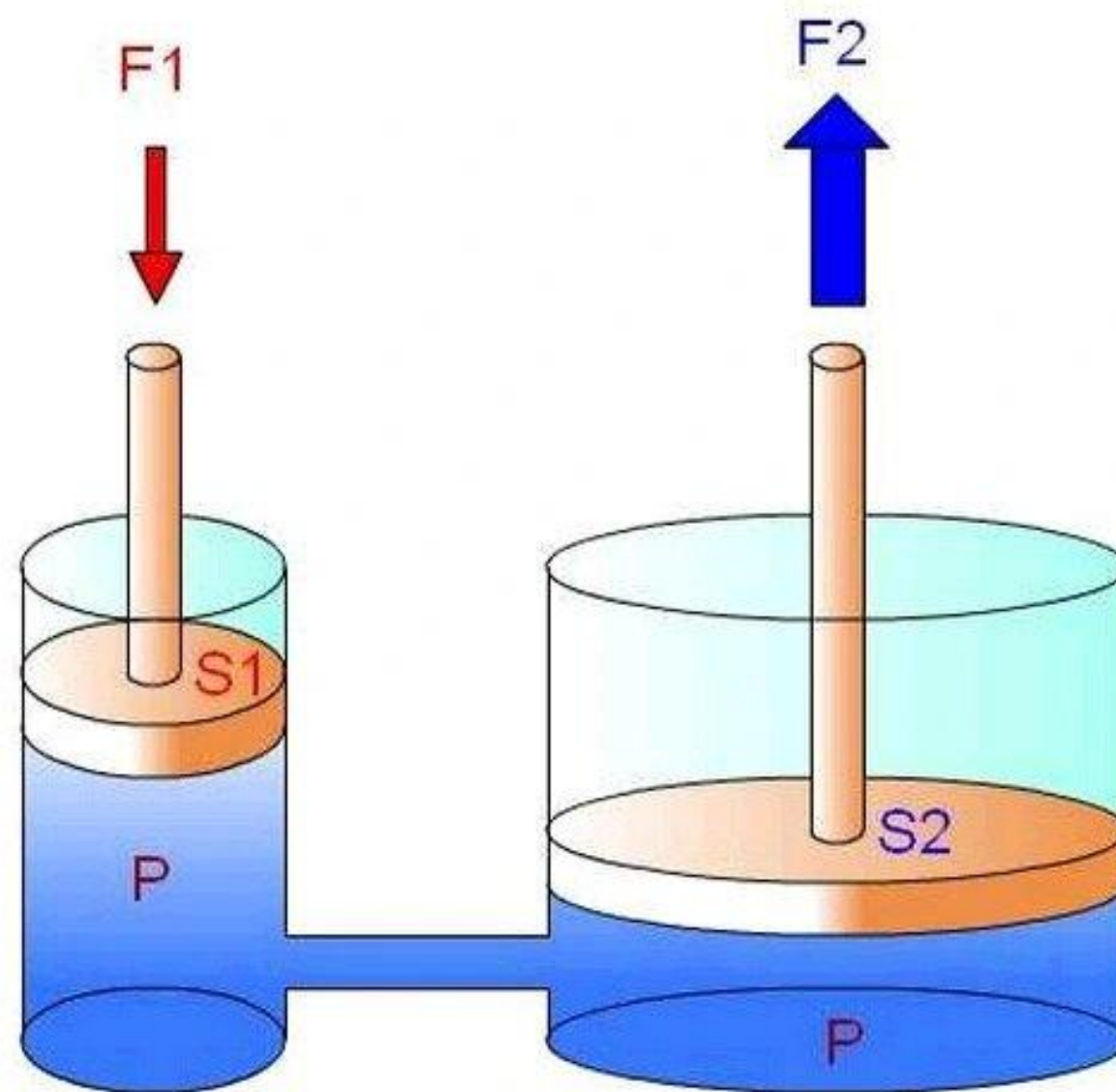
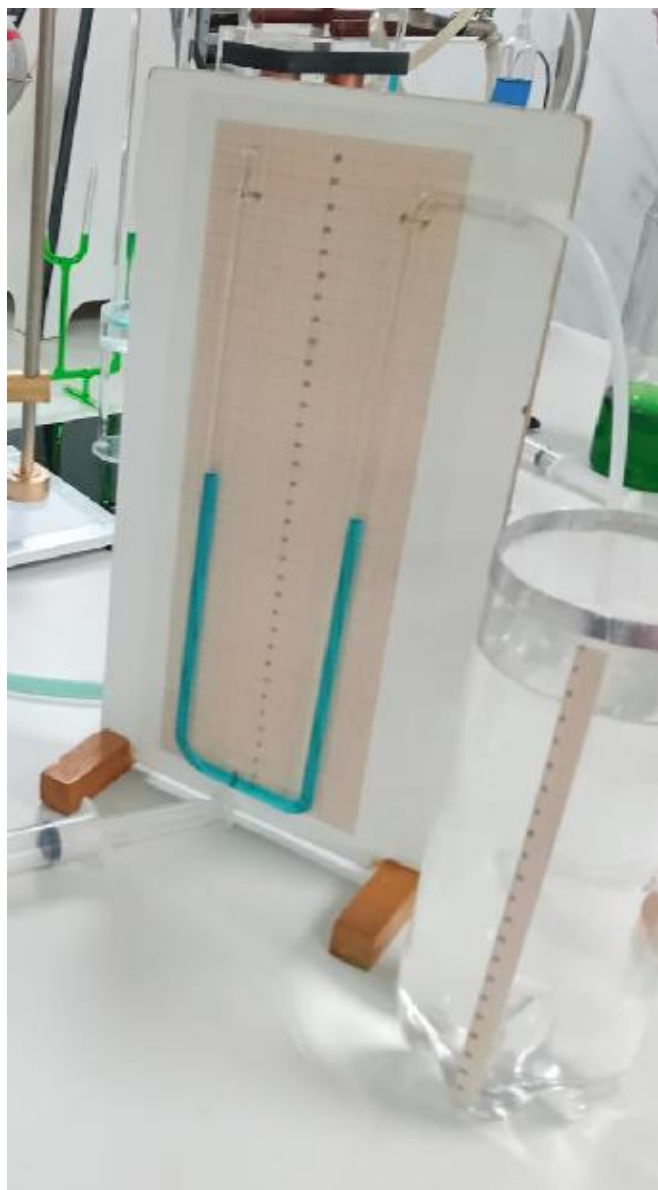
CRONOGRAMA TENTATIVO - FÍSICA II - CCM					
DATA	aula n°	Segundas (16h - 18h)	aula n°	Quartas (09h - 12h)	DATA
24/2	1	Apresentação do curso	2	Projeto - Definição	26/2
3/3	Feriado	Carnaval	Feriado	Carnaval	5/3
10/3	3	Revisão matemática	4	Projeto - Ideação	12/3
17/3	5	DEMO 1 - Pressão	6	Estática dos Fluidos	19/3
24/3	7	DEMO 2 - Hidrodinâmica	8	Hidrodinâmica	26/3
31/3	9	DEMO 3 - Hidrodinâmica II	10	Hidrodinâmica	2/4
7/4	11	Revisão - P1	12	PROVA 1	9/4 ENTREGA 1
14/4	Feriado	Semana Santa	Feriado	Semana Santa	16/4
21/4	Feriado	Tiradentes	13	Oscilações I	23/4
28/4	14	DEMO 4 - Corda vibrante / Molas / Ondulatória	15	Oscilações II	30/4
5/5	16	Ondas	17	Ondas	7/5
12/5	18	DEMO 5 - Barulhinho bom	19	Som	14/5
19/5	20	Revisão - P2	21	PROVA 2	21/5 ENTREGA 2
26/5	22	DEMO 6 - Fenômenos Térmicos e Gases	23	Primeira Lei e Gases	28/5
2/6	24	DEMO 7 - Máquinas térmicas	25	Segunda Lei	4/6
9/6	26	DEMO 8 - Cinética & Mecânica Estatística	27	Cinética dos Gases e Mecânica Estatística	11/6
16/6	Feriado	Corpus Christi	Feriado	Corpus Christi	18/6
23/6	28	Projeto	29	Apresentações	25/6 ENTREGA 3
30/6	30	PROVA SUB	31	VISTA	2/7

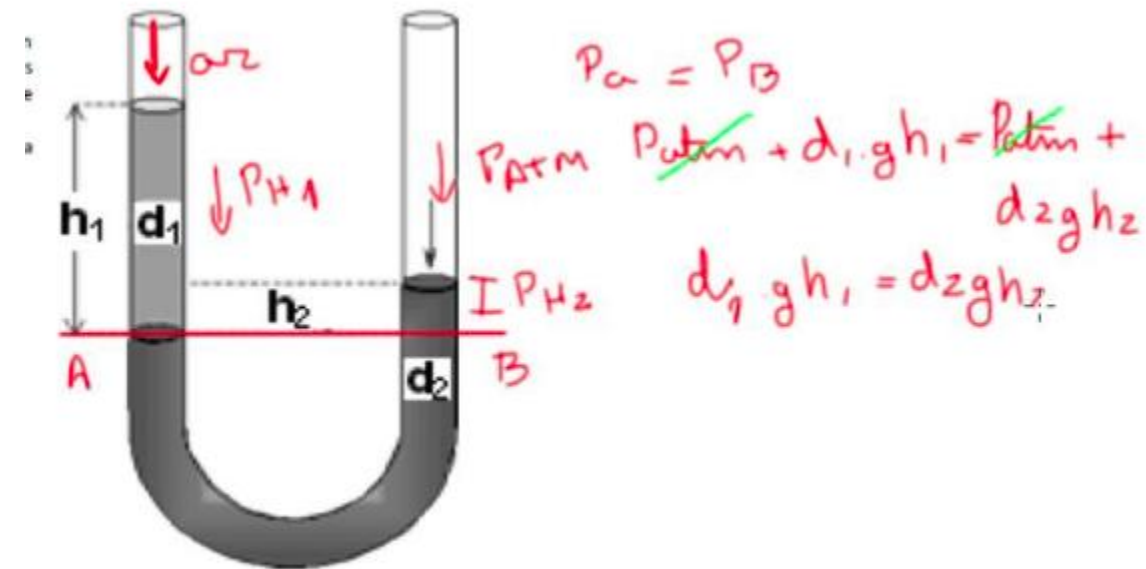
DEMONSTRAÇÕES – 17/03/2025



- Assumindo vácuo entre as duas placas, qual a força necessária para soltá-las ?



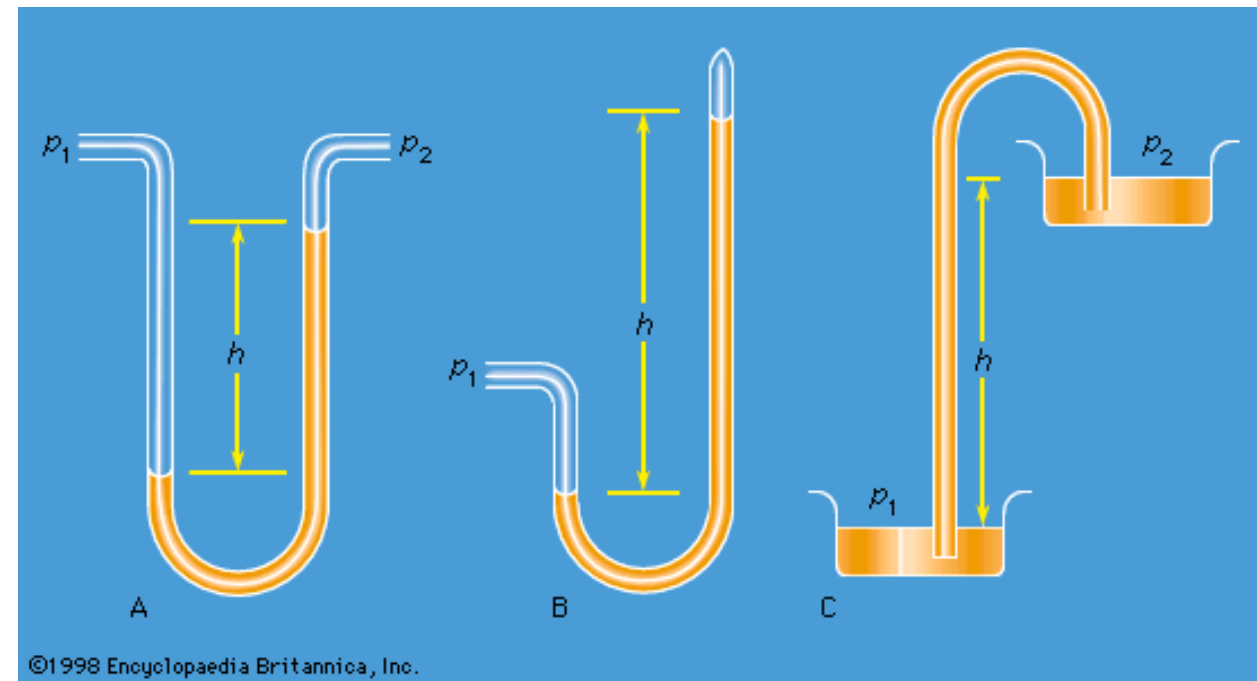




- Sabendo que o líquido verde é água, ou seja (densidade $\sim 966.5 \text{ kg/m}^3$), qual a densidade do líquido transparente ?

Objetivos de aprendizagem – Fluidos

- O que é um fluido
- O que é a densidade de um material e a densidade média de um corpo.
- O que é a pressão em um fluido e como é medida.
- Como calcular a força de empuxo exercida por um fluido sobre um corpo nele imerso.



FLUIDOS

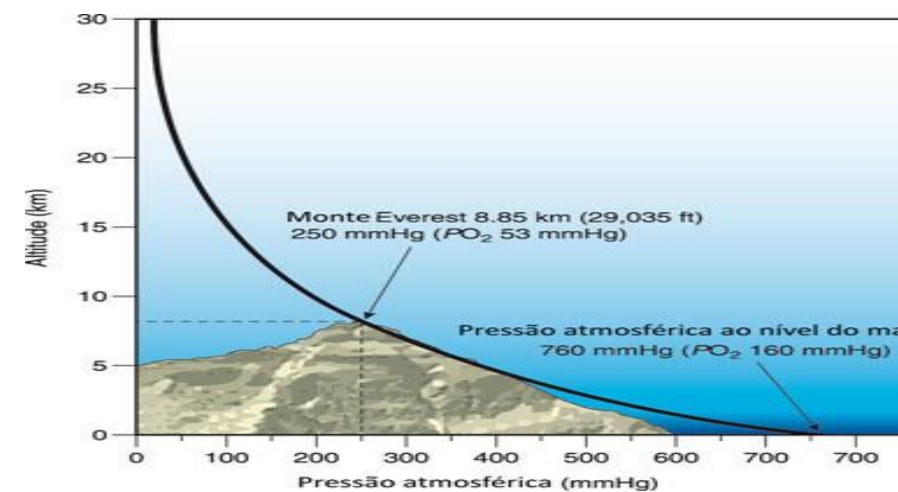
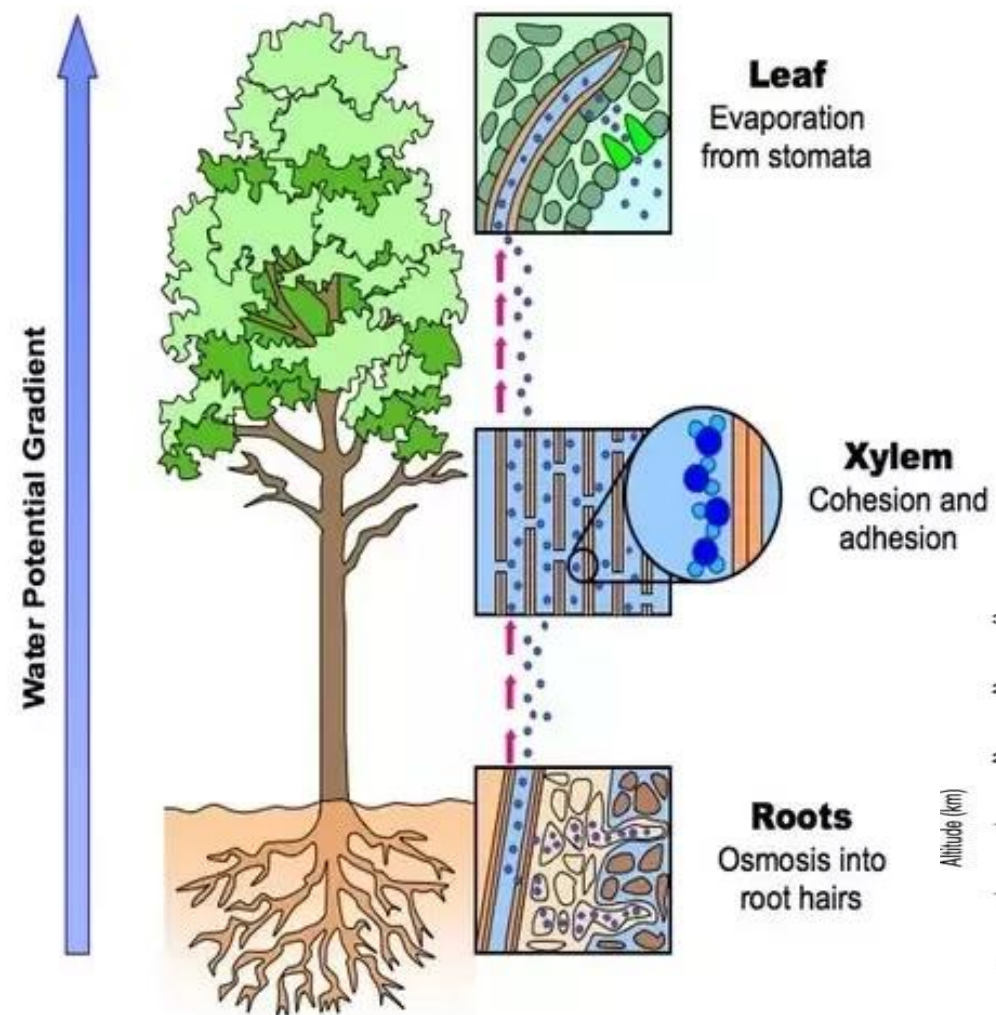
Fluidos – como surfar ?



Aplicações



Nimitz Class (100,000 toneladas)



Aplicações



Turbinas de vento



Aviões e aeronaves



Carros



Instalações industriais



Tubulações e encanamentos



Corpo humano

O que é um fluido ?

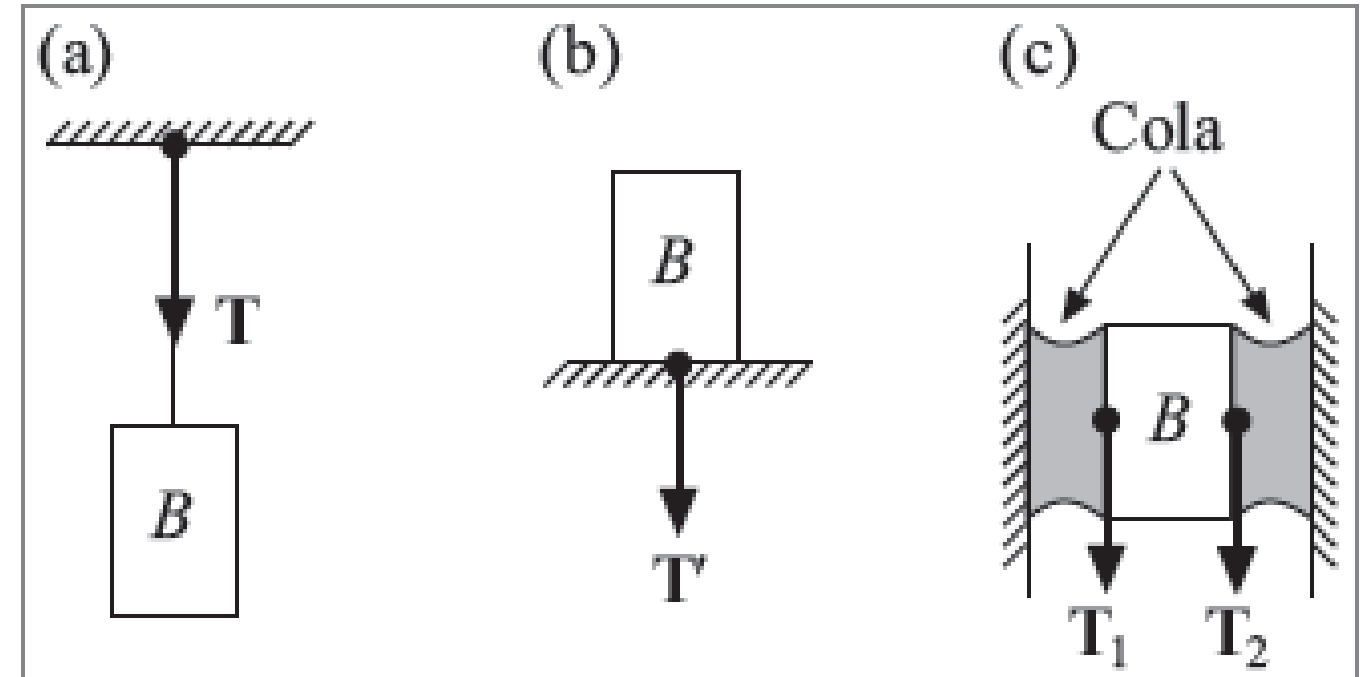
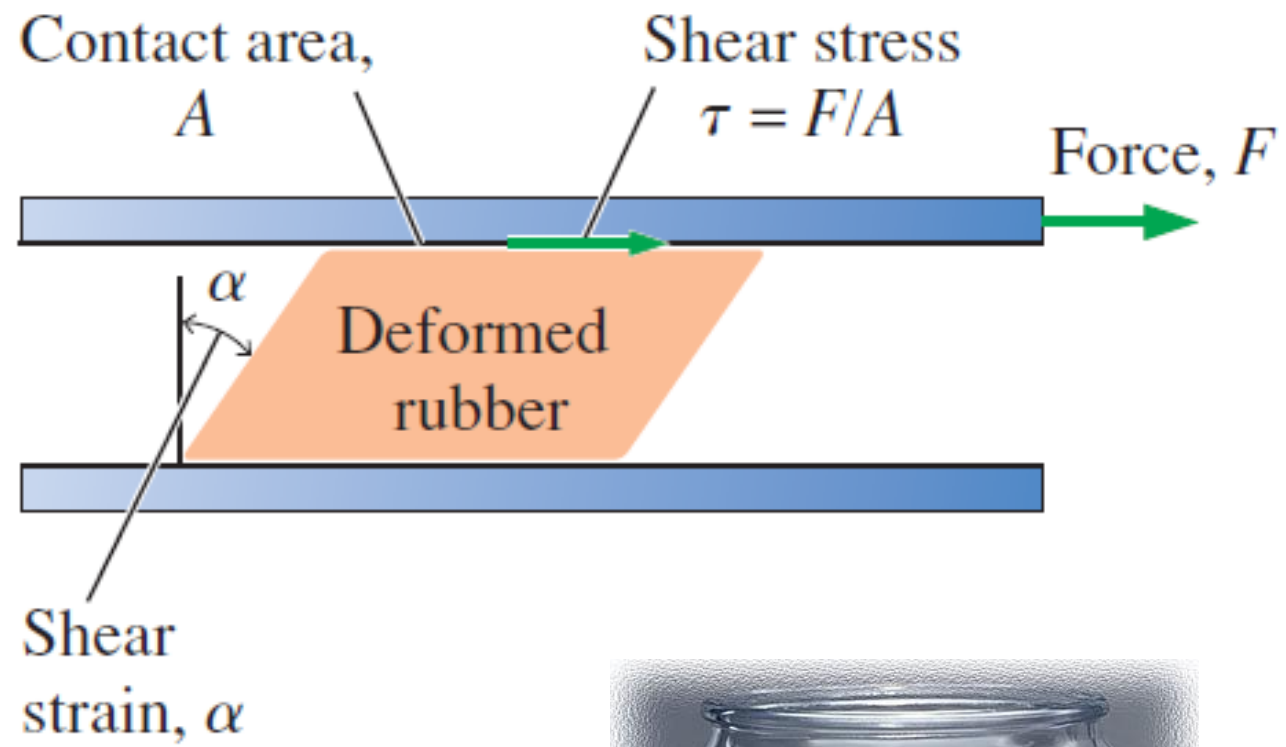
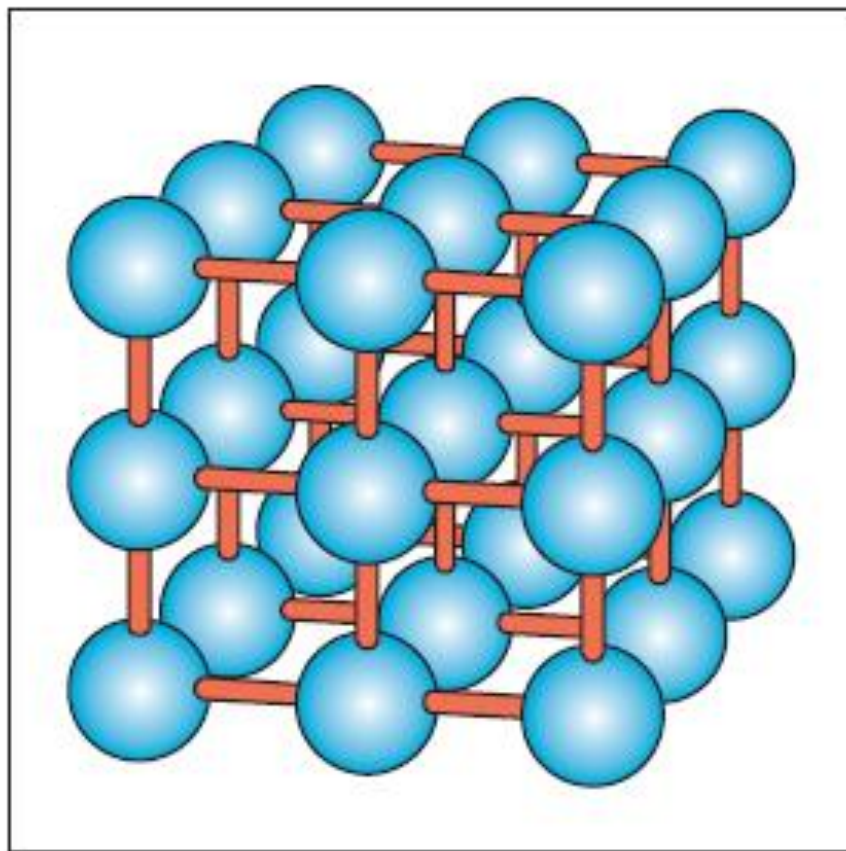
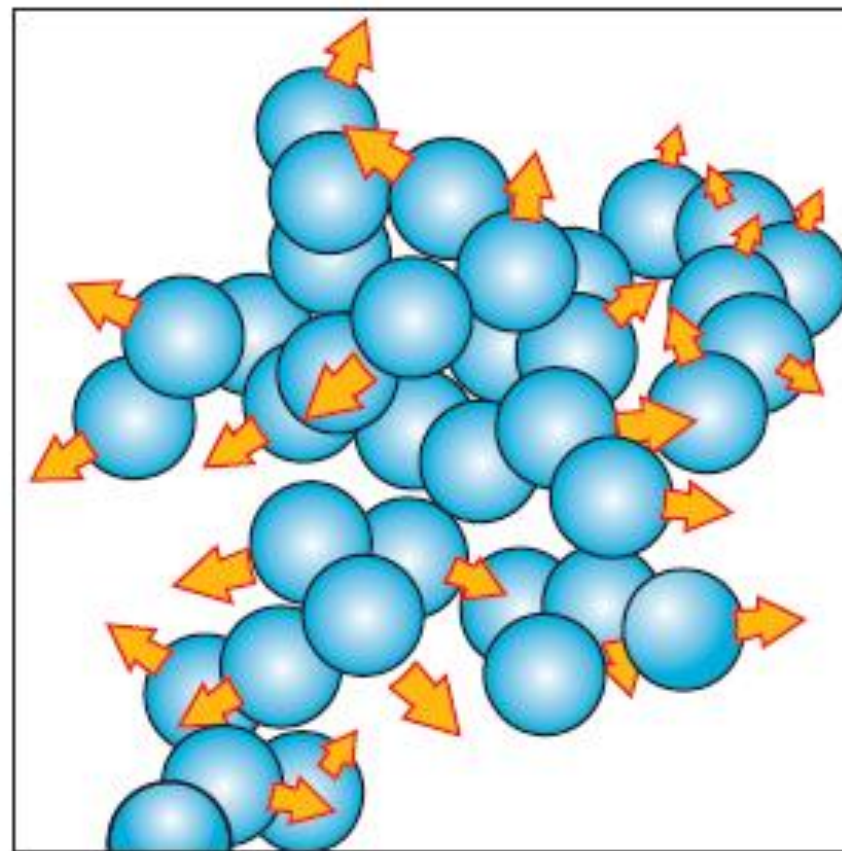


