

Física 3

(1/2016)

***Fluidos, Termodinâmica, Ondas e
Ótica***

Instrutor: Prof. Carlos Eduardo Souza (Cadu)

carlooseduardosouza@id.uff.br

**O que vamos estudar nesta disciplina?
Como será nosso curso?**

•
•
•

<http://cursos.if.uff.br/fisica3-0116/>

Fluidos

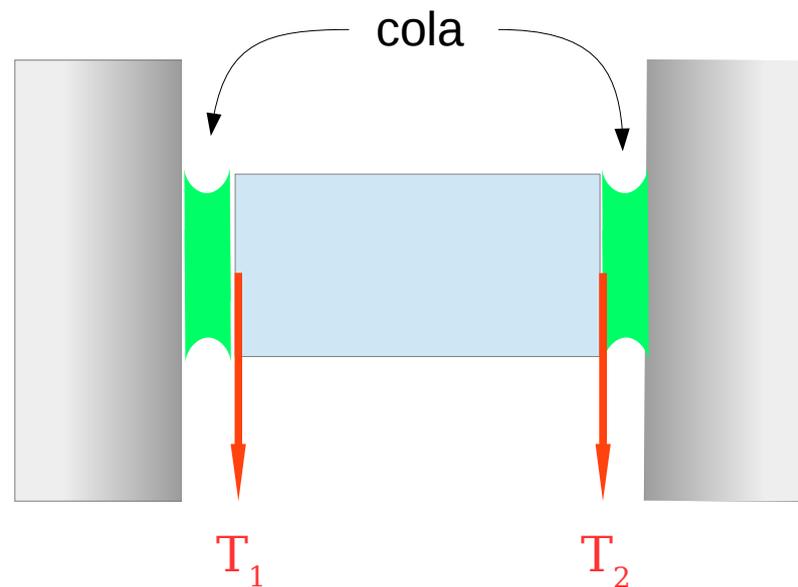
Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

O que diferencia um sólido de um fluido?

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

A diferença fundamental entre sólidos e líquidos está na forma de responder as **tensões tangenciais**

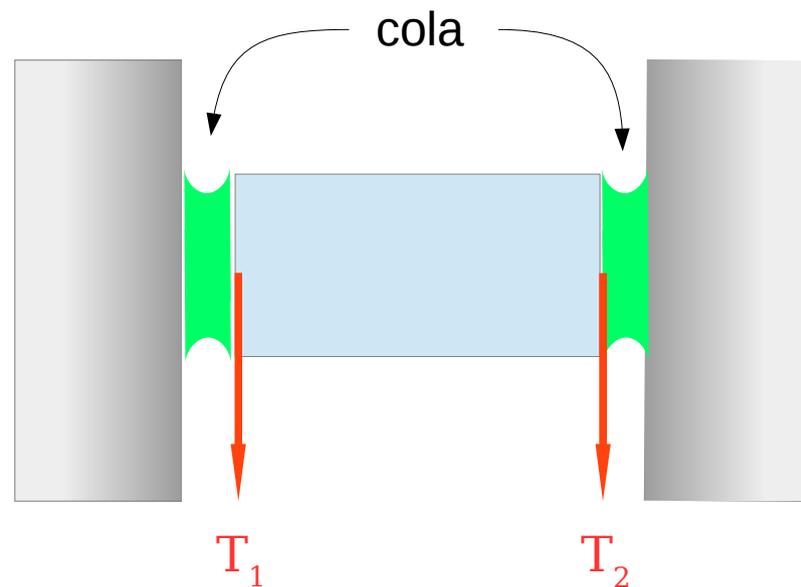


T = tensão superficial
(cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

Se a cola não estivesse seca, a tensão superficial provocaria deslizamento de camadas adjacentes da cola, o que levaria a descida do bloco.



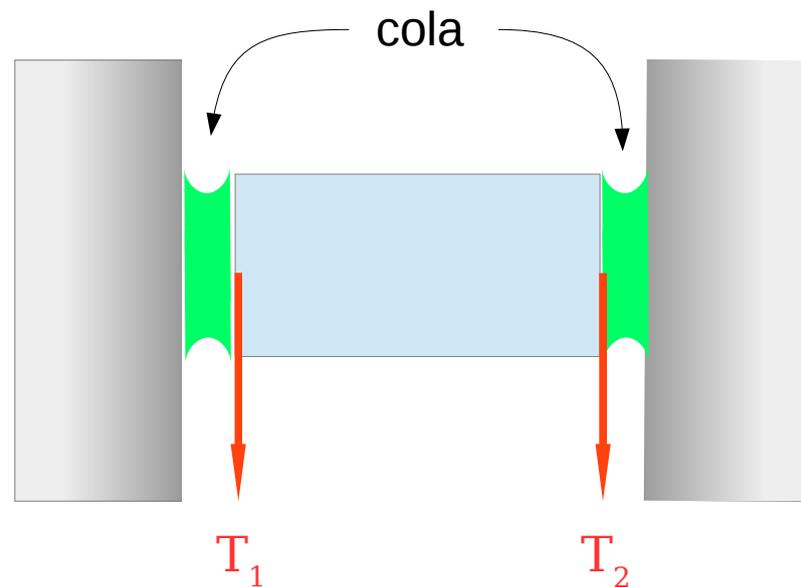
T = tensão superficial
(cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Fluido: sistemas macroscópicos que fluem.

Sólido → se deforma até o equilíbrio quando sujeito a uma tensão superficial.

Líquido → não equilibra nenhuma tensão superficial, ele flui.



T = tensão superficial
(cisalhamento)

Fluidos e Elasticidade

Modelo Fluido Ideal → viscosidade (resistência ao deslocamento) nula.

Fluidos e Elasticidade

Modelo Fluido Ideal → viscosidade (resistência ao deslocamento) nula.

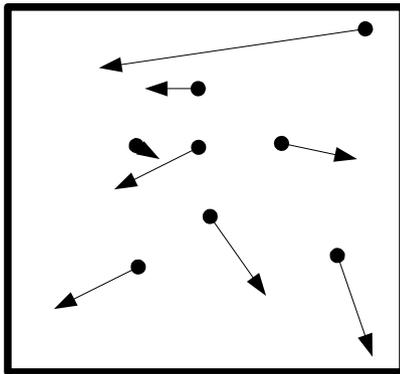
No mundo real a viscosidade depende da velocidade de escoamento.

Se $v = 0$ → tensão superficial é nula!!!

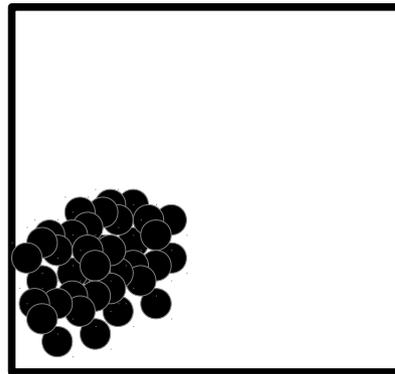
Muito bem, antes de falarmos de propriedades dos fluidos e definirmos grandezas vamos rever nossos **objetivos** e a **base do nosso conhecimento**.

Modelo Atômico da Matéria

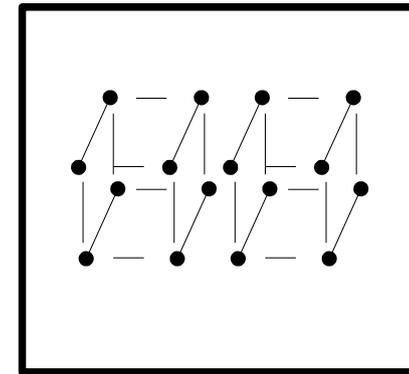
Gás



Líquido



Sólido



Um gás é composto de partículas que interagem apenas durante as colisões.

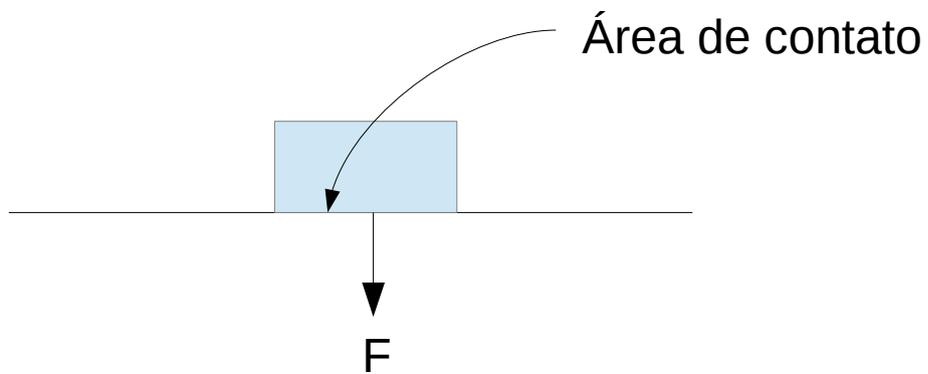
Grandezas (No Sistema Internacional)

Volume \equiv espaço ocupado \rightarrow **[m³]**

Densidade \equiv Qtde de matéria por volume: $\rho = m/V \rightarrow$ **[kg/m³]**

Pressão = ????

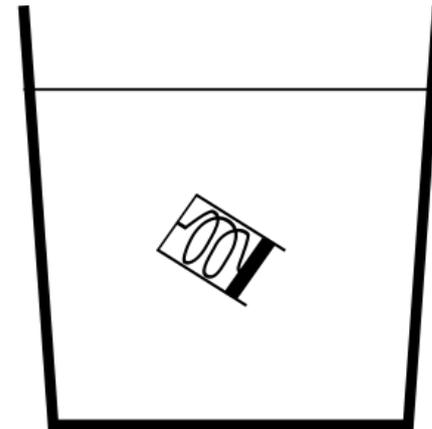
Pressão → Uma grandeza relacionada com a força superficial.



$$\text{Pressão} \equiv \text{Força} / \text{Área}$$

Grandezas

A Pressão é um escalar! Não depende da orientação do medidor...



A pressão é a mesma independentemente da direção que que aponta o medidor!

Vamos fazer um Teste Conceitual?

Vamos estipular uma regra...

Regra do Teste Conceitual

Questão Lançada

Vc pensa na resposta durante **1 min**

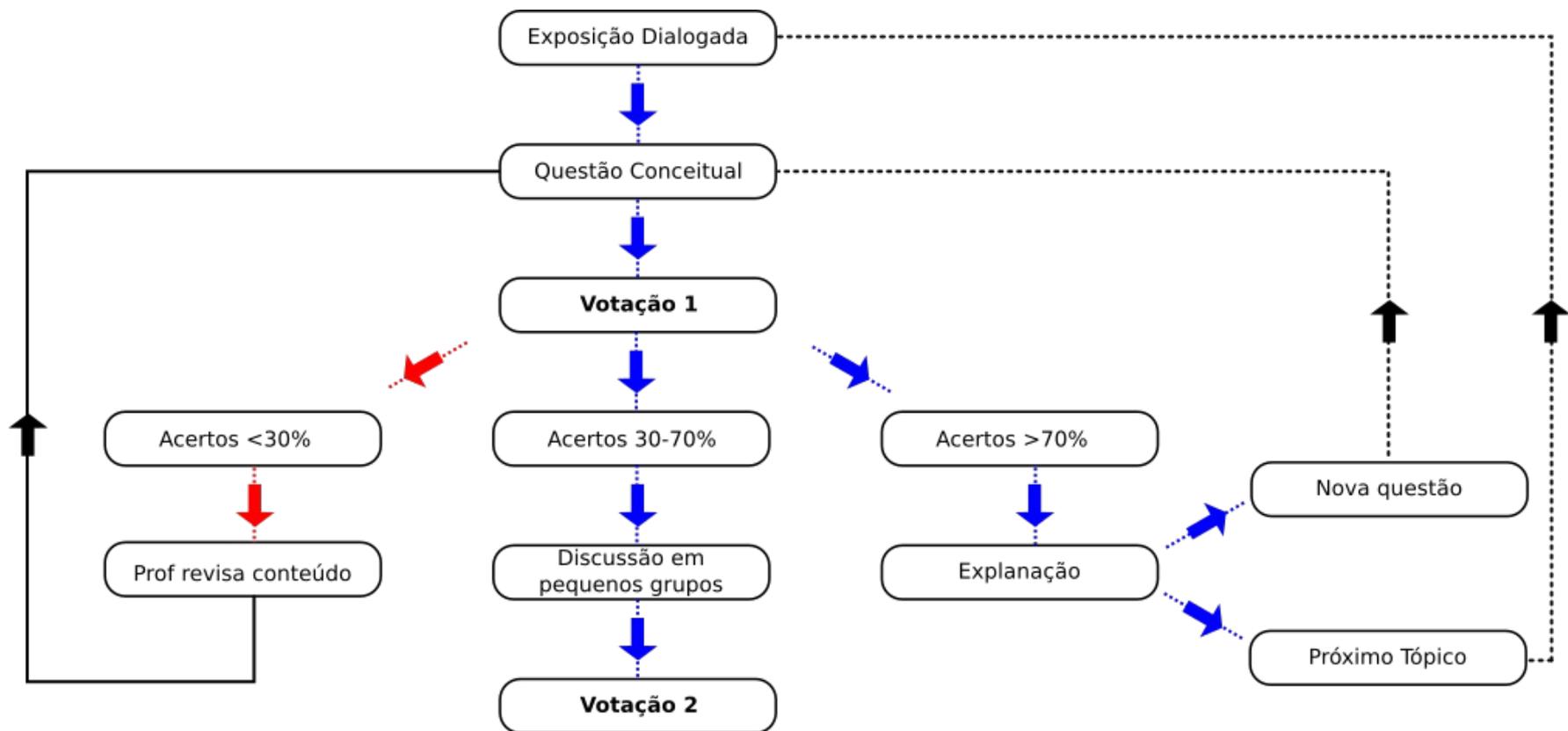
Ao sinal do Prof, você levanta a placa com sua resposta

- 1- Se 70% da turma acertar, o prof. segue com a matéria.
- 2- Se até 30% da turma acertar, o prof. explica a questão.

Se de **30-70%** da turma acertar, você procura um colega que tenha marcado uma resposta diferente e argumenta (com ele) porque você acha que a sua resposta é a correta.

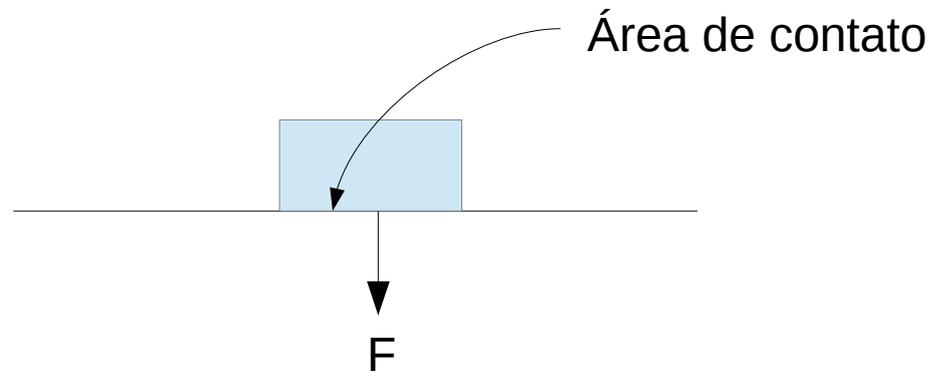
Ao sinal do Prof, você levanta a placa com sua **NOVA** resposta

Independente da resposta o prof. explicará a questão.



