



**INSTITUTO DE FÍSICA**  
Universidade Federal Fluminense

# Física III

*Fluidos, Termodinâmica, Ondas e Ótica*

**Instrutor: Prof. Daniel Jonathan**

**Sala: 507 (IF, torre nova, 5º andar)**

**Email: [djonathan@id.uff.br](mailto:djonathan@id.uff.br)**

**Site do curso: <http://cursos.if.uff.br/fisica3-0216/>**

**Twitter do curso: [@fisica3uff](https://twitter.com/fisica3uff)**

# Livro-texto recomendado

“Física, uma abordagem estratégica”, vol. 2  
Randall L. Knight

Caps. 15 – 24



# Calendário – 2p16 – T. A1 (2as/4as)

	Seg.	Ter.	Qua.	Qui	Sex	Sab.
Agosto	29	30	31	1	2	
Setembro	5	6	Feriado 7	8	9	
	12	13	14	15	16	
	19	20	MT1 21	22	23	
	26	27	28	29	30	
Outubro	3	4	MT2 5	6	7	P1 8
	10	11	Feriado 12	13	14	
	Sem. Ac.17	Sem. Ac.18	Sem. Ac.19	Sem. Ac.20	Sem. Ac.21	
	24	25	26	27	Feriado 28	
Novembro	31	1	Feriado 2	3	4	
	7	8	MT3 9	10	11	
	Feriado 14	Feriado 15	16	17	18	
	21	22	MT4 23	24	25	P2 26
	28	29	30	1	2	
Dezembro	5	6	7	8	9	
	12	13	14	15	16	
	19	20	MT5 21	22	23	
	Recesso 26	Recesso 27	Recesso 28	Recesso 29	Recesso 30	
Janeiro	2	3	MT6 4	5	6	P3 7
	VR 9	10	11	12	13	VS 14

## Tópicos

### P1

15- Fluidos e Elasticidade

16- Descrição Macroscópica da Matéria

17- 1a Lei da Termodinâmica

Revisão

### P2

18- Conexão micro/macro

19- Máquinas Térmicas

20- Ondas I

Revisão

### P3

21- Ondas II - Superposição

22- Óptica Ondulatória

23- Óptica Geométrica

24- Instrumentos Ópticos

Revisão

MT1: Cap 15 e 16	21/set
MT2: Cap 17	05/out
MT3: Cap 18	09/nov
MT4: Caps 19 e 20	23/nov
MT5: Caps 21 e 22	21/dez
MT6: Cap 23	04/jan

# Calendário – 2p16 – T. D1 (4as/6as)

	Seg.	Ter.	Qua.	Qui	Sex	Sab.
Agosto	29	30	31	1	cancel.	2
Setembro	5	6	Feriado 7	8	9	
	12	13	14	15	16	
	19	20	21	22	23	
	26	27	MT1 28	29	30	
Outubro	3	4	5	6	MT2 7	P1 8
	10	11	Feriado 12	13	14	
	Sem. Ac.17	Sem. Ac.18	Sem. Ac.19	Sem. Ac.20	Sem. Ac.21	
	24	25	26	27	Feriado 28	
Novembro	31	1	Feriado 2	3	4	
	7	8	9	10	MT3 11	
	Recesso 14	Feriado 15	16	17	18	
	21	22	23	24	MT4 25	P2 26
	28	29	30	1	2	
Dezembro	5	6	7	8	9	
	12	13	14	15	16	
	19	20	MT5 21	22	23	
	Recesso 26	Recesso 27	Recesso 28	Recesso 29	Recesso 30	
Janeiro	2	3	4	5	MT6 6	P3 7
	VR 9	10	11	12	13	VS 14

**MT1:** Cap 15 e 16            28/set  
**MT2:** Cap 17                07/out  
**MT3:** Cap 18                11/nov  
**MT4:** Caps 19 e 20        25/nov  
**MT5:** Caps 21 e 22        21/dez  
**MT6:** Cap 23                06/jan

## Tópicos

### P1

**15- Fluidos e Elasticidade**  
**16- Descrição Macroscópica da Matéria**  
**17- 1a Lei da Termodinâmica**  
 Revisão

### P2

**18- Conexão micro/macro**  
**19- Máquinas Térmicas**  
**20- Ondas I**  
 Revisão

### P3

**21- Ondas II - Superposição**  
**22- Óptica Ondulatória**  
**23- Óptica Geométrica**  
**24- Instrumentos Ópticos**  
 Revisão

# Método do curso: *peer instruction* (*instrução pelos colegas*)

Metodologia desenvolvida originalmente em Princeton (EUA), com comprovado resultado na melhora da absorção de conteúdo de física universitária.

**1) Testes conceituais** em sala. São de múltipla escolha, envolvem pouca ou nenhuma matemática, e não valem nota.

Objetivo: aprender através da discussão de conceitos-chave com os colegas

**2) Testes de leitura** em casa. **Antes de cada aula**, você deve ler seções do livro e responder um teste simples online, valendo nota.

Objetivos: já chegar preparado para as discussões em sala, e tb não deixar a matéria acumular

# Avaliação

Provas (3): múltipla escolha

MiniTestes (2 por prova) : 1Q discursiva da lista de exs.