Figura 1.1 Tensões normais e tangenciais.

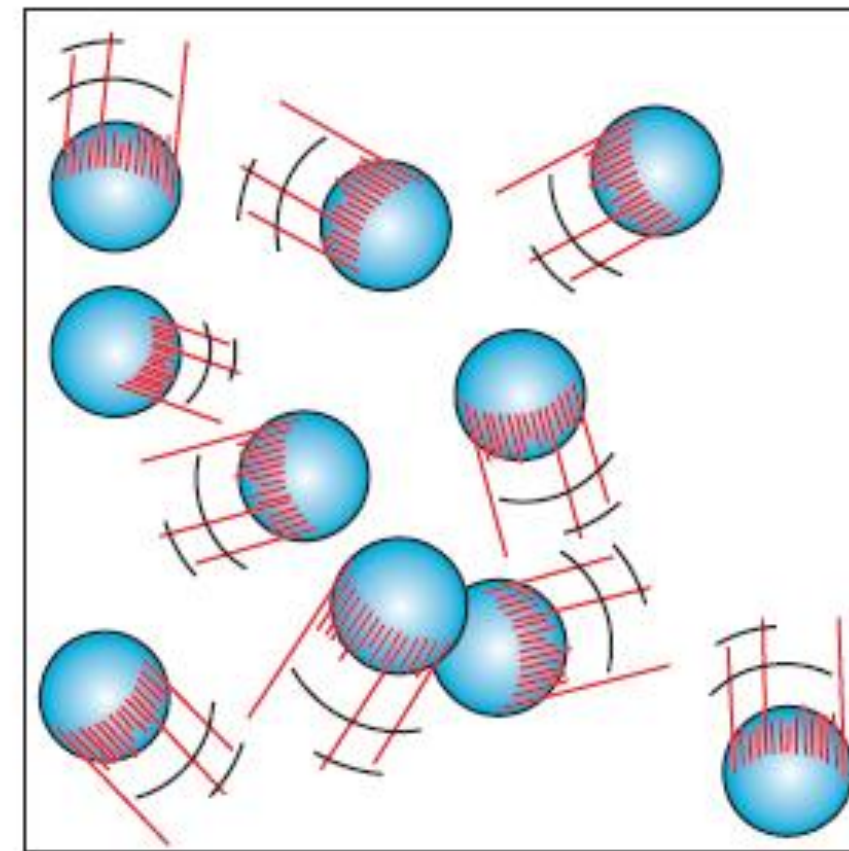
Visão molecular



(a)



(b)

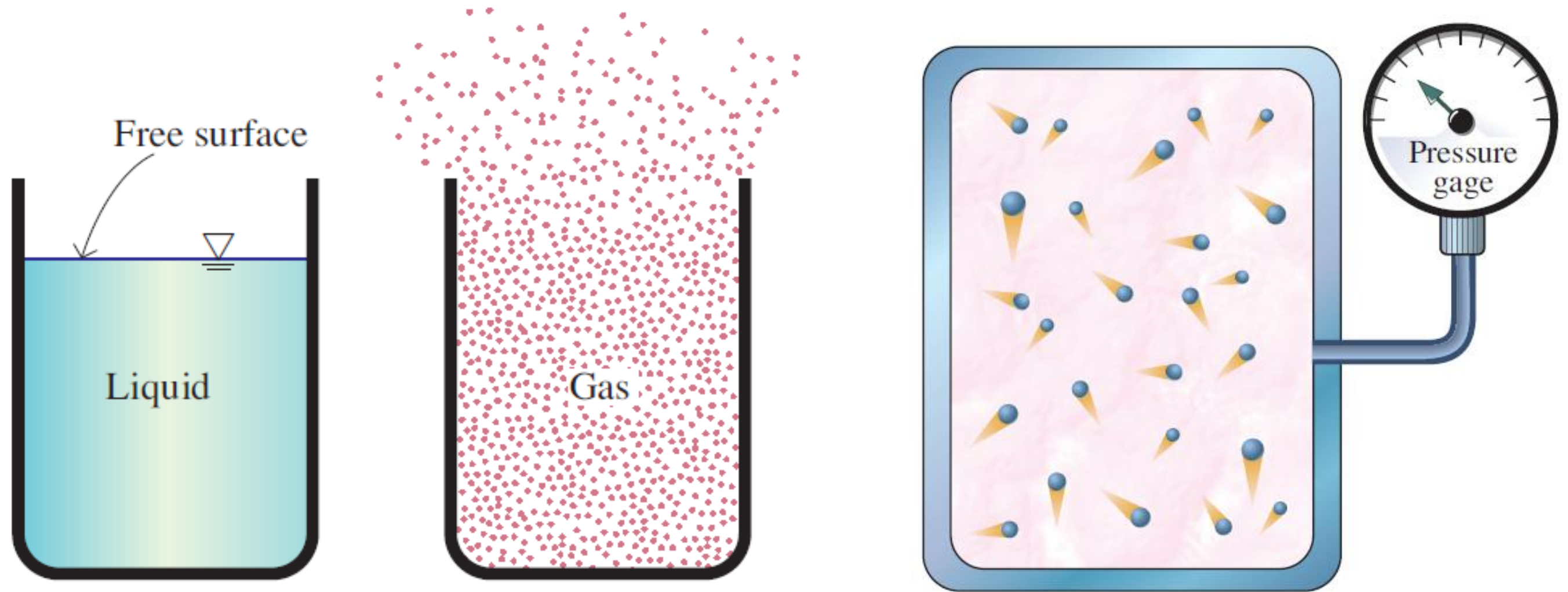


(c)

O que é um Fluido

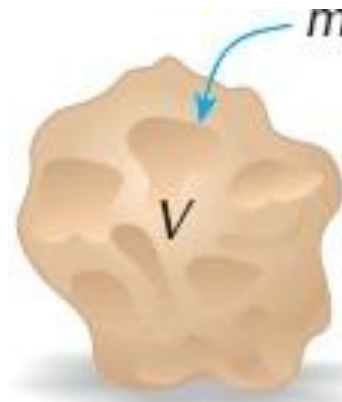
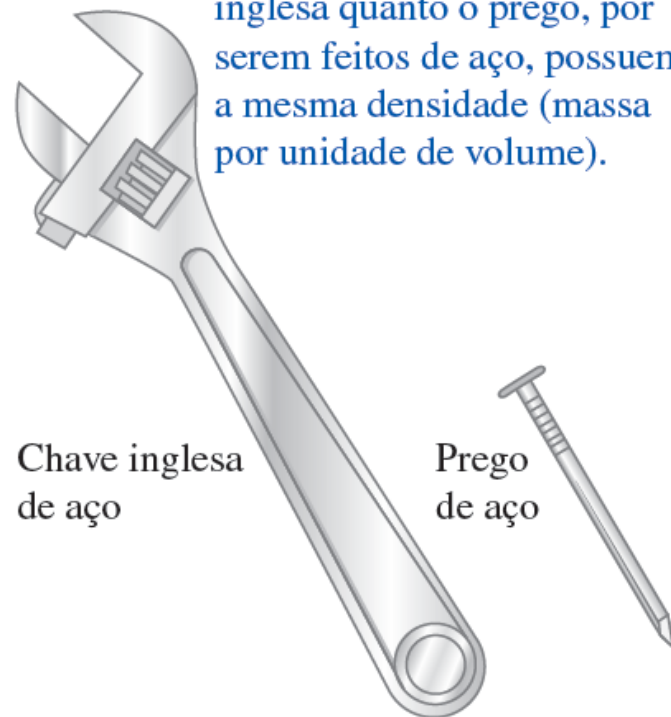
- *Um fluido é uma substância que pode escoar, assumindo a forma do recipiente em que são colocados. Ex: Líquidos e gases*
 - *O fluido é uma substância que escoar porque não resistem as forças paralelas à sua superfície, isto é, não resistem a tensões de cisalhamento.*
 - *Muitos fluídos, como é o caso dos líquidos, resistem a tensões compressivas.*
-

Líquido, vapor e gás ...



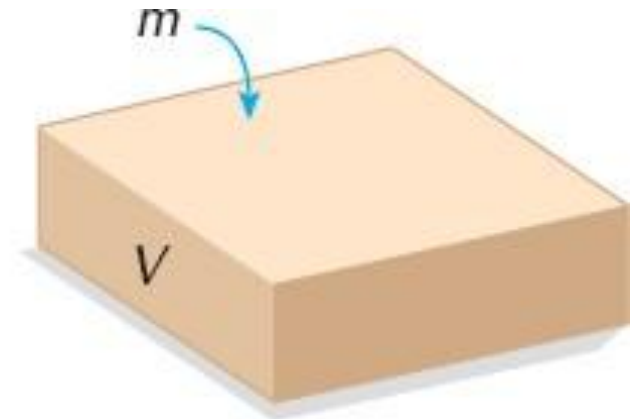
Propriedades físicas

Massas diferentes, mesma densidade: tanto a chave inglesa quanto o prego, por serem feitos de aço, possuem a mesma densidade (massa por unidade de volume).



$$\mu = \frac{m}{V}$$

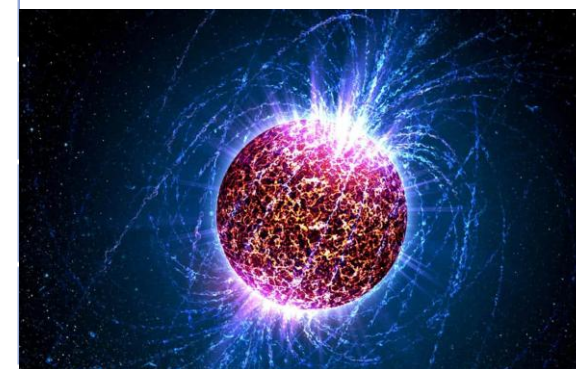
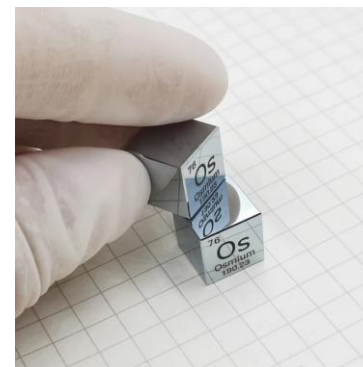
$$d = \frac{m}{V}$$



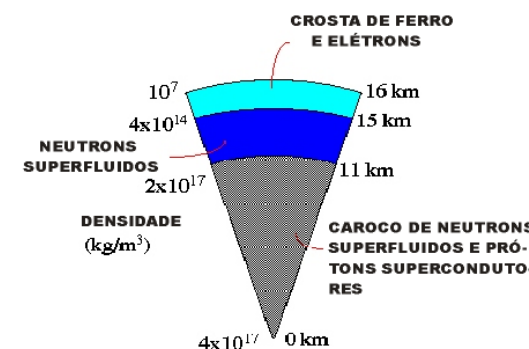
Se o corpo é maciço e homogêneo, a sua **densidade** (d) coincide com a **massa específica** (μ) do material que o constitui.

Valores típicos

Material	Densidade (kg/m ³)*	Material	Densidade (kg/m ³)*
Ar (1 atm, 20 °C)	1,20	Ferro, aço	$7,8 \times 10^3$
Etanol	$0,81 \times 10^3$	Bronze	$8,6 \times 10^3$
Benzeno	$0,90 \times 10^3$	Cobre	$8,9 \times 10^3$
Gelo	$0,92 \times 10^3$	Prata	$10,5 \times 10^3$
Água	$1,00 \times 10^3$	Chumbo	$11,3 \times 10^3$
Água do mar	$1,03 \times 10^3$	Mercúrio	$13,6 \times 10^3$
Sangue	$1,06 \times 10^3$	Ouro	$19,3 \times 10^3$
Glicerina	$1,26 \times 10^3$	Platina	$21,4 \times 10^3$
Concreto	2×10^3	Estrela anã branca	10^{10}
Alumínio	$2,7 \times 10^3$	Estrela de nêutrons	10^{18}



INTERIOR DE UMA ESTRELA DE NEUTRONS



Problema 1 - Peso do ar no interior da sala da T34 ?

Ache a massa e o peso do ar no interior desta sala.

Quais seriam a massa e o peso de um volume igual de água ?

Pressão

$$P = \frac{\text{força}}{\text{área}} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

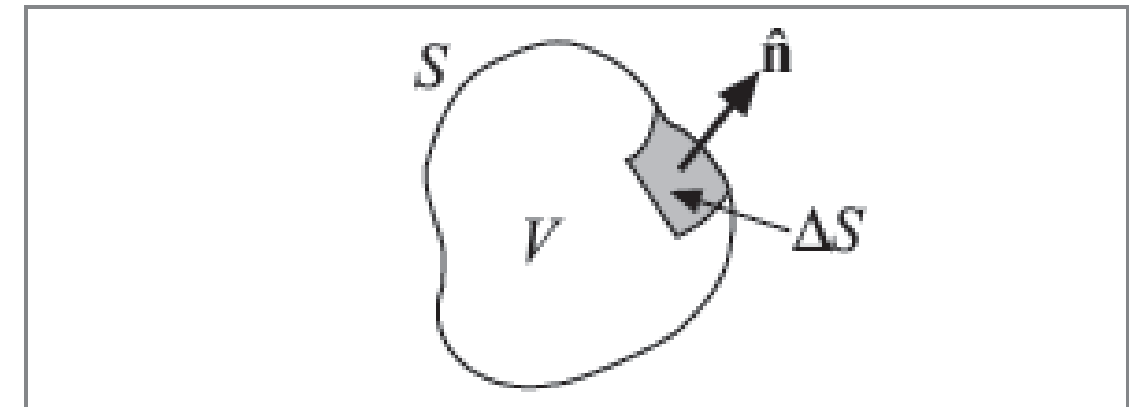
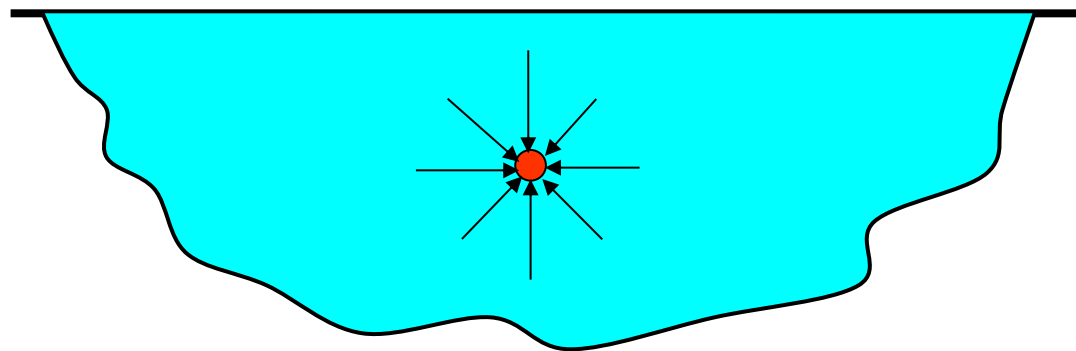
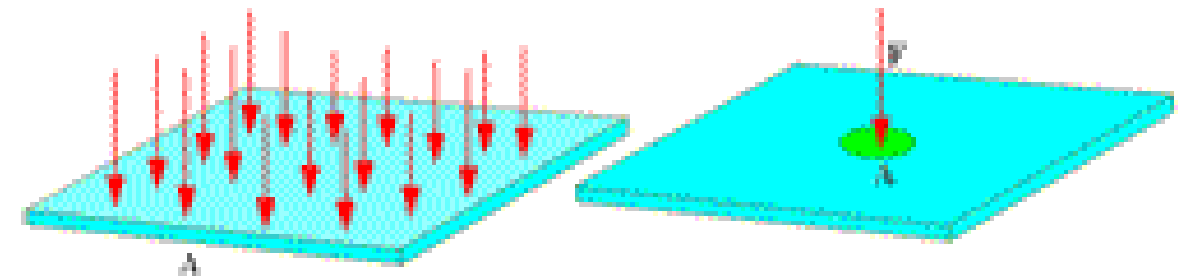


Figura 1.3 Normal externa.