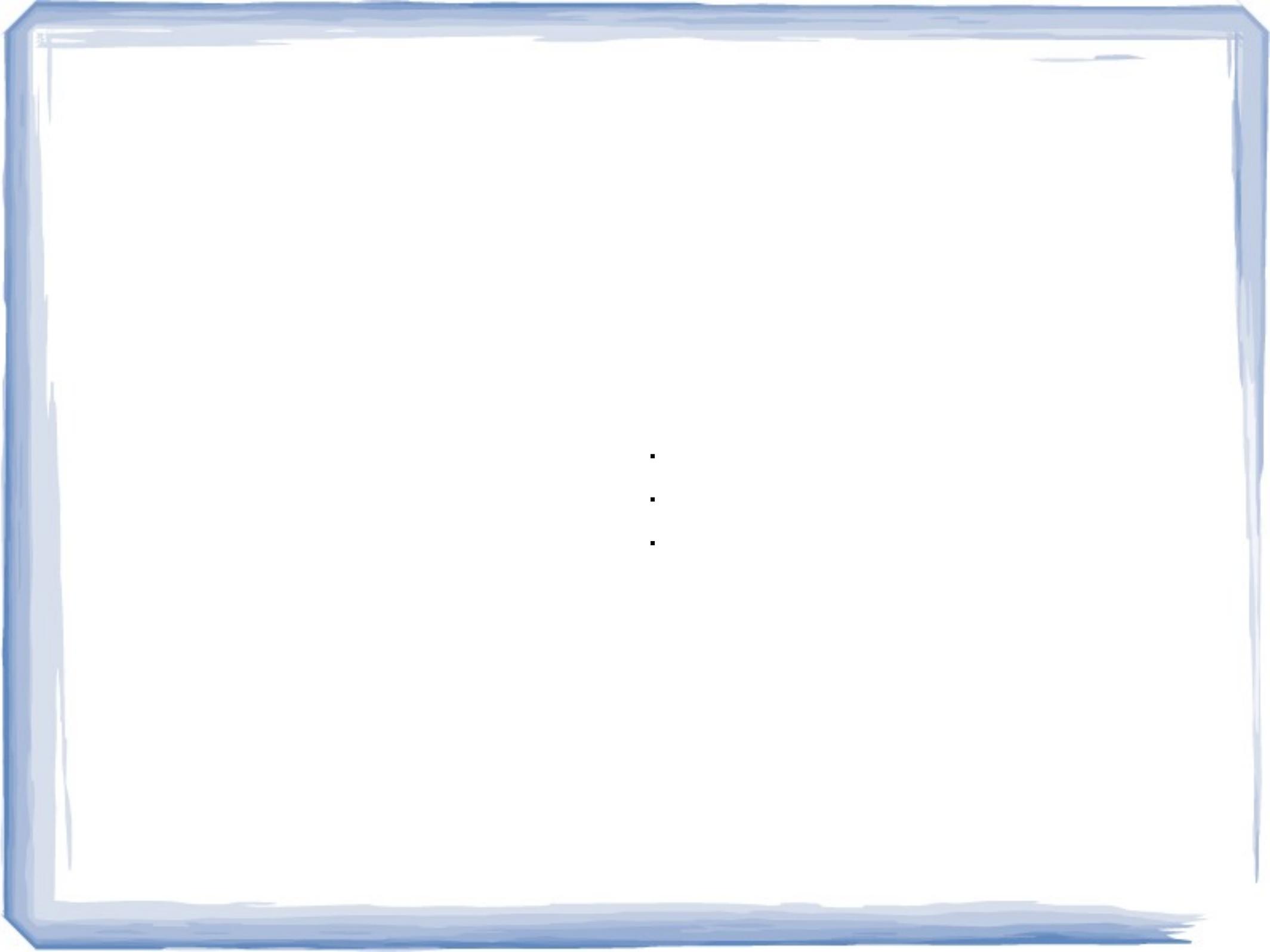
Teste Conceitual 1

Considere um bloco apoiado em uma superfície horizontal



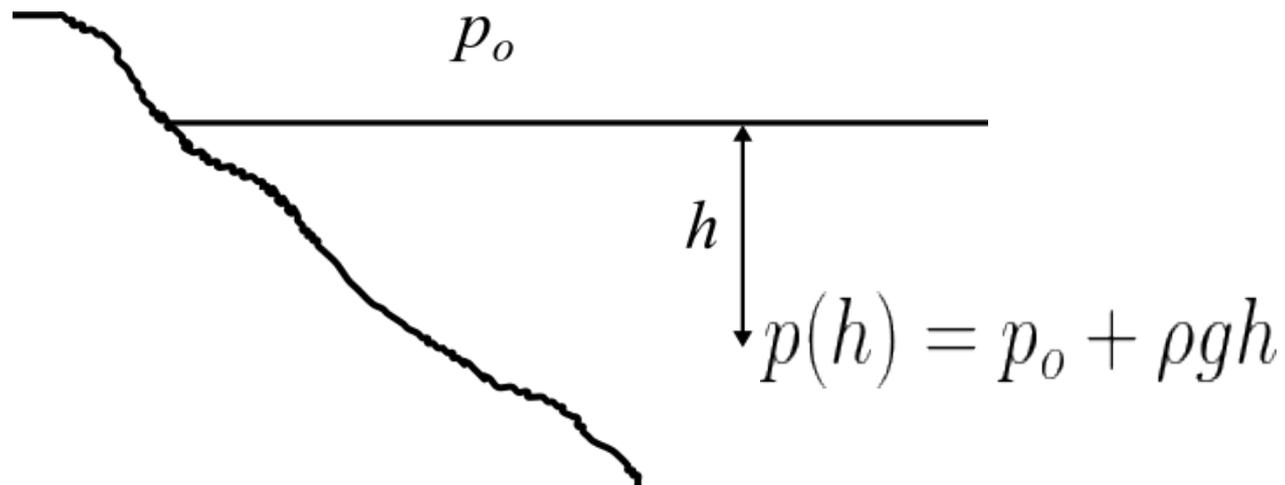
- (A) A superfície está sujeita a força peso do bloco.
- (B) Se o bloco for colocado em pé, a pressão na superfície aumenta.
- (C) A pressão na superfície é inversamente proporcional a massa do bloco.
- (D) As três alternativas anteriores estão corretas.

Desenvolveremos a seguir uma expressão que descreve a pressão nos fluidos estáticos.



$$p(h) = p_o + \rho gh$$

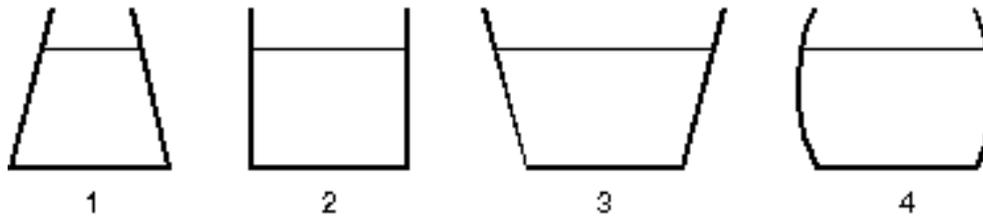
A **Lei de Stevin** descreve a pressão no interior dos fluidos estáticos.



A pressão hidrostática só depende da profundidade e da pressão na superfície!

Teste Conceitual 2

Todas as vasilhas mostradas abaixo contém a mesma qtde de água e estão preenchidas a mesma altura. A sequência que melhor expressa o aumento da pressão, exercida pela água, no fundo de cada recipiente é:

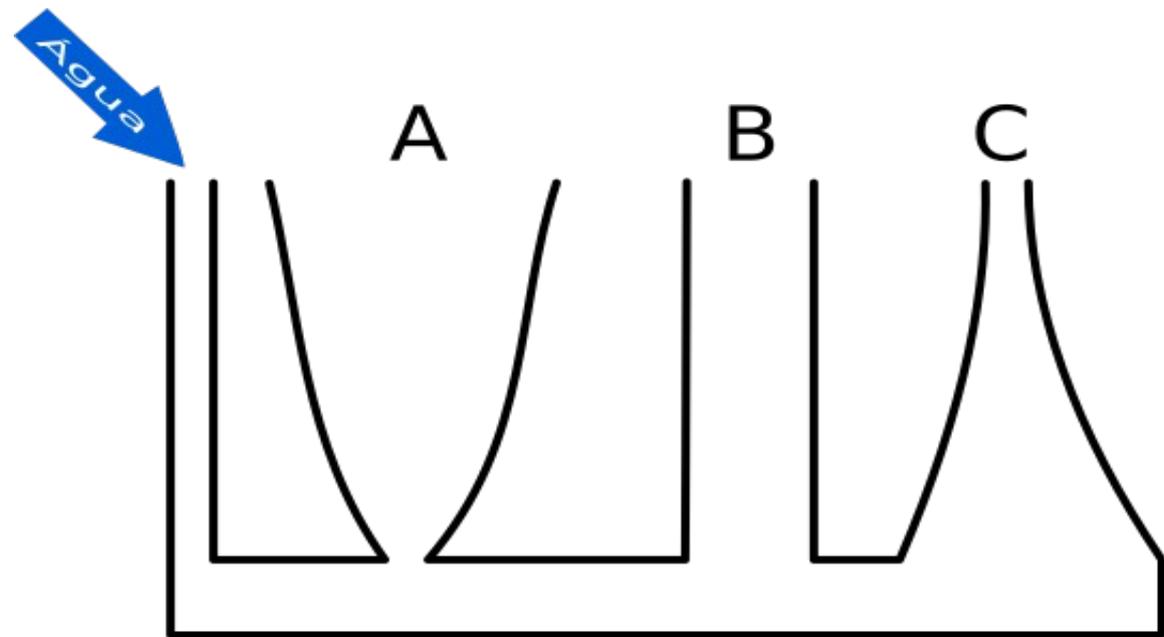


- A) 1, 2, 3, 4
- B) 3, 4, 2, 1
- C) 4, 3, 2, 1
- D) todas as pressões são idênticas

Teste Conceitual 3

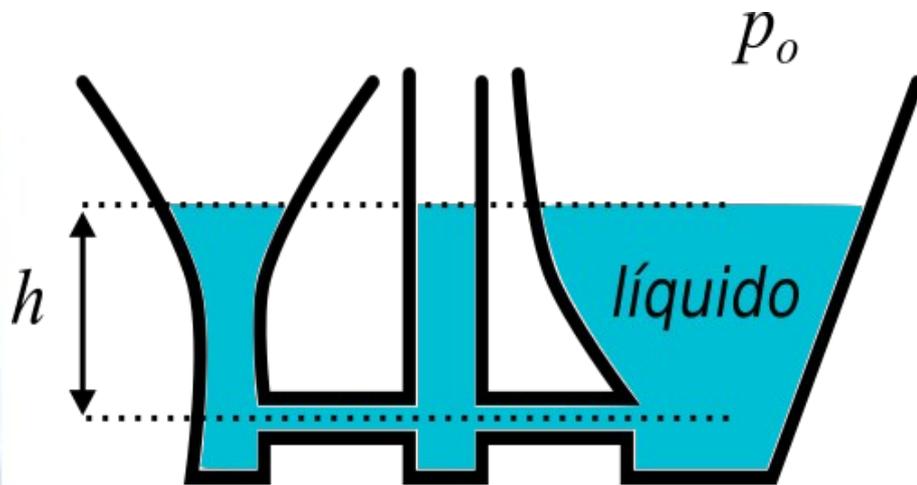
Água é lentamente derramada no recipiente da figura abaixo até que o nível tenha aumentado nos tubos A, B e C. Interrompe-se o derramamento antes que haja o transbordamento. Como se comparam entre si as profundidades de água nas três colunas (parcialmente cheias)?

- (A) $d_A > d_B > d_C$
- (B) $d_A < d_B < d_C$
- (C) $d_A > d_B = d_C$
- (D) $d_A = d_B = d_C$



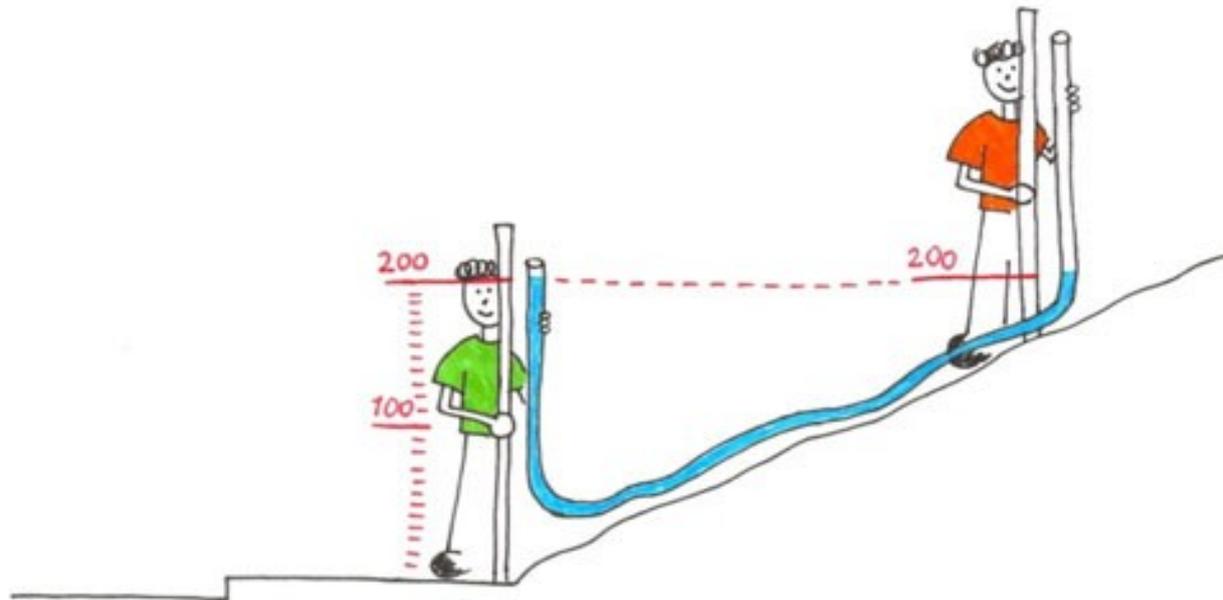
Vasos Comunicantes

Um líquido em equilíbrio hidrostático, contido num recipiente conectado, sobe até a mesma altura em todas as regiões!



