

Física 3

(2/2015)

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

Carlos Eduardo Souza (Cadu)

carlooseduardosouza@id.uff.br

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

•
•
•

<http://cursos.if.uff.br/fisica3-0215/>

Fluidos

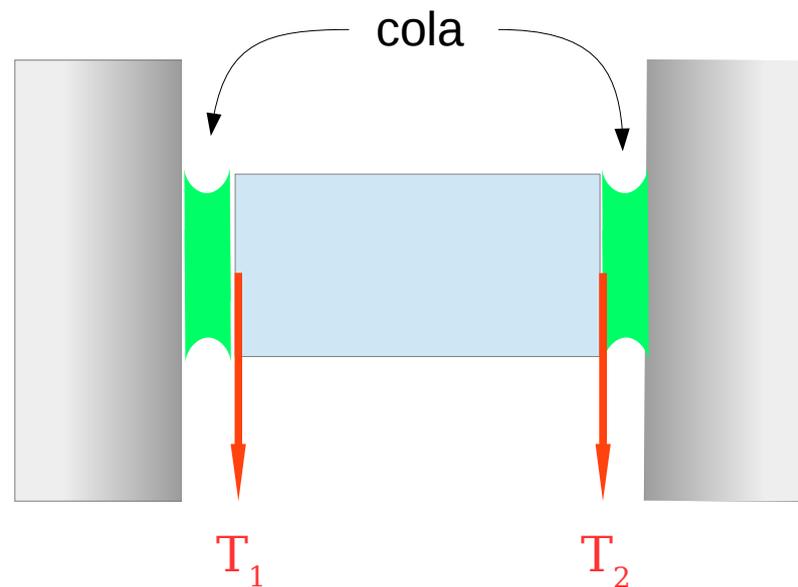
Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

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**

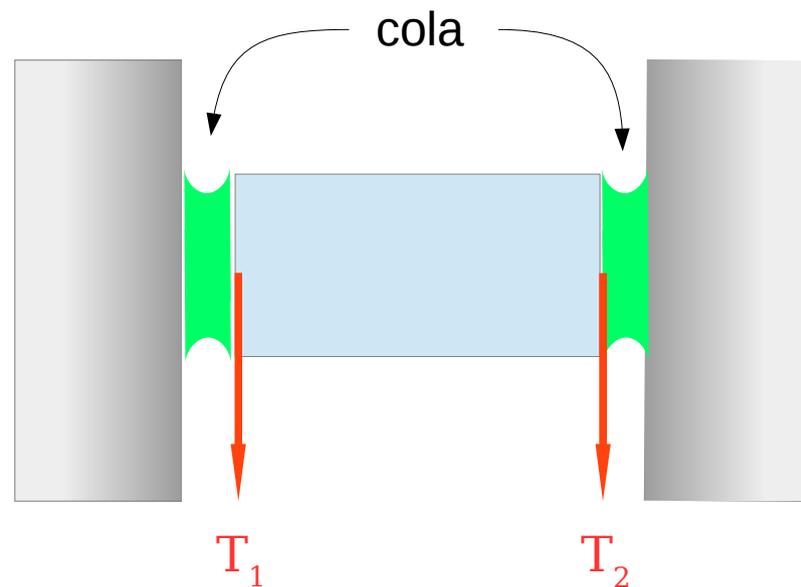


T = tensão superficial
(cisalhamento)

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.



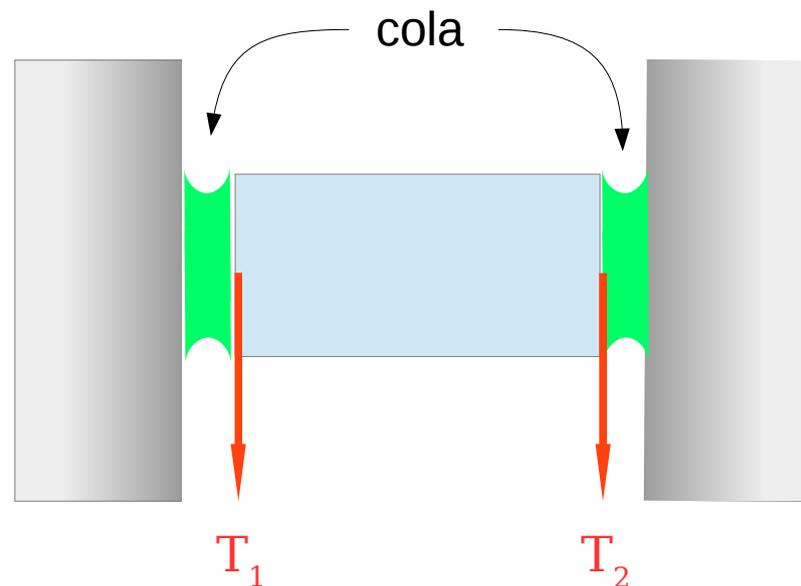
T = tensão superficial
(cisalhamento)

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.

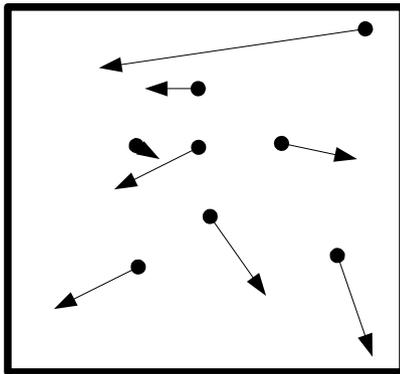
No mundo real a viscosidade depende da velocidade de escoamento.

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

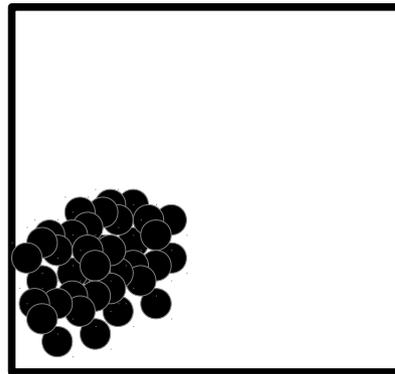
Muito bem, antes de falarmos de propriedades dos fluidos e definirmos grandezas vamos rever nossos **objetivos** e a **base do nosso conhecimento**.

Modelo Atômico da Matéria

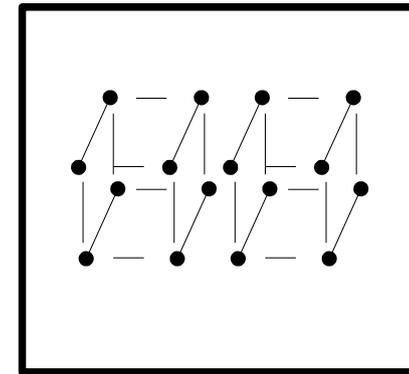
Gás



Líquido



Sólido



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

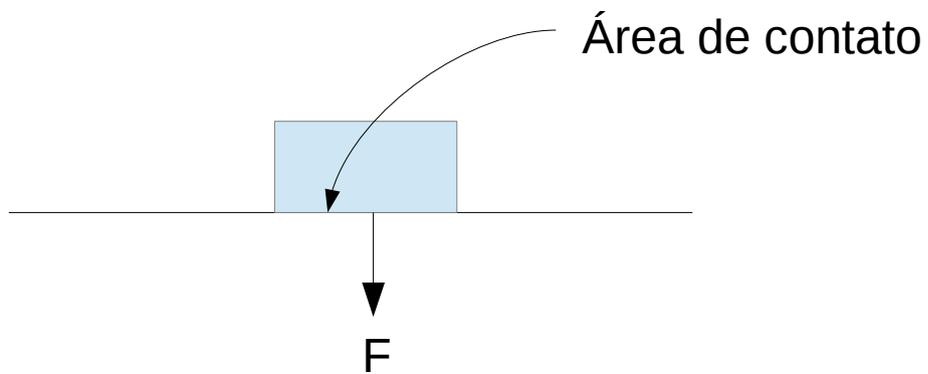
Grandezas (No Sistema Internacional)

Volume \equiv espaço ocupado \rightarrow **$[m^3]$**

Densidade \equiv Qtde de matéria por volume: $\rho = m/V \rightarrow$ **$[kg/m^3]$**

Pressão = ????

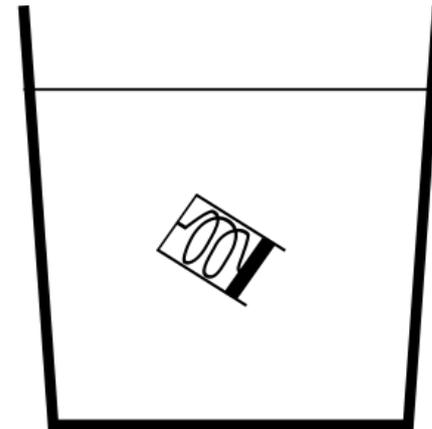
Pressão → Uma grandeza relacionada com a força superficial.



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

Grandezas

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



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.

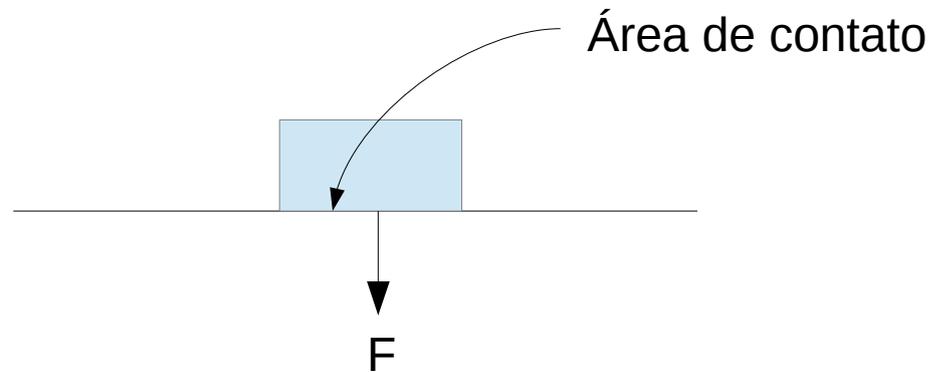
Se de **30-70%** da turma acertar, você procura um colega que tenha marcado uma resposta diferente e argumenta (com ele) porque você acha que a sua resposta é a correta.