Pressão em um ponto em um fluido

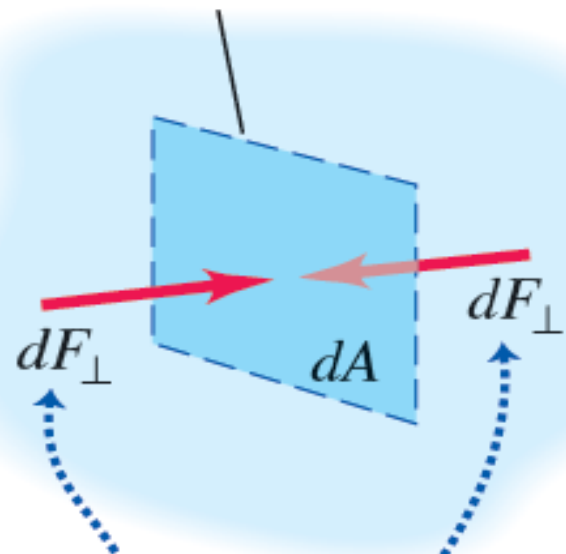
$$P = \frac{dF_{\perp}}{dA}$$

Força normal exercida pelo fluido sobre uma pequena superfície nesse ponto

Área de superfície

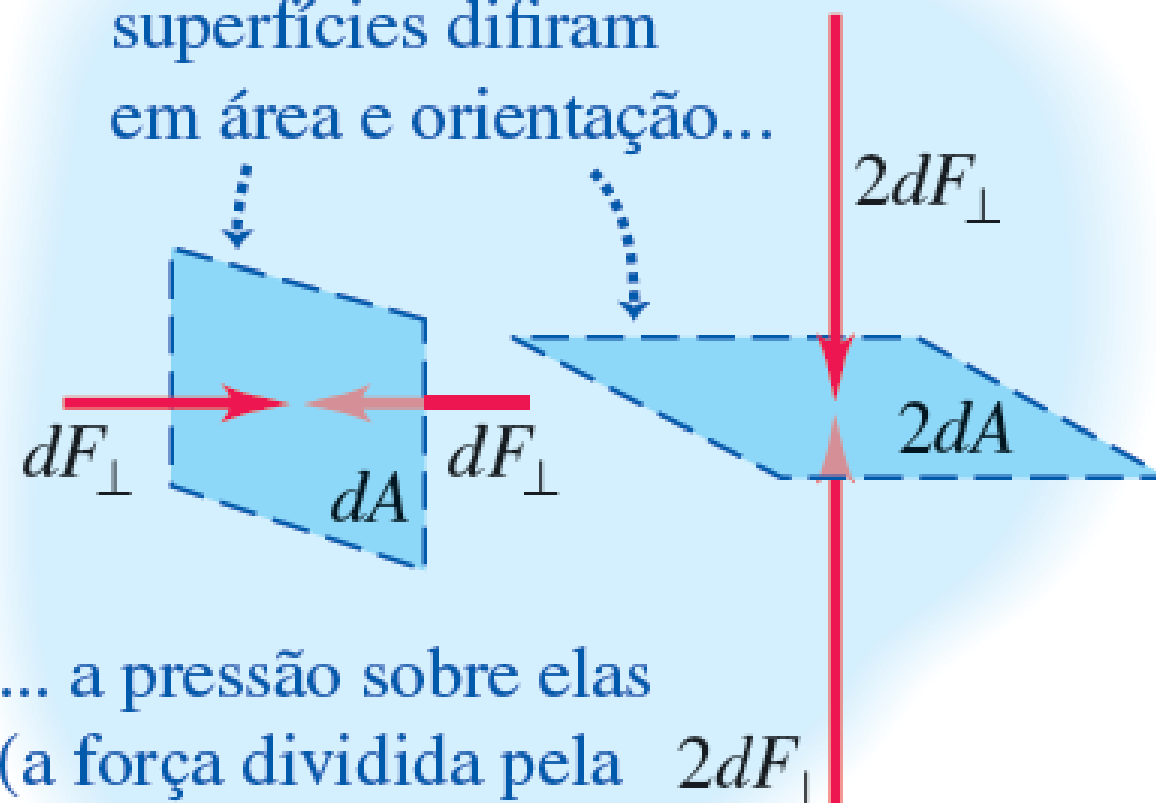
Fluidos em repouso

Uma pequena superfície de área dA no interior de um fluido em repouso

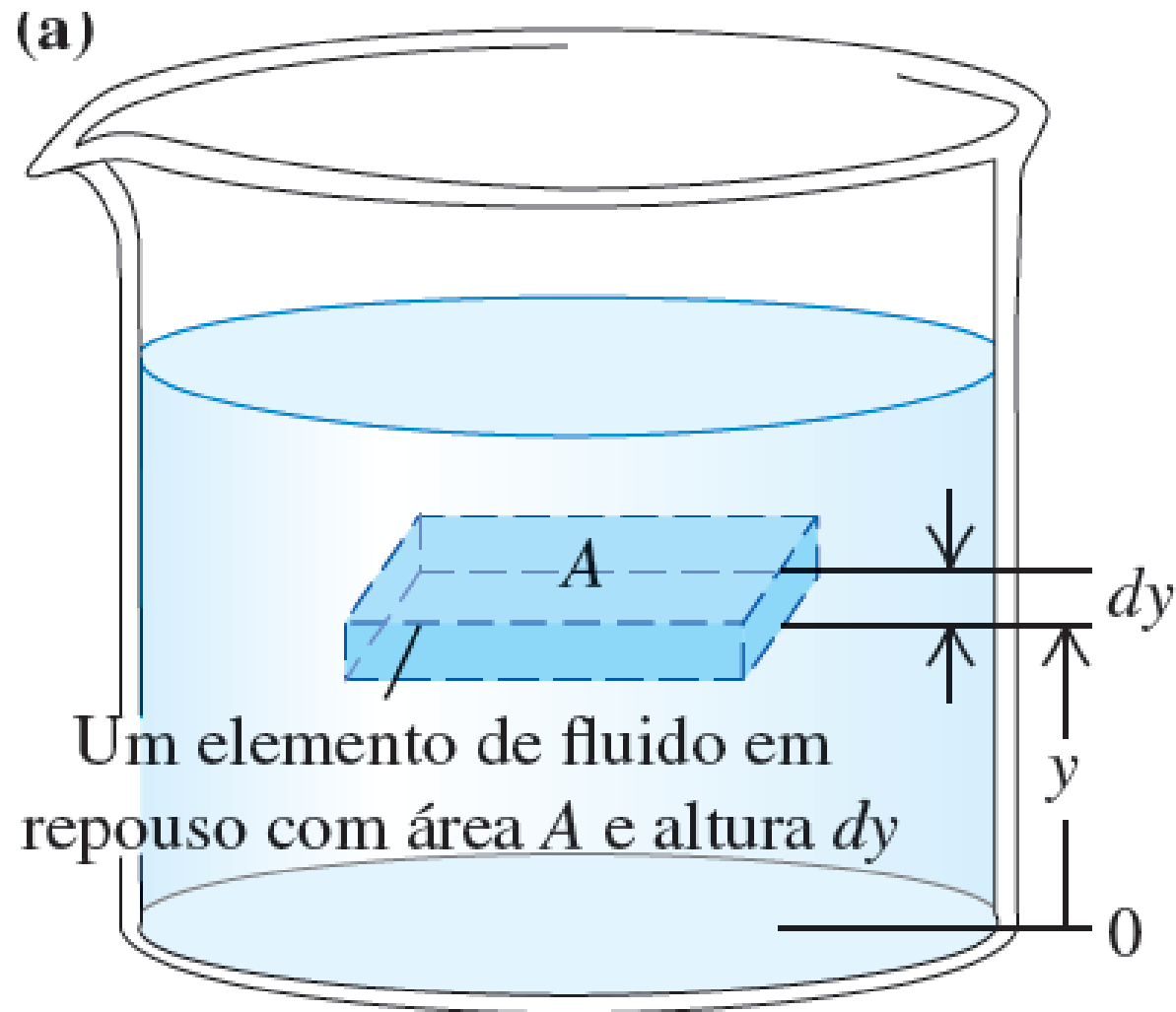


A superfície não acelera, então o fluido circundante exerce forças normais iguais em ambos os lados da superfície.
(O fluido não pode exercer qualquer força paralela à superfície, já que isso faria com que a superfície acelerasse.)

Embora essas duas superfícies difiram em área e orientação...



... a pressão sobre elas (a força dividida pela área) é a mesma (e é escalar).



Força decorrente da aressão $P + dP$ sobre a superfície superior:
 $(P + dP)A$

As forças sobre os quatro lados do elemento se anulam.

dy

Peso do elemento de fluido

dP

PA

Força decorrente da pressão P sobre a superfície inferior

Como o fluido está em equilíbrio, a soma vetorial das forças verticais sobre o elemento de fluido deve ser igual a zero:
 $PA - (P + dP)A - dP = 0.$

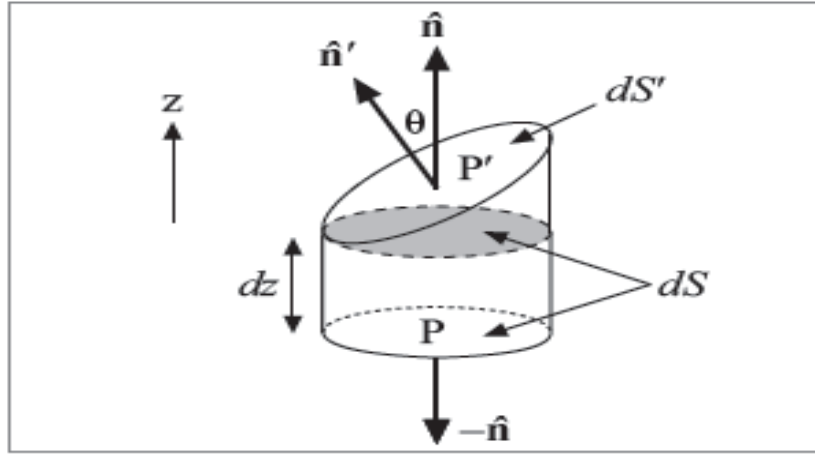


Figura 1.5 Equilíbrio de um cilindro de fluido.

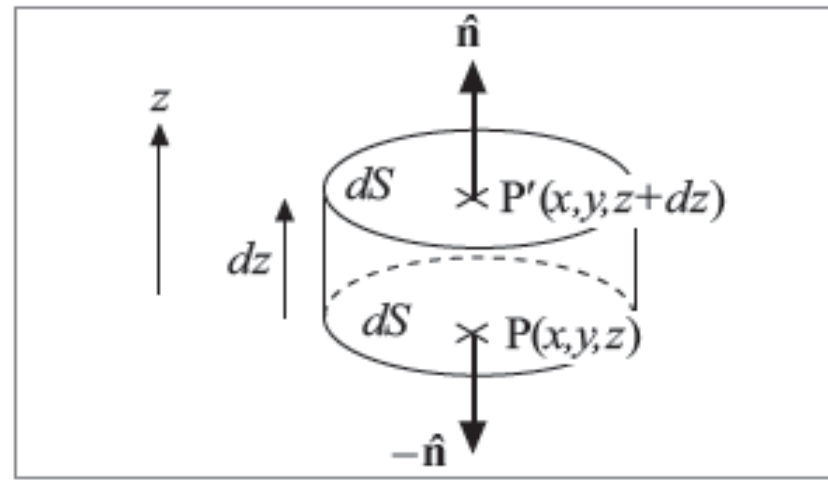
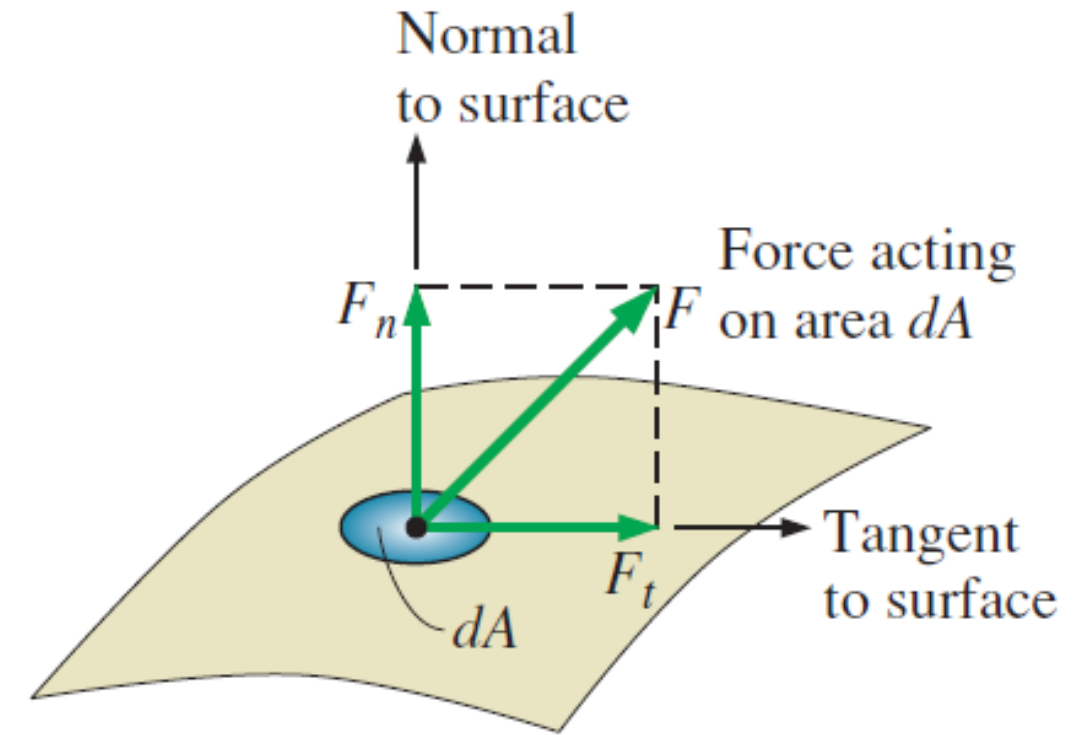
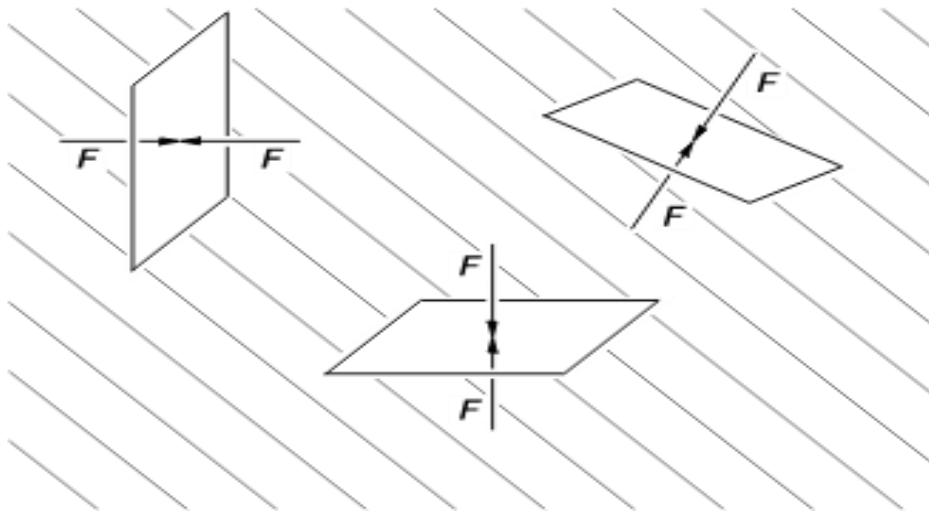


Figura 1.6 Equilíbrio de um cilindro.



$$\text{Normal stress: } \sigma = \frac{F_n}{dA}$$

$$\text{Shear stress: } \tau = \frac{F_t}{dA}$$

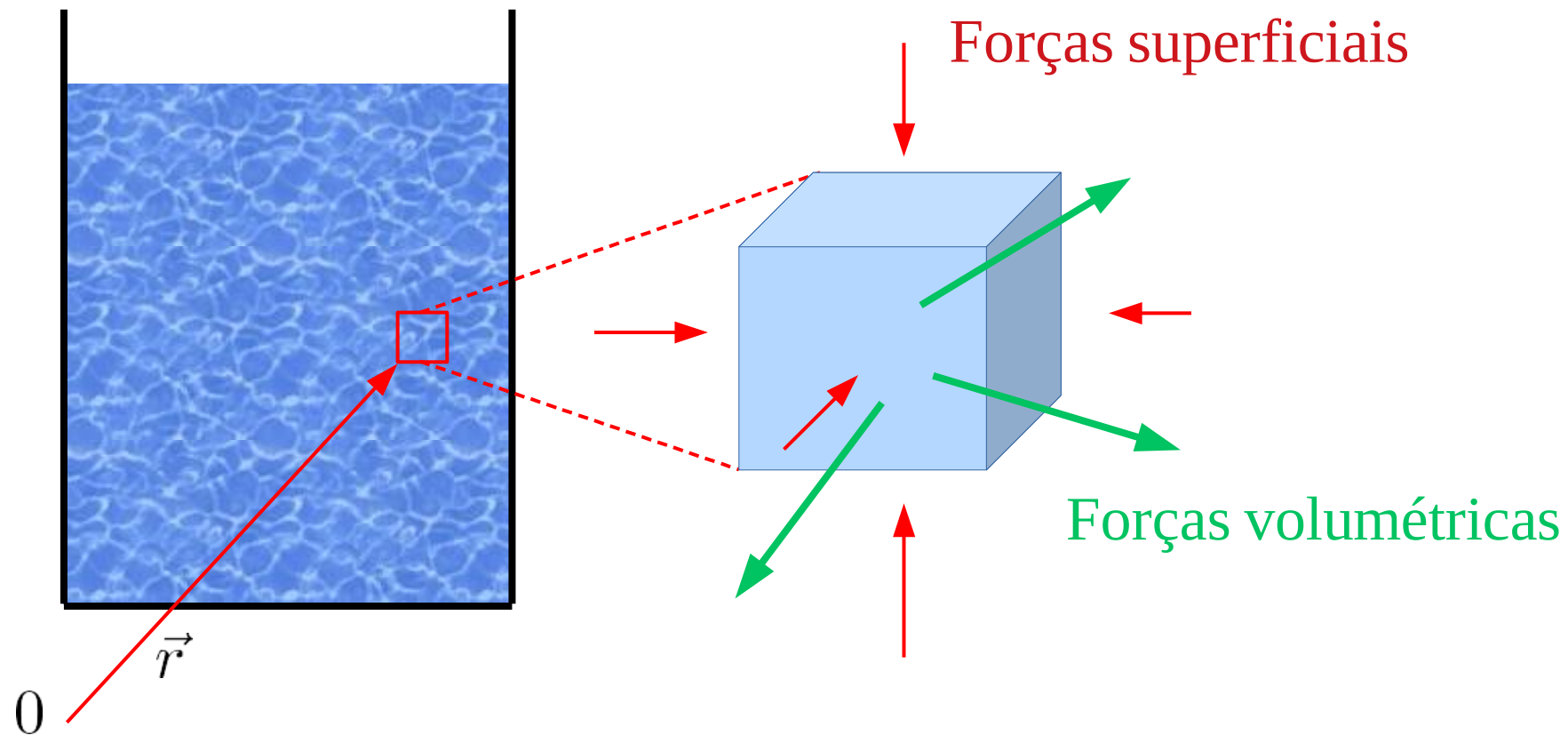


Forças em fluidos sob equilíbrio estático

Quais são as forças sobre um elemento infinitesimal do fluido?

Como qualquer sistema de partículas, são as forças internas e as forças externas.

Por se tratar de um fluido, as forças internas são as forças normais às superfícies. Essas forças são ditas superficiais ou hidrostáticas.



As forças externas são genéricas. Elas atuam em todo o volume do elemento de fluido. Por isso são ditas volumétricas.

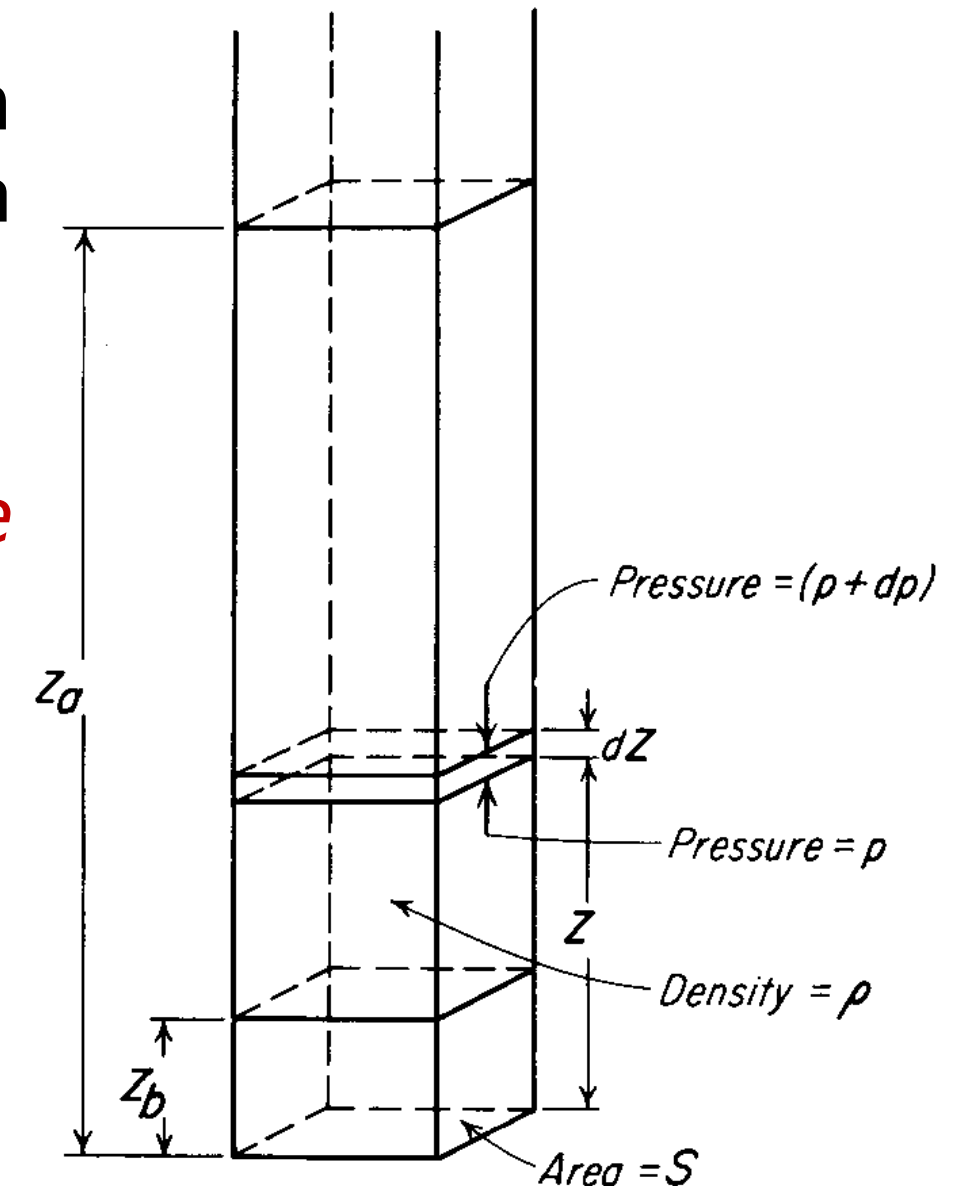
Como o elemento de fluido está em equilíbrio estático, então pela 2ª lei de Newton

$$\vec{F}_R^{(V)} + \vec{F}_R^{(S)} = \vec{0}$$

Distribuição de pressão para um fluido em repouso

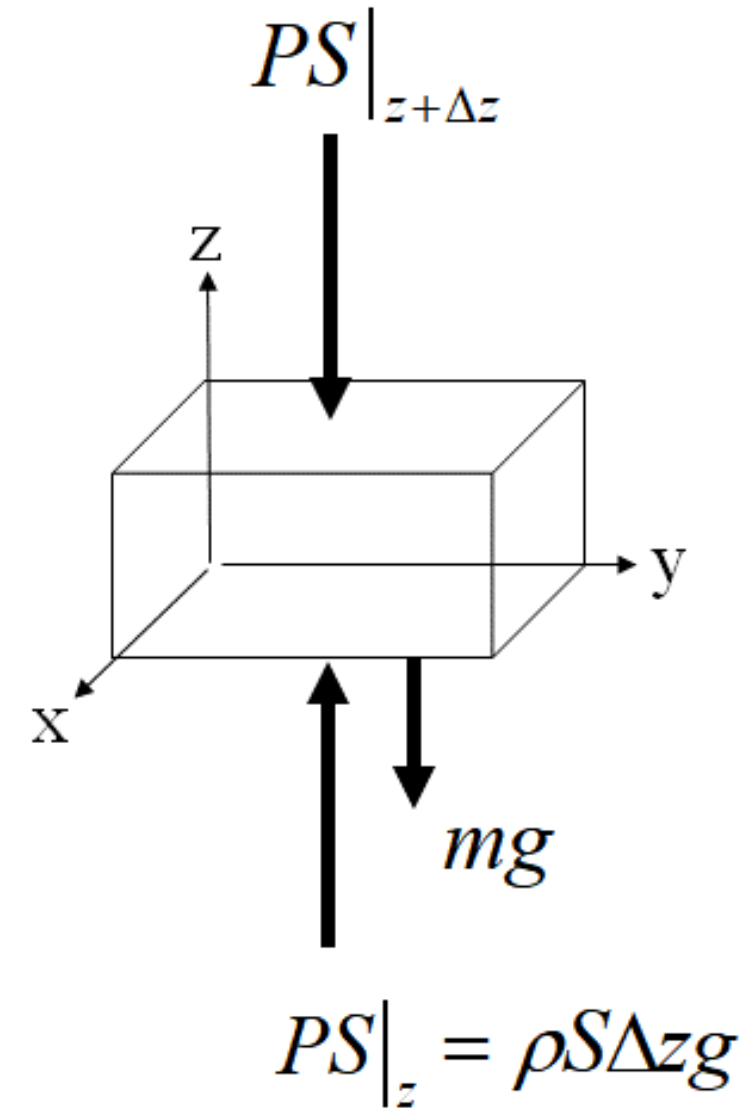
Vamos determinar a distribuição de pressão em um fluido em repouso no qual a única força corporal atuante é devida à gravidade:

"A soma das forças que atuam no fluido deve ser igual a zero"



Quais são as forças na direção z ?

Seja P_z e $P_{z+\Delta z}$, as pressões na base e no topo do cubo, onde as alturas são z e $z+\Delta z$ respectivamente.