Testes de Leitura (1 por aula): 5Q

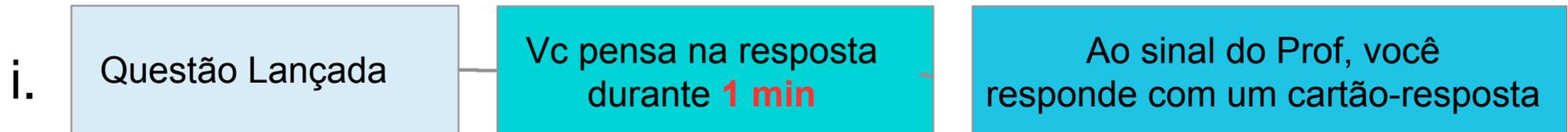
Nota final = (Média 3 Provas) x 85%

+ (Média MiniTestes) x 10%

+ (Média Testes de Leitura\*\*) x 5%

\*\* descontando  $\frac{1}{4}$  piores notas (ex: 5 de 20, ou 6 de 24)

# Teste conceitual: como funciona

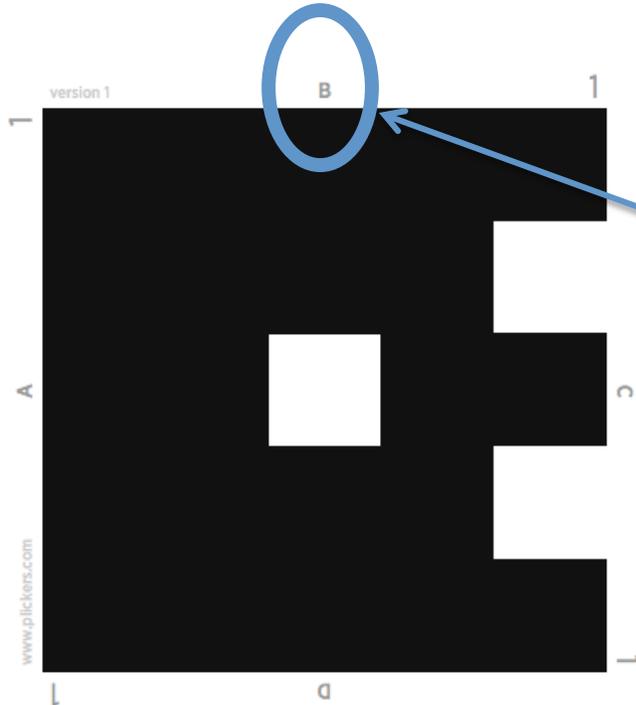


- Se  $>70\%$  da turma acertar, o prof. segue com a matéria.
- Se  $<30\%$  da turma acertar, o prof. reexplica o conteúdo e refazemos a questão.

ii. Se **30-70%** da turma acertar, você discute com um colega, cada um tentando convencer o outro de que a sua resposta é a correta

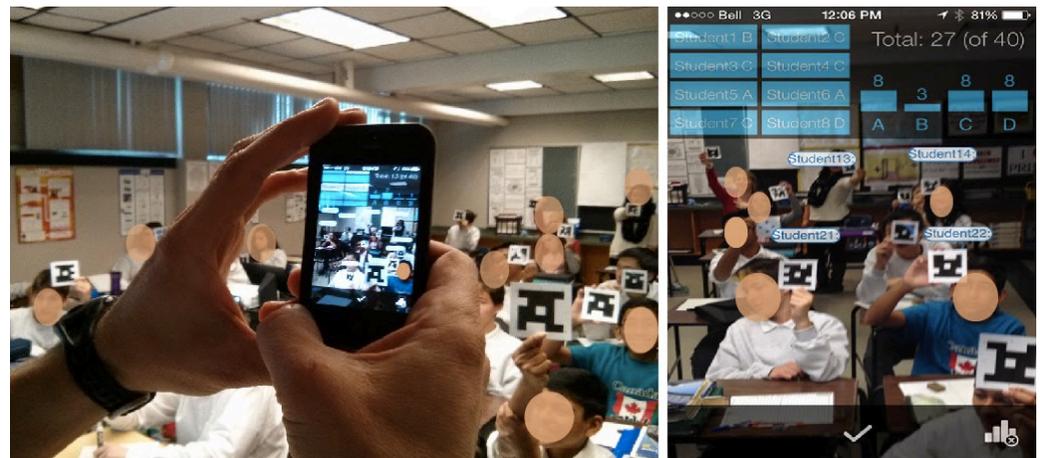
iii. Fazemos uma segunda votação e vemos como as opiniões mudaram (ou não). Independente do resultado, o professor explica a questão.

# Teste Conceitual: tecnologia



- 64 cartões, todos diferentes
- Resposta levantando o cartão com sua resposta virada pra cima
- Letras pequenas de propósito (p/ seu colega não ver sua resposta!)

Eu escaneio a turma usando um aplicativo no celular



# Testes online: como funciona

- a) **Antes da aula** vá no [site](#) (ou twitter) do curso e clique no link do teste.
- b) Faça login com seu email do iduff ([xxx@id.uff.br](mailto:xxx@id.uff.br)) [ Se não tiver um ainda, vai ser preciso criar um]
- c) Preencha suas respostas: são algumas questões valendo nota, em geral discursivas, mais um campo (obrigatório, mas sem valer nota) para você fazer comentários.
- d) Envie **até meia hora antes** do horário da aula

# **Parte I – Fluidos e Elasticidade**

(slides baseados parcialmente em material do prof. Carlos Eduardo R. de Sousa)

**Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.**



**P: O que diferencia um sólido de um fluido?**

## **Teste Conceitual 1.1:**

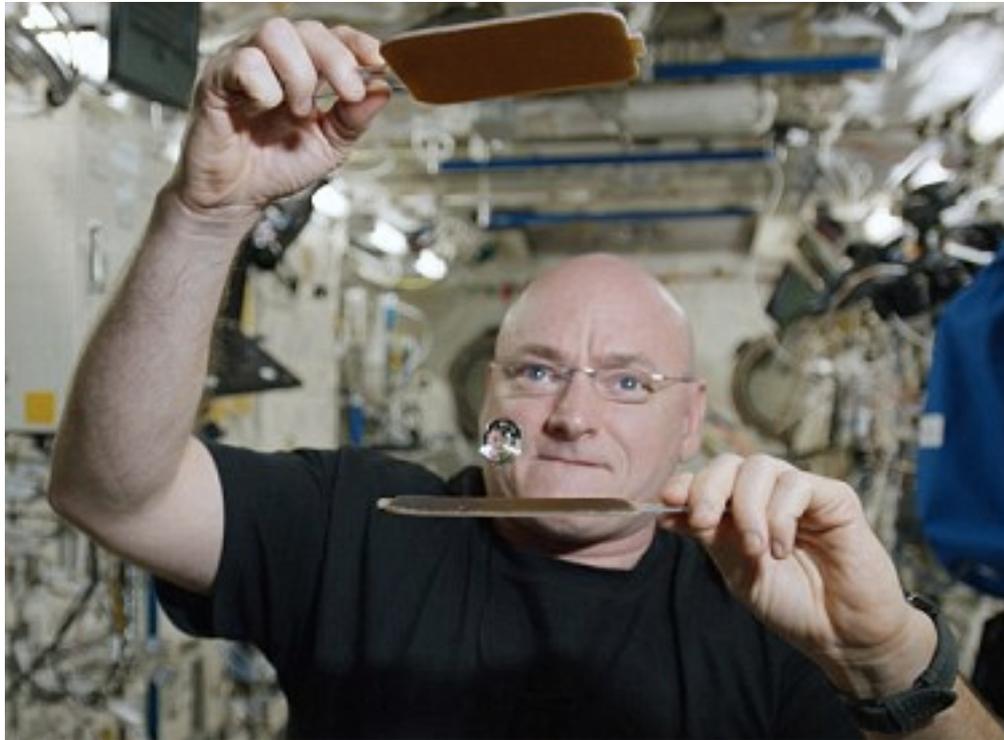
**O que diferencia um sólido de um fluido?**

- A) Um sólido é duro e um fluido é mole**
- B) Um sólido resiste a forças perpendiculares a sua superfície, ao contrário de um fluido**
- C) Um sólido resiste a forças tangenciais a sua superfície, ao contrário de um fluido**
- D) Um sólido colocado num recipiente fechado mantém o seu formato, mas um fluido se expande até ocupá-lo completamente**

## Teste Conceitual 1.1:

O que diferencia um sólido de um fluido?

- A) Um sólido é duro e um fluido é mole
- B) Um sólido resiste a forças perpendiculares a sua superfície, ao contrário de um fluido
- C) Um sólido resiste a forças tangenciais a sua superfície, ao contrário de um fluido**
- D) Um sólido colocado num recipiente fechado mantém o seu formato, mas um fluido se expande até ocupá-lo completamente



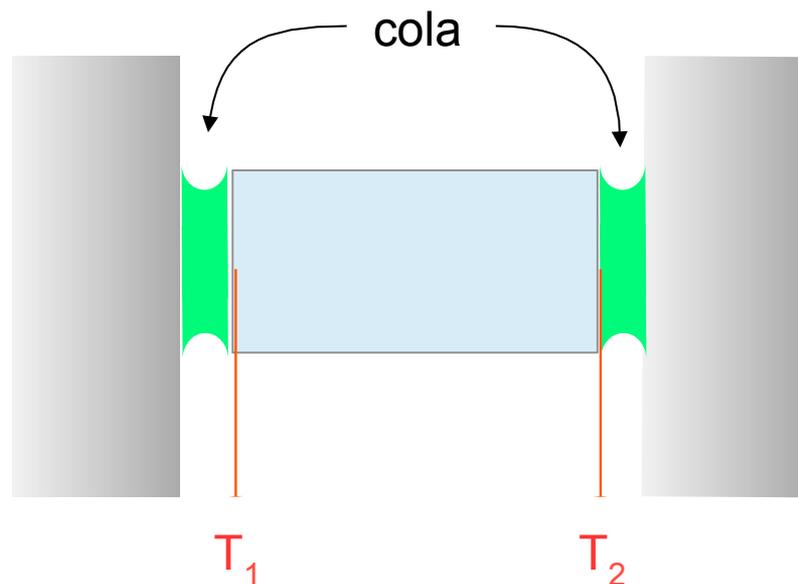
astronauta brincando com água no espaço –  
ela mantém seu formato sem um recipiente!



“pingo mais lento do mundo” (piche)  
– leva ~10 anos para cada um cair!  
Caíram só 9 desde 1930!

# Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

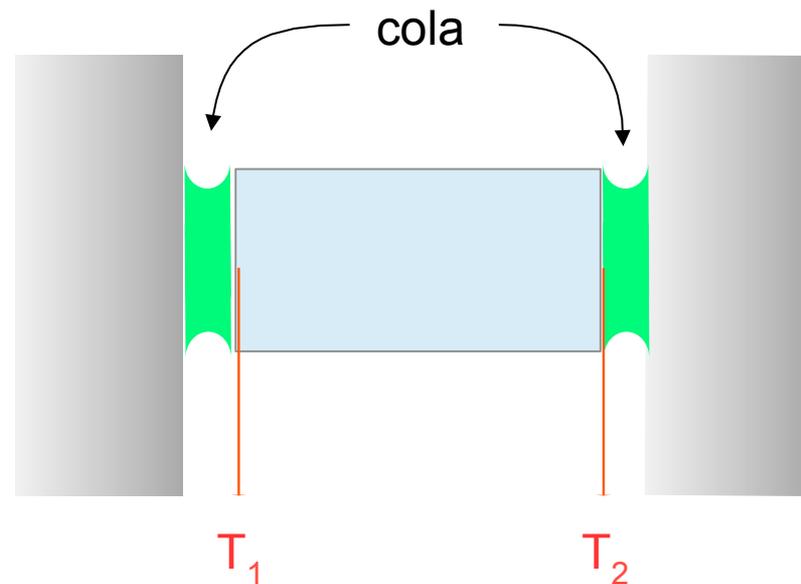
R: A diferença fundamental entre sólidos e líquidos está na forma de responder a forças (**tensões**) tangenciais à superfície



$T$  = tensão superficial  
(cisalhamento)

# Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

Se a cola não estiver seca, a tensão superficial provoca deslizamento de camadas adjacentes da cola, o que leva à descida do bloco.