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

Se 70% da turma acertar, o prof. segue com a matéria. Caso contrário, o prof. explica a questão.

Teste Conceitual 1

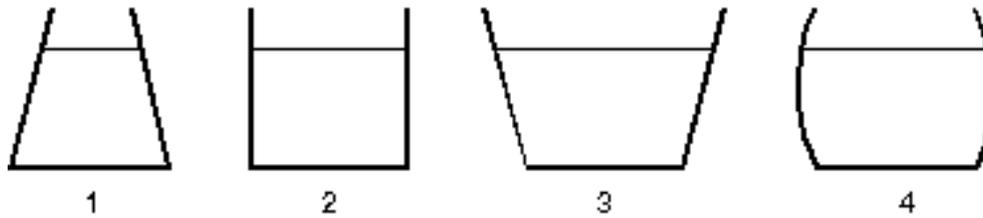
Considere um bloco apoiado em uma superfície horizontal



- (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.

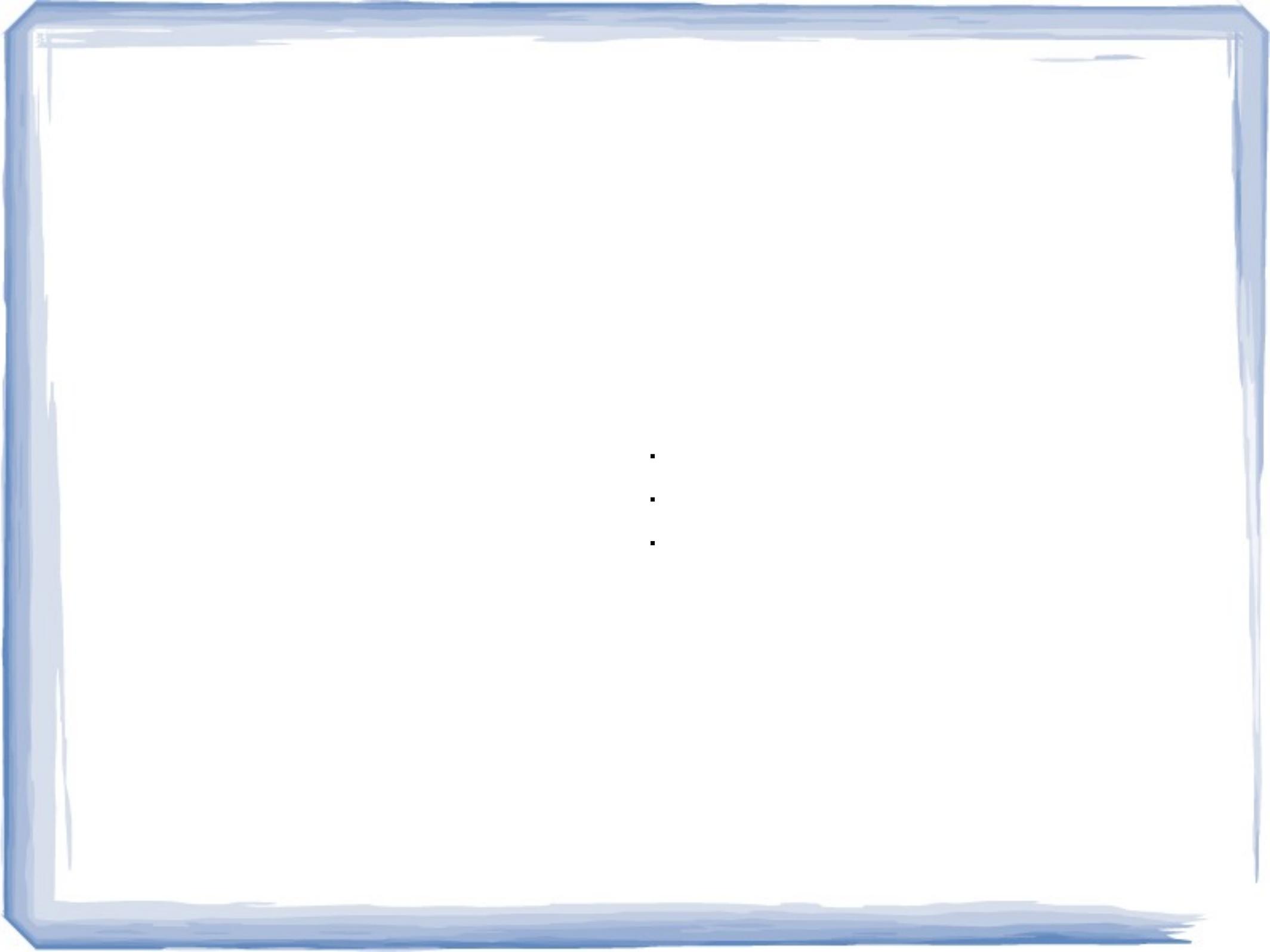
Teste Conceitual 2

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



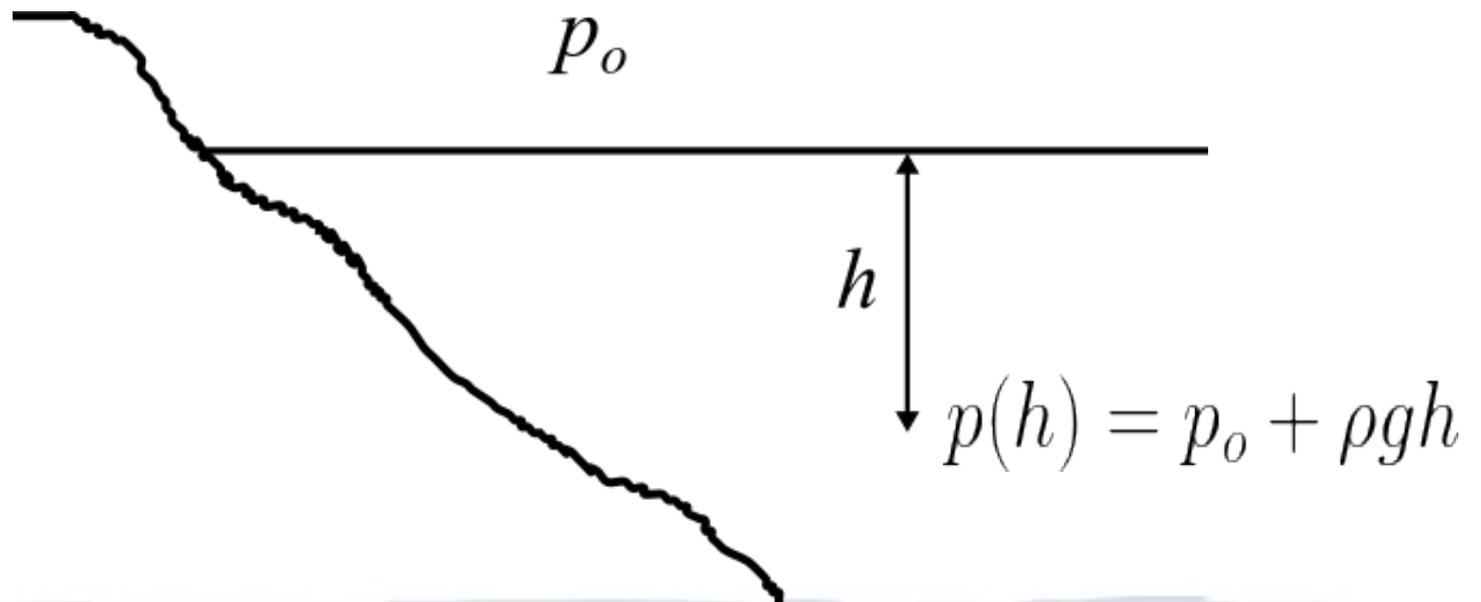
- A) 1, 2, 3, 4
- B) 3, 4, 2, 1
- C) 4, 3, 2, 1
- D) todas as pressões são idênticas

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

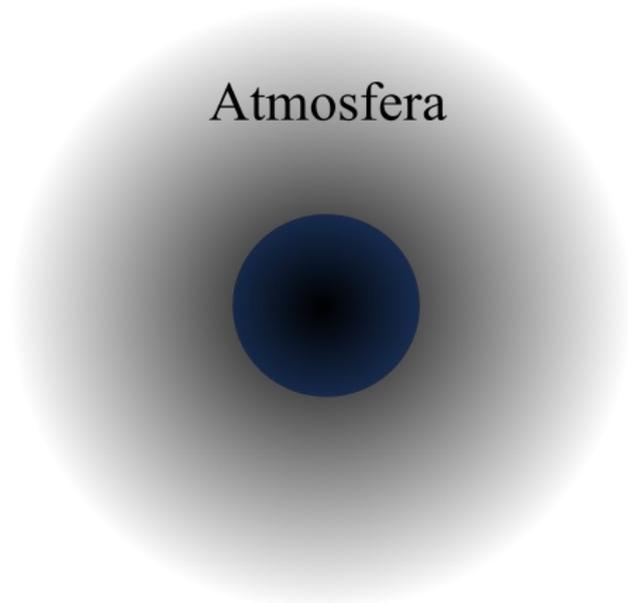


$$p(h) = p_o + \rho gh$$

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

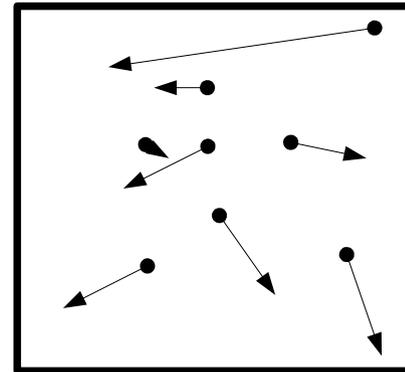


A pressão nos gases depende da gravidade e da temperatura.