Distribuição de pressão para um fluido em repouso

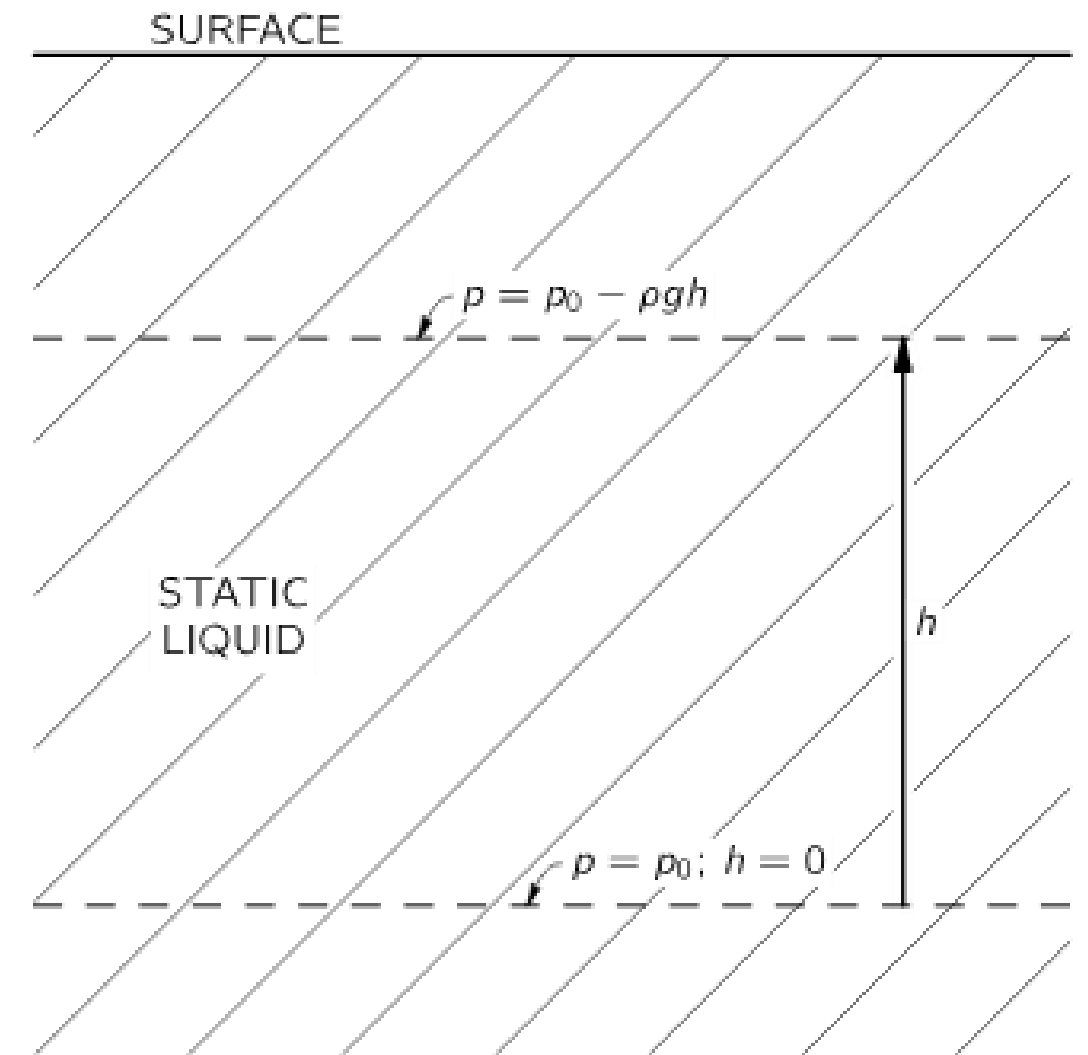
O equilíbrio de forças na direção z dá:

$$\sum F_z = 0 = PS|_z - PS|_{z+\Delta z} - \rho S \Delta z g$$

$$\frac{P_{z+\Delta z} - P_z}{\Delta z} = -\rho g$$

Para um elemento infinitesimal ($\Delta z \rightarrow 0$)

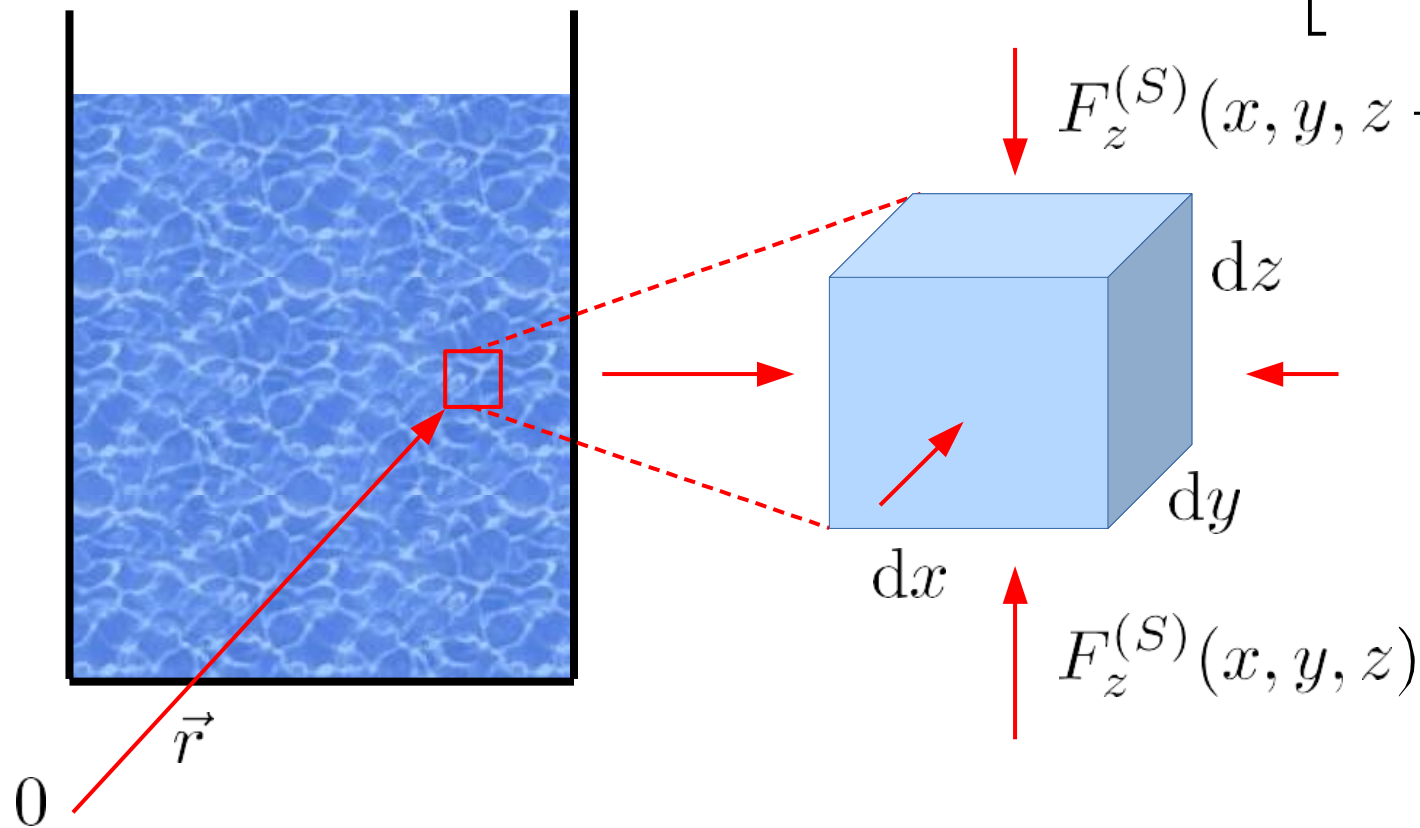
$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$



Forças num fluido em equilíbrio estático

Força hidrostática (superficial) resultante no eixo z:

$$\begin{aligned} F_z^{(S)}(x, y, z) - F_z^{(S)}(x, y, z + dz) &= P(x, y, z) dx dy - P(x, y, z + dz) dx dy \\ &= \left[\frac{P(x, y, z) - P(x, y, z + dz)}{dz} \right] dx dy dz \equiv - \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right) dV \end{aligned}$$



Força hidrostática (superficial) resultante:

$$\vec{F}_R^{(S)} = - \left(\frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y}, \frac{\partial P}{\partial z} \right) dV \equiv - (\nabla P) dV$$

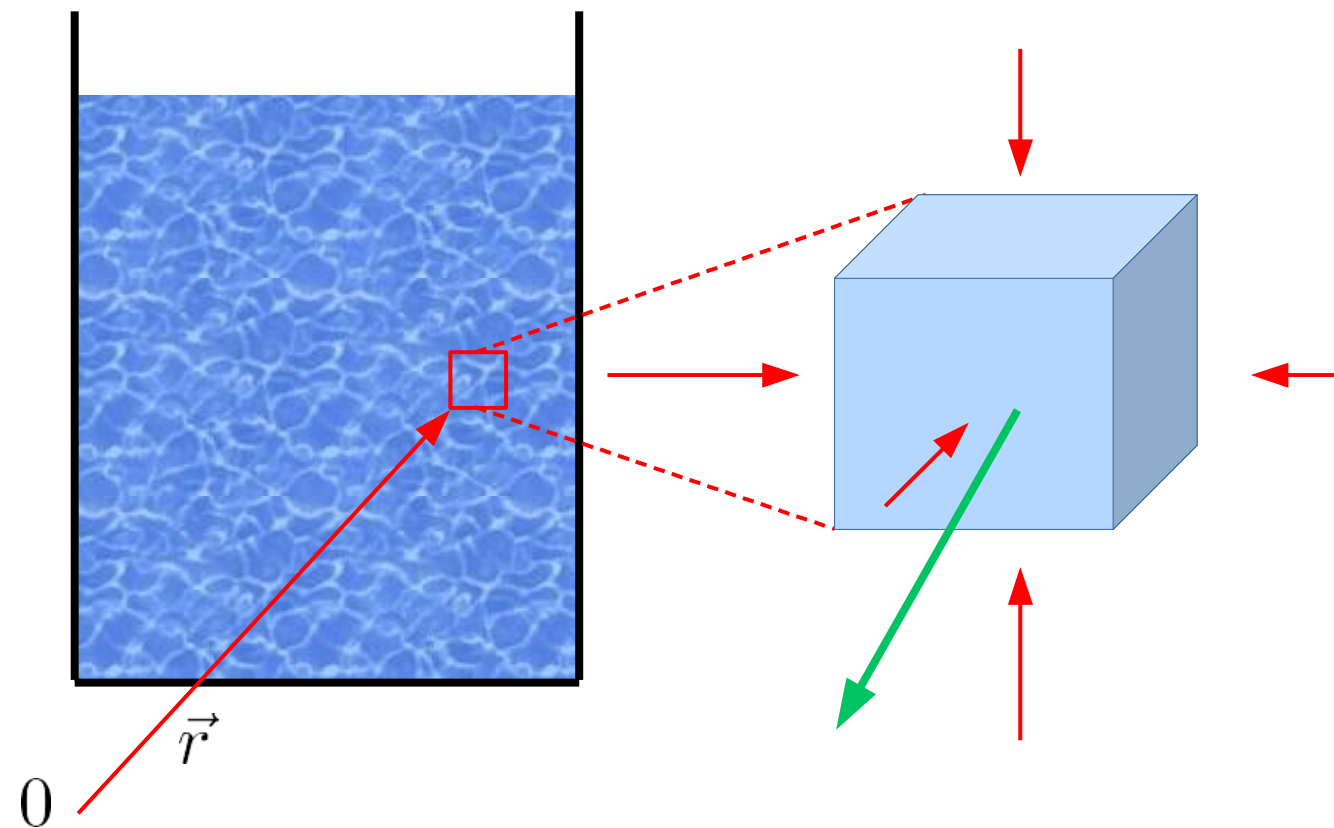
A força hidrostática resultante aponta na direção contrária à direção de crescimento da pressão.

Forças num fluido em equilíbrio estático

Força resultante sobre o elemento de fluido:

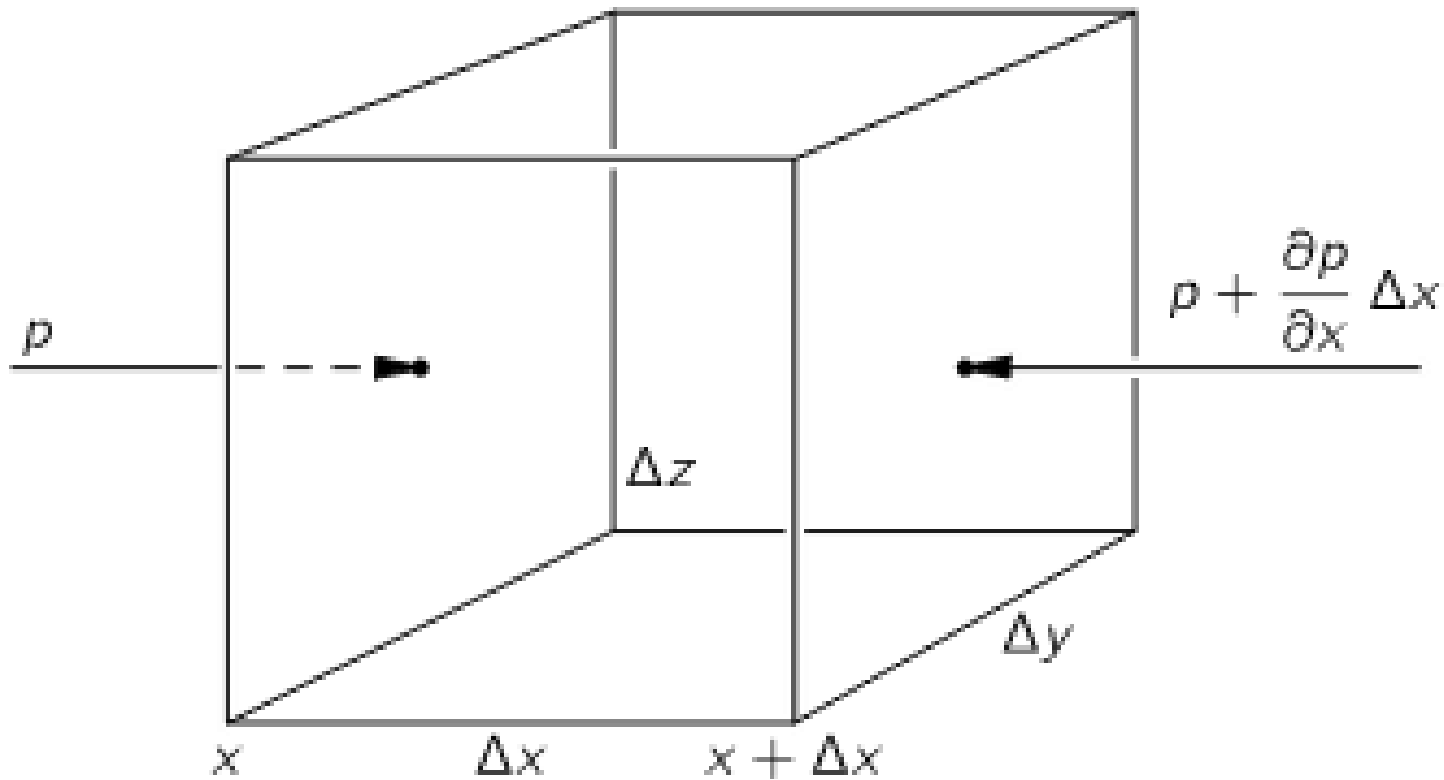
$$\vec{0} = \vec{F}_R^{(V)} + \vec{F}_R^{(S)} = \vec{F}_R^{(\text{ext})} - (\nabla P) dV = \left[\vec{f}_R^{(\text{ext})} - \nabla P \right] dV$$

Densidade de força externa resultante



Para fluidos em equilíbrio estático, o gradiente de pressão é

$$\nabla P = \vec{f}_R^{(\text{ext})}$$



Suppose that the pressure is varying in the x -direction—and we take the coordinate directions parallel to the cube edges. The pressure on the face at x gives the force $p \Delta y \Delta z$ (Fig. 4Q-3), and the pressure on the face at $x + \Delta x$ gives the force $-[p + (\partial p / \partial x) \Delta x] \Delta y \Delta z$, so that the resultant force is $-(\partial p / \partial x) \Delta x \Delta y \Delta z$. If we take the remaining pairs of faces of the cube, we easily see that the pressure force per unit volume is $-\nabla p$. If there are other forces in addition—such as gravity—then the pressure must balance them to give equilibrium.

The net pressure force on a cube is $-\nabla p$ per unit volume.

Fluido incompressível

Os líquidos são incompressíveis, ou seja, sua densidade é considerada constante:

$$P_2 - P_1 = -\rho g(z_2 - z_1)$$

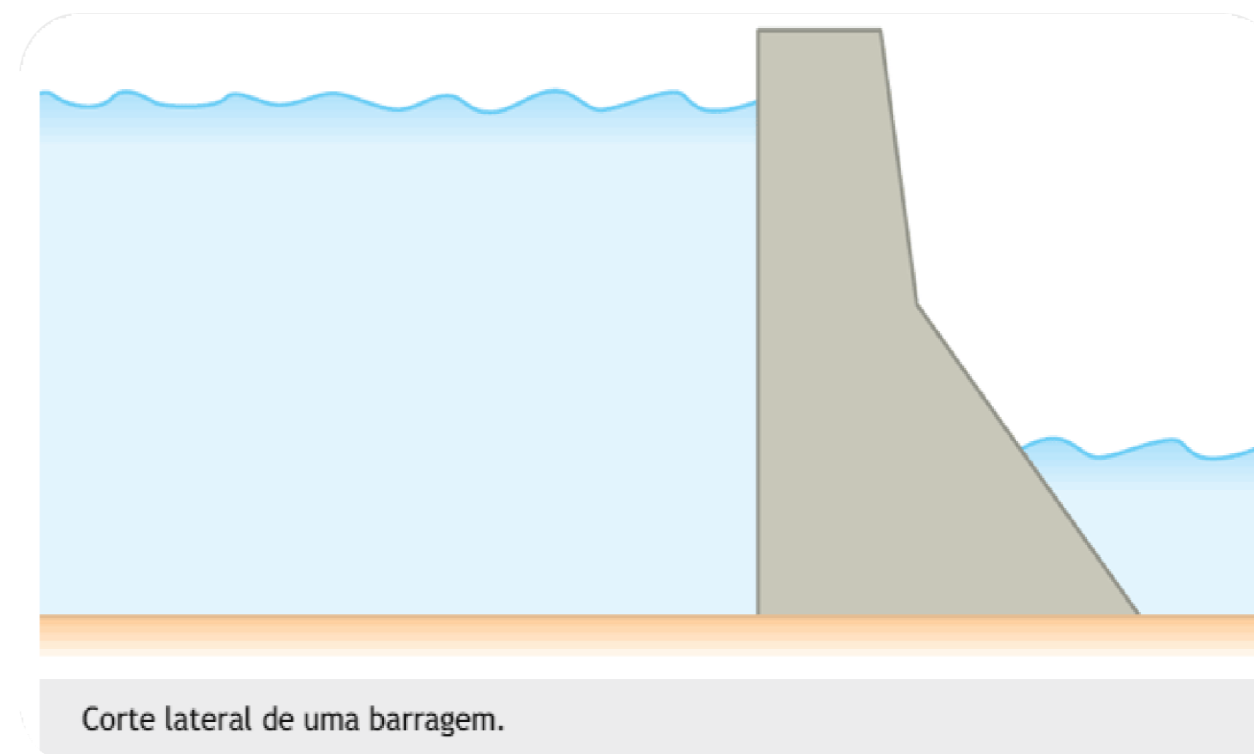
Quando temos um líquido com superfície livre, a pressão P em qualquer profundidade abaixo da superfície livre é:

$$P = \rho gh + P_o$$

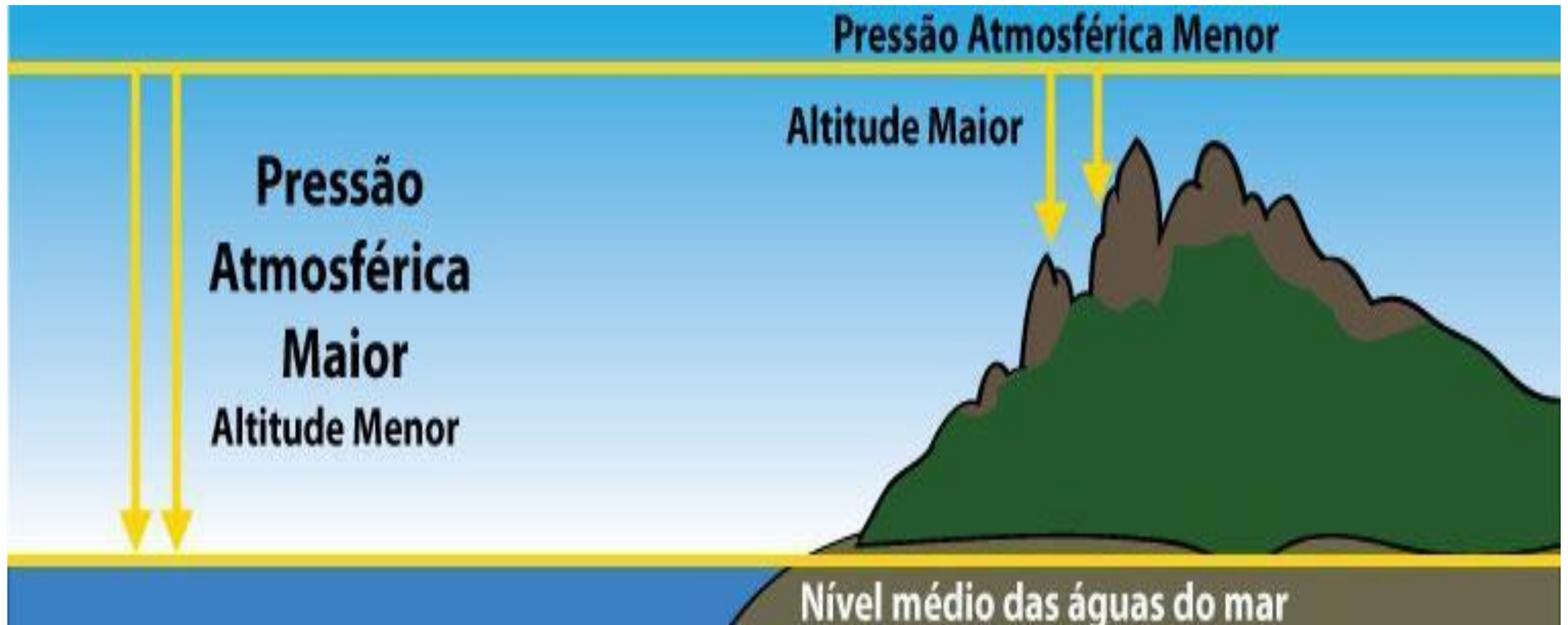
P_o é a pressão na superfície livre
($P_o = P_{\text{atm}}$)

Usando pressões manométricas, podemos simplesmente escrever:

$$P = \rho gh$$



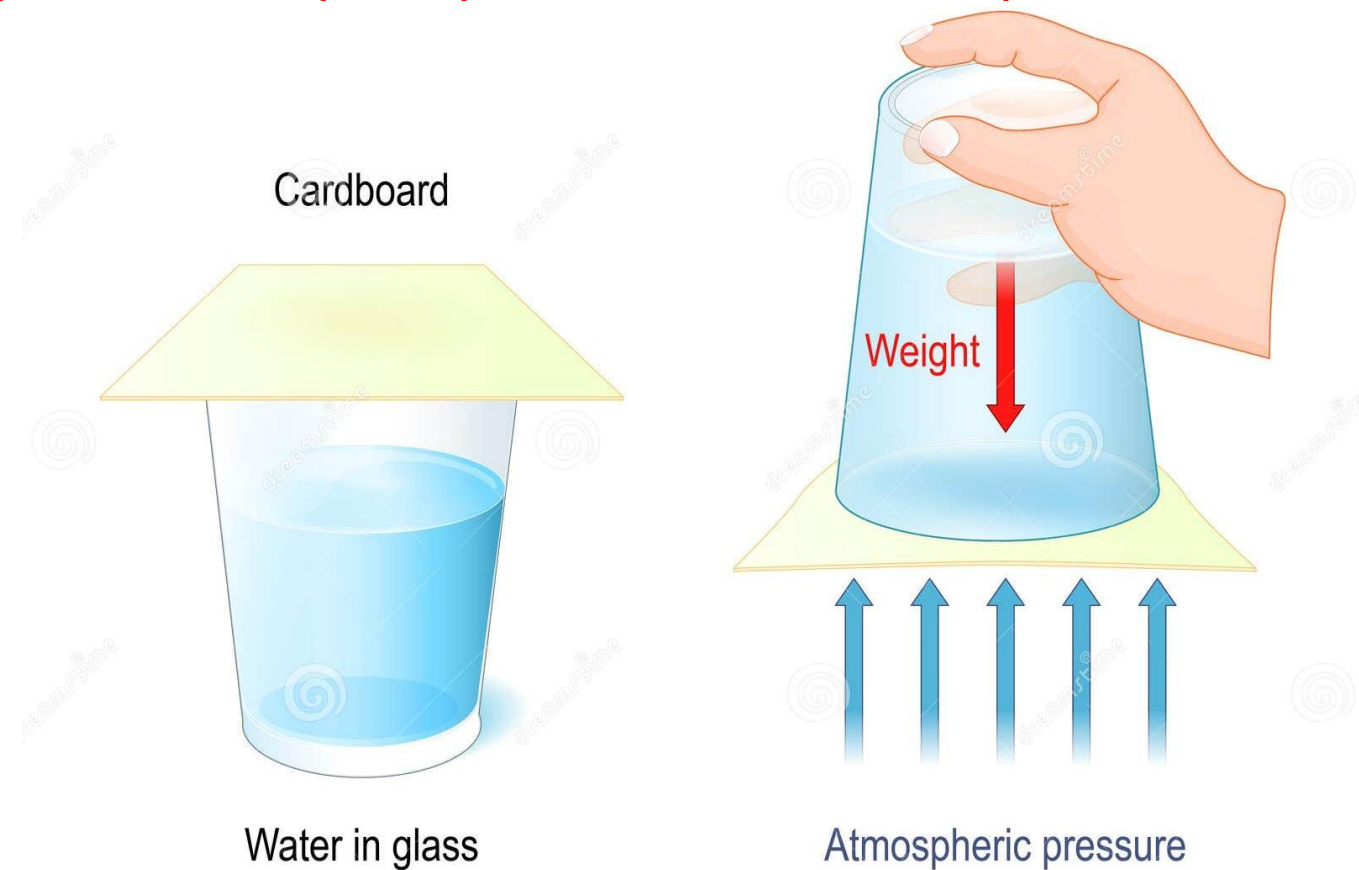
Pressão atmosférica e altitude



Demo - Copo



A água que enche completamente o copo, não cai, pois a pressão atmosférica que age na parte inferior do papel é maior que a pressão da coluna líquida.