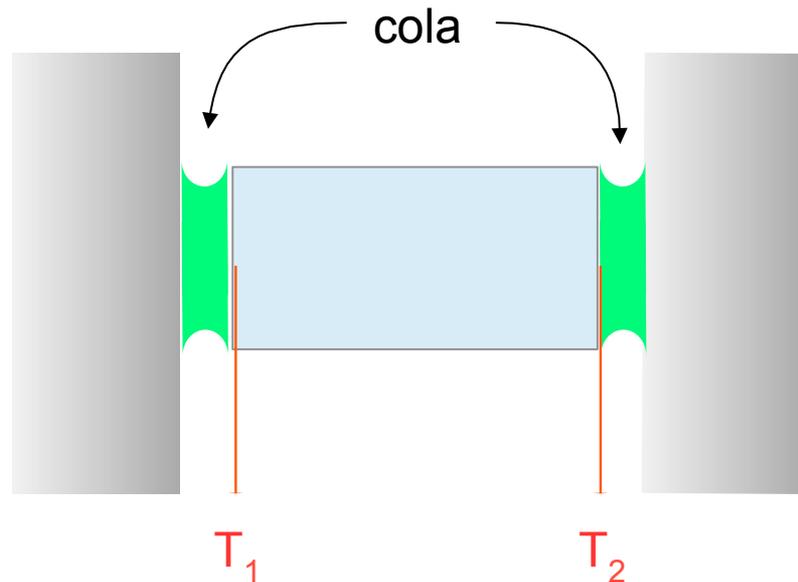


$T$  = tensão superficial  
(cisalhamento)

# Fluidos: sistemas macroscópicos que fluem.

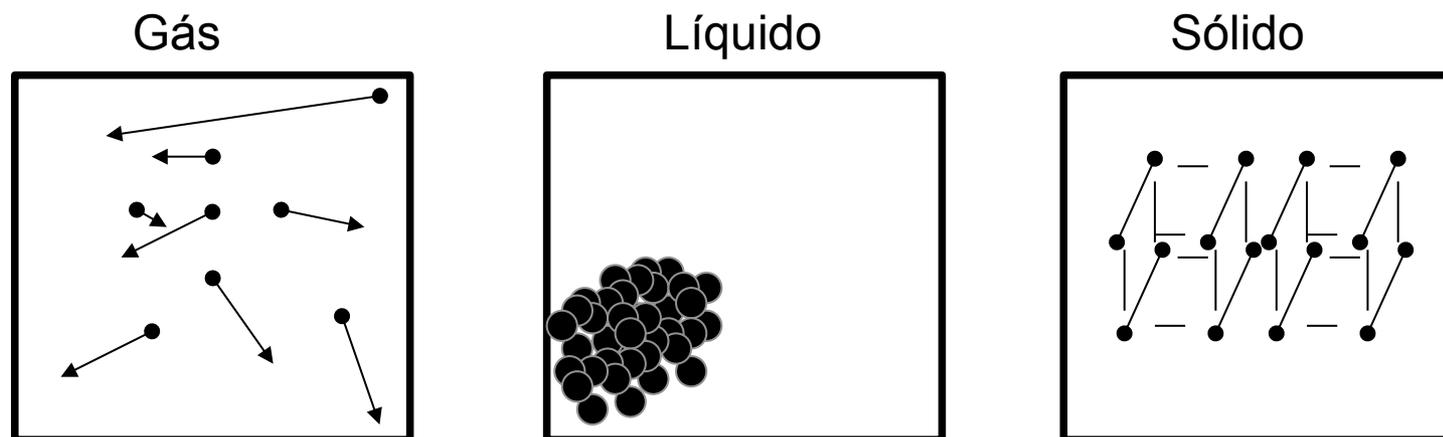
Sólido → se deforma até o equilíbrio quando sujeito a uma tensão superficial tangencial.

Fluido → não equilibra nenhuma tensão superficial tangencial, ele flui.



$T$  = tensão superficial  
(cisalhamento)

# Origem das diferenças macroscópicas: propriedades dos constituintes microscópicos da matéria



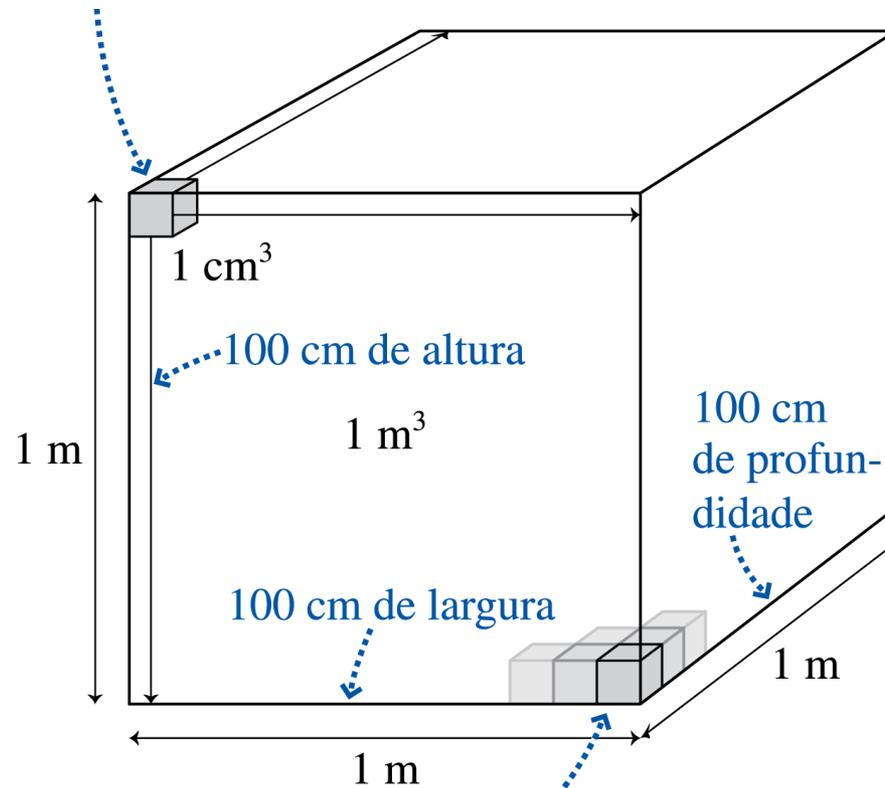
**Gás:** partículas espaçadas, interagem apenas durante colisões  
– é um fluido *compressível*.