$$p \leftrightarrow g$$

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



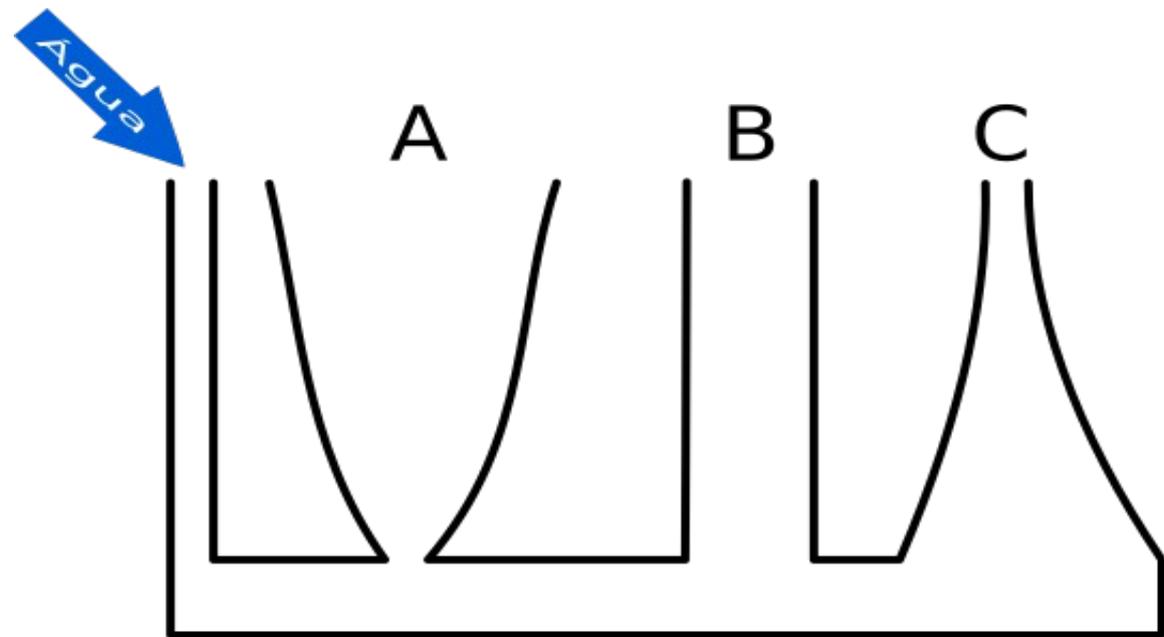
$$p \leftrightarrow T$$

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

Teste Conceitual 3

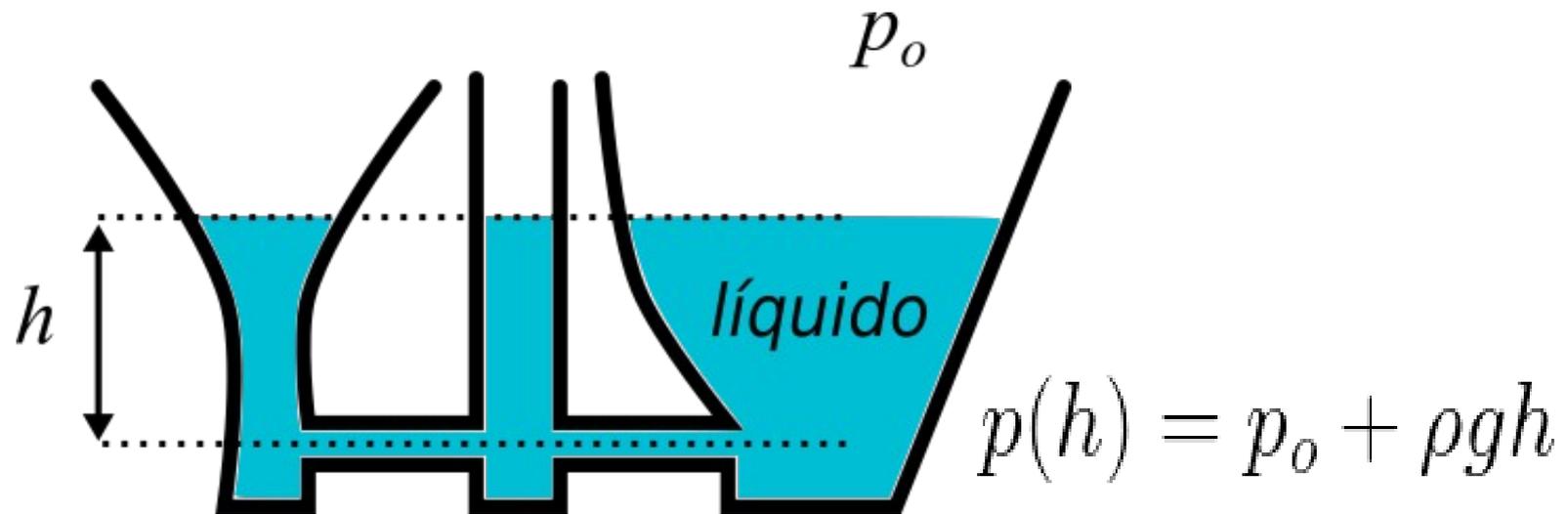
Água é lentamente derramada no recipiente da figura abaixo até que o nível tenha aumentado nos tubos A, B e C. Interrompe-se o derramamento antes que haja o transbordamento. Como se comparam entre si as profundidades de água nas três colunas?

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



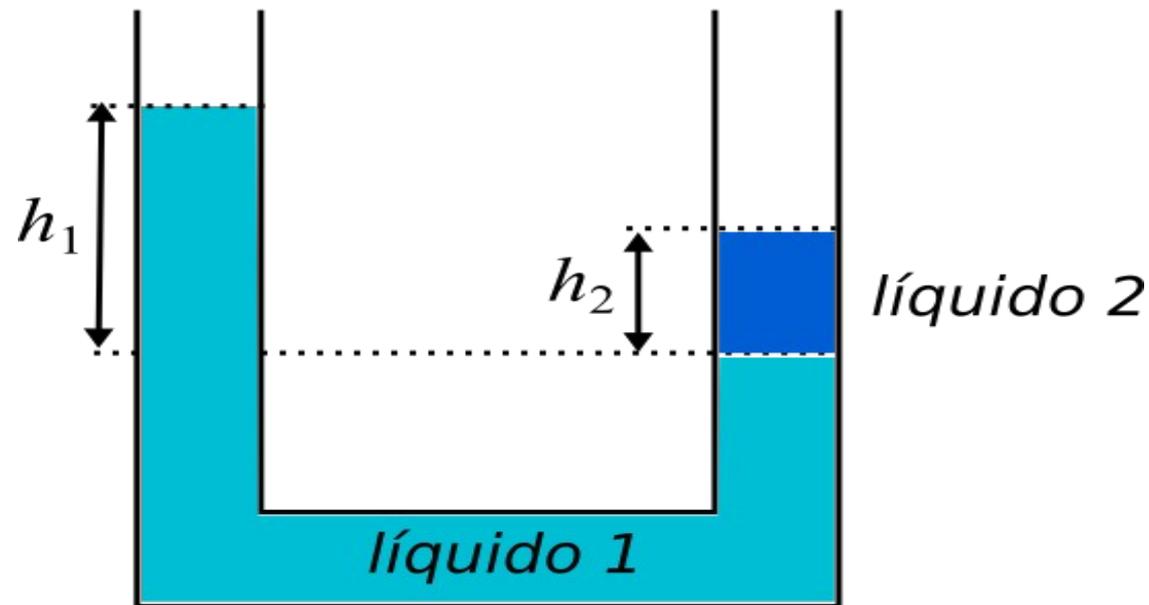
Vasos Comunicantes

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



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

Aplicação: Tubo em U com dois líquidos distintos.



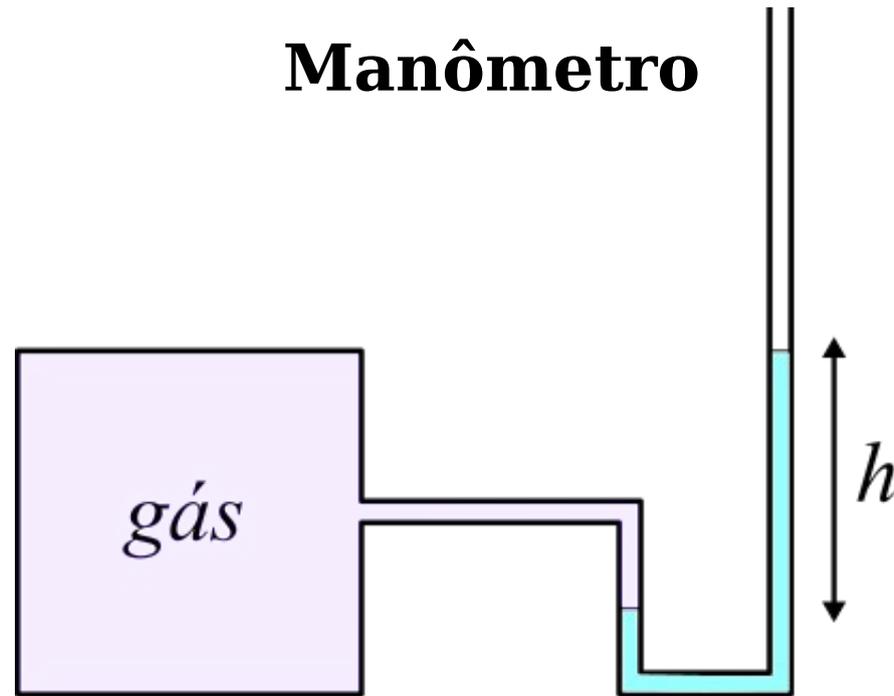
“Princípio de Pascal”