Lei de Stevin



A pressão em um ponto do fluído em equilíbrio estático depende da profundidade do ponto e não da dimensão horizontal do recipiente.

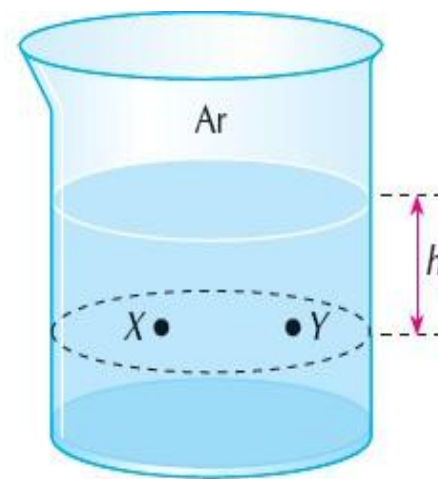
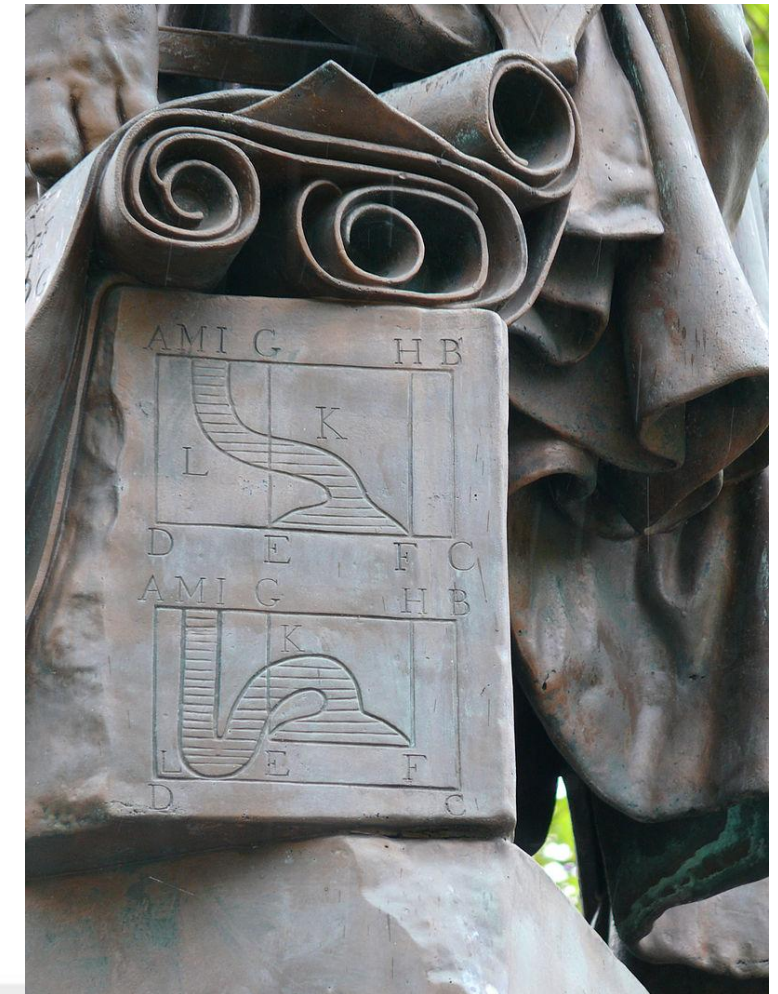


Figura 5. Em pontos de uma mesma superfície horizontal, as pressões são iguais.



Todos os pontos de uma mesma superfície horizontal (situados a uma mesma profundidade h) e pertencentes a um mesmo líquido em equilíbrio ficam sujeitos à mesma pressão.

Vasos comunicantes

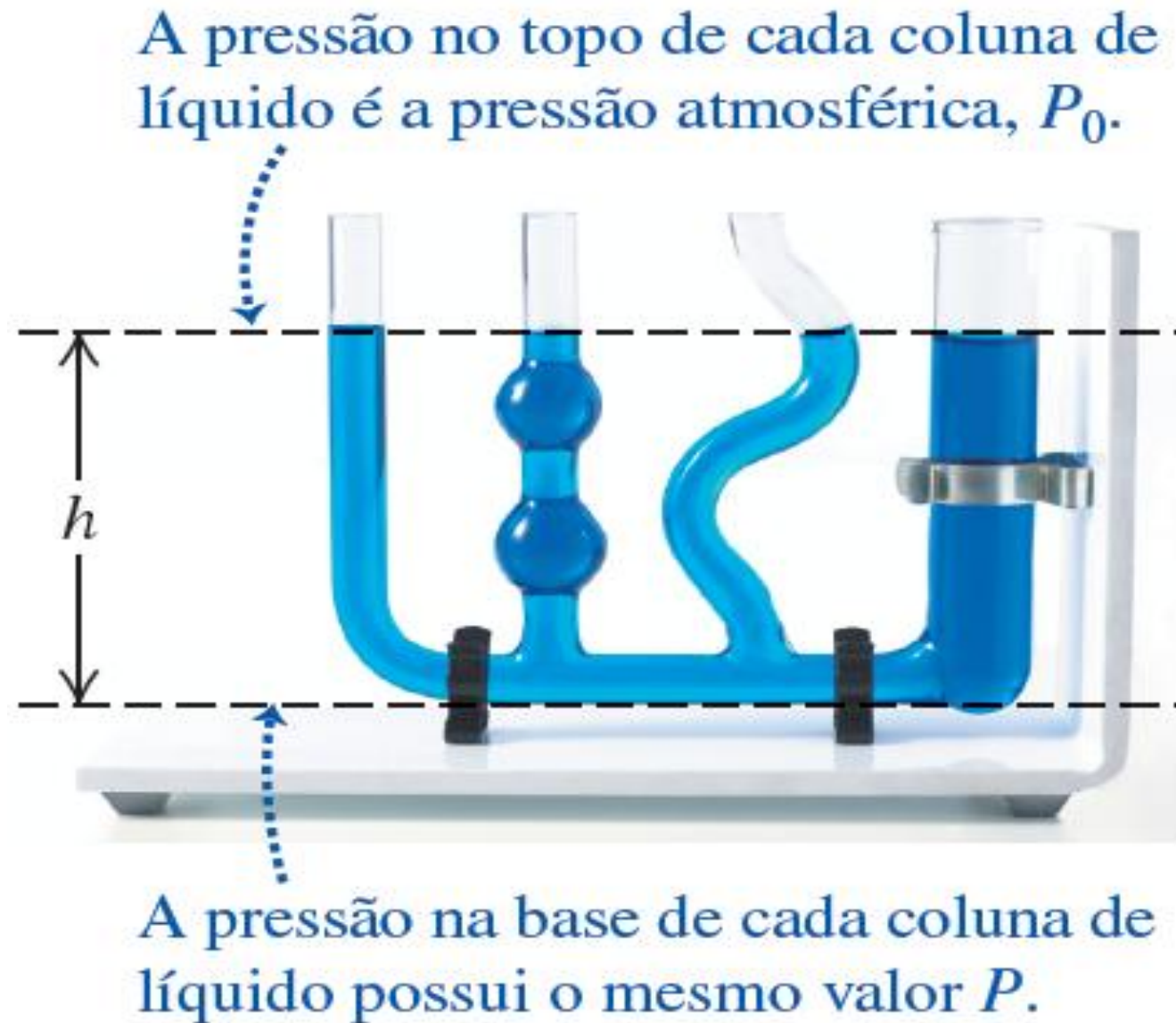


Quando houver apenas um líquido em um vaso comunicante, a altura das colunas será a mesma.



Mesmo com a inclinação do vaso, as colunas continuam com a mesma altura em relação a um plano horizontal.

Vasos comunicantes



- Todas as colunas de fluido apresentam a mesma altura, independentemente de sua forma:

Vasos Comunicantes

Quando dois líquidos que não se misturam (**imiscíveis**) são colocados num mesmo recipiente, eles se dispõem de modo que o líquido de maior densidade ocupa a parte de baixo, e o de menor densidade, a parte de cima. A superfície de separação entre eles é horizontal.

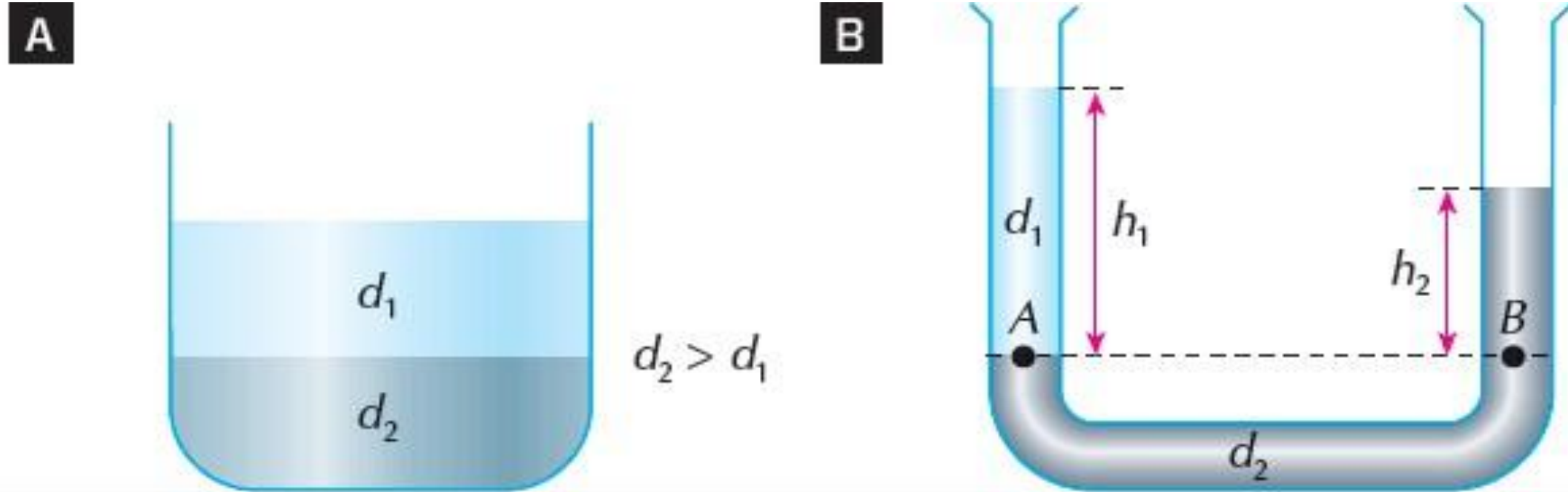


Figura 9. (A) Líquidos imiscíveis em equilíbrio estável. (B) Equilíbrio de líquidos imiscíveis num tubo em U.

Demo 2

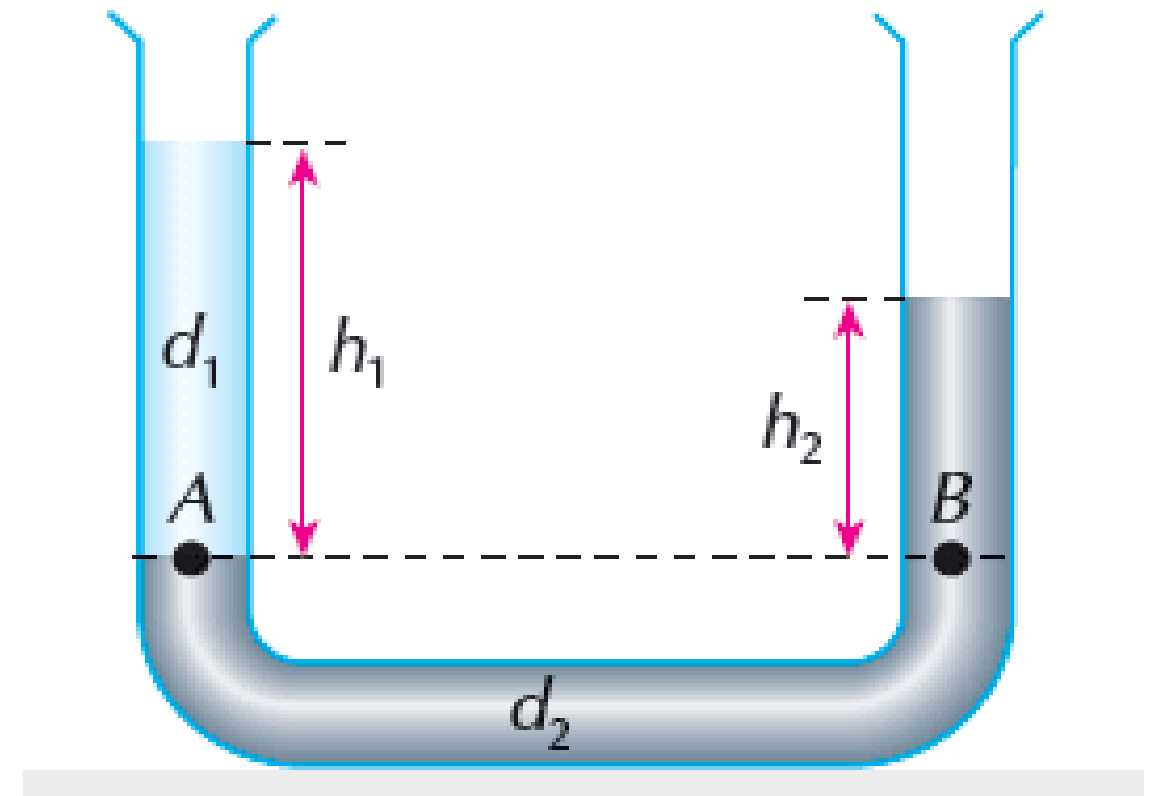
Sejam d_1 a densidade do líquido menos denso; d_2 a densidade do líquido mais denso; h_1 e h_2 as respectivas alturas das colunas, em relação à superfície de separação.

Considere os pontos A e B situados na mesma horizontal. A pressão no ponto A é igual à pressão no ponto B (mesma horizontal e mesmo líquido):

$$p_A = p_B$$

$$p_{atm} + d_1 \cdot g \cdot h_1 = p_{atm} + d_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$d_1 h_1 = d_2 h_2$$



Como medir pressão ?

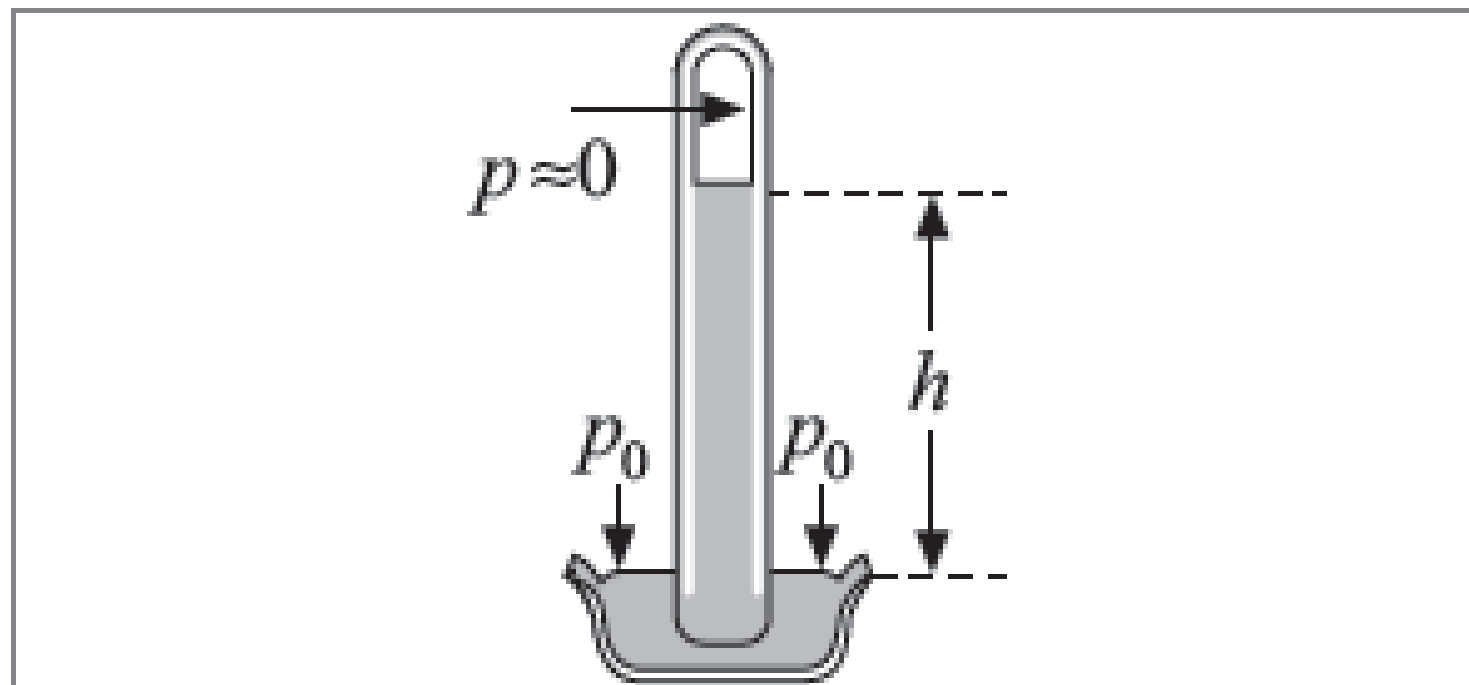


Figura 1.12 Barômetro de mercúrio.

TORRICELLI: Evangelista (1608-1647), discípulo de Galileu, estudou a grandeza física pressão; a ele se deve a invenção do primeiro barômetro (do grego: baros, pressão; metro, medida), aparelho destinado à medida da pressão atmosférica.

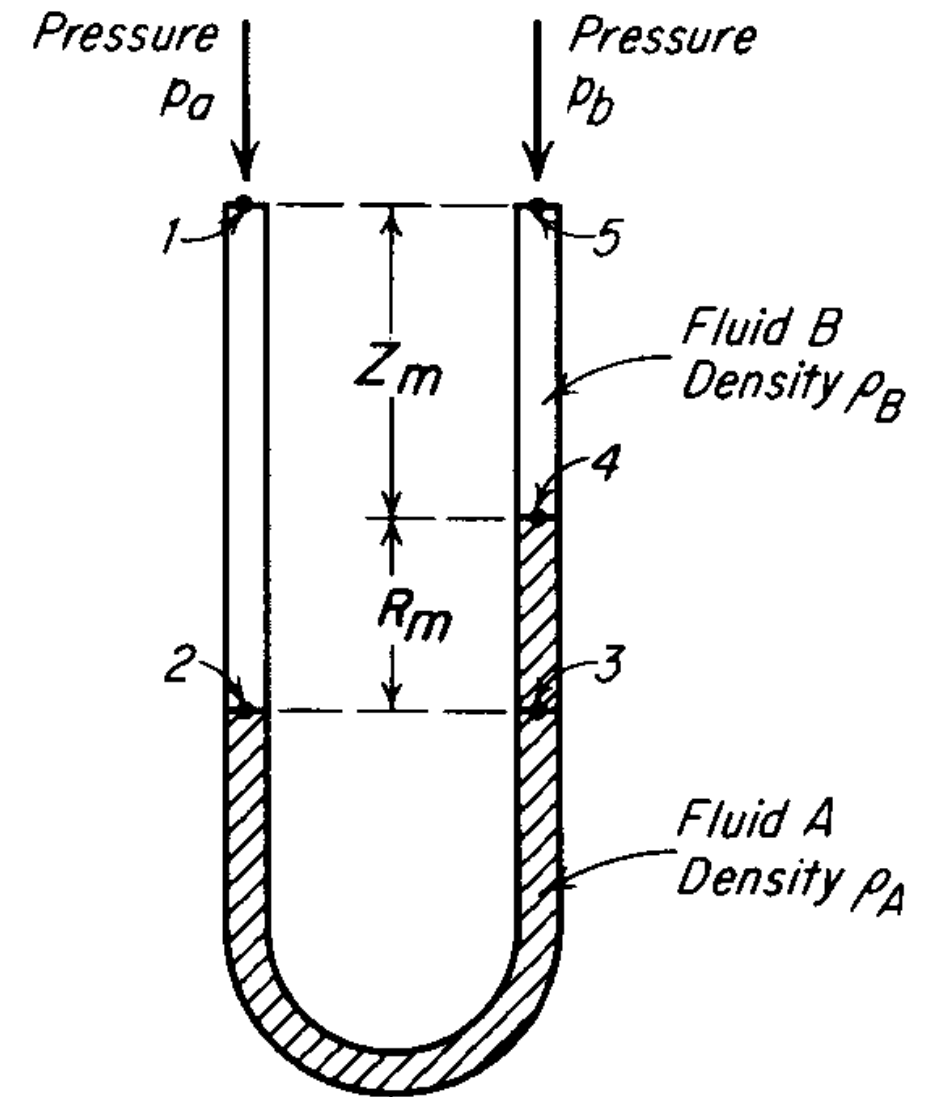
Medição de diferenças de pressão

Aplique a equação básica dos fluidos estáticos a ambas as pernas do manômetro, percebendo que $P_2 = P_3$.