**Líquido:** partículas ligadas fracamente umas às outras, sem deixar espaços significativos entre elas – podem fluir, mas não podem se aproximar mais – é um fluido (aprox.) *incompressível*

**Sólido:** partículas ligadas fortemente umas às outras, formando uma estrutura rígida - não fluem

# Grandezas relevantes

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



$$1m^3 = 1m \times 1m \times 1m = 100cm \times 100cm \times 100cm = 10^6 cm^3$$

$$1L = 10cm \times 10cm \times 10cm = 10^3 cm^3 = 10^{-3} m^3$$

$$1mL = 1cm^3$$

# Grandezas relevantes

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

**TABELA 15.1** Densidades de fluidos em condições padrão de temperatura (0 °C) e pressão (1 atm)

Substância	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Ar	1,28
Álcool etílico	790
Gasolina	680
Glicerina	1.260
Hélio gasoso	0,18
Mercúrio	13.600
Óleo (comum)	900
Água do mar	1.030
Água	1.000



- densidade (média) de um **objeto** = massa **total** / volume **total** do objeto
- densidade de uma **substância** (ou 'massa específica')  
= massa/volume de uma porção pequena daquela substância

# Grandezas relevantes

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

**TABELA 15.1** Densidades de fluidos em condições padrão de temperatura (0 °C) e pressão (1 atm)

Substância	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Ar	1,28
Álcool etílico	790
Gasolina	680
Glicerina	1.260
Hélio gasoso	0,18
Mercúrio	13.600
Óleo (comum)	900
Água do mar	1.030
Água	1.000

## Teste conceitual 1.2

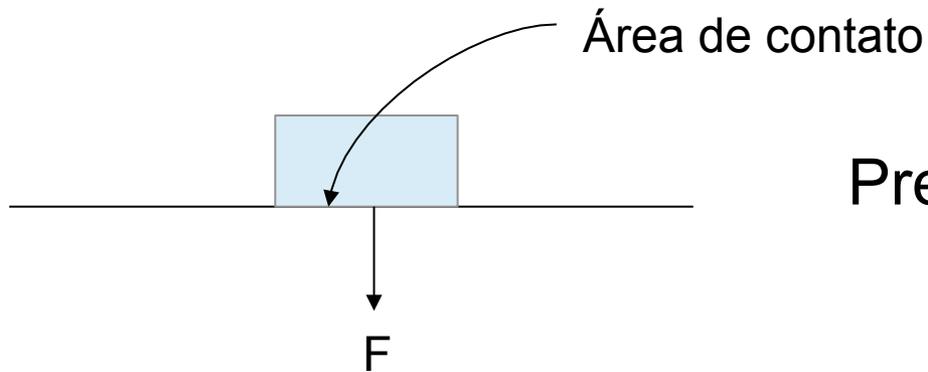
Se um objeto tem densidade igual a **1g/cm<sup>3</sup>**, ele é

- A) Mais denso que a água
- B) Tão denso como a água
- C) Um pouco menos denso que a água
- D) Muito menos denso que a água

# Grandezas relevantes

## Pressão

→ Uma grandeza relacionada com a força *perpendicular* a uma superfície.



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

unidade no SI:  $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$  (pascal)

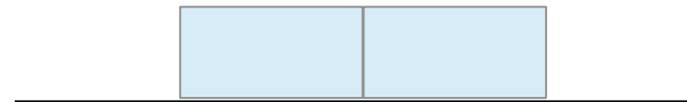
# Teste Conceitual 1.3

Considere um bloco apoiado em uma superfície horizontal



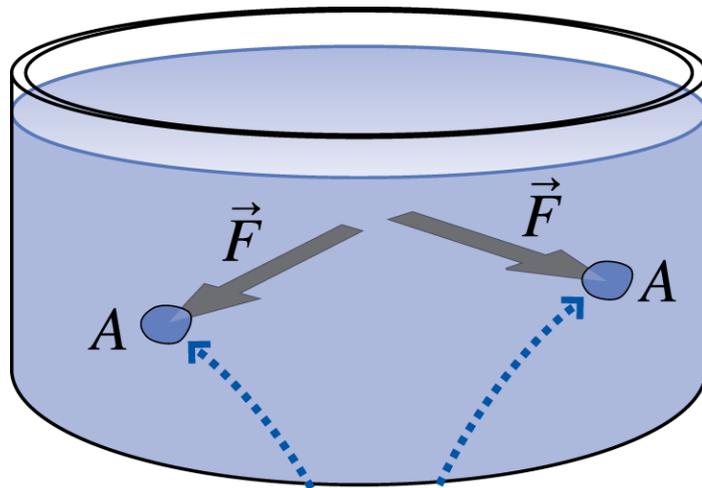
Se adicionarmos um segundo bloco idêntico ao lado do primeiro, a pressão sobre a superfície:

- A) Dobra
- B) Aumenta, mas não dobra
- C) Fica igual
- D) Diminui



# Pressão num fluido

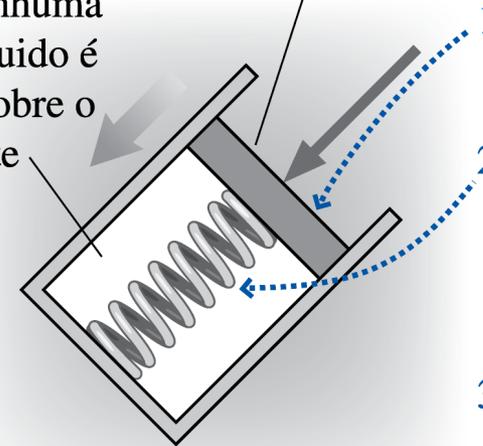
Mas... a pressão existe em **todos** os pontos do fluido



O fluido empurra a área  $A$  com força  $\vec{F}$ .

Considere um medidor formado por um pequeno pistão preso a uma mola. Quanto maior a pressão, maior a deformação

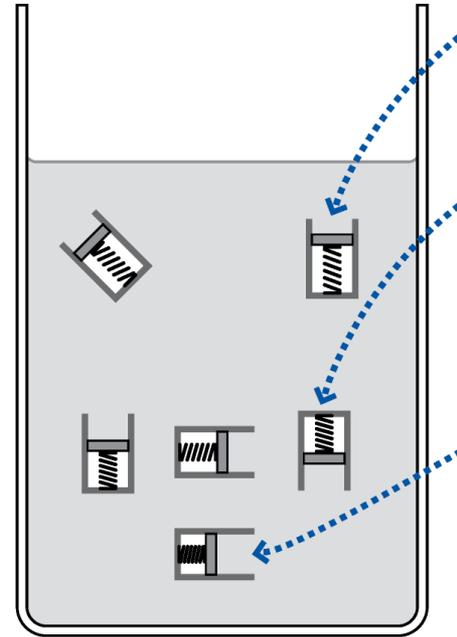
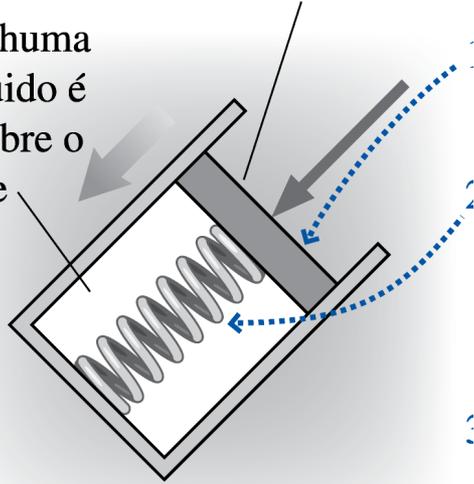
(a) Pistão preso à mola  
Vácuo; nenhuma força de fluido é exercida sobre o pistão deste lado.



A Pressão é uma quantidade escalar (não tem direção ou sentido)!

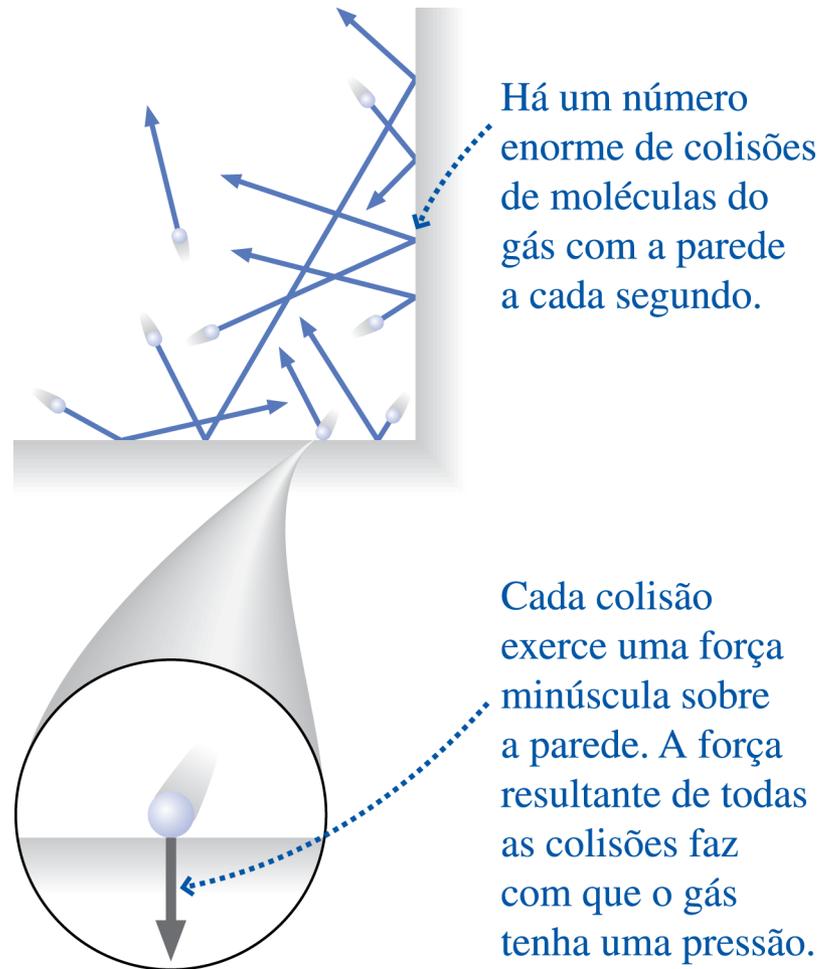
(a) Pistão preso à mola

Vácuo; nenhuma  
força de fluido é  
exercida sobre o  
pistão deste  
lado.