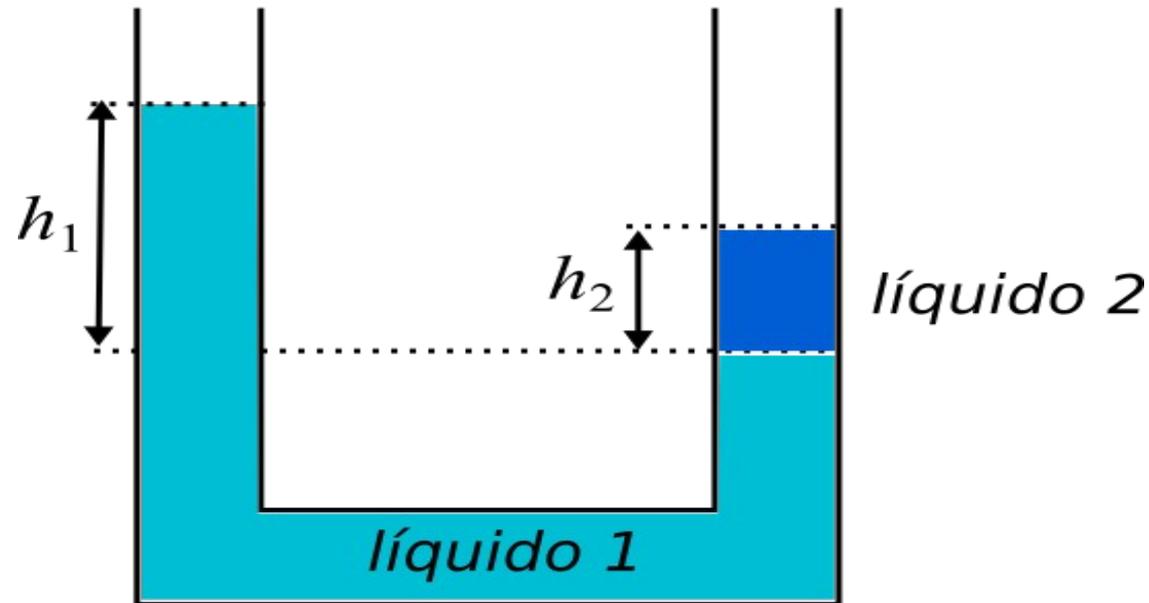
Vasos Comunicantes

Um líquido em equilíbrio hidrostático, contido num recipiente conectado, sobe até a mesma altura em todas as regiões!



O Nível de obra, utilizado na construção civil, é uma aplicação prática deste fenômeno!

Aplicação: Tubo em U com dois líquidos distintos.



“Princípio de Pascal”

Pela Lei de Stevin, a diferença de pressão entre dois pontos de um líquido é cte, dependendo apenas do desnível entre esses pontos. Logo, **se produzirmos uma variação de pressão num ponto do líquido, essa variação se transmite igualmente a todos os pontos do líquido.**

Ver exemplo 15.4

Termômetros e Medidores de pressão de gases.

50. || O manômetro de mercúrio mostrado na **FIGURA P16.50** está acoplado a uma célula de gás. A altura h do mercúrio do manômetro é de 120 mm quando a célula é mantida imersa em uma mistura de gelo e água e diminui para 30 mm quando o aparelho é mantido em um congelador industrial. Qual é a temperatura do congelador?

Dica: O tubo direito do manômetro é muito mais estreito do que o tubo esquerdo. Que pressuposição razoável pode ser feita acerca do volume do gás?

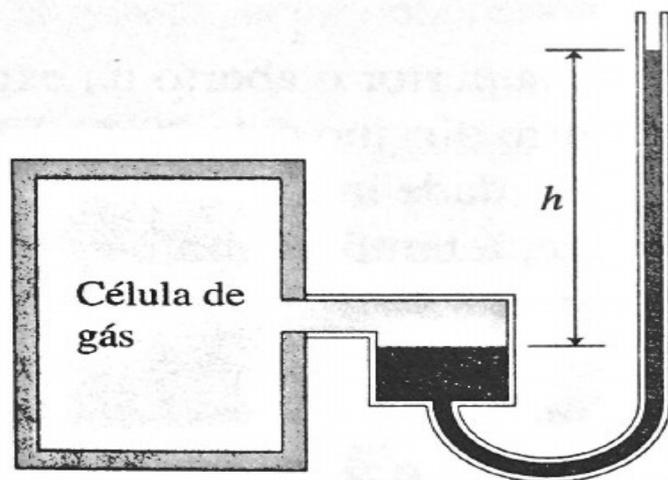


FIGURA P16.50

Termômetros e Medidores de pressão de gases.

50. || O manômetro de mercúrio mostrado na **FIGURA P16.50** está acoplado a uma célula de gás. A altura h do mercúrio do manômetro é de 120 mm quando a célula é mantida imersa em uma mistura de gelo e água e diminui para 30 mm quando o aparelho é mantido em um congelador industrial. Qual é a temperatura do congelador?

Dica: O tubo direito do manômetro é muito mais estreito do que o tubo esquerdo. Que suposição razoável pode ser feita acerca do volume do gás?

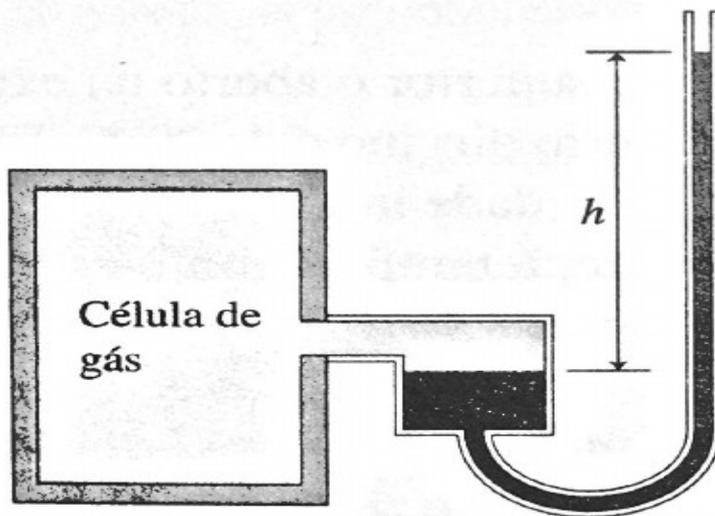


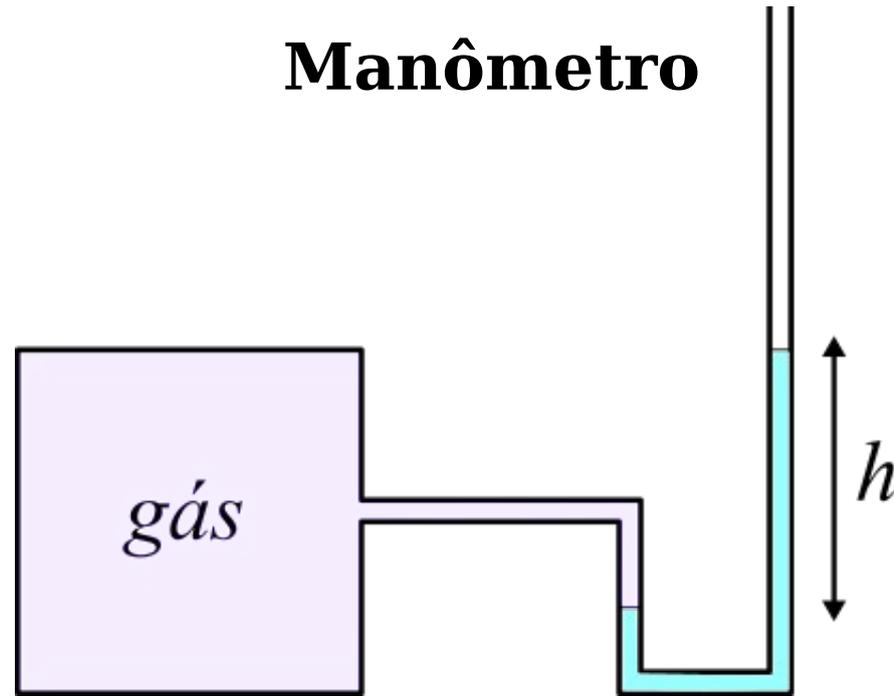
FIGURA P16.50

Neste caso, a variação da pressão do gás produziu uma variação na pressão na interface líquido-gás (sem mudar apreciavelmente a sua altura).

De acordo com o **Princípio de Pascal**, essa variação de pressão se transmitiu para todo o líquido, o que levou a variação de h .

Medidores de Pressão

Manômetro



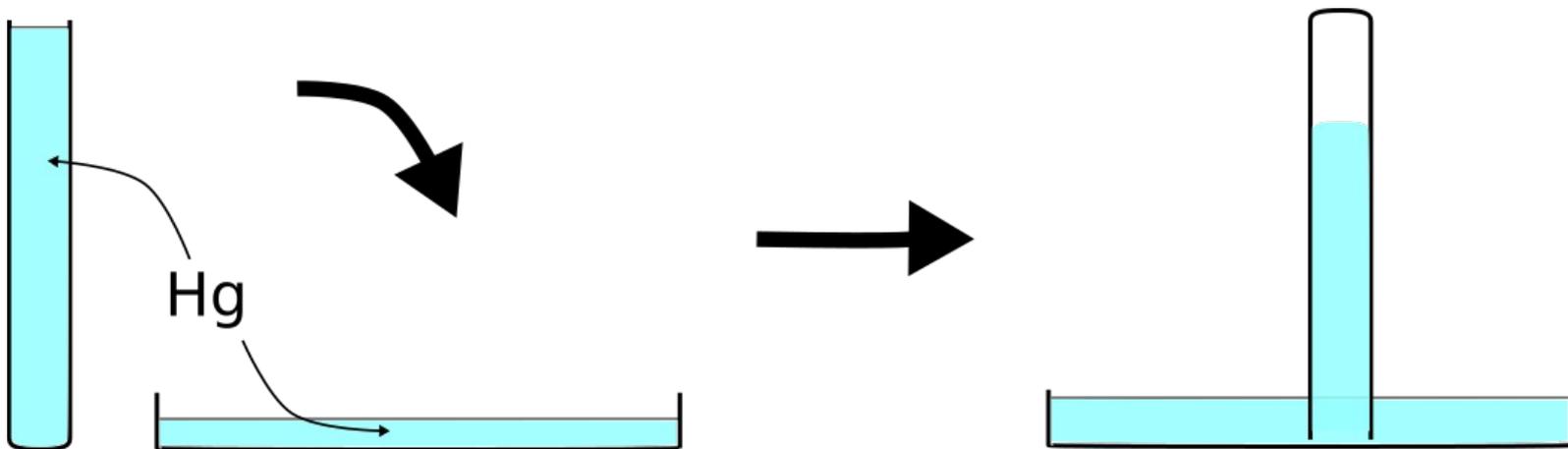
A altura h fornece a pressão do gás.

$$p_m = \text{pressão manométrica} = p - 1\text{atm} = \rho gh$$

A pressão manométrica pode ser nula!

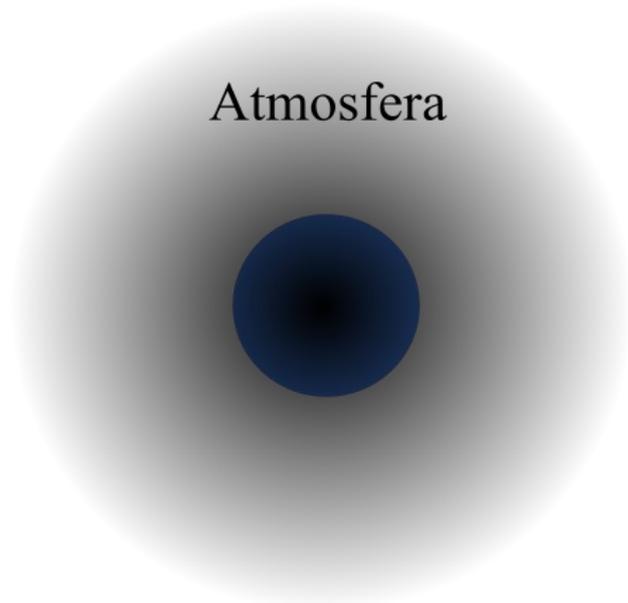
Medidores de Pressão

Barômetro



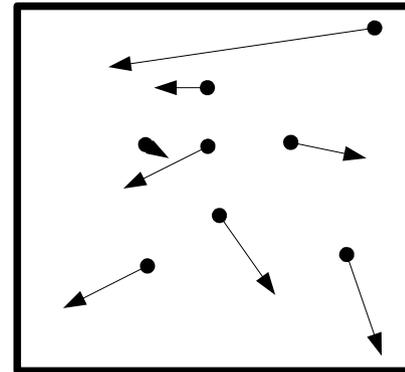
Por que o líquido não escorre totalmente?

A pressão nos gases depende da gravidade e da temperatura.



$$p \leftrightarrow g$$

Em sistemas grandes, como a Terra, o efeito da gravidade torna-se bem perceptível



$$p \leftrightarrow T$$

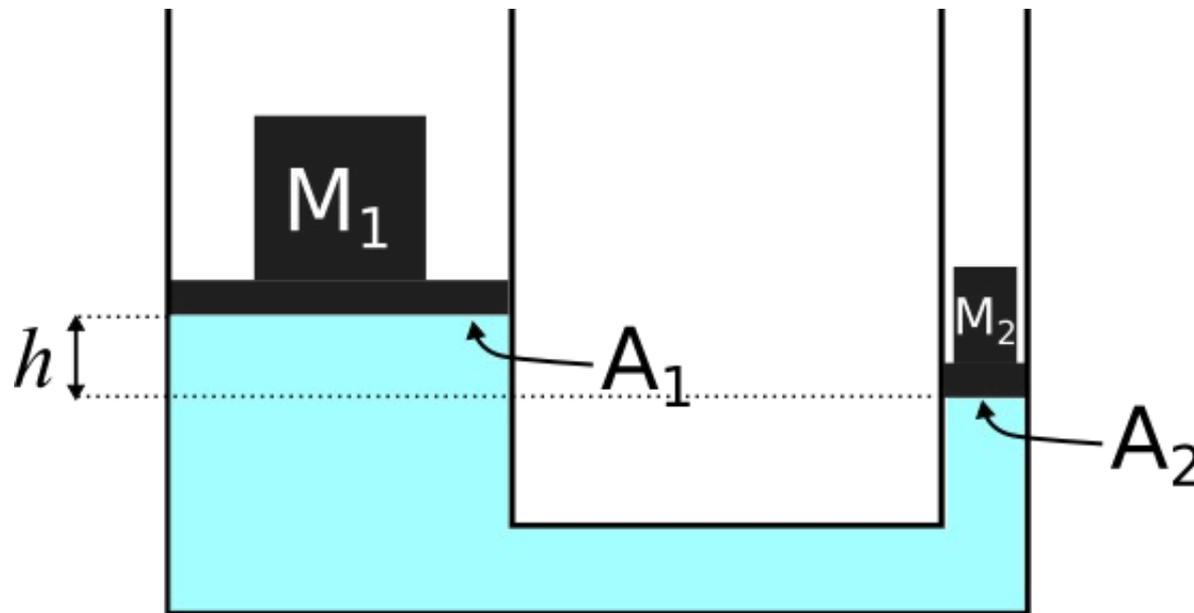
Em sistemas pequenos, como o gás num recipiente, o efeito da gravidade não é perceptível

Qual a força exercida pelo ar em nosso antebraço?