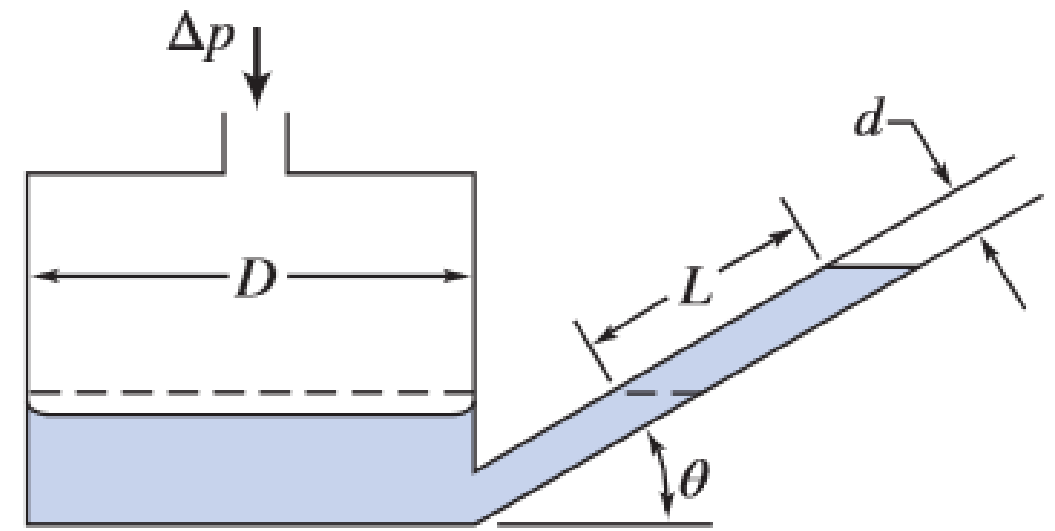
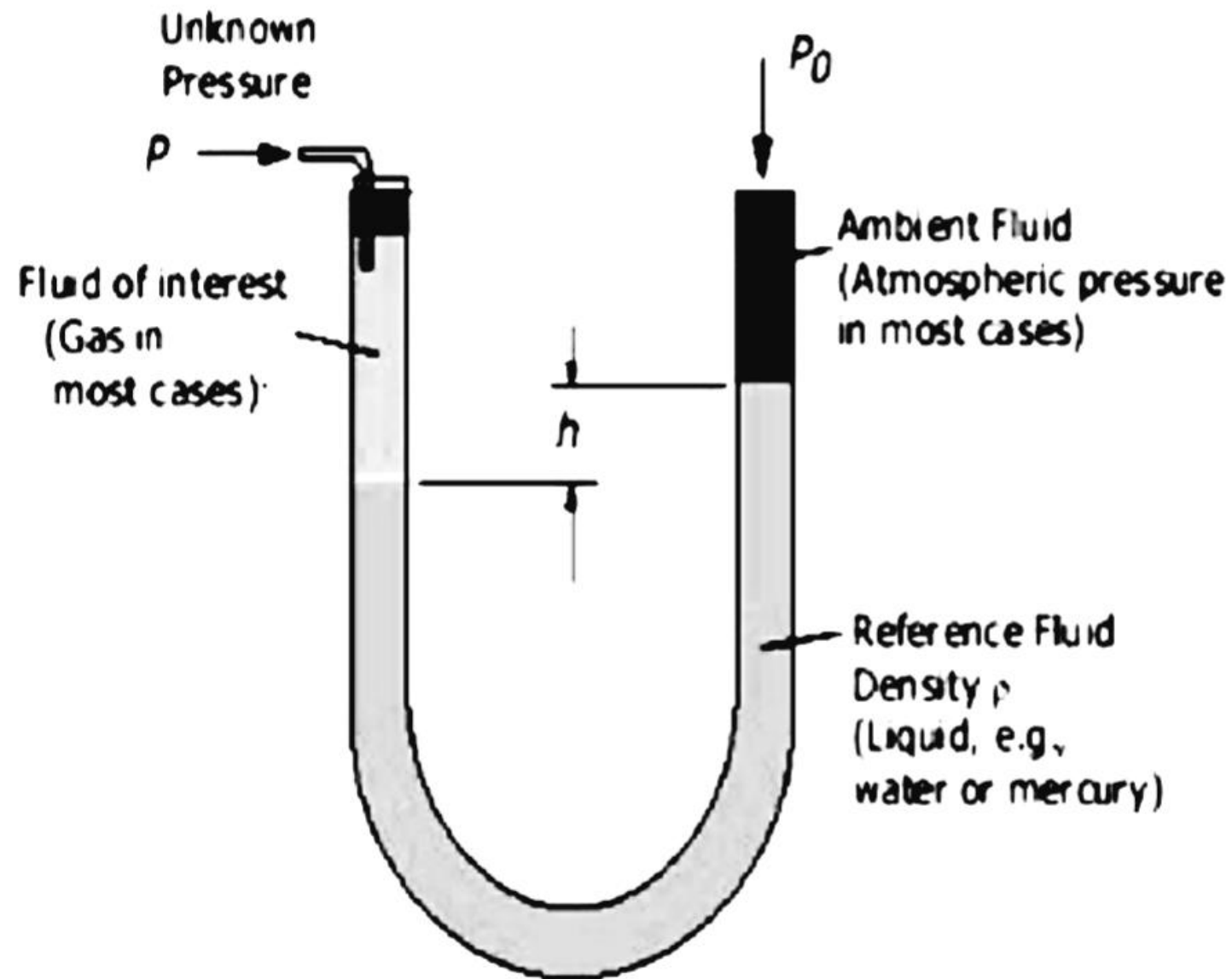
$$P_2 = P_a + \rho_b g(Z_m + R_m)$$

$$P_3 = P_b + \rho_b g(Z_m) + \rho_a gR_m$$

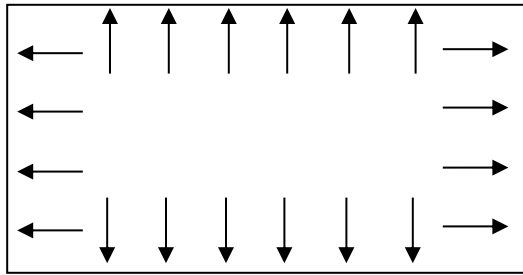
$$P_a - P_b = gR_m(\rho_a - \rho_b)$$



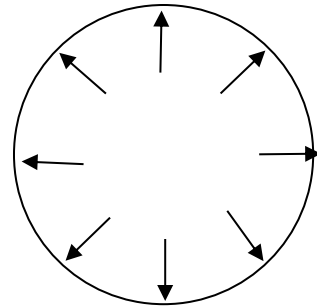
Medição de diferenças de pressão



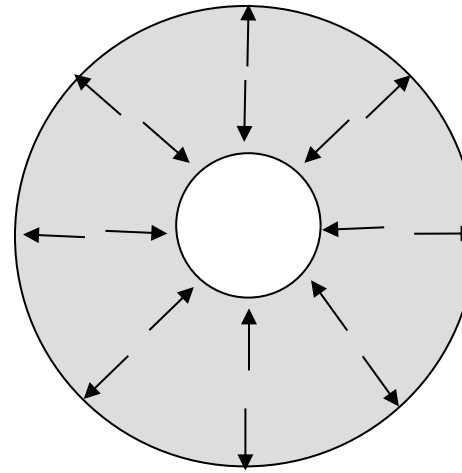
Direção da pressão do fluido nos contornos



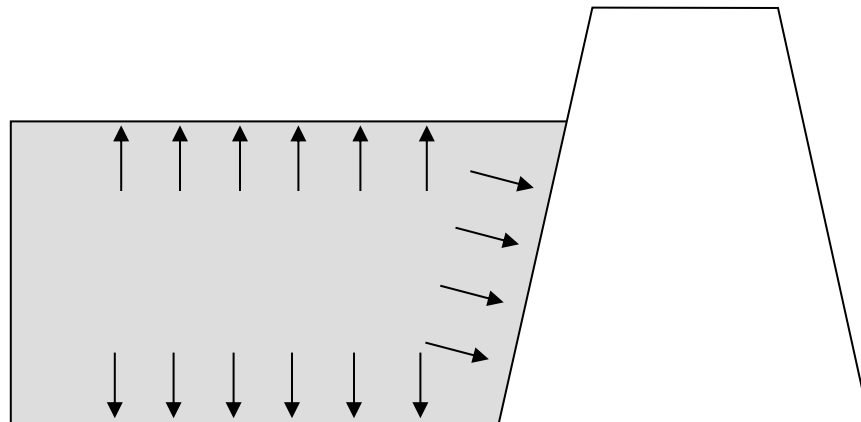
Duto do forno



Tubulação



Trocador de calor



Barragem

A pressão é uma força normal
(age perpendicularmente às superfícies)

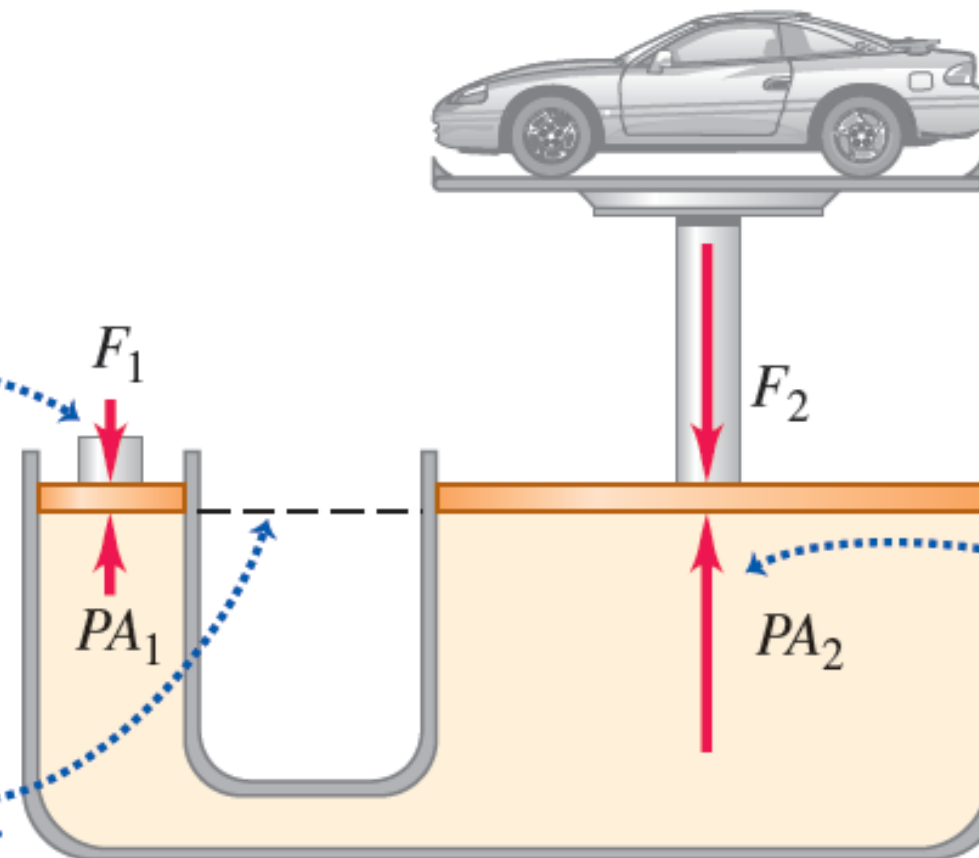
Também é chamada de Força de Superfície

Princípio de Pascal

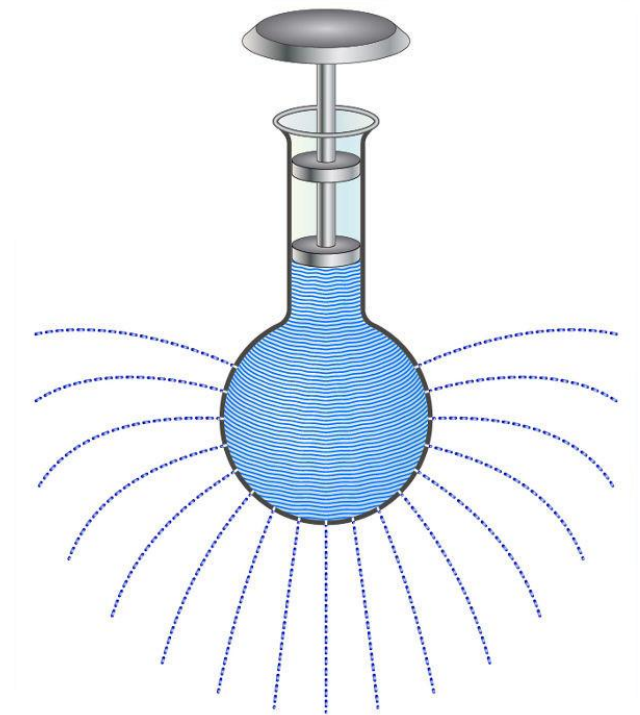
- A pressão aplicada a um fluido no interior de um recipiente é transmitida sem nenhuma diminuição a todos os pontos do fluido e para as paredes do recipiente.
- O elevador hidráulico é uma aplicação da lei de Pascal:

Uma força pequena é aplicada a um pistão pequeno.

Como a pressão P é a mesma em todos os pontos em determinada altura no fluido...



... um pistão com área maior na mesma altura experimenta uma força maior.

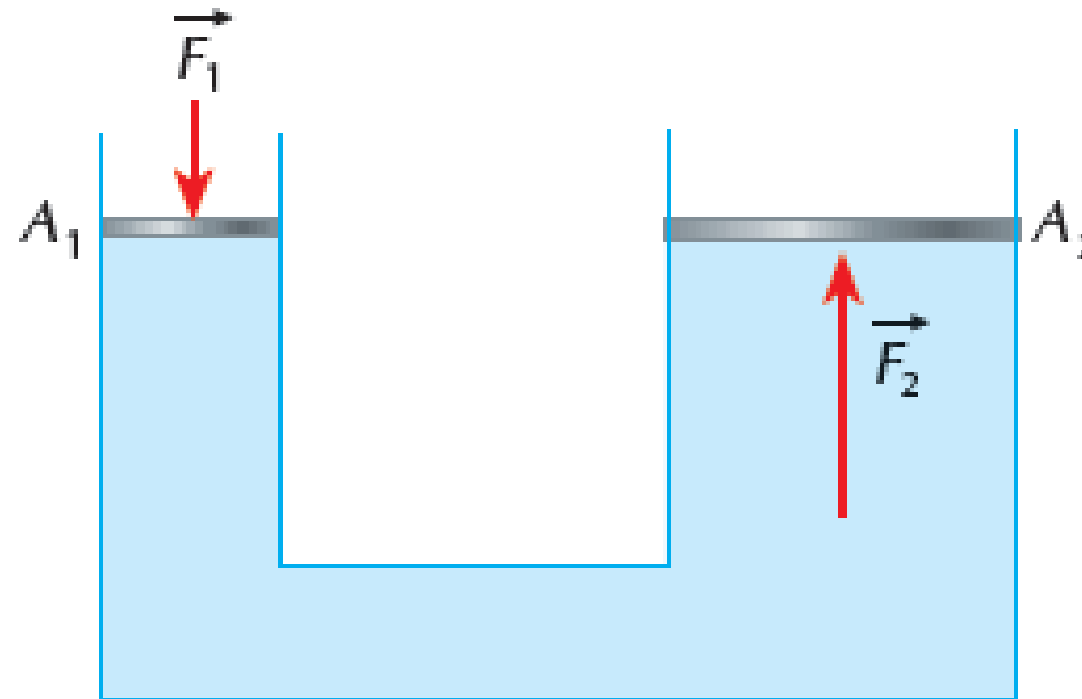


Lei de Pascal



Princípio de Pascal

Outra importante aplicação do princípio de Pascal é a prensa hidráulica, que consiste em dois recipientes cilíndricos de diâmetros diferentes, ligados pela base e preenchidos por um líquido homogêneo. Sobre o líquido são colocados dois êmbolos, cujas seções têm áreas A_1 e A_2 diferentes ($A_1 < A_2$).

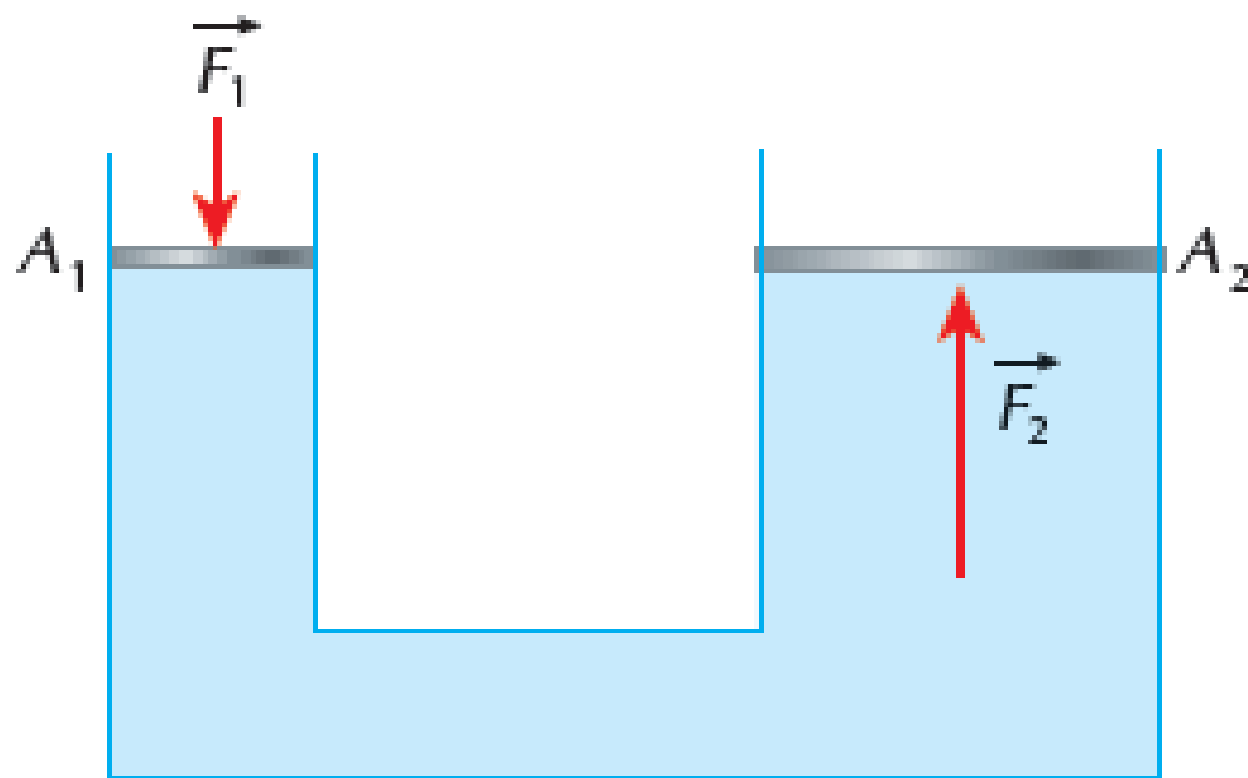


Prensa hidráulica.

PASCAL, Blaise (1623-1662), filósofo, matemático e físico francês, inventou a primeira calculadora de que se tem notícia. Em Física notabilizou-se por seus trabalhos na Hidrostática.

Princípio de Pascal

Aplicando no êmbolo menor uma força F_1 , o líquido fica sujeito a um acréscimo de pressão p_1 . Como a pressão se transmite integralmente através do líquido, o êmbolo maior fica sujeito ao acréscimo de pressão p_2 , igual à pressão p_1 . Portanto:



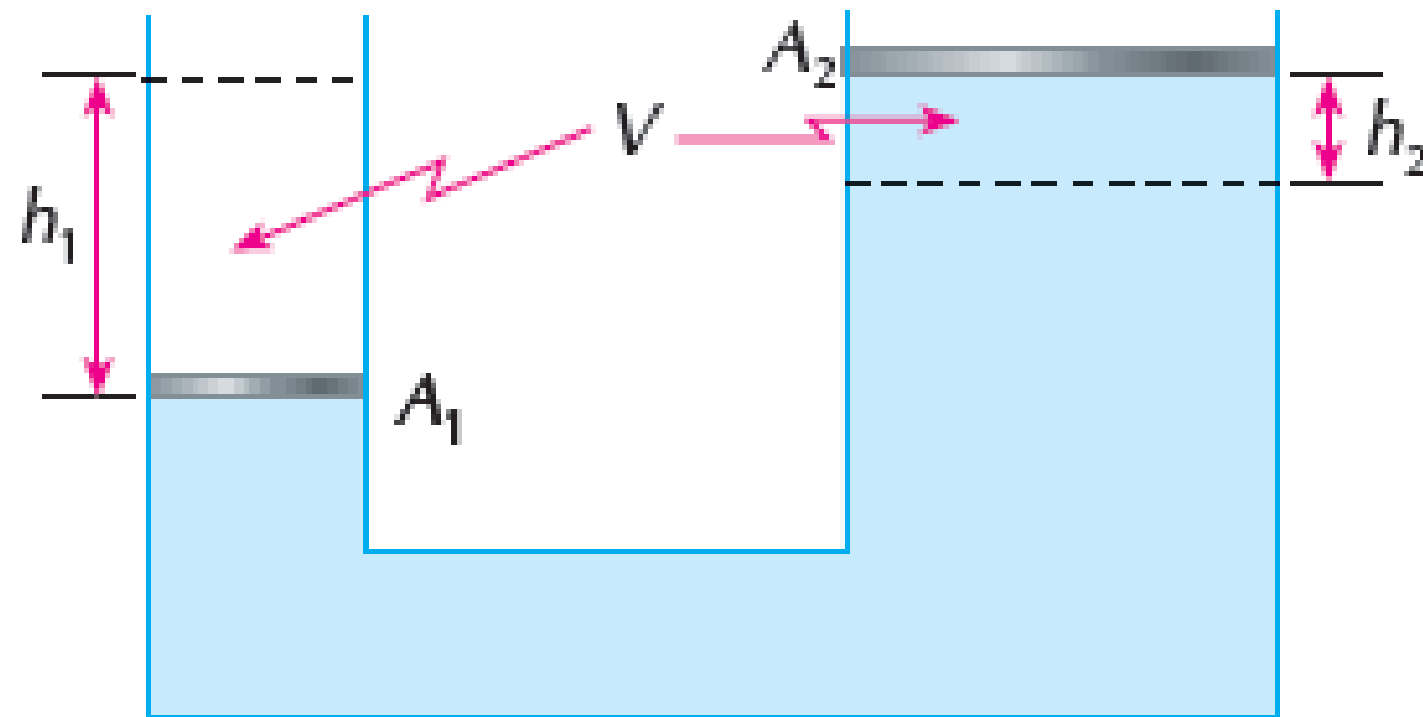
$$p_1 = p_2 \Rightarrow$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

As intensidades das forças aplicadas são diretamente proporcionais às áreas dos êmbolos.