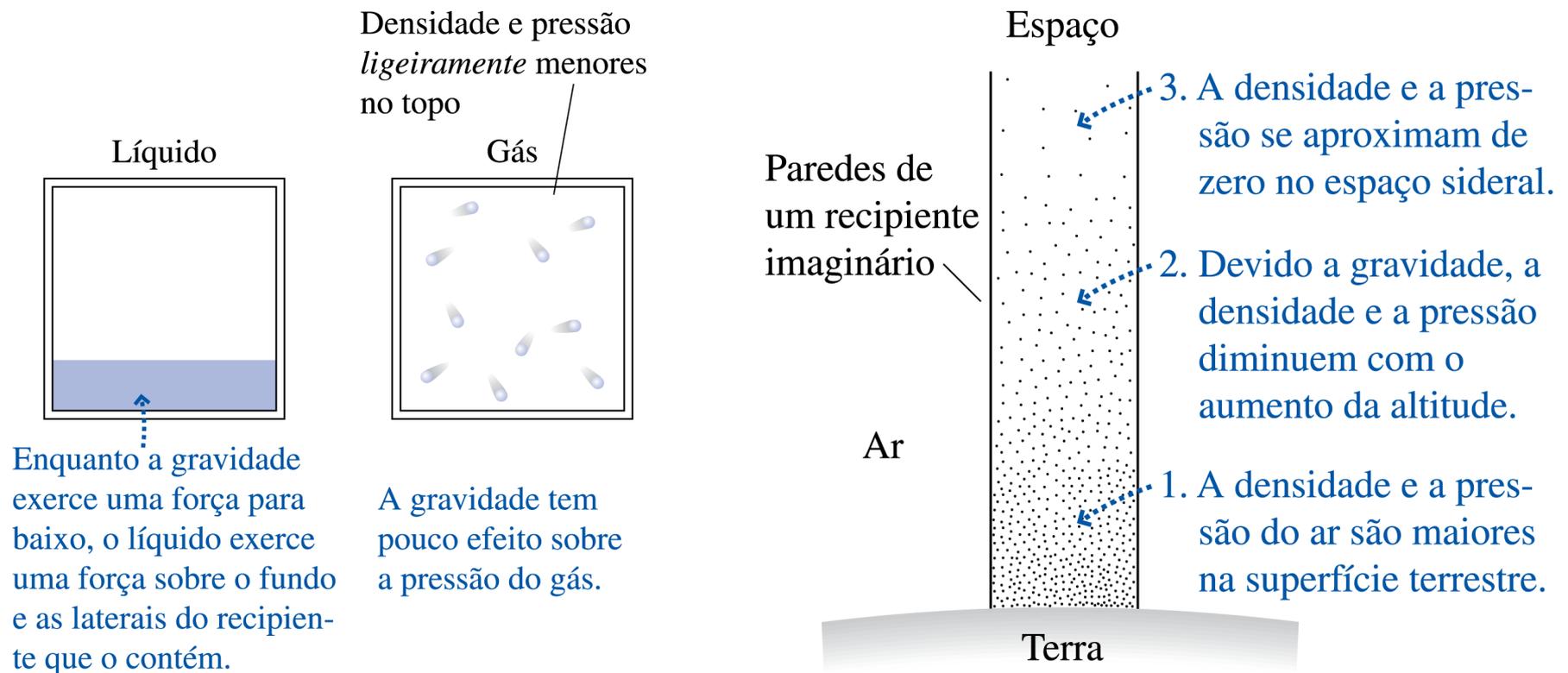
Num dado ponto do fluido, a deformação é a mesma independentemente da direção que aponta o medidor!

Origem da pressão: colisões das partículas microscópicas do fluido umas com as outras, e com as paredes do recipiente

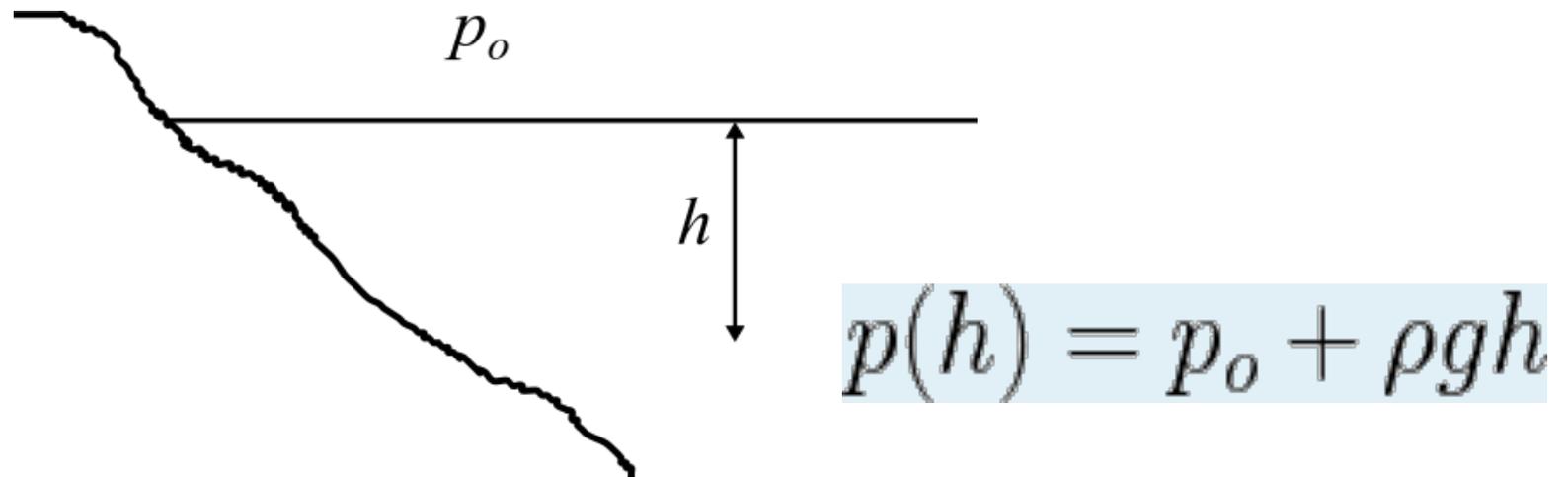


Duas contribuições para essas colisões:

- **Agitação térmica das partículas.**  
Relevante em gases, pouco relevante em líquidos
- **A atração gravitacional sobre o fluido.** Relevante em líquidos ou em volumes imensos de gases (ex: a atmosfera inteira). Pouco relevante em pequenos recipientes de gás.