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

Medidores de Pressão

Manômetro



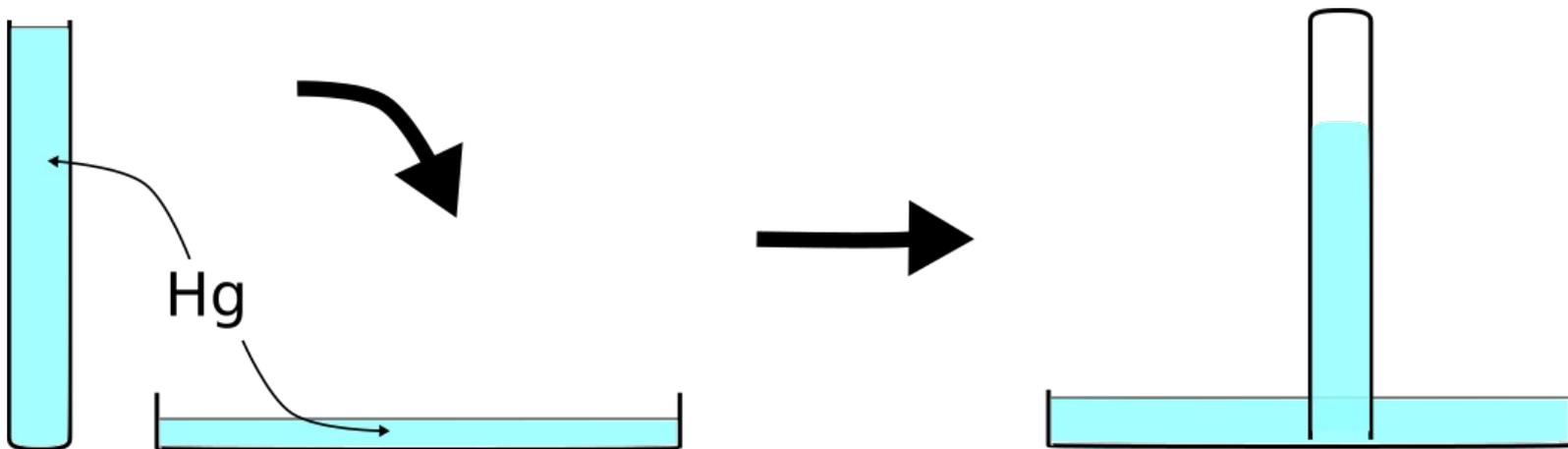
A altura h fornece a pressão do gás.

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

A pressão manométrica pode ser nula!

Medidores de Pressão

Barômetro



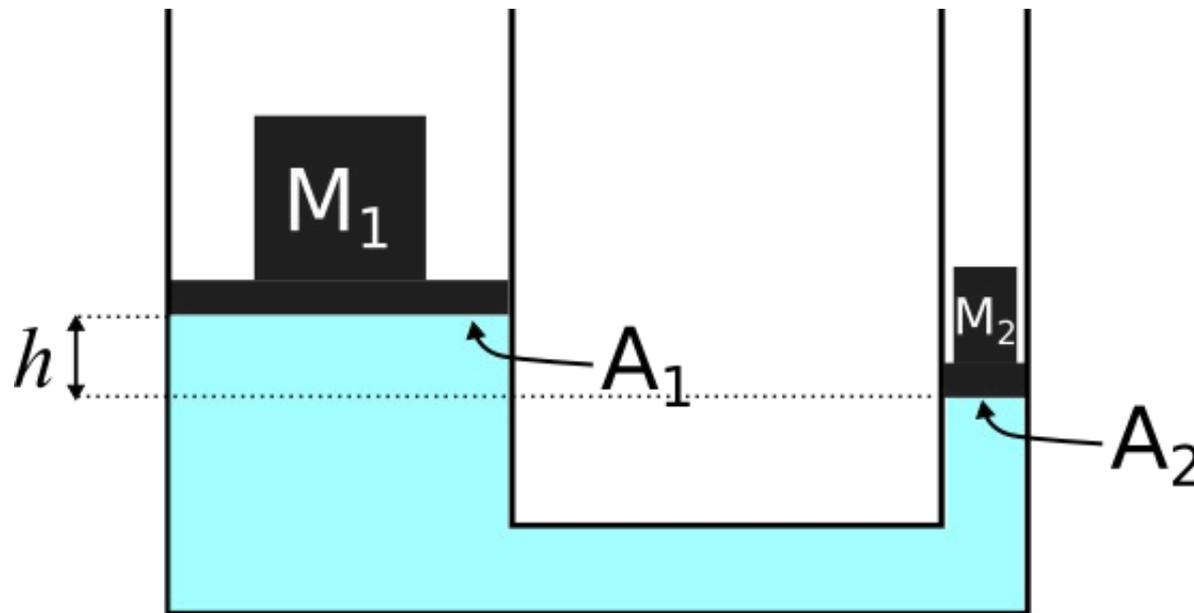
Por que o líquido não escorre totalmente?

Qual a força exercida pelo ar em nosso antebraço?

Aplicação: Elevador Hidráulico

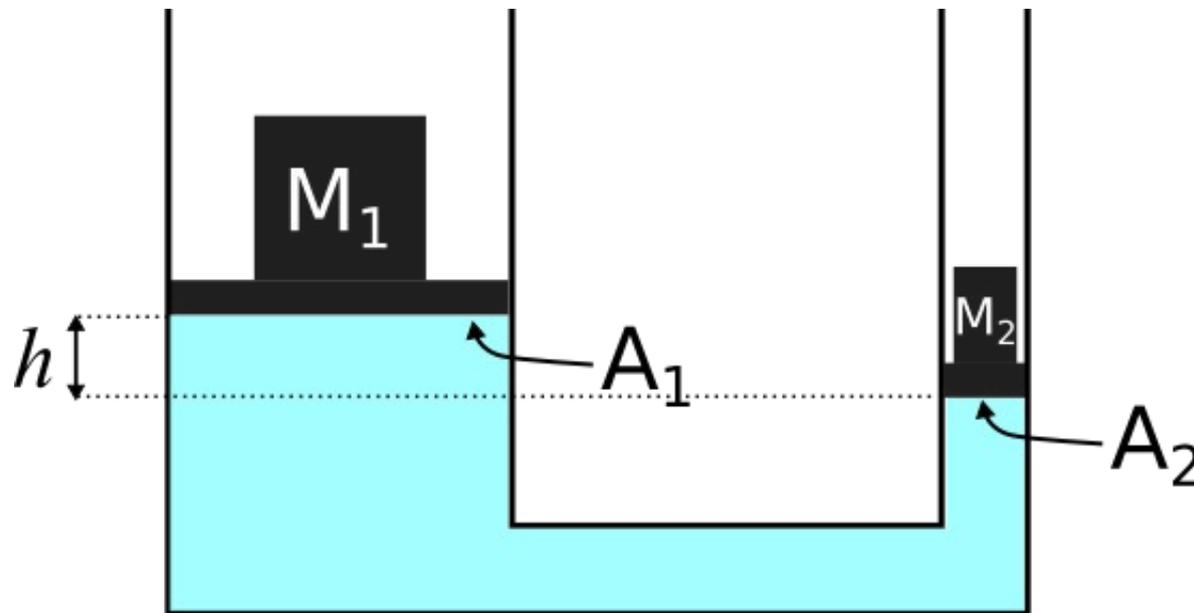
→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

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



Aplicação: Elevador Hidráulico

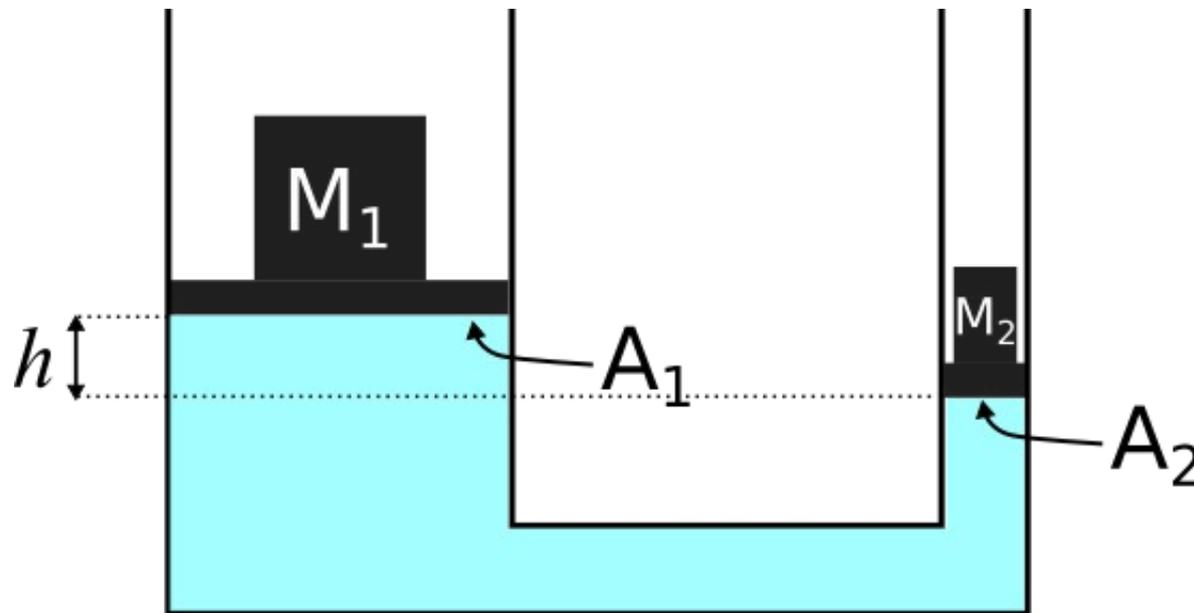
→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)



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

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)