Princípio de Pascal

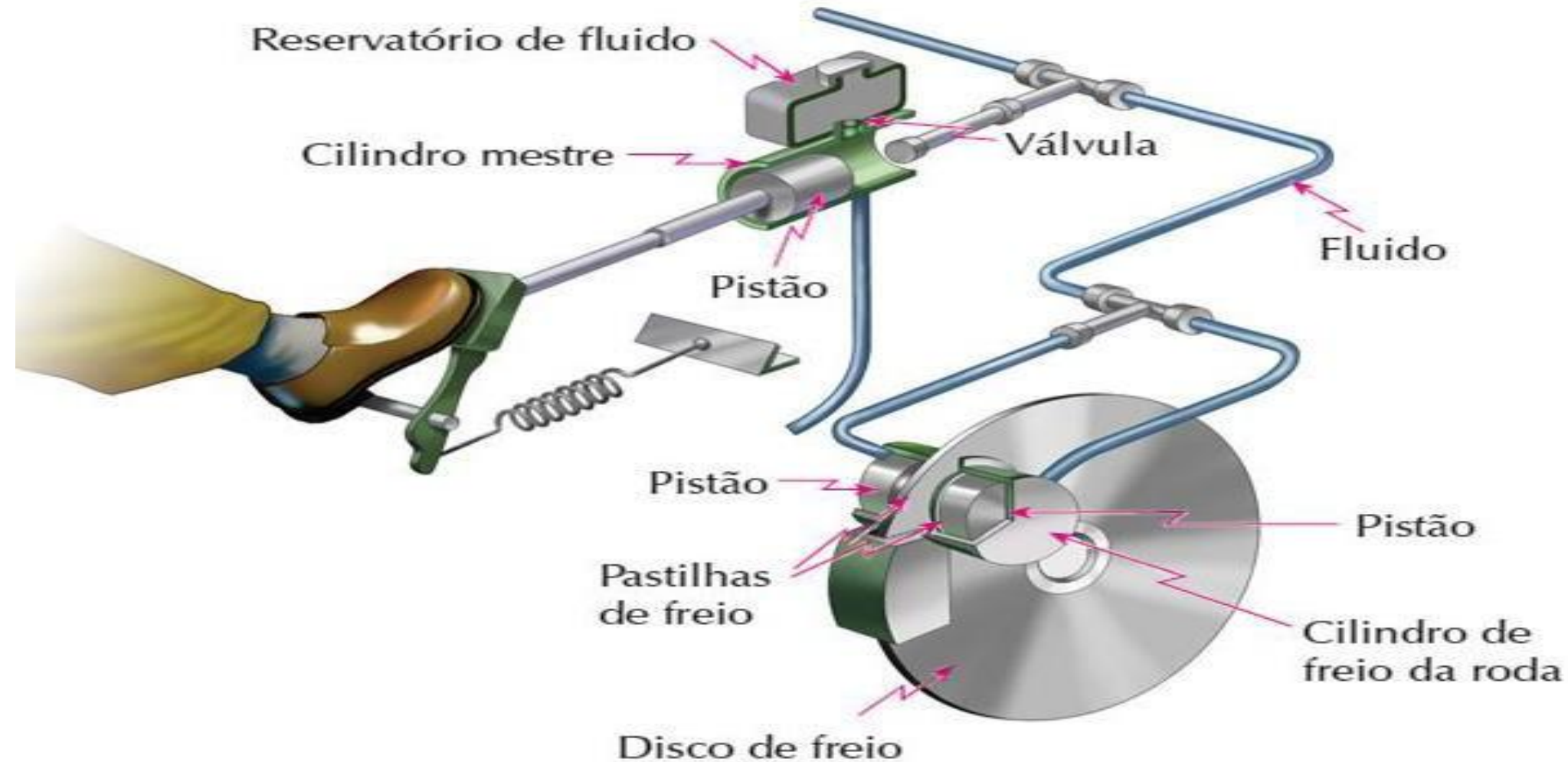
Em cada operação da prensa, o volume de líquido (V) deslocado do recipiente menor passa para o recipiente maior. Chamando de h_1 e h_2 os deslocamentos respectivos dos dois êmbolos, cujas áreas são A_1 e A_2 , podemos escrever:



$$V = h_1 A_1 \text{ e } V = h_2 A_2$$

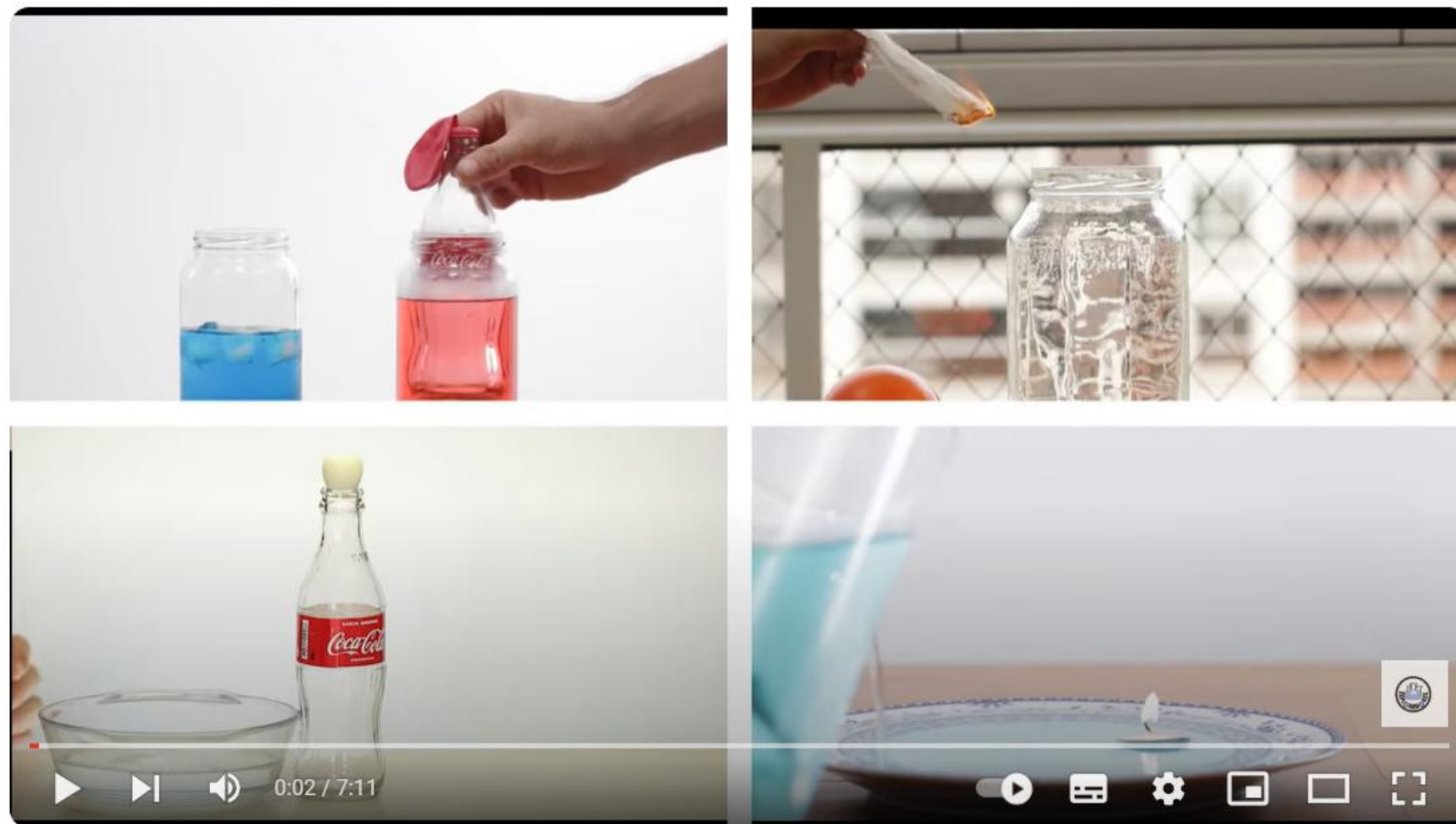
$$h_1 A_1 = h_2 A_2$$

Aplicação: freio a disco



Freio a disco: Ao acionarmos o pedal do freio, estamos empurrando o pistão, exercendo assim uma pressão no fluido existente no cilindro. Essa pressão se transmite aos pistões existentes no cilindro de freio da roda, que comprimem as pastilhas contra o disco de freio ligado à roda.

Para se divertir em casa ...



5 experimentos de PRESSÃO ATMOSFÉRICA simples pra fazer em casa



Exploradores
12,4 mil inscritos

Inscrever-se

2 mil



Compartilhar

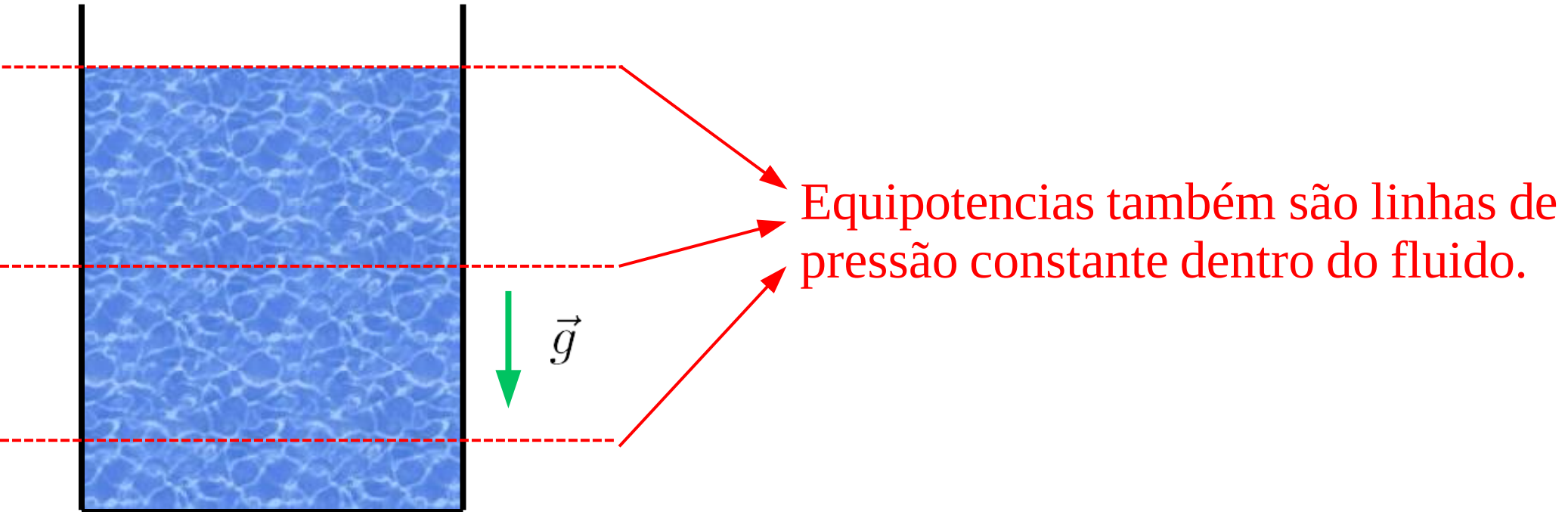


<https://youtu.be/ftps1rutHQA?si=-H4U3ejL2-kkS3Cz>

Pressão e densidade de energia

Num fluido incompressível, quando as forças externas são conservativas há uma densidade de energia potencial associada

$$\vec{f}_R^{(\text{ext})} = -\nabla u, \quad \Rightarrow \quad -\nabla u = \nabla P, \quad \Rightarrow \quad P + u = \text{const}$$



Princípio de Arquimedes

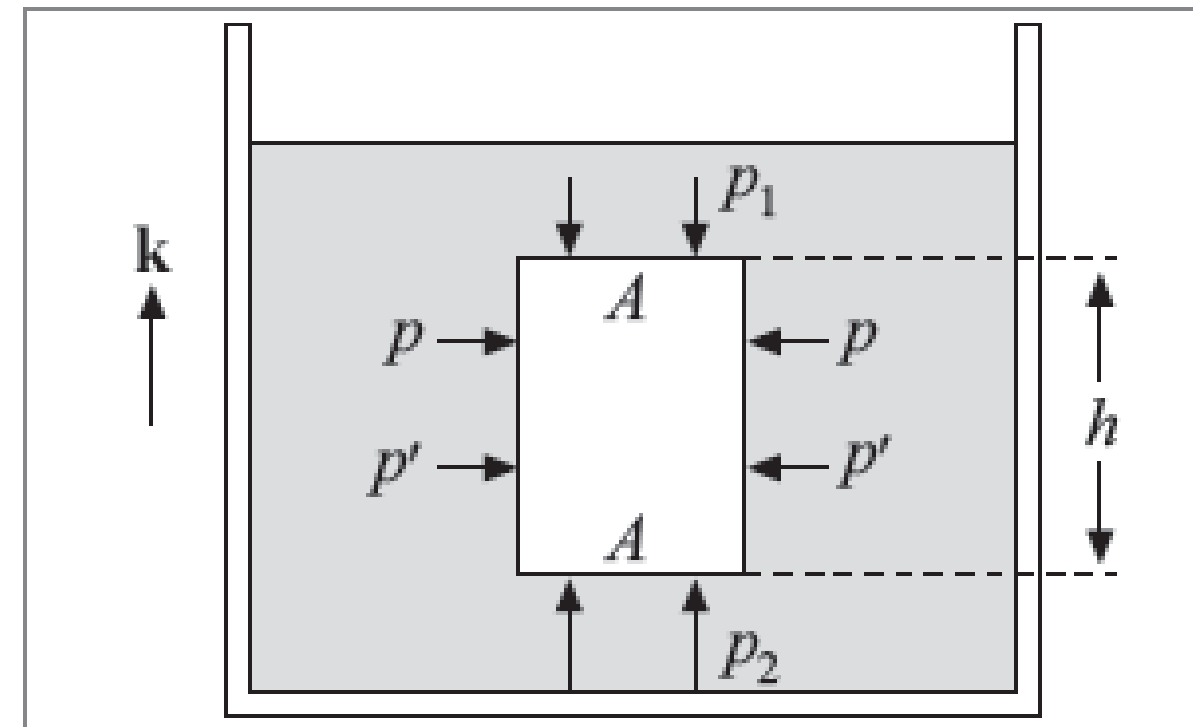
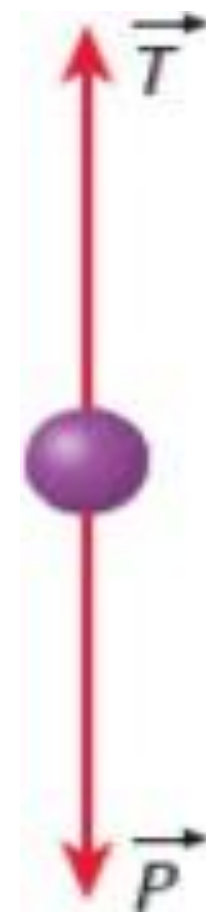
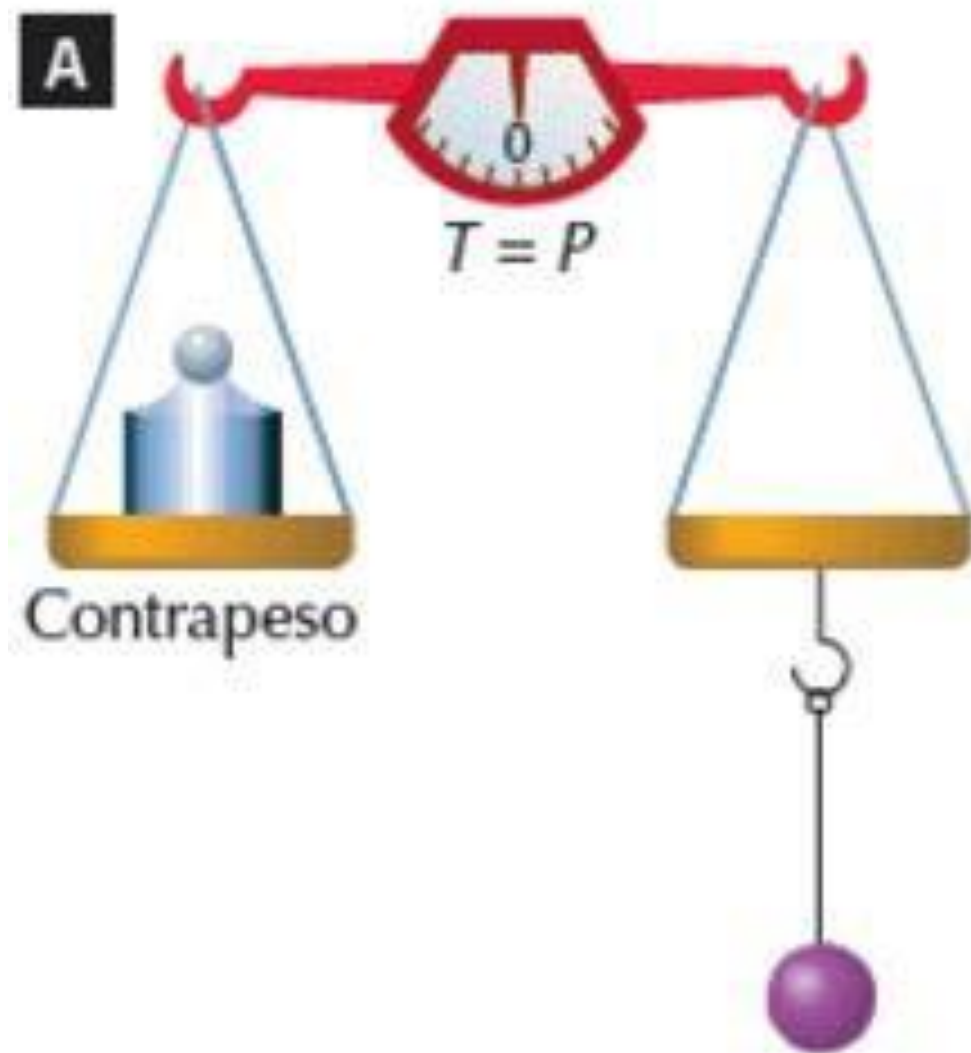
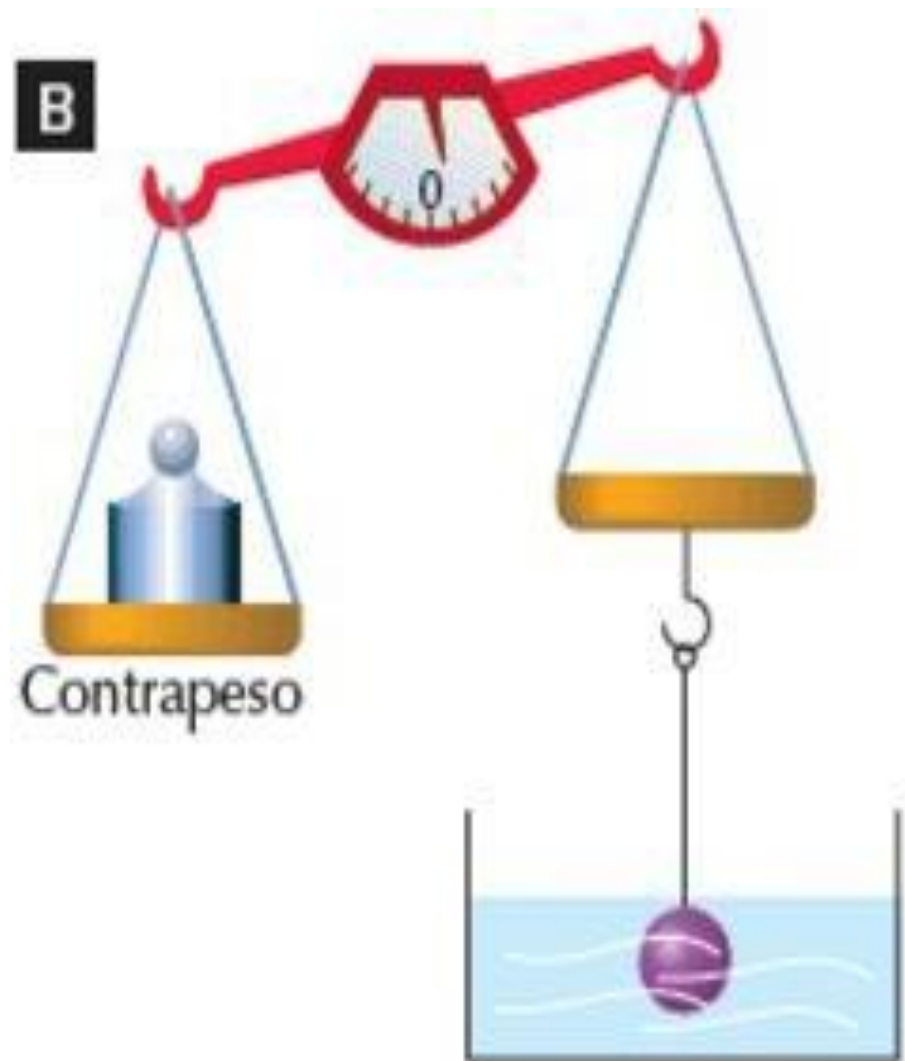


Figura 1.14 Princípio de Arquimedes.



A verificação da existência de uma força com que o líquido atua sobre um corpo nele mergulhado pode ser feita com o auxílio de uma balança de braços iguais.

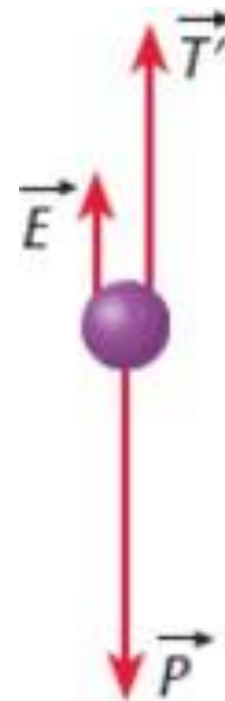
Na fig. A, o peso do corpo P é, em módulo, igual à tração T do fio, aplicada no prato da balança à direita



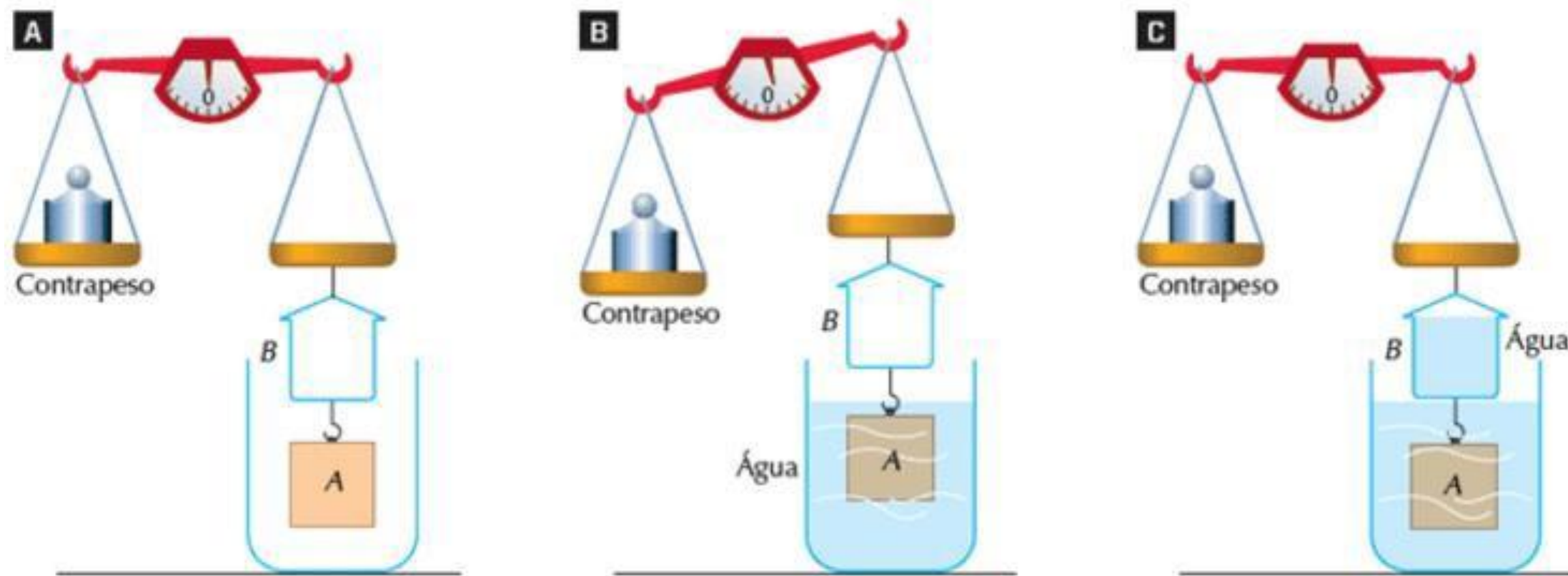
Na fig. B, o corpo imerso no líquido parece pesar menos, pois a balança se desequilibra do lado do contrapeso.

A conclusão é que o líquido deve necessariamente estar exercendo no corpo uma força E de direção vertical de sentido para cima, provocando assim esse desequilíbrio.

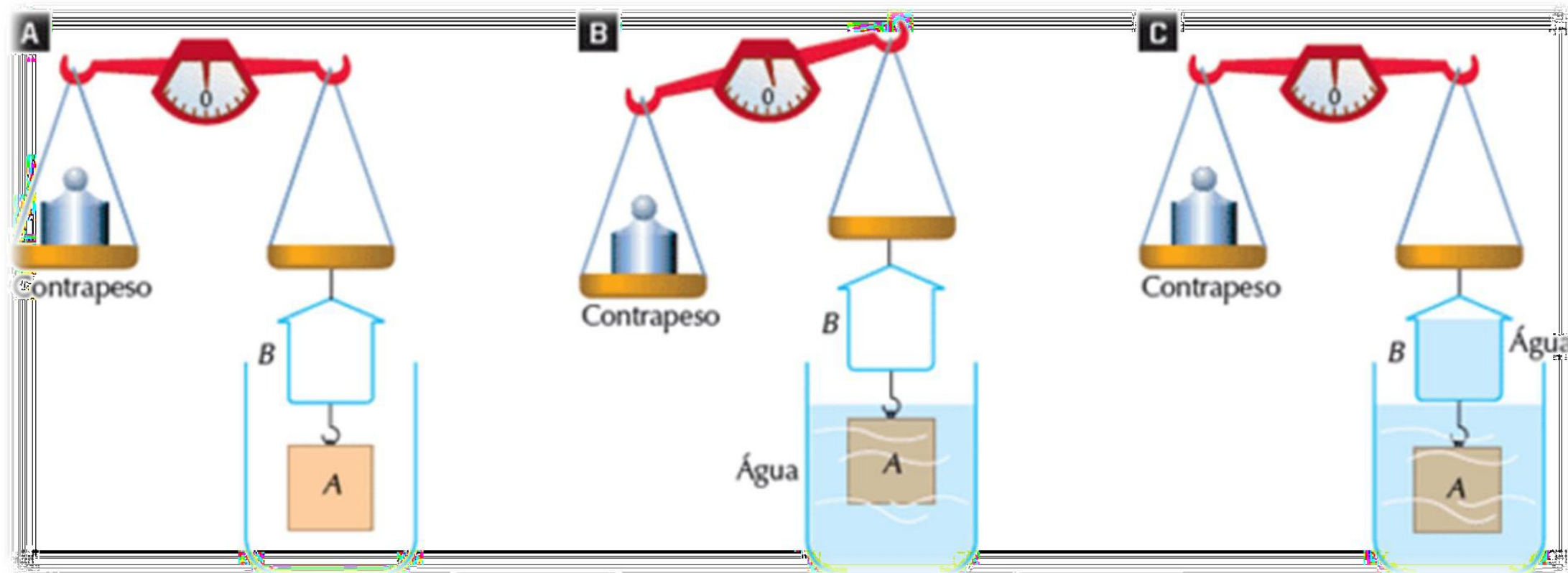
A essa força E que o líquido exerce no corpo imerso dá-se o nome de empuxo E .