**Lei de Stevin:** Pressão sob a superfície de um fluido *incompressível* em *equilíbrio hidrostático*.  
(Ex: líquido parado em um recipiente)

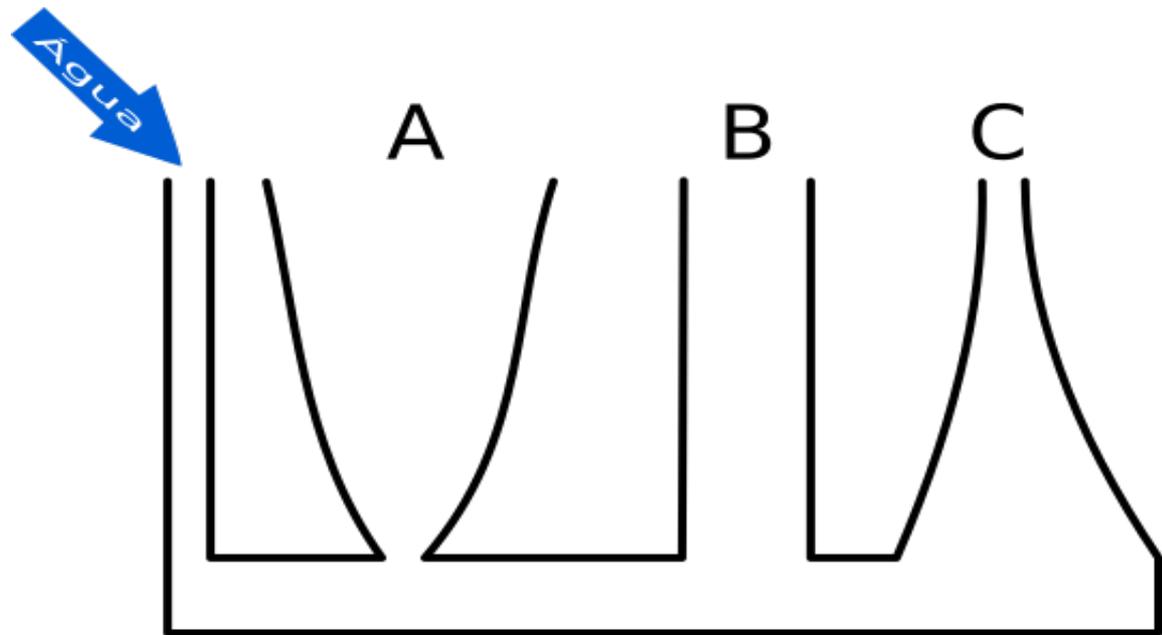


**A pressão hidrostática só depende da profundidade e da pressão na superfície!**

## Teste Conceitual 1.4

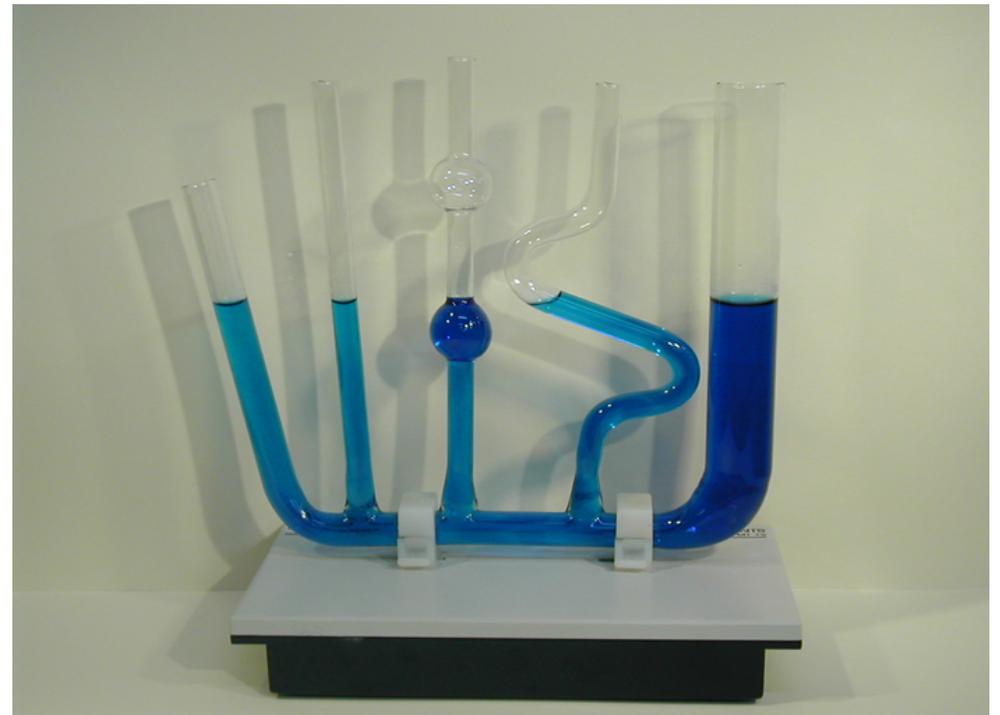