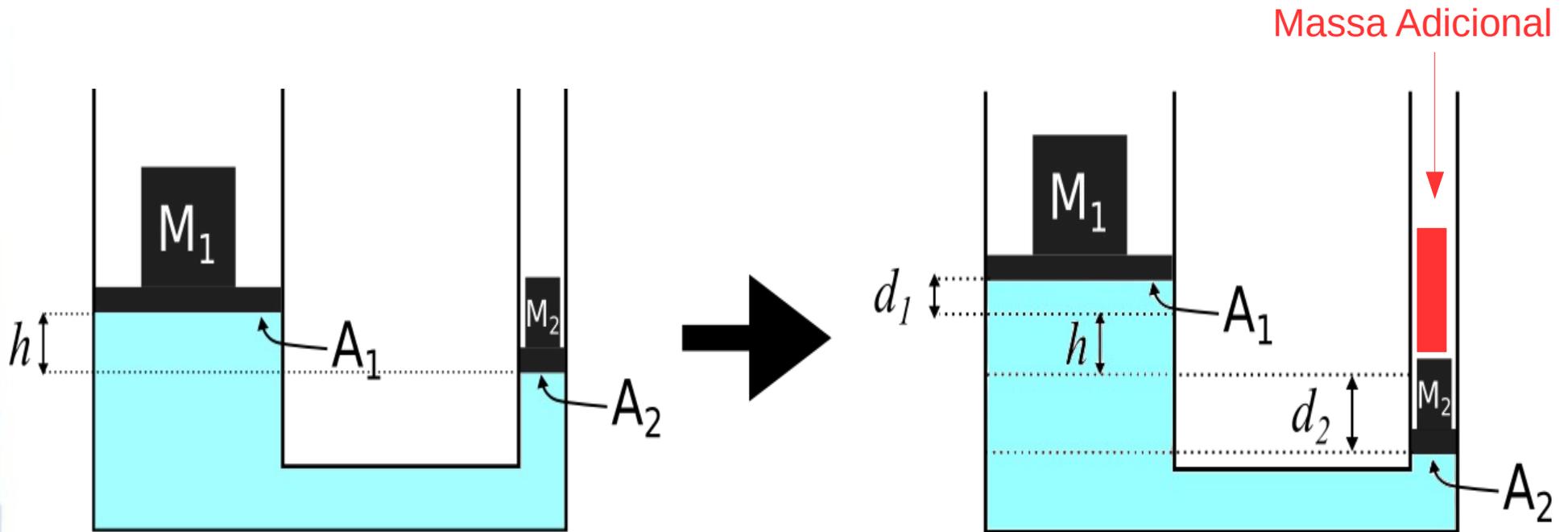
Se deslocarmos m_2 de d_2 ...

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

Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (geralmente usado em freios automotivos)

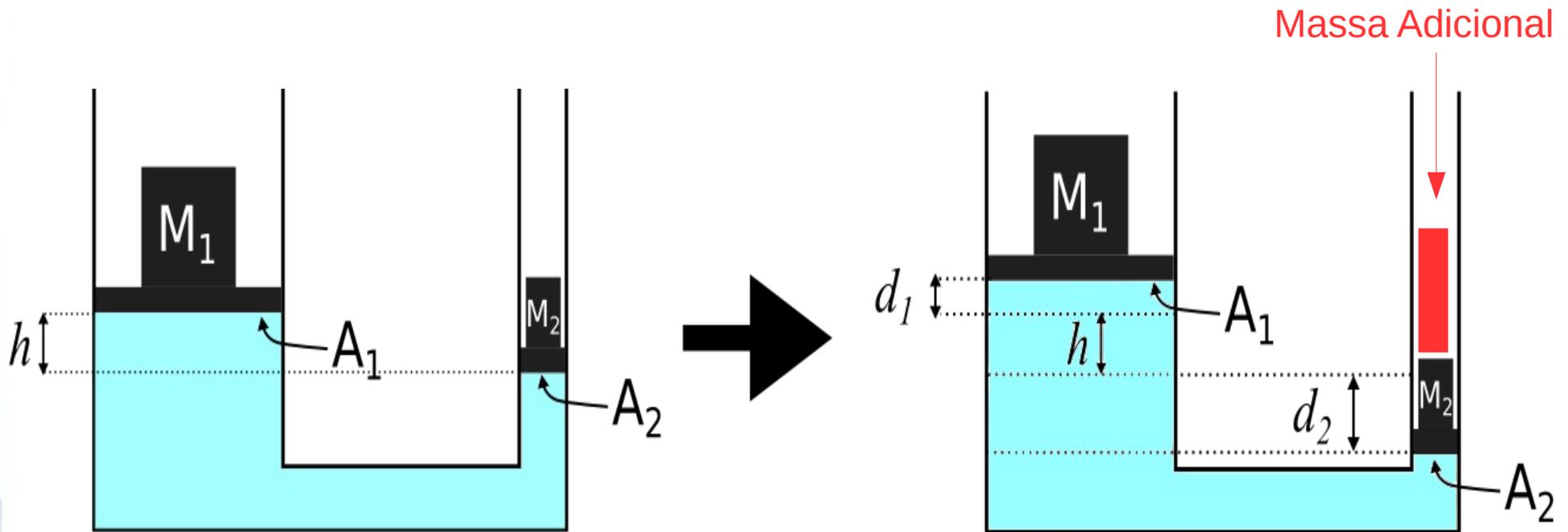
De quanto subirá o pistão 1 se aumentarmos a força no pistão 2, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



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?

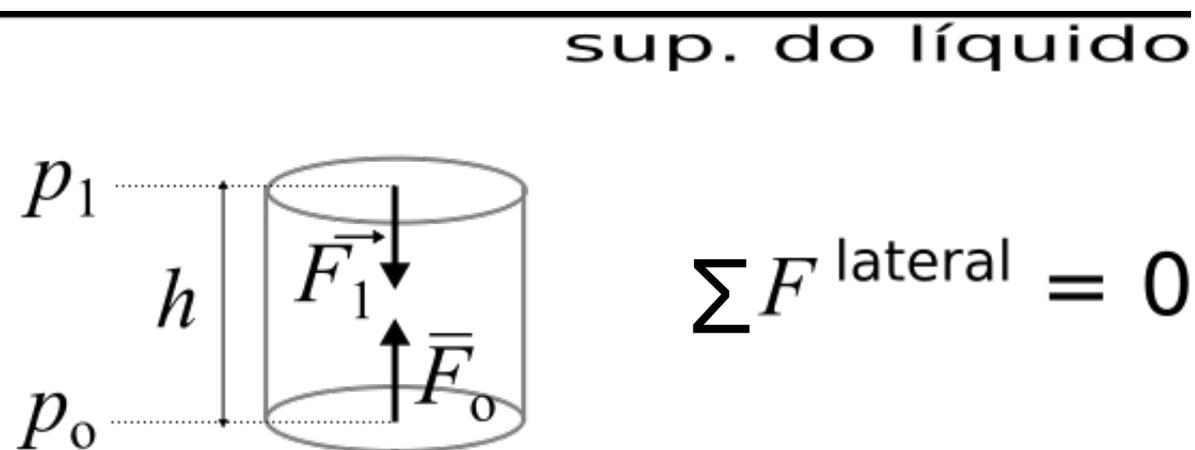


$$F'_2 - F_2 = \rho g d_1 (A_1 + A_2)$$

Força de Empuxo

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

Imaginemos um objeto cilíndrico submerso



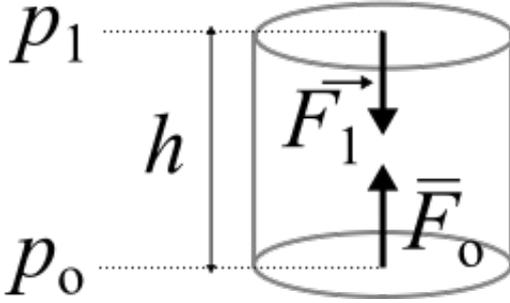
$$p_0 - p_1 = \rho g h$$

Força de Empuxo

A resultante das forças sobre o cilindro é o empuxo

sup. do líquido

$p_0 - p_1 = \rho gh$



$\sum F^{\text{lateral}} = 0$

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

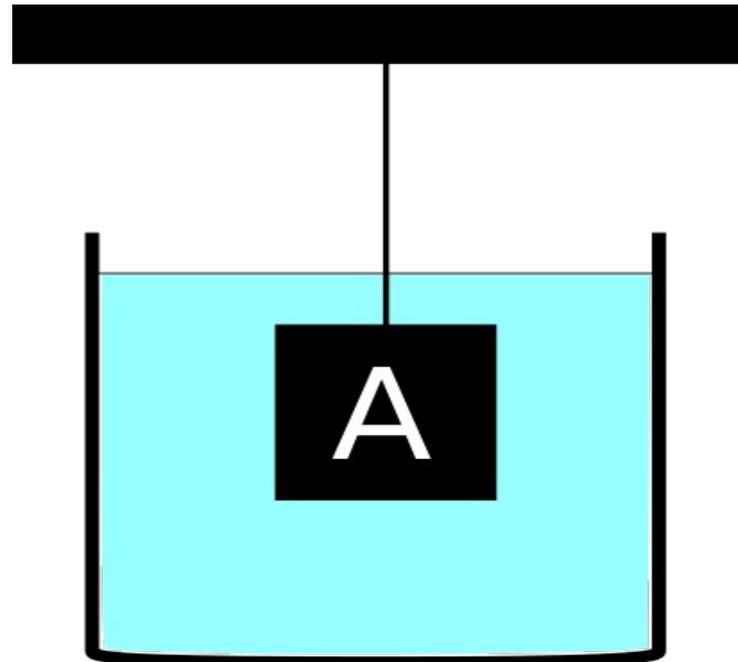
A noção da força de empuxo dá origem a um princípio muito importante e básico para a descrição de sistemas flutuantes e/ou submersos como os barcos e submarinos

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 .

Teste Online

Algumas respostas...

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

Estudante 1- “Significa dizer que a pressão é definida apenas pelo seu valor numérico e sua unidade de medida.”

Estudante 2- “Que seu valor não tem uma orientação.”

Teste Online

Algumas respostas...

O que é a pressão manométrica?

Estudante 1- “É a pressão excedente de 1 atm.”

Estudante 2- “É a pressão medida em relação a pressão atmosférica do local, podendo ser positiva ou negativa.”

Teste Online

Algumas respostas...

O que é o Empuxo?