Aplicação: Elevador Hidráulico

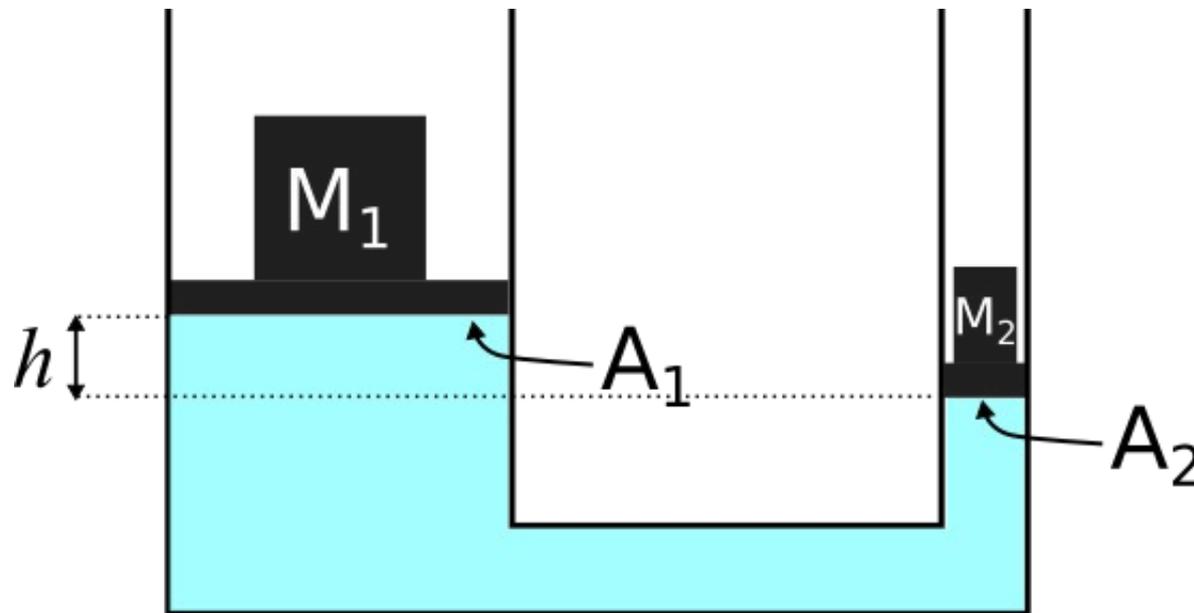
→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

“Uma pequena massa pode equilibrar uma massa gigante...”



Aplicação: Elevador Hidráulico

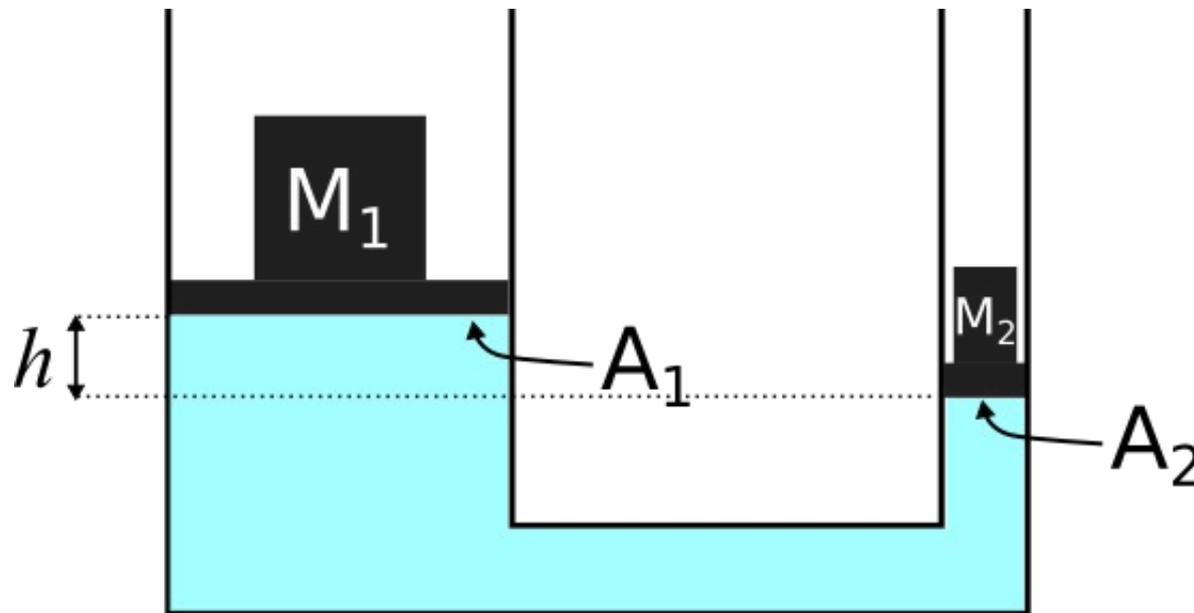
→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)



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

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)



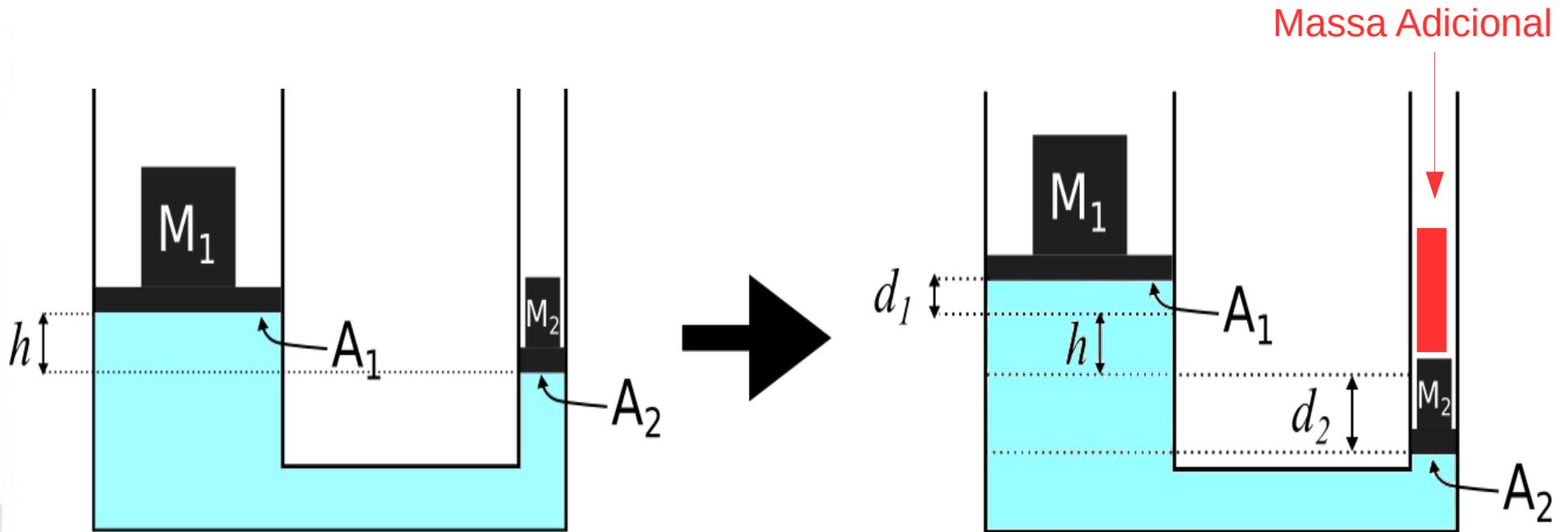
Se deslocarmos m_2 de d_2 ...

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad \leftrightarrow \quad d_1 = \frac{A_2}{A_1} d_2$$

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

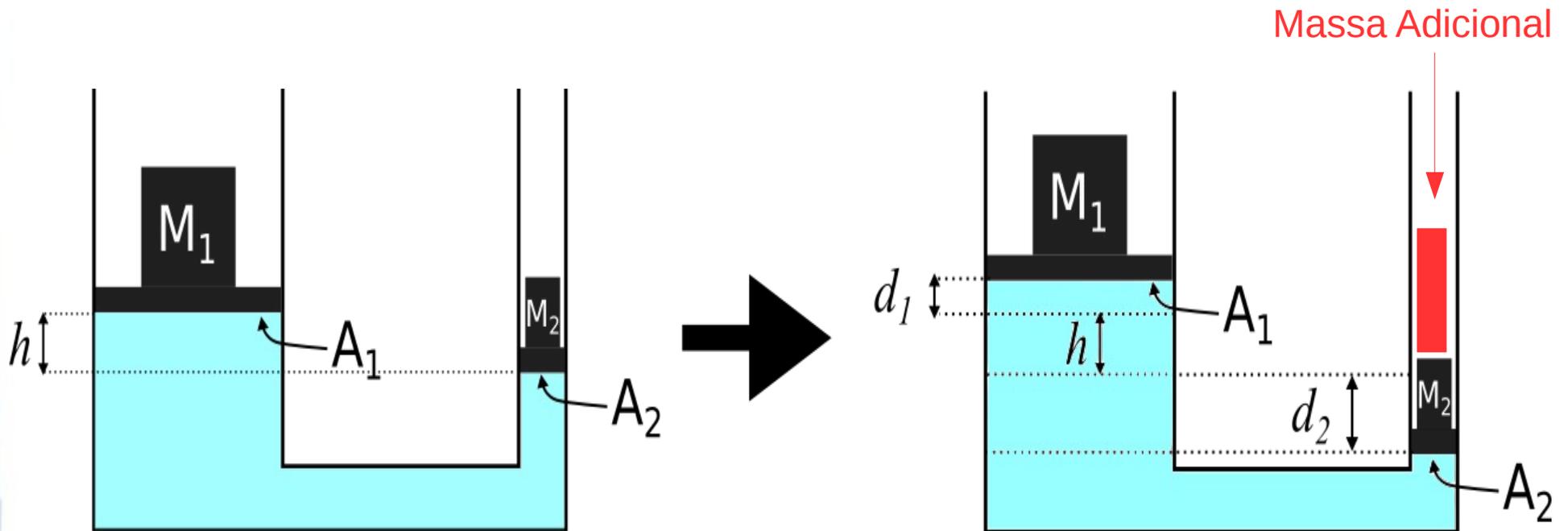
De quanto subirá o pistão 1 se aumentarmos a força no pistão 2, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

De quanto subirá o pistão 1 se aumentarmos a força no pistão 2, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



$$F'_2 - F_2 = \rho g d_1 (A_1 + A_2)$$

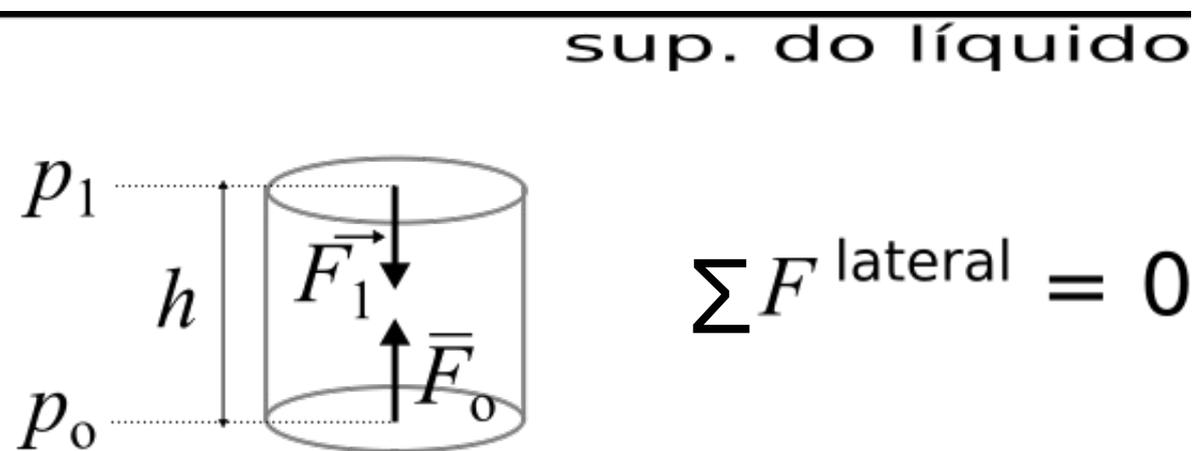
→ Olhar o problema resolvido 15,7!

Flutuação de corpos em fluidos...

Força de Empuxo

Força realizada por fluidos cujo o módulo é igual ao peso do fluido deslocado

Imaginemos um objeto cilíndrico submerso

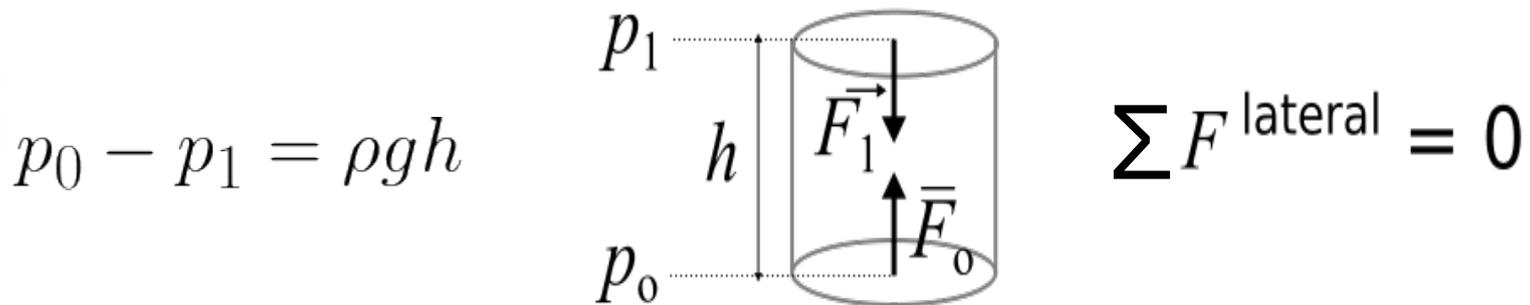


$$p_0 - p_1 = \rho g h$$

Força de Empuxo

A resultante das forças (superficiais) sobre o cilindro é o empuxo

sup. do líquido



$$\begin{aligned} E &= p_0 A - p_1 A = \rho g h A \\ &= \rho g V \\ &= m_{\text{líquido}} g \rightarrow \text{peso do líquido deslocado} \end{aligned}$$

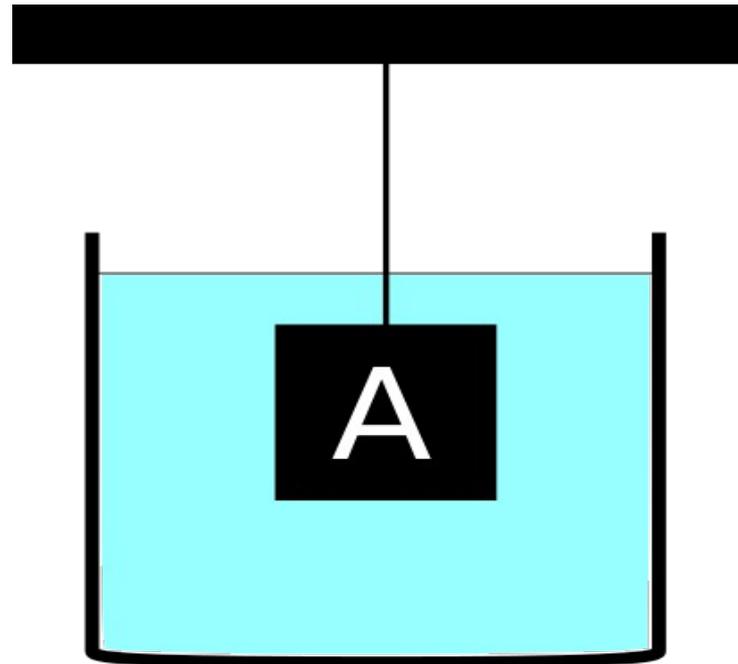
A noção da força de empuxo dá origem a um princípio muito importante e básico para a descrição de sistemas flutuantes e/ou submersos como os barcos e submarinos

Princípio de Arquimedes:

“Um corpo total ou parcialmente imerso num fluido recebe um empuxo igual e contrário ao peso da porção de fluido deslocado e aplicado no centro de gravidade do referido fluido deslocado.”