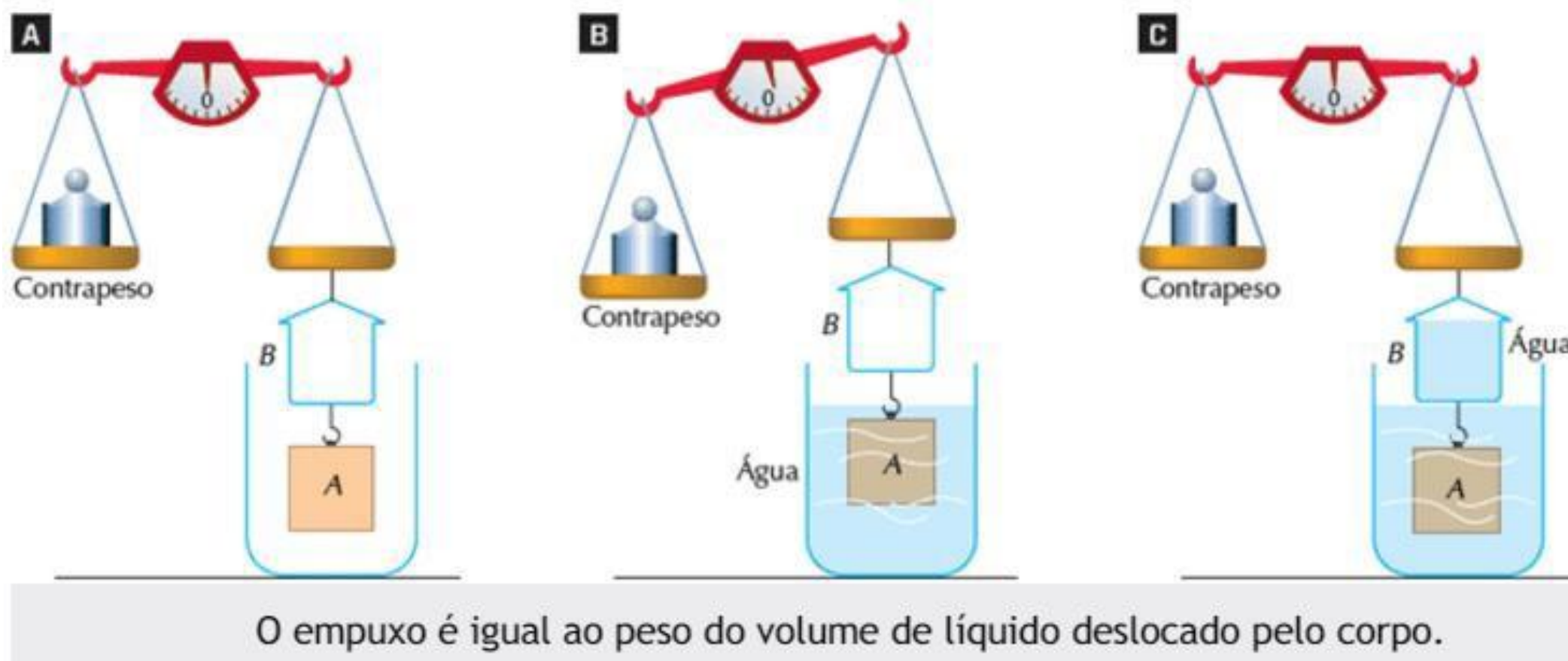
A intensidade E do empuxo pode ser determinada segundo a experiência:



Há dois cilindros: A , sólido e fechado, e B , aberto em sua parte superior e de mesmo volume que A . Assim, o cilindro A preenche exatamente a cavidade vazia do cilindro B .



- ✓ Na fig. A, o equilíbrio é obtido com o contrapeso no prato da balança, à esquerda.
- ✓ Na fig. B o empuxo da água sobre o corpo provoca desequilíbrio: o peso aparente do corpo é inferior ao do contrapeso.
- ✓ Na fig. C, o equilíbrio é restabelecido quando o cilindro B é preenchido completamente com água.

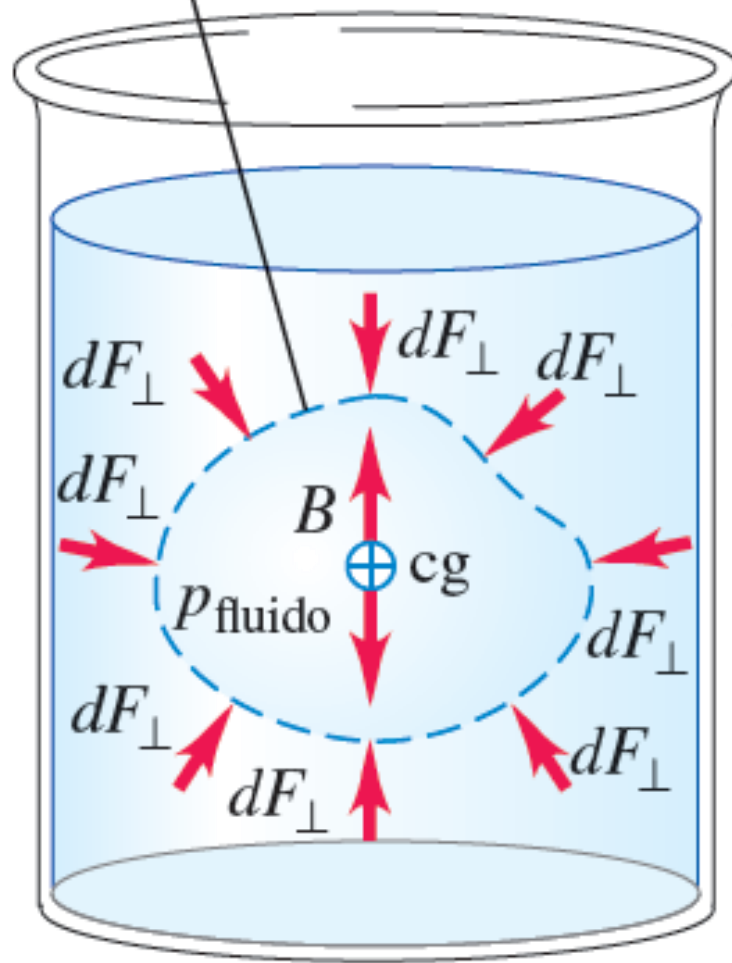


$$\vec{E} = \vec{P}_{LD}$$

Conclusão: o corpo imerso desloca uma quantidade de água. O peso do volume de água deslocado equilibra o empuxo, pois o equilíbrio foi restituído, colocando-se esse volume de água deslocado no cilindro vazio.

Empuxo

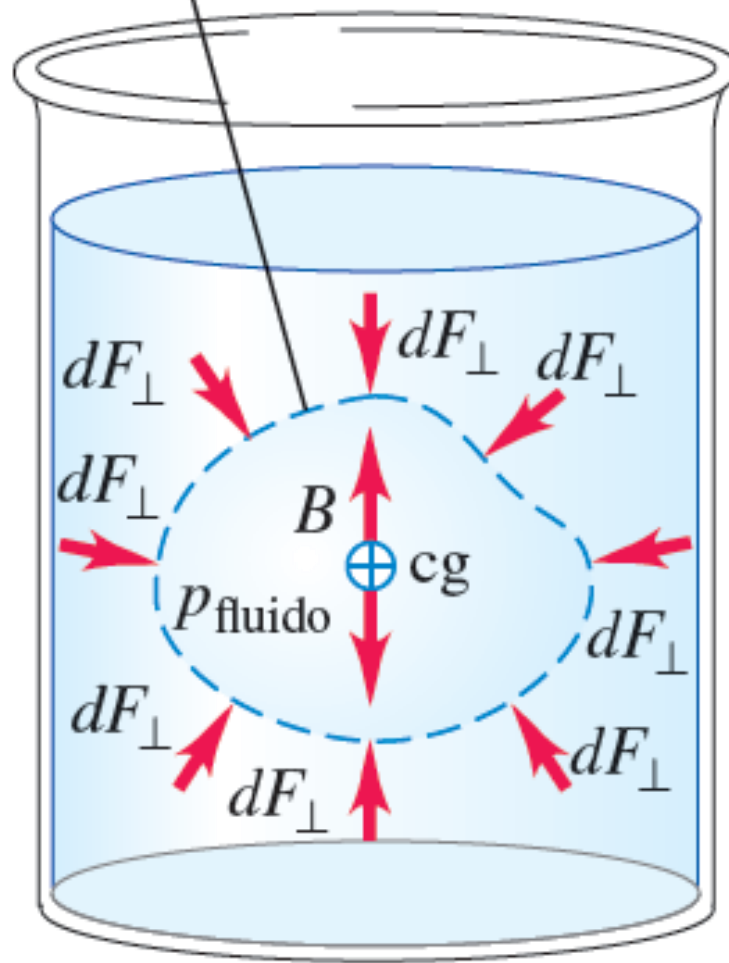
(a) Uma porção qualquer de fluido em equilíbrio



As forças da pressão sobre a porção de fluido somam-se, constituindo uma força de empuxo que é igual em módulo ao peso da porção.

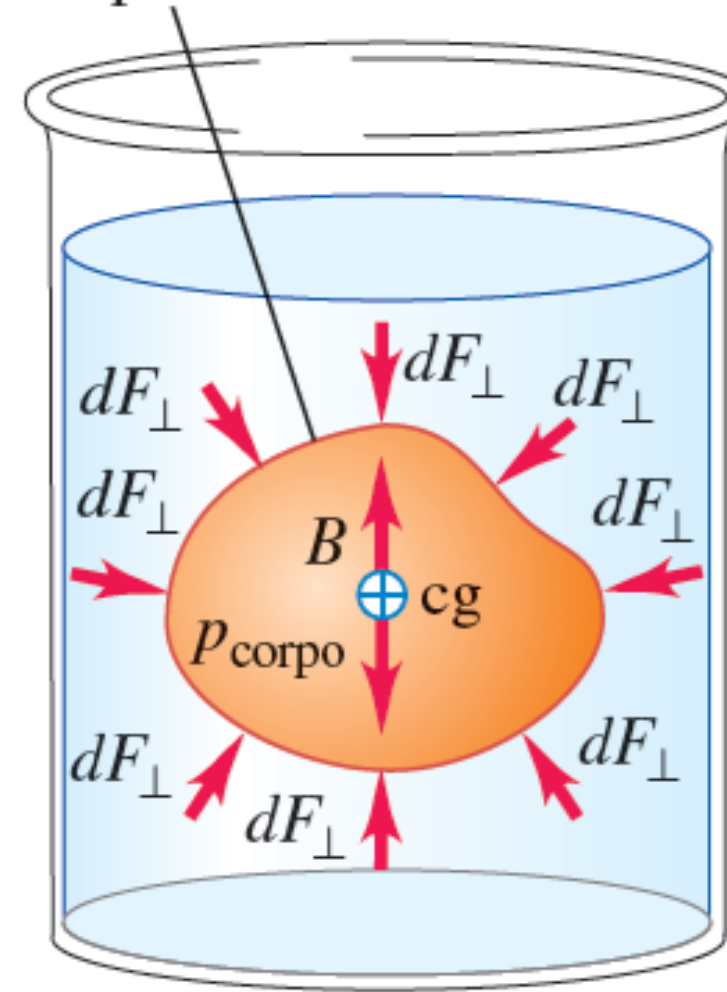
Empuxo

(a) Uma porção qualquer de fluido em equilíbrio



As forças da pressão sobre a porção de fluido somam-se, constituindo uma força de empuxo que é igual em módulo ao peso da porção.

(b) Porção de fluido substituída por um corpo sólido de mesmo tamanho e forma



As forças decorrentes da pressão são iguais, então o corpo é submetido à mesma força de empuxo que a porção de fluido, *independentemente do peso do corpo.*

Princípio de Arquimedes

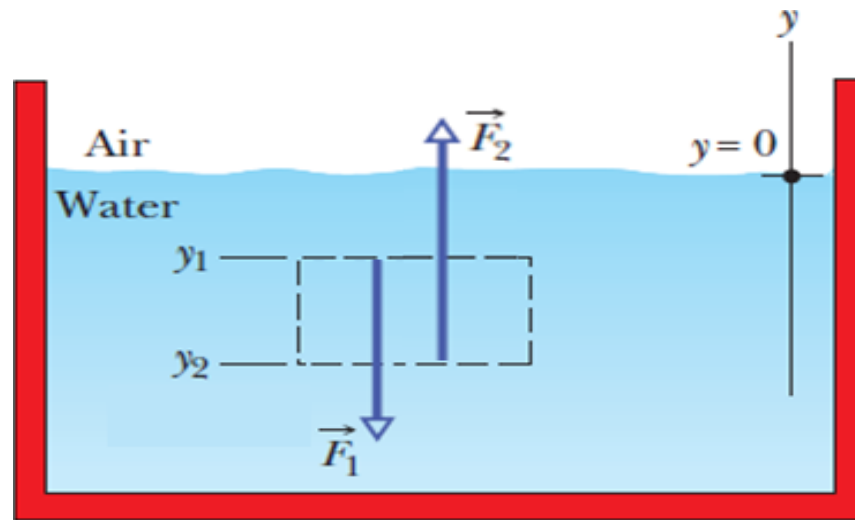
A força de Empuxo (E) que um fluido homogêneo e em equilíbrio aplica em um corpo nele mergulhado é a resultante de todas as forças aplicadas pelo fluido em todos os pontos do corpo.

Sua direção é sempre vertical e seu sentido de baixo para cima.

*Quando um corpo está totalmente ou parcialmente submerso em um fluido, uma **força de empuxo** exercida pelo fluido age sobre o corpo. A força é dirigida para cima e tem módulo igual ao **peso do fluido deslocado** pelo corpo.*

$$\vec{E} = \vec{P}_{LD}$$

Como calcular a força de Empuxo ($\vec{E}$)?



$$E = F_2 - F_1$$

$$E = P_2 A - P_1 A$$

$$E = (P_2 - P_1) A$$

Pelo Teorema de Stevin, sabemos que:

$$P_2 = P_1 + \rho g (y_2 - y_1)$$

Com, $h = y_2 - y_1$ e $V = Ah$, podemos escrever a diferença de pressão como

$$P_2 - P_1 = \rho g h$$

Substituindo na equação do Empuxo, temos:

$$E = \rho V g = P_{LD}$$

Flutuação

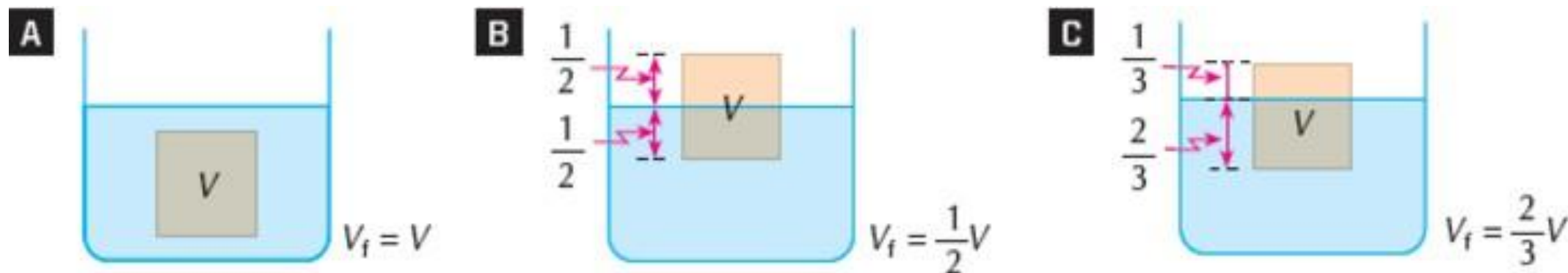
- ✓ Quando um corpo flutua em um fluido, o módulo da força de empuxo que age sobre o corpo é igual ao módulo da força gravitacional a que o corpo está submetido.

$$E = F_g$$

$$F_g = m_f g$$

- ✓ Quando um corpo flutua em um fluido, o módulo da força gravitacional a que o corpo está submetido é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.
 - ✓ Um corpo que flutua desloca um peso de fluido igual a seu próprio peso.
-

-
- ✓ O volume V_f do fluido deslocado é o próprio volume do corpo se ele estiver totalmente imerso (fig.A);
 - ✓ O volume V_f do fluido deslocado é o volume imerso quando o corpo está flutuando (figs.B e C).



O volume do fluido deslocado corresponde ao volume imerso do corpo.

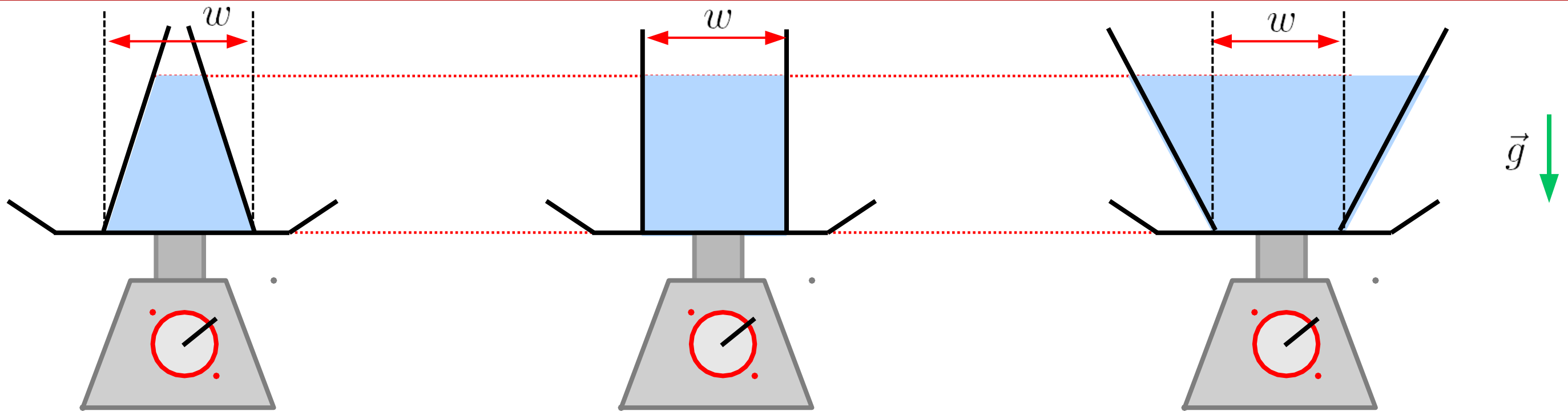
Peso aparente de um fluido

- ✓ *O peso aparente de um corpo está relacionado ao peso real e à força de empuxo através da equação:*

$$P_{APARENTE} = P_{REAL} - F_E$$

- ✓ *O módulo da força de empuxo que está sujeito um corpo que flutua é igual ao peso do corpo. Portanto, um corpo que flutua tem peso aparente igual a zero.*

Princípio de Pascal: paradoxo da hidrostática

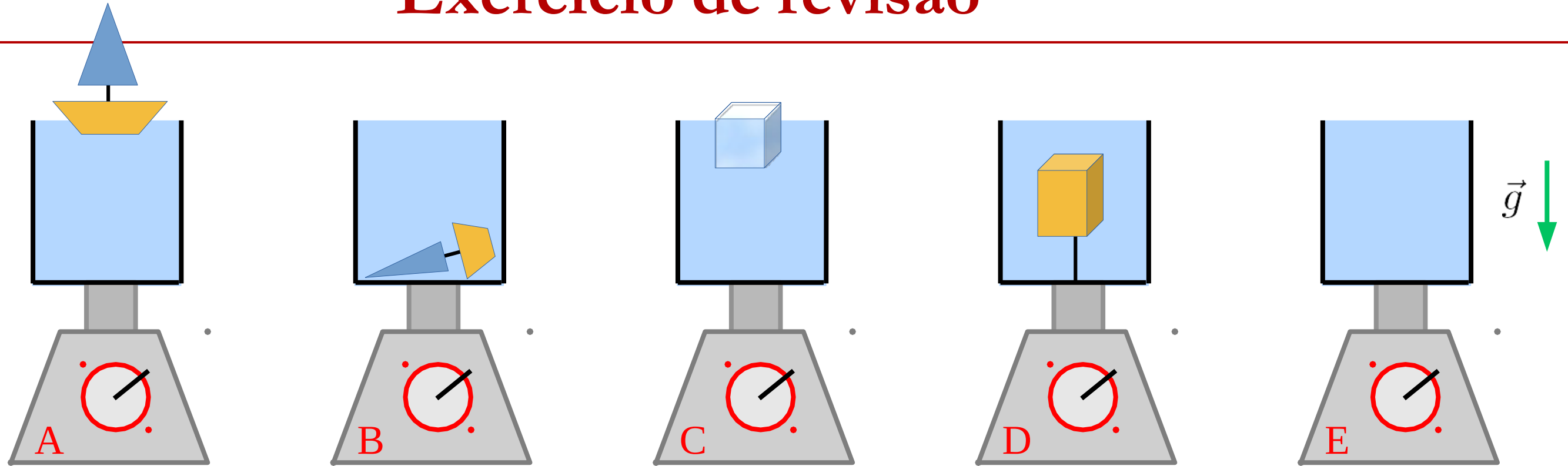


De acordo com a lei de Stevin, a força do líquido sobre o fundo da balança é igual nas 3 situações:

$$\vec{F} = -\rho g h A_w \hat{z}$$

A massa de fluido contida nos recipientes são distintas. Como a balança mede o peso correto?

Exercício de revisão



Qual das alternativas abaixo representa a leitura nas balanças?

- 1) $B > A = C = E > D$
- 2) $B > A > C > E > D$
- 3) $B > A > E > C > D$
- 4) ~~$B > E > C = A > D$~~
- 5) $B = A > E = C > D$

Ex: lei de Halley

Pressão de um fluido compressível em equilíbrio num campo gravitacional constante.

Hipótese: $PV = \text{const}$ (ex: gás ideal a temperatura constante)

Fluido em equilíbrio estático: $\nabla P = \vec{f}_R^{(\text{ext})}, \Rightarrow \frac{dP}{dz} = -\rho(z)g$

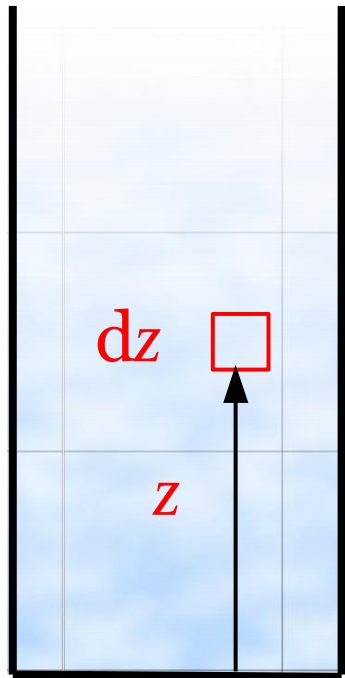
(note que $\frac{1}{2}$ depende de z)

Equação de estado: $P/\rho = \text{const} = P_0/\rho_0$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dz} = -\frac{\rho_0 P g}{P_0}, \Rightarrow \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = - \int_0^z \frac{dz}{z_0} \quad \text{onde } z_0 = \frac{P_0}{\rho_0 g}$$

Para $P_0 = 1 \text{ atm}$
 $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$
 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

$$\Rightarrow z_0 = 8.6 \text{ km}$$



$$P(z) = P_0 e^{-z/z_0}$$

Sumário