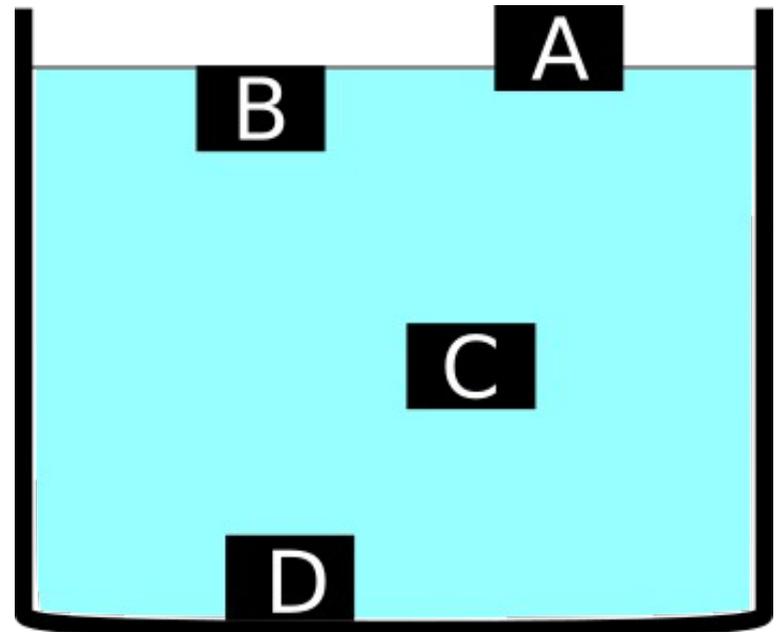
Estudante 1- “É a força que um líquido faz quando uma força é aplicado sobre ele ”

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.

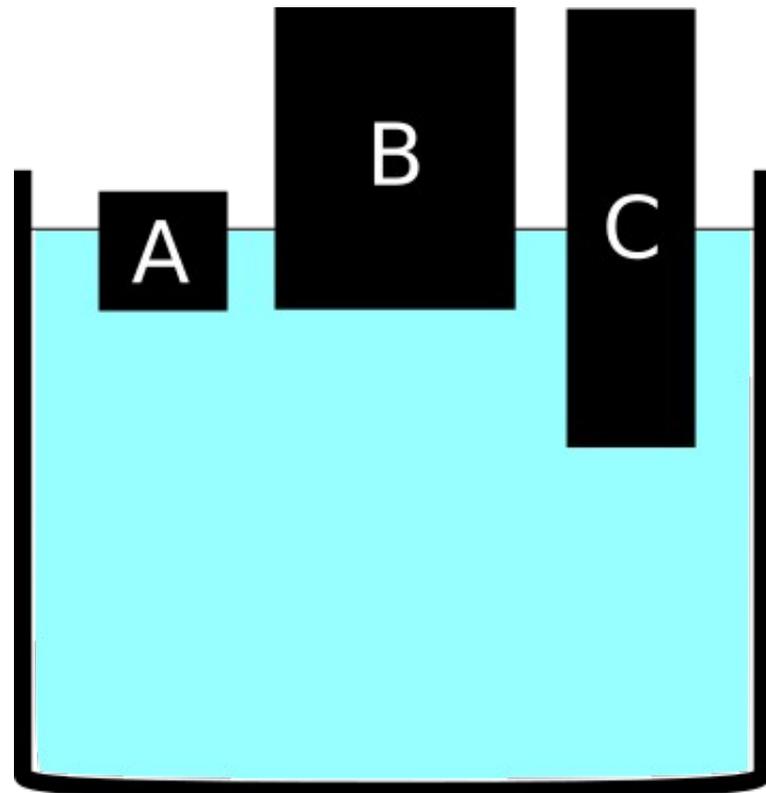
- (A) $E_A < E_B = E_C = E_D$
- (B) $E_A < E_B < E_C < E_D$
- (C) $E_A < E_B = E_C < E_D$
- (D) $E_A < E_B < E_C > E_D$



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) $\rho_B > \rho_C$



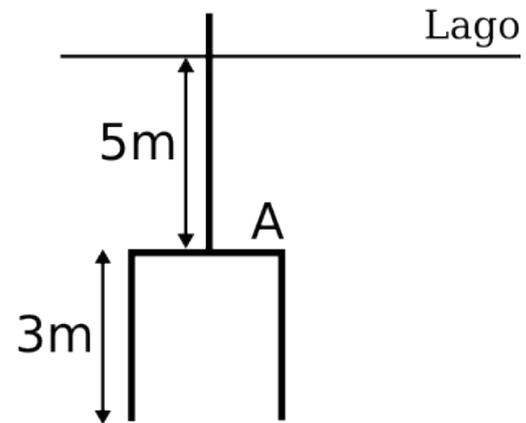
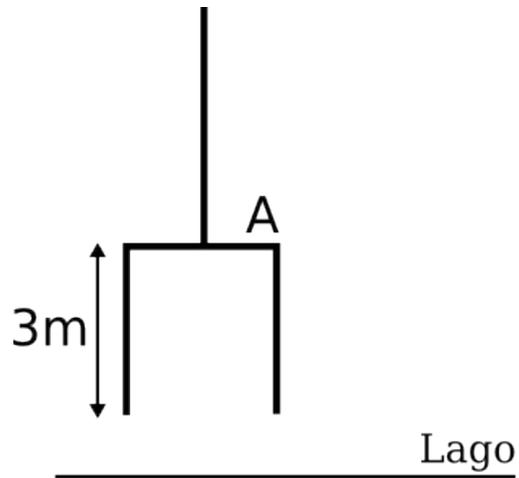
Teste Conceitual 6

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

Que fração da campânula é ocupada pela água?



Hidrodinâmica

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Modelo de Fluido Ideal (3 hipóteses!)

- **Fluido incompressível (funciona bem para líquidos)**
- **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!)

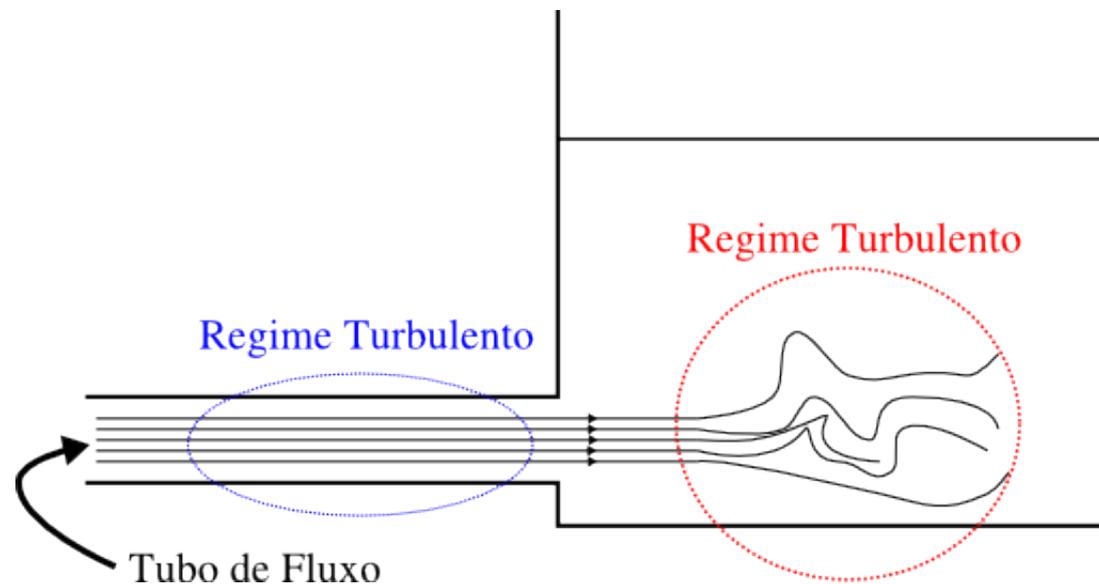
- Fluido incompressível (funciona bem para líquidos)
- O Fluido é não-viscoso (análogo do atrito cinético)
- Fluxo é estacionário (a velocidade é cte em cada ponto do fluido)

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.

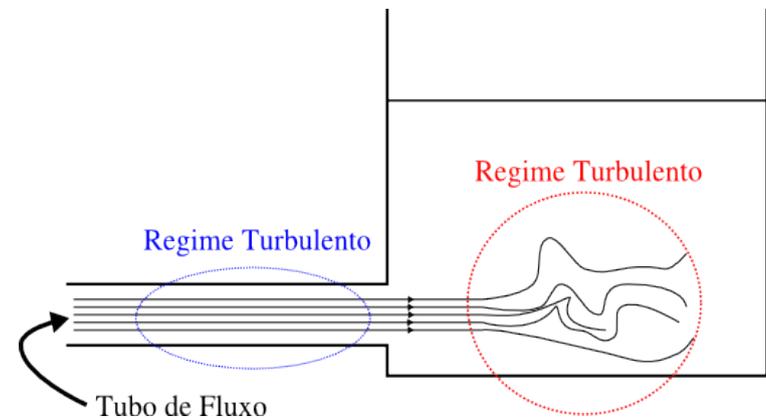


Ver Figura 15.26!

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.

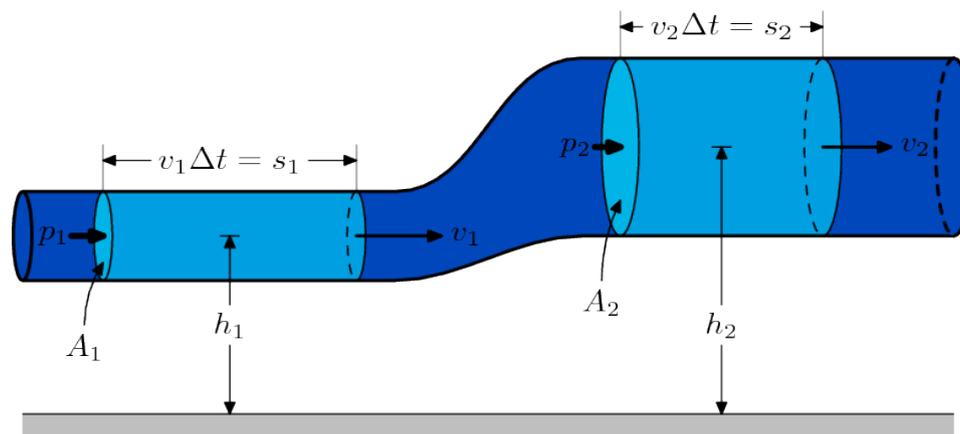
→ O tubo de fluxo é o feixe de linhas de fluxo.