Arquimedes de Siracusa (séc III A.C.)

Problema: Qual a Tensão no barbante da figura abaixo?



Fluido: Álcool Etílico – bloco: material Al e Volume 100cm^3 .

$$\rho_{\text{álcool}} = 790 \text{ kg/m}^3 / \rho_{\text{Al}} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

Teste Online

Algumas respostas...

O que significa dizer que a pressão é uma grandeza escalar?

Estudante 1- “A pressão é um escalar, pois independe do sentido da força para ter um sentido. Ou seja, ela sempre será um valor.”

Estudante 2- “Significa que a pressão pode ser definida apenas com o seu módulo e uma unidade de medida, não sendo necessário que se especifique sua orientação (direção e sentido).”

Teste Online

Algumas respostas...

O que acontecerá com a ventosa do exemplo 15.2 se o ambiente onde ela se encontra for evacuado? Porque?

Estudante 1- “A ventosa vai acabar se desprendendo do teto pois não haverá mais ar empurrando ela contra o teto.”

Estudante 2- “A ventosa irá cair, já que o ar empurrando-a contra o teto não existirá e a força da gravidade irá atraí-la para baixo.”

A uma certa profundidade no oceano, a pressão absoluta vale P. Se você afunda, de forma que sua profundidade dobra, a pressão absoluta observada valerá 2P." Essa afirmativa é correta? Justifique sua resposta

Estudante 1- "Sim. A pressão na profundidade P de um líquido é dada pela seguinte equação: $p = p_0 + \rho gP$, onde ρ é a densidade do líquido. Uma vez que o fluido encontra-se em repouso (pressão hidrostática) a pressão será proporcional a profundidade."

Estudante 2- "Não. A altura influencia sim na pressão, mas não dobrando a pressão como um todo. $P = P_0 + \rho gh$, logo, a altura só dobra a segunda parte da equação, enquanto a pressão inicial permanece a mesma não importando a altura que a pessoa descer."

Teste Online

Algumas respostas...

O que é o Empuxo?

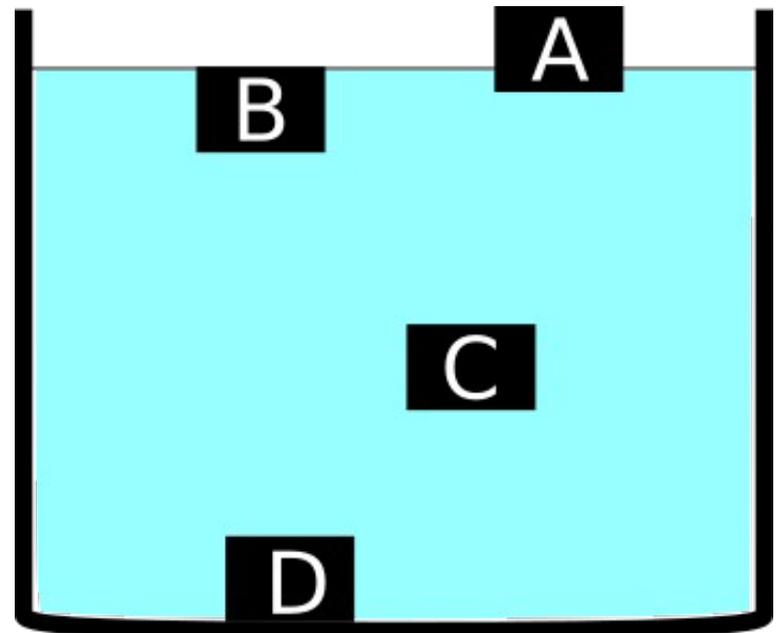
Estudante 1- “É a força que um líquido faz quando uma força é aplicado sobre ele ”

Estudante 2- “É a força resultante de fluido orientada para cima.”

Teste Conceitual 4

Os blocos A, B, C e D têm o mesmo volume. Determine a sequência correta referente aos Empuxos sobre cada um deles.

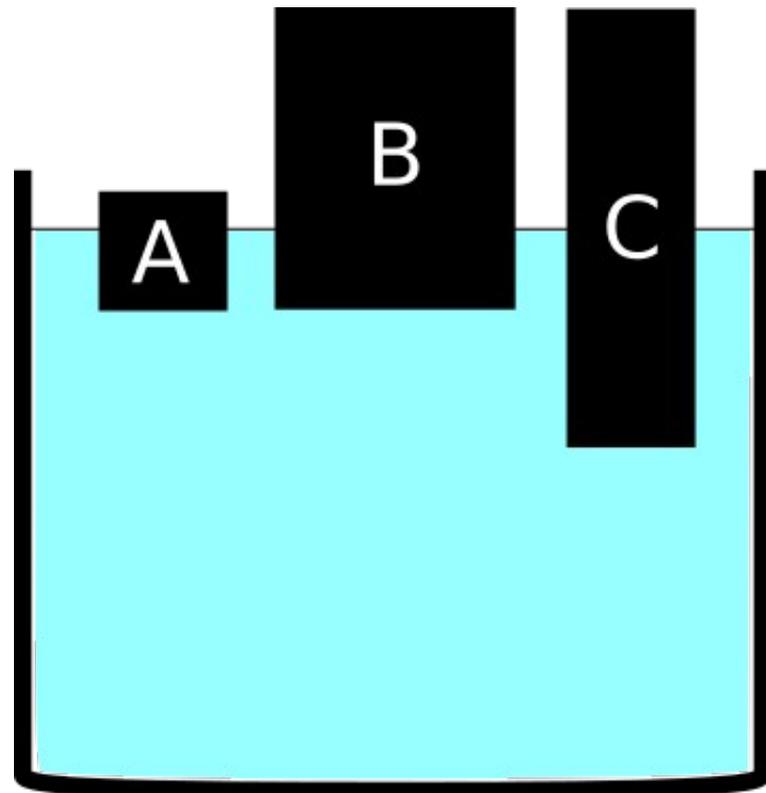
- (A) $E_A < E_B = E_C = E_D$
- (B) $E_A < E_B < E_C < E_D$
- (C) $E_A < E_B = E_C < E_D$
- (D) $E_A < E_B < E_C > E_D$



Teste Conceitual 5

Ordene a densidade de cada um dos blocos.

- (A) $\rho_A < \rho_C$
- (B) $\rho_A > \rho_B$
- (C) $\rho_A < \rho_B$
- (D) $\rho_B > \rho_C$



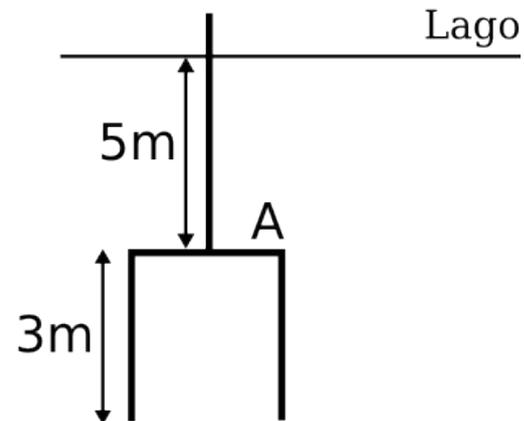
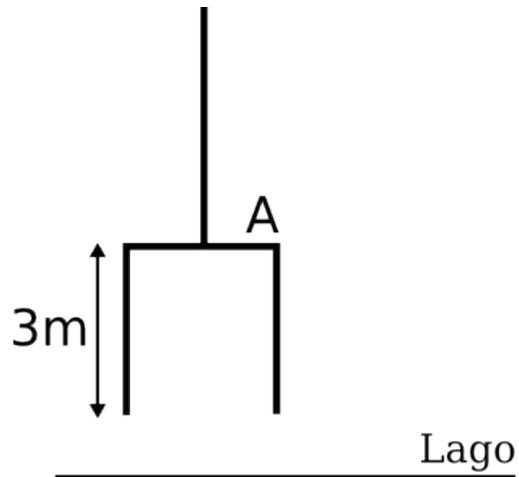
Teste Conceitual 6

Água salgada é mais densa que água doce. Um navio flutua tanto na água doce quanto na água salgada. Comparado com a água doce, o volume deslocado pelo casco do navio na água salgada é:

- (A) maior que o volume da água doce.
- (B) menor que o volume da água doce.
- (C) igual ao volume da água doce.
- (D) impossível determinar sem saber o valor da pressão atmosférica.

Problema – Para o lar

Que fração da campânula é ocupada pela água?



Aula 3

Hidrodinâmica

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Modelo de Fluido Ideal (3 hipóteses!)

- **Fluido incompressível**
- **O Fluido é não-viscoso (análogo do atrito cinético)**
- **Fluxo é estacionário (a velocidade é cte em cada ponto do fluido)**

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Modelo de Fluido Ideal (3 hipóteses!)

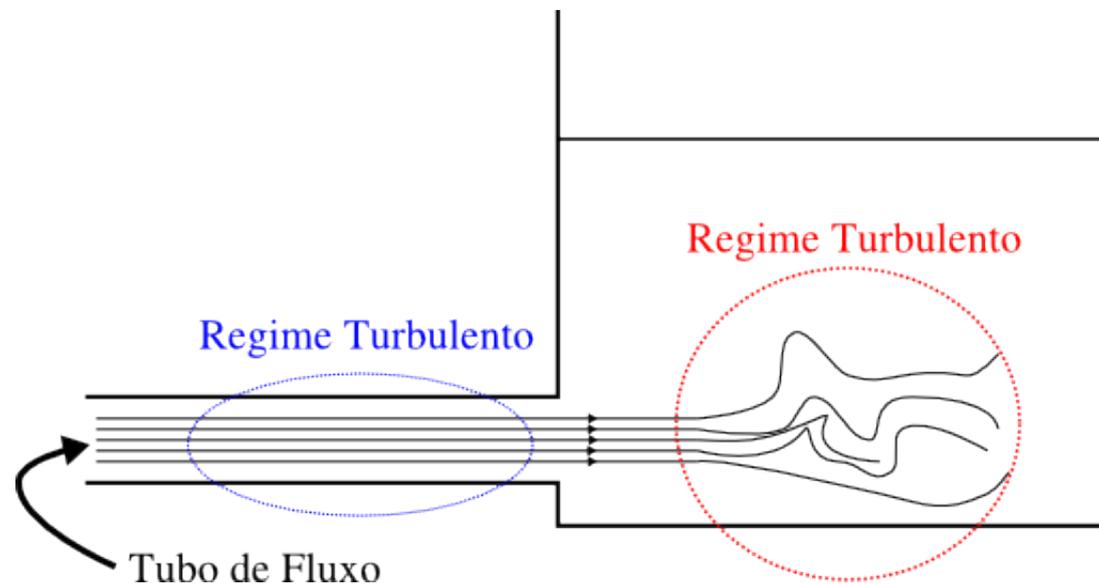
- Fluido incompressível
- O Fluido é não-viscoso (análogo do atrito cinético)
- Fluxo é estacionário (a velocidade é cte em cada ponto do fluido)

Um fluxo estacionário é chamado de **fluxo laminar**, oposto de **fluxo turbulento**.

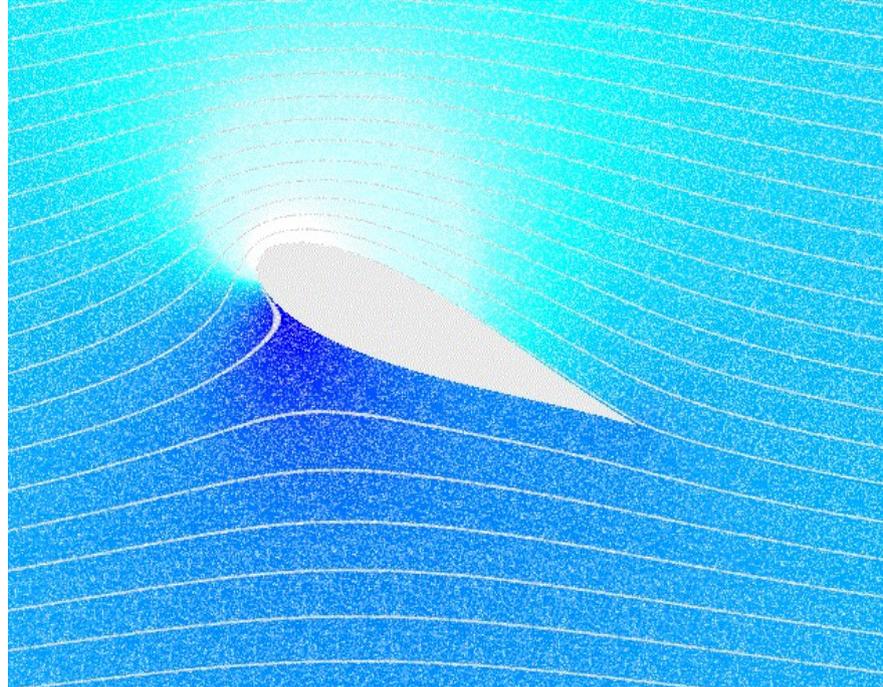
Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Um fluxo estacionário é chamado de fluxo laminar, oposto de fluxo turbulento.



Ver Figura 15.26!

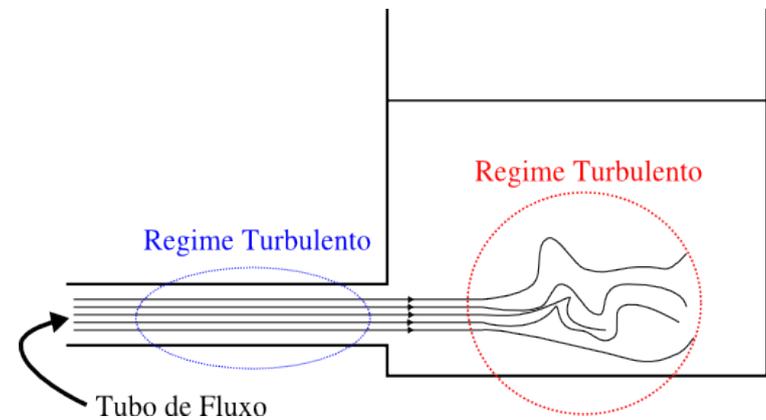


Referência: Thierry Dugnolle - Own work, CC0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18803279>

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Um fluxo estacionário é chamado de fluxo laminar, oposto de fluxo turbulento.



→ A linha de fluxo é a trajetória seguida por uma partícula qualquer em um fluido em movimento estacionário.

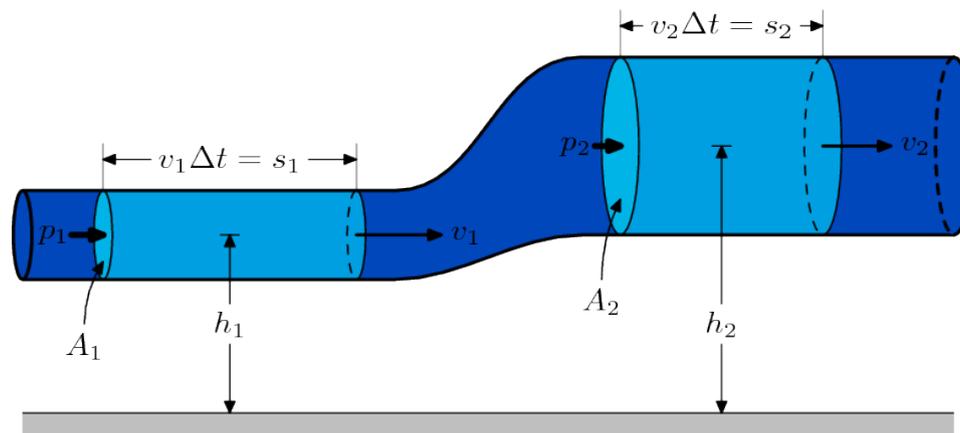
→ O tubo de fluxo é o feixe de linhas de fluxo.

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo



Em Δt uma qtde V do líquido atravessa A_1 . Se a velocidade do fluido é v_1 ,

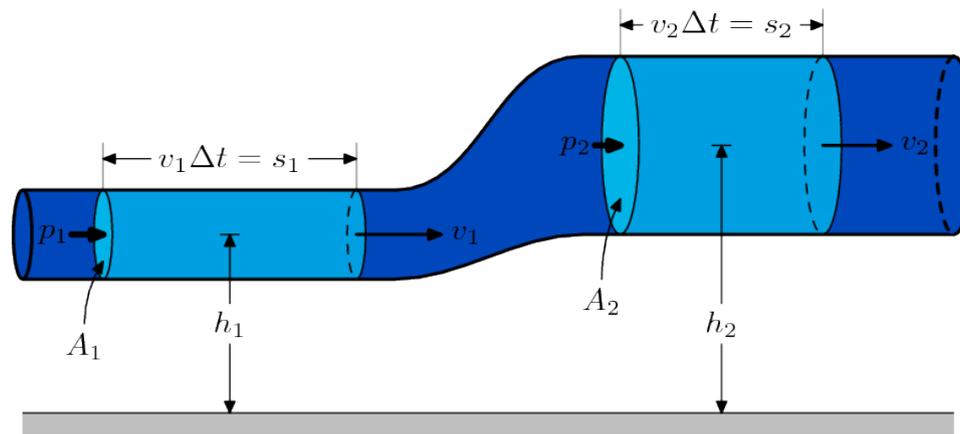
$$V = A_1 v_1 \Delta t$$

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo



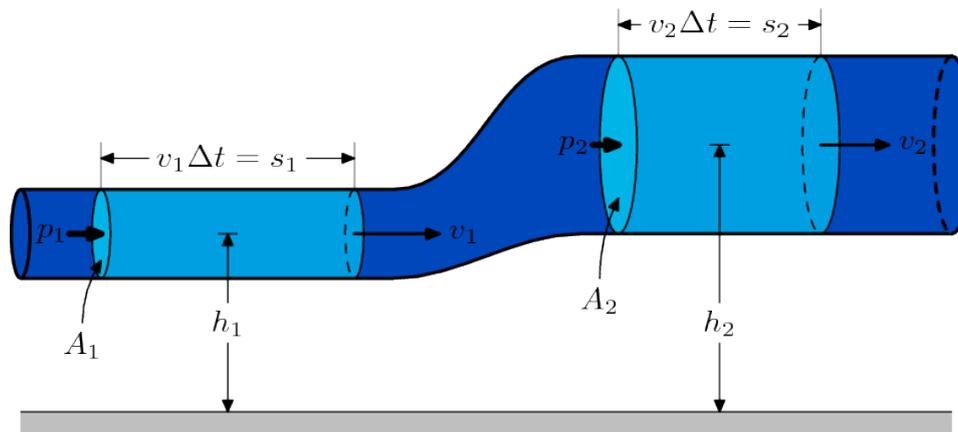
A mesma análise pode ser feita para A_2 , de forma que em Δt , uma qtde V do líquido atravessa A_2 . Neste caso, a velocidade do fluido é v_2 ,

$$V = A_2 v_2 \Delta t$$

Dinâmica dos Fluidos (Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Como o fluido não é criado e nem destruído entre A_1 e A_2 ,



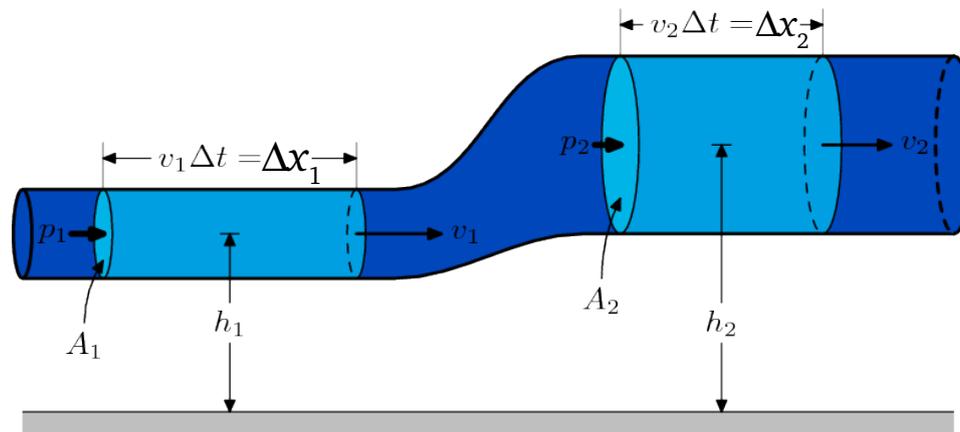
$$V_1 = V_2 \mapsto A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

$$\boxed{A_1 v_1 = A_2 v_2} = Q \text{ (vazão) } [\text{m}^3/\text{s}]$$

Dinâmica dos Fluidos (Fluidos em movimento)

Equação de Bernoulli

Consideremos novamente o mesmo tubo de fluxo

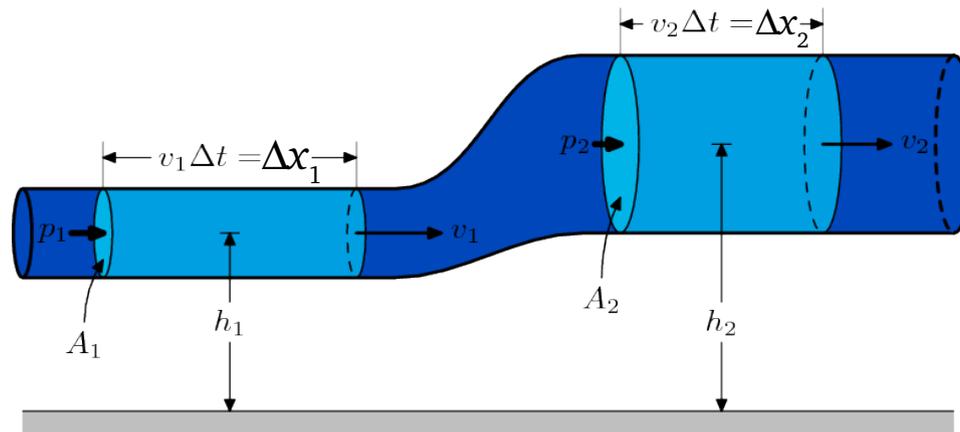


→ **Força de pressão circundante faz o fluido se mover!**

Por exemplo, uma força F faz o líquido, compreendido entre A_1 e A_2 , se mover para $A_1 + \Delta x_1$ e $A_2 + \Delta x_2$.

Equação de Bernoulli

Considerando o trabalho realizado no deslocamento do fluido

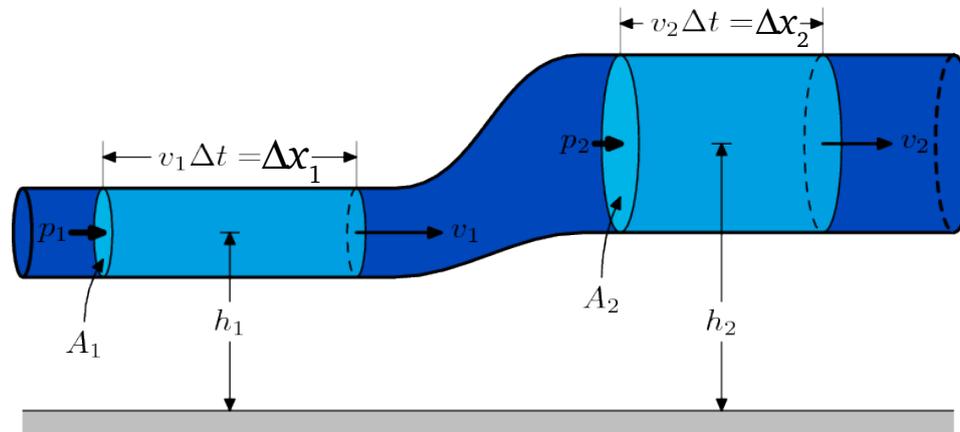


$$W^{lateral} = 0$$

$$W_1 = F_1 \Delta x_1 = P_1 A_1 \Delta x_1 = P_1 V \Leftrightarrow F_1 \parallel \Delta x_1$$

$$W_2 = -F_2 \Delta x_2 = -P_2 A_2 \Delta x_2 = -P_2 V \Leftrightarrow F_2 \parallel -\Delta x_2$$

Equação de Bernoulli



Observando as relações de energia,

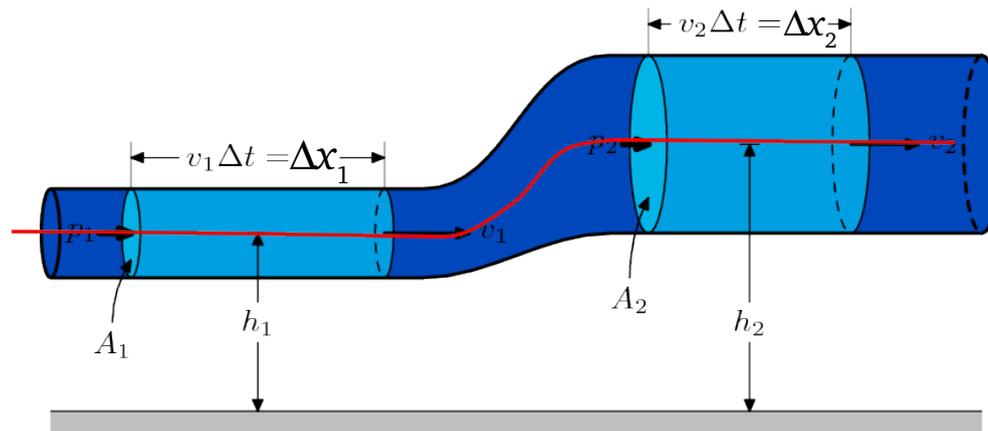
$$\Delta E + \Delta U = W^{ext}$$

$$W^{ext} = W_1 + W_2 = P_1 V - P_2 V$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1 V - P_2 V$$

↕

Equação de Bernoulli



Observando as relações de energia,

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1V - P_2V$$



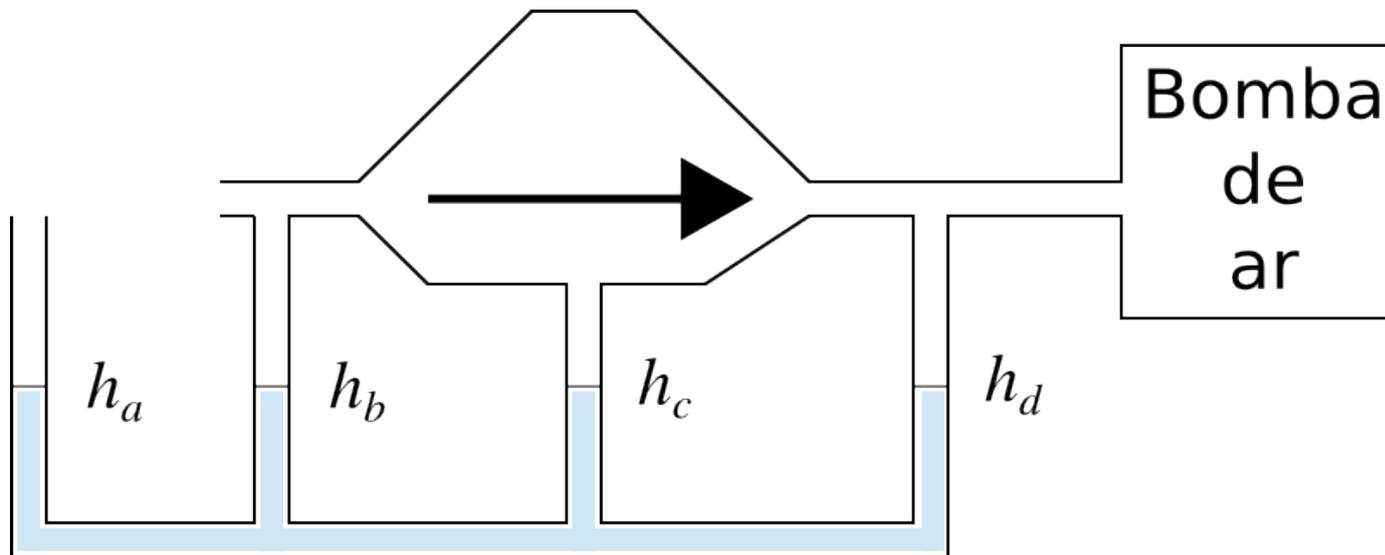
Equação de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

A Equação de Bernoulli relaciona dois pontos na mesma linha de fluxo.