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 ,

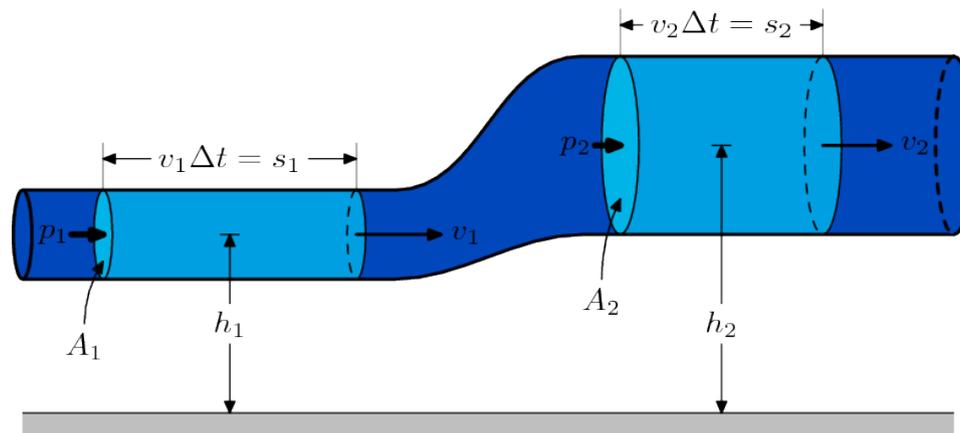
$$V = A_1 v_1 \Delta t$$

Dinâmica dos Fluidos

(Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo



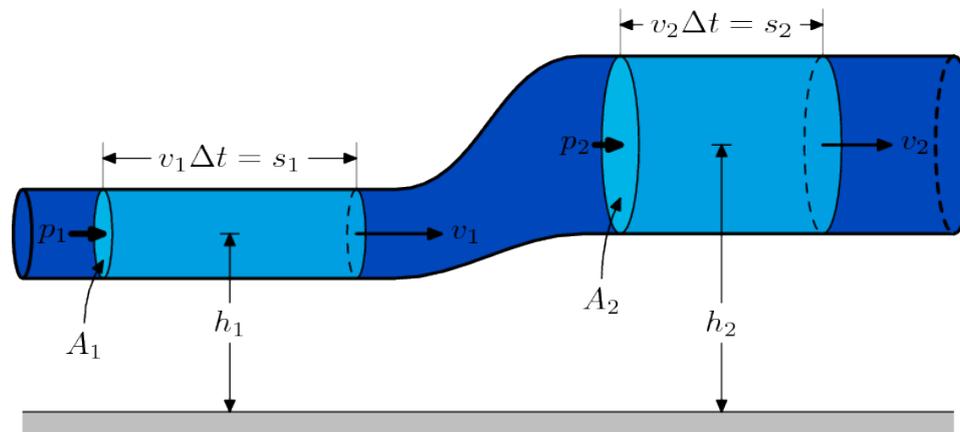
A mesma análise pode ser feita para A_2 , de forma que em Δt , uma qtde V do líquido atravessa A_2 . Neste caso, a velocidade do fluido é v_2 ,

$$V = A_2 v_2 \Delta t$$

Dinâmica dos Fluidos (Fluidos em movimento)

Equação da Continuidade

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



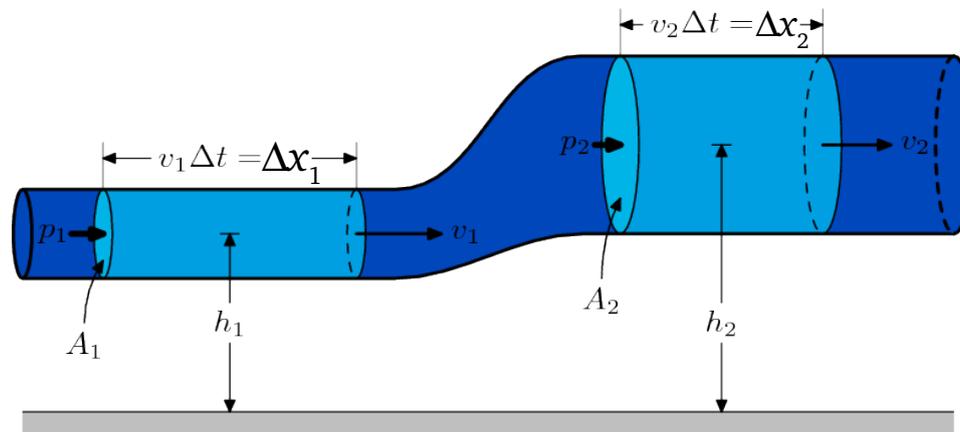
$$V_1 = V_2 \mapsto A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

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

Dinâmica dos Fluidos (Fluidos em movimento)

Equação de Bernoulli

Consideremos novamente o mesmo tubo de fluxo

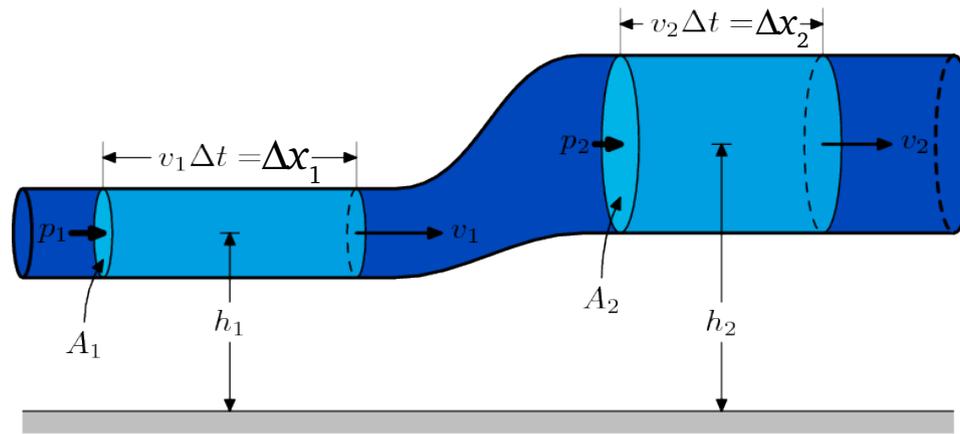


→ Força de pressão circundante faz o fluido se mover!

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

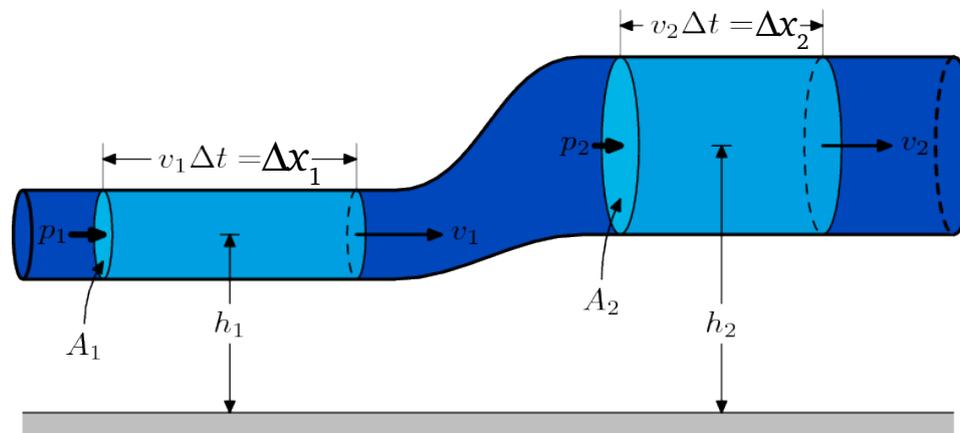


$$W^{lateral} = 0$$

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

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

Equação de Bernoulli



Observando as relações de energia,

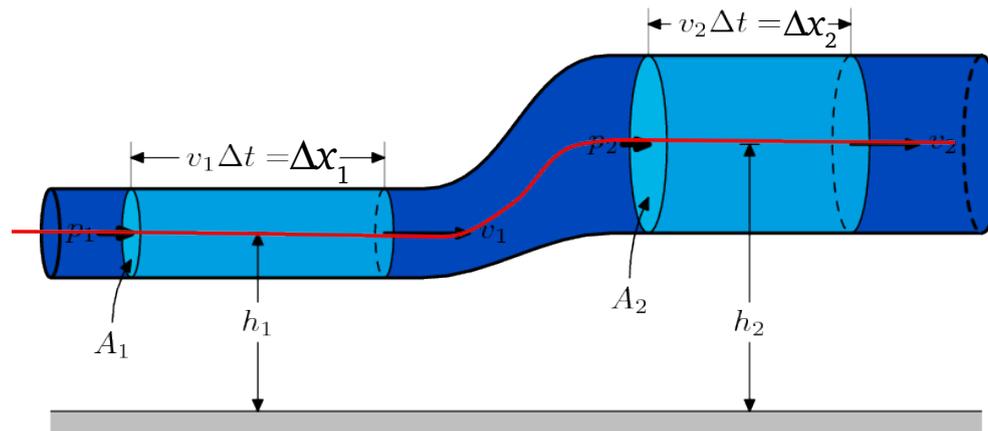
$$\Delta E + \Delta U = W^{ext}$$

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

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

A red double-headed vertical arrow is positioned between the $mgy_2 - mgy_1$ term in the equation above and the $P_1 V - P_2 V$ term in the equation below, indicating the relationship between the change in potential energy and the work done by pressure forces.