Teste Conceitual 4

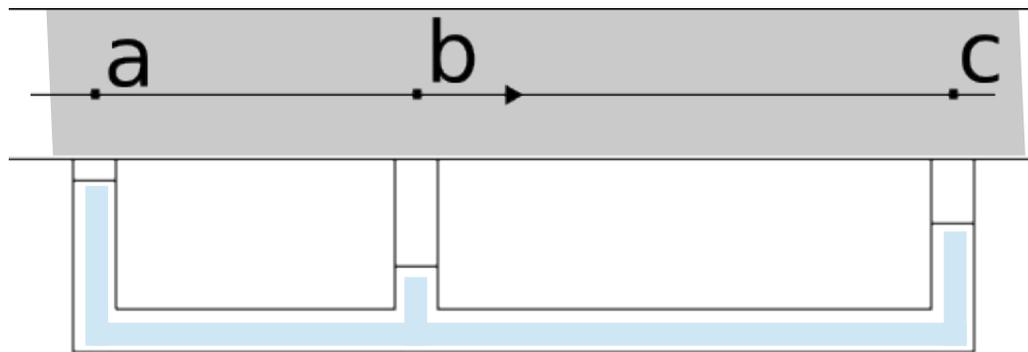
Qual a sequência correta entre as alturas $h_a - h_d$.



- (A) $h_a < h_c < h_b < h_d$
- (B) $h_a > h_c > h_b > h_d$
- (C) $h_a > h_c > h_b = h_d$
- (D) $h_a < h_c < h_b = h_d$

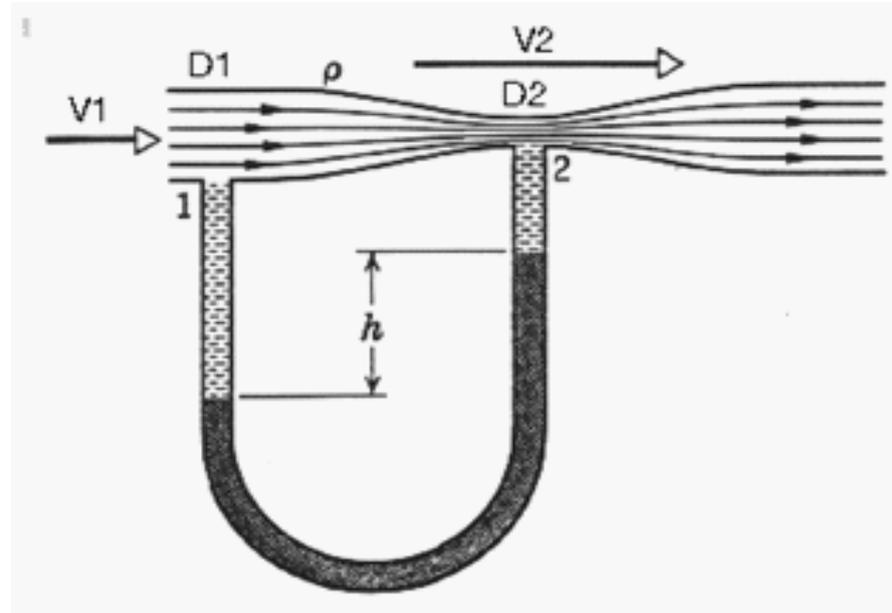
Teste Conceitual 5

Gás flui no tubo abaixo. Você não consegue ver os diâmetros nos pontos a, b e c. Qual a sequência correta entre as velocidades $v_a - v_c$.



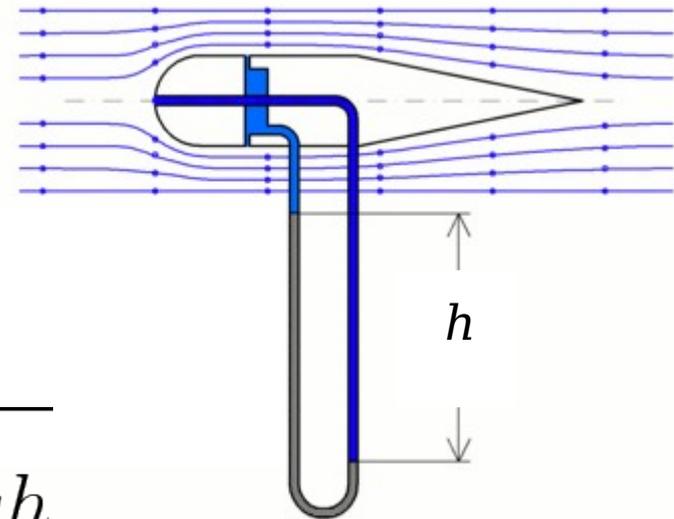
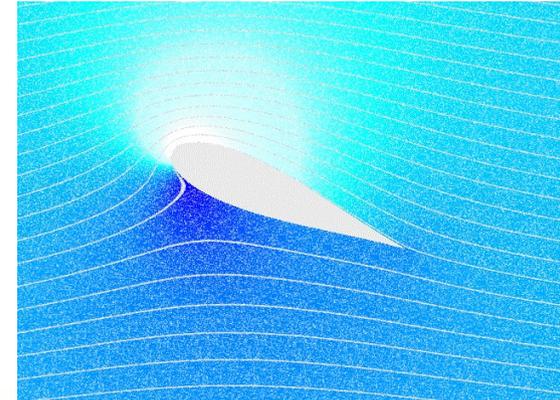
- (A) $v_a < v_b < v_c$
- (B) $v_a < v_b > v_c$
- (C) $v_a > v_c > v_b$
- (D) $v_a < v_c < v_b$

Aplicação: Tubo de Venturi (medida da velocidade de gases)



$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_{liq}gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Aplicação: Tubo de Pitot (medida da velocidade de fluidos)

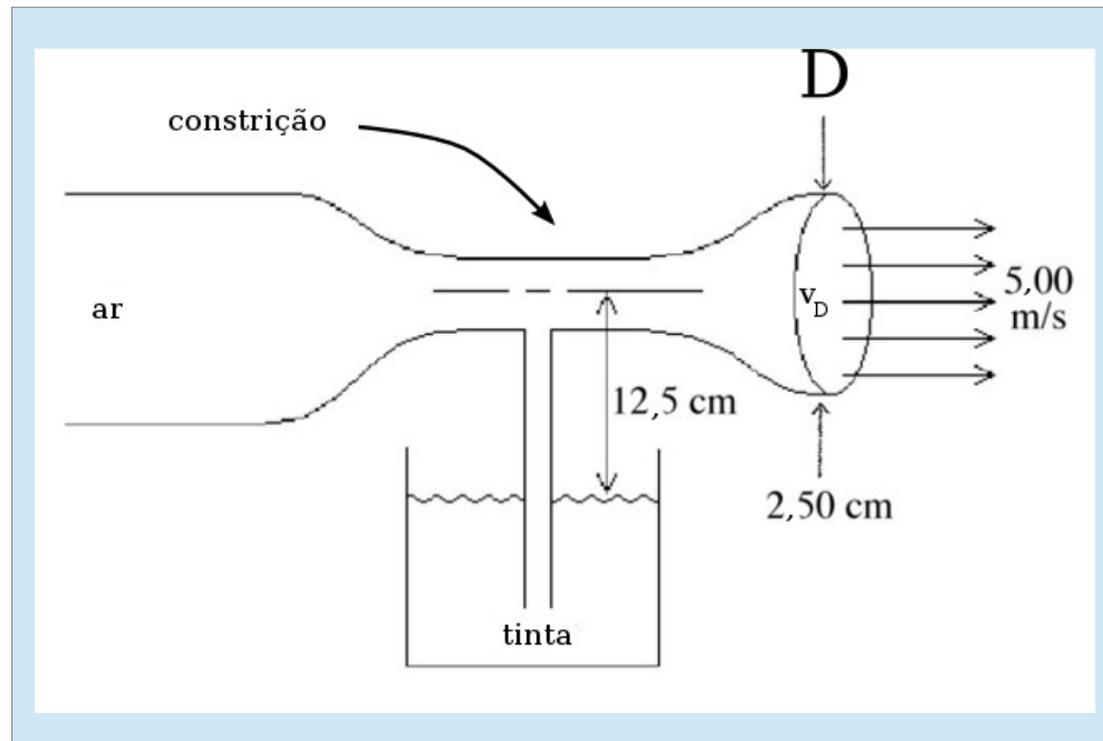


$$v = \sqrt{2 \frac{\rho_{líq}}{\rho_{ar}} gh}$$

Para o lar

Problema: O desenho abaixo ilustra o esquema de funcionamento de uma lata de "spray". O ar flui através do tubo que possui uma constricção que é conectada perpendicularmente (como ilustrado na figura) em outro tubo parcialmente inserido na tinta. A tinta fica contida num reservatório aberto.

→ Na figura: $D=2,50\text{cm}$; $\rho_{\text{ar}}=1,29\text{ kg/m}^3$; $\rho_{\text{tinta}}=1200\text{ kg/m}^3$ e $v_{\text{ar}^D}=5,0\text{m/s}$.

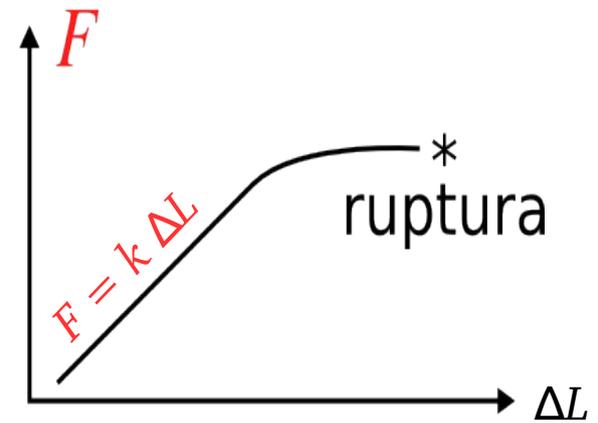
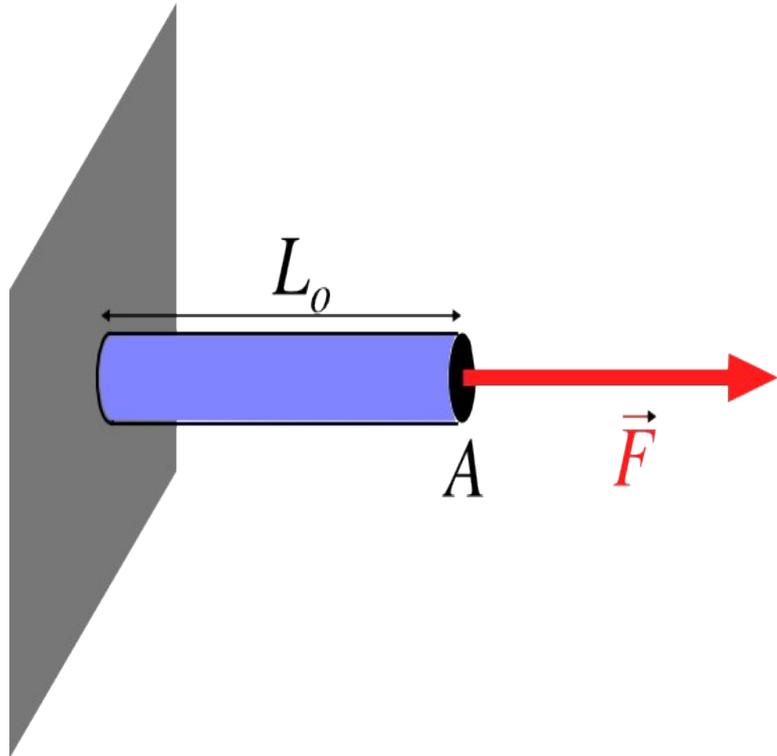


- 1- Por que a tinta sobe através do tubo? Explique à luz da Eq. de Bernoulli
- 2- Qual é o diâmetro mínimo da constricção para que a tinta seja ejetada pelo tubo?

Elasticidade

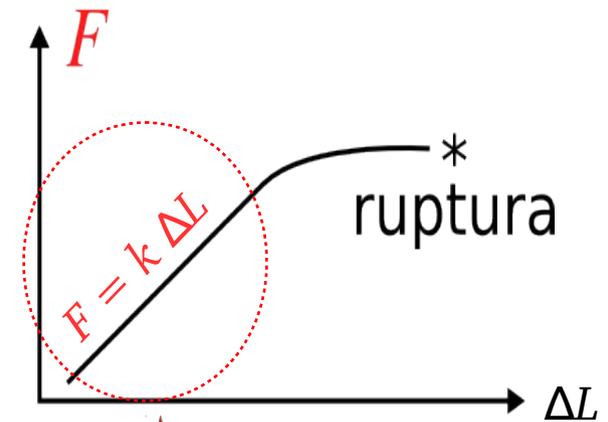
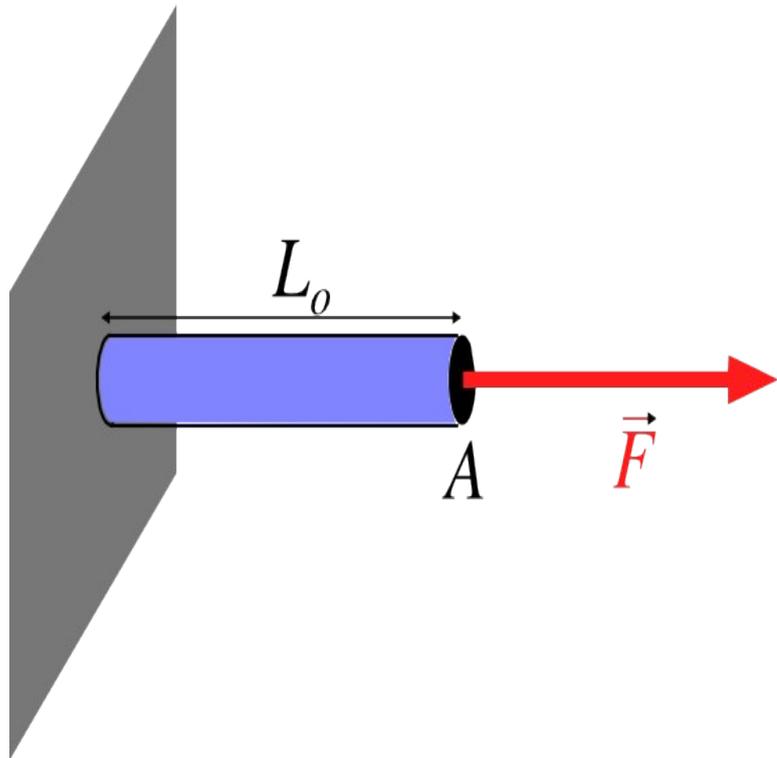
Elasticidade

Sólidos



Elasticidade

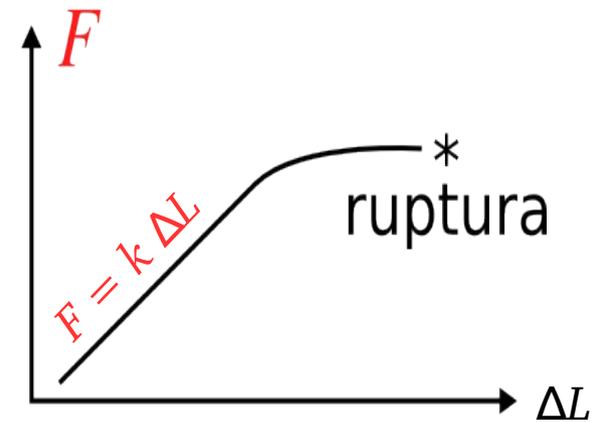
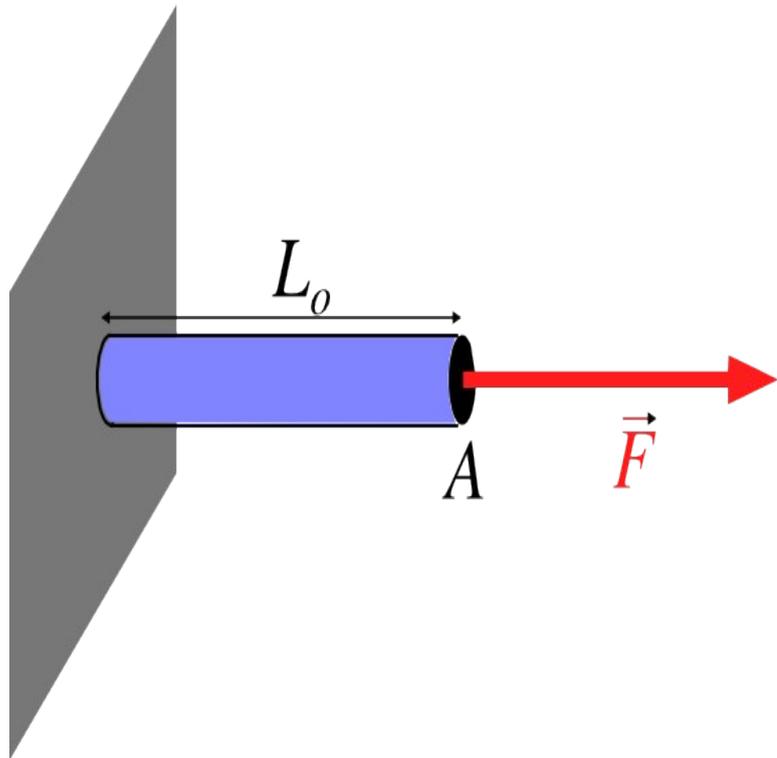
Sólidos



Região linear

Elasticidade

Sólidos

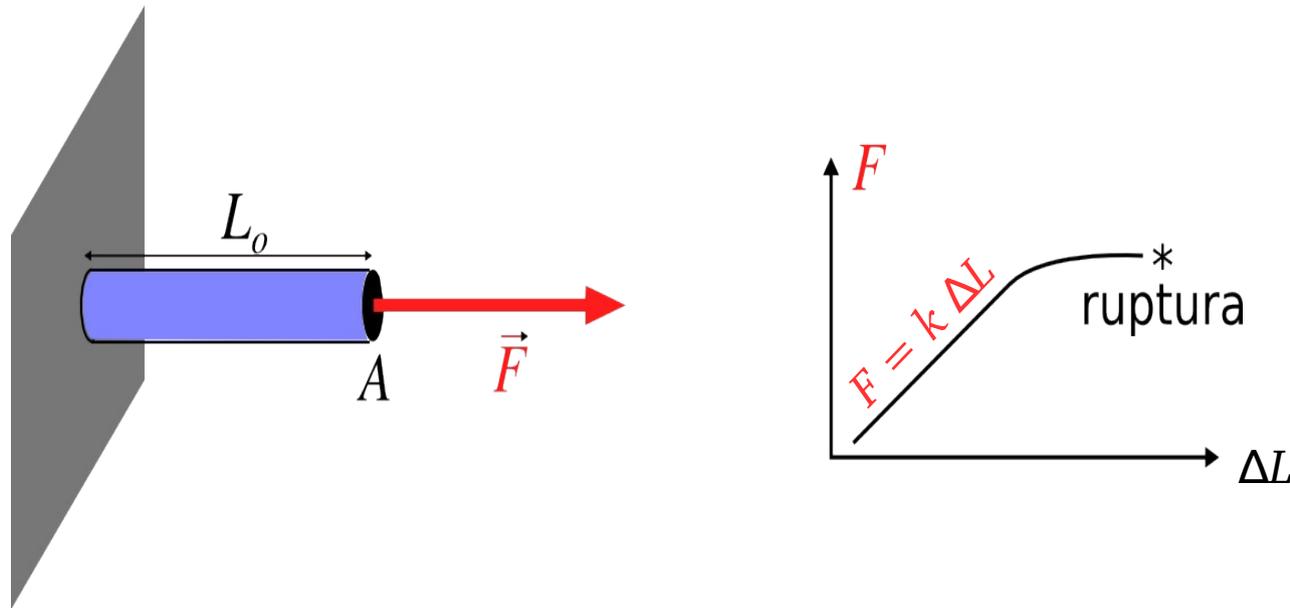


Cada objeto tem um k .

→ k depende de L_0 , A e do material

Elasticidade

Sólidos



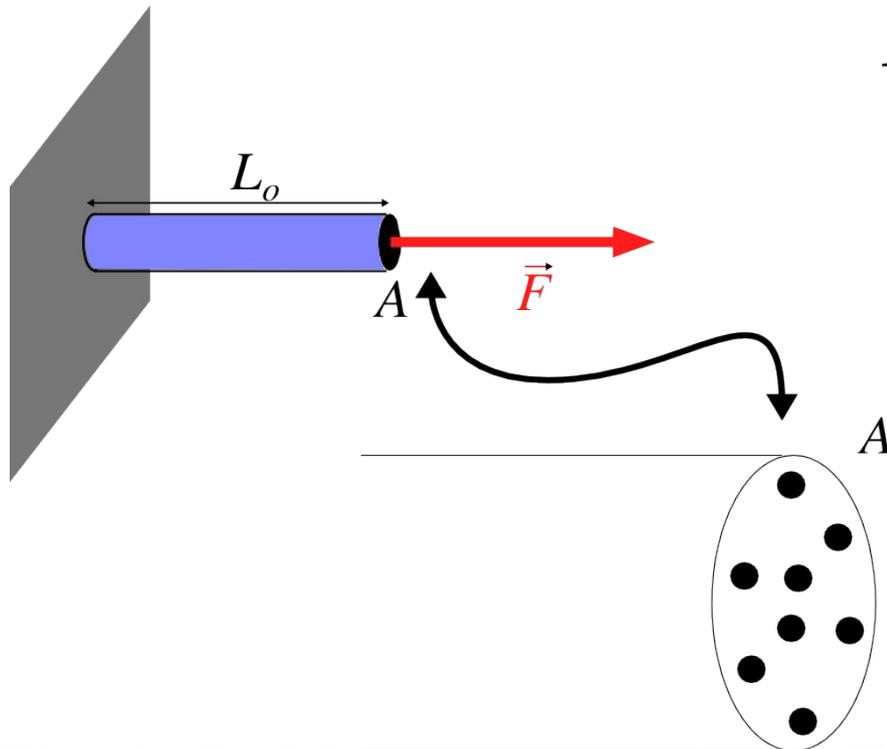
→ k depende de L_0 , A e do material

Seria bem interessante encontrar uma constante que caracterizasse o material e que não dependesse da geometria do objeto!

Seria bem interessante encontrar uma constante que caracterizasse o material e que não dependesse da geometria do objeto!

A elasticidade de um material está diretamente relacionada com a cte elástica das ligações moleculares.

Modelo:



Para cada ligação entre partículas

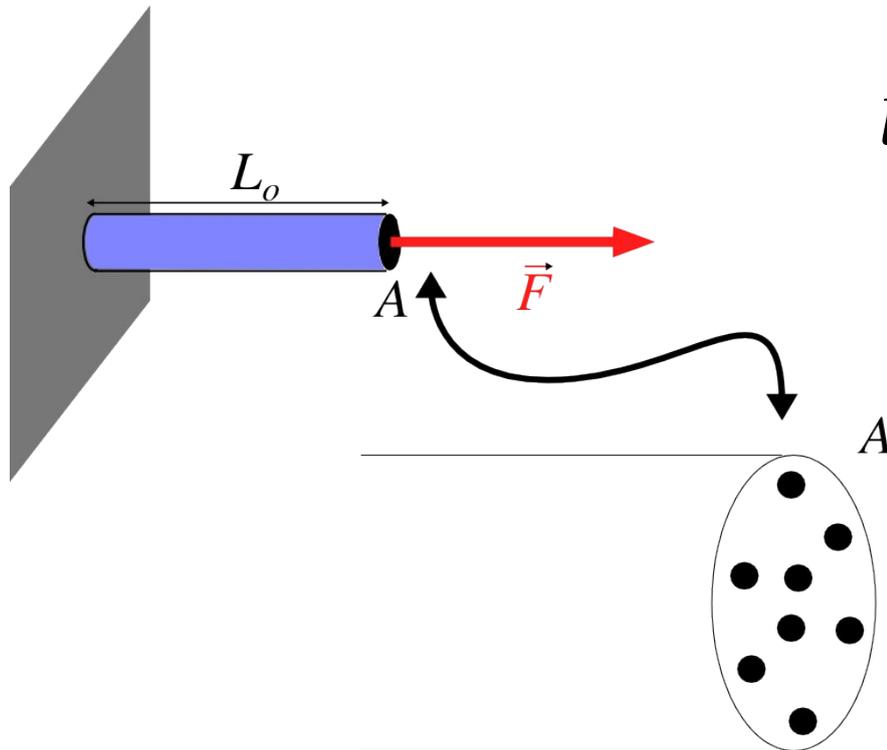
$$f \propto F/A$$

$$\Delta l \propto \Delta L/L_0$$

Elasticidade

Sólidos

Aplicando a lei de Hooke para cada ligação



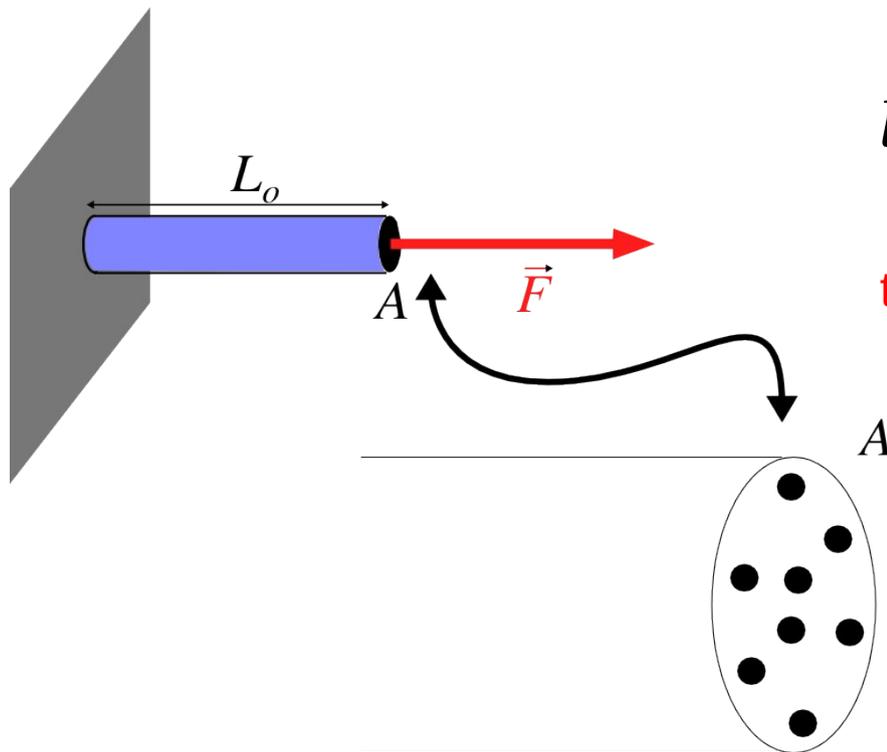
$$F/A = Y \Delta L/L_0$$



Módulo de Young

Elasticidade

Sólidos



Aplicando a lei de Hooke para cada ligação

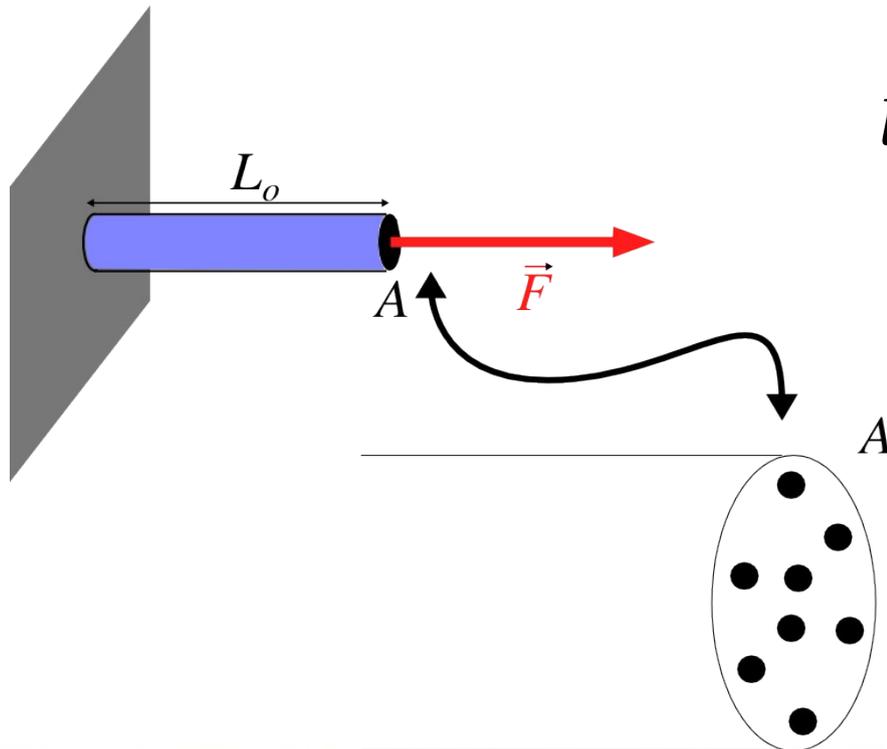
Tensão de tração (N/m^2) $\left(\frac{F}{A} \right) = Y \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right)$ Deformação

Módulo de Young

Elasticidade

Sólidos

Módulo de Young: Uma cte que não depende da geometria do objeto!



Aplicando a lei de Hooke para cada ligação

$$F/A = Y \Delta L/L_0$$



Módulo de Young

$$k = AY/L_0 \Leftrightarrow Y = kL_0/A$$

Parâmetros que podem ser medidos no laboratório.

TABELA 15.3 Propriedades elásticas de vários materiais

Substância	Módulo de Young (N/m²)	Módulo de elasticidade volumétrica (N/m²)
Alumínio	7×10^{10}	7×10^{10}
Concreto	3×10^{10}	–
Cobre	11×10^{10}	14×10^{10}
Mercúrio	–	3×10^{10}
Plástico (poliestireno)	$0,3 \times 10^{10}$	–
Aço	20×10^{10}	16×10^{10}
Água	–	$0,2 \times 10^{10}$
Madeira (abeto)	1×10^{10}	–