Equação de Bernoulli



Observando as relações de energia,

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

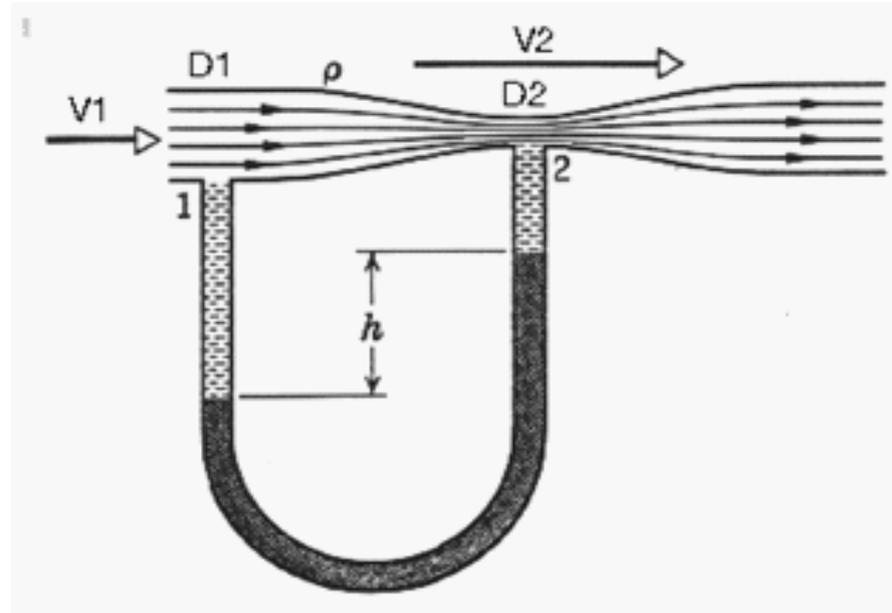


Equação de Bernoulli

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

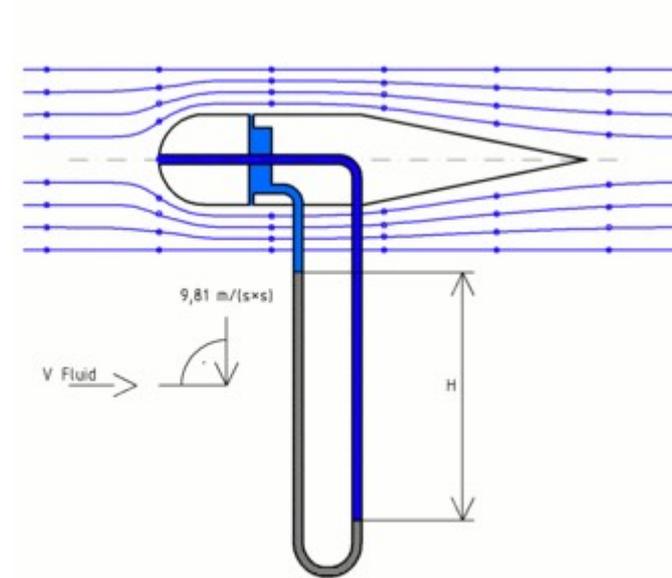
A Equação de Bernoulli relaciona dois pontos na mesma linha de fluxo.

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



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

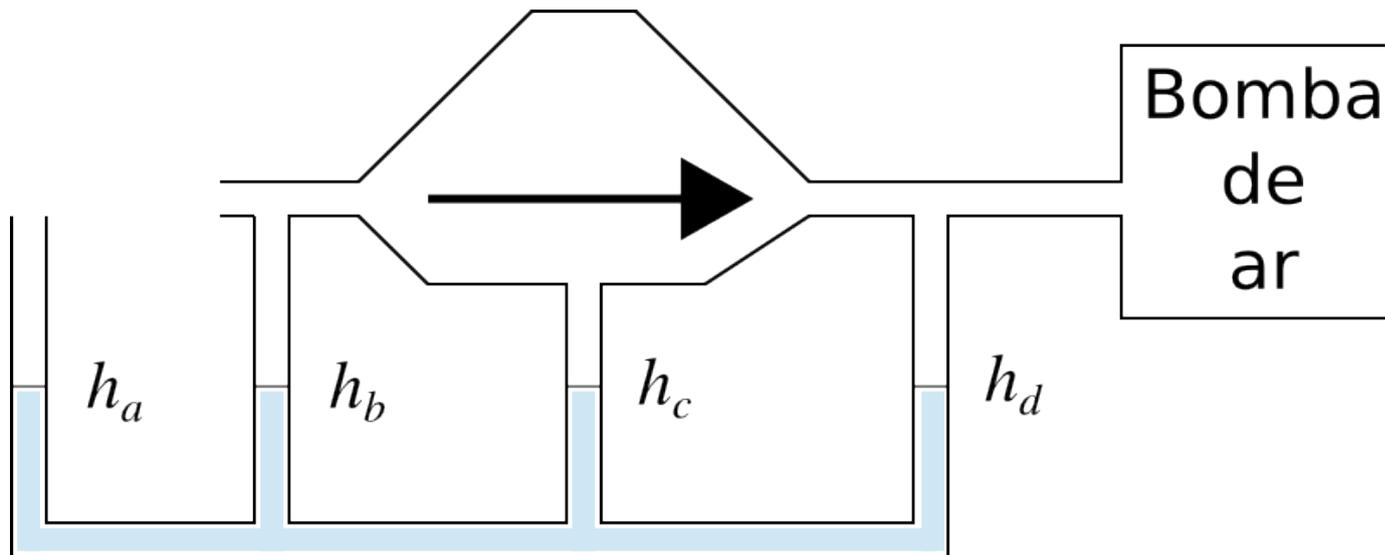
Aplicação: Tubo de Pitot (medida da velocidade de fluidos)



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

Teste Conceitual 4

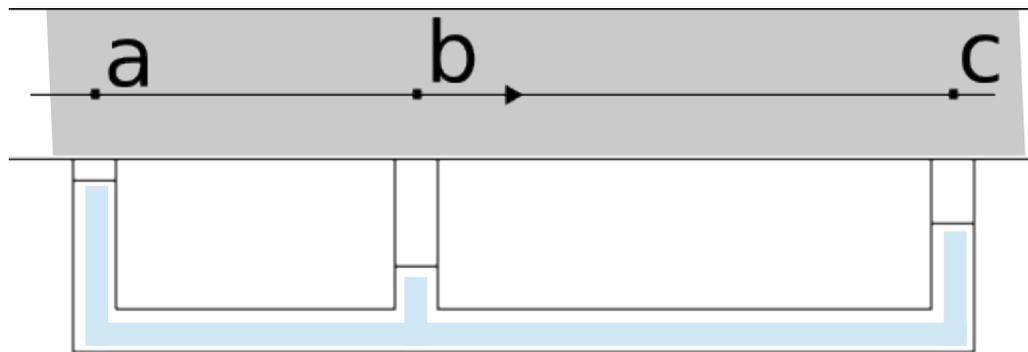
Qual a sequência correta entre as alturas $h_a - h_d$.



- (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

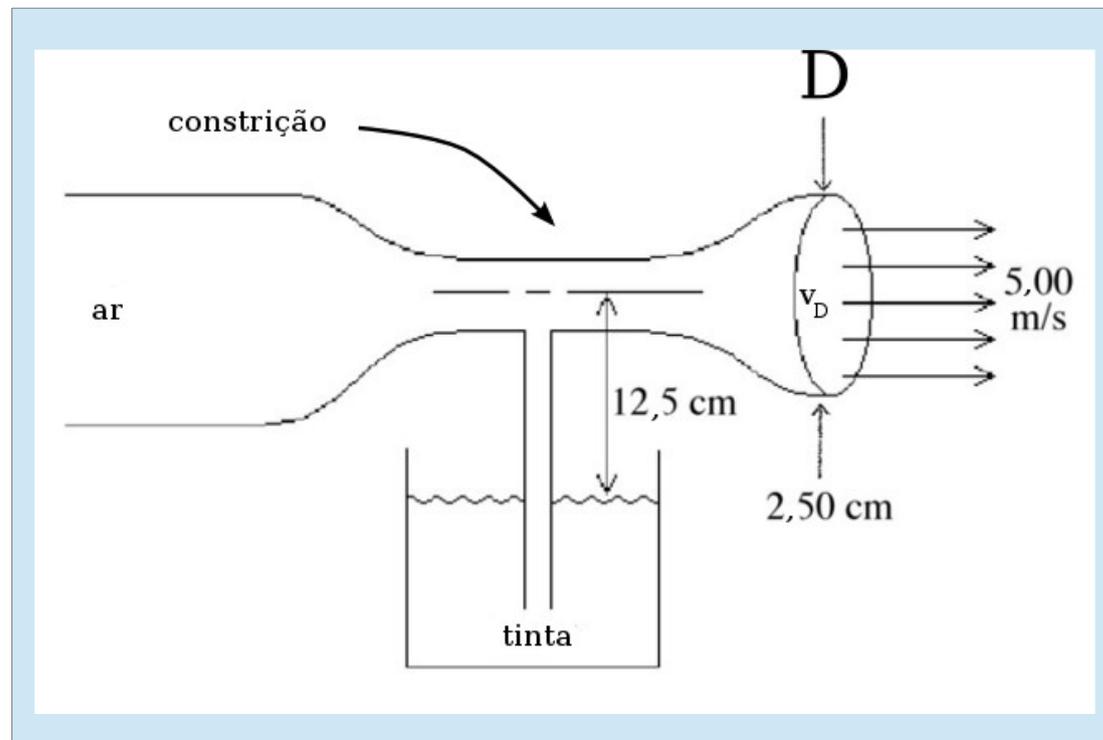
Gás flui no tubo abaixo. Você não consegue ver os diâmetros nos pontos a, b e c. Qual a sequência correta entre as velocidades $v_a - v_c$.



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

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- Qual a velocidade mínima do ar na constricção para que a tinta seja ejetada pelo tubo?
- 2- Qual o diâmetro mínimo da constricção para que a tinta seja ejetada pelo tubo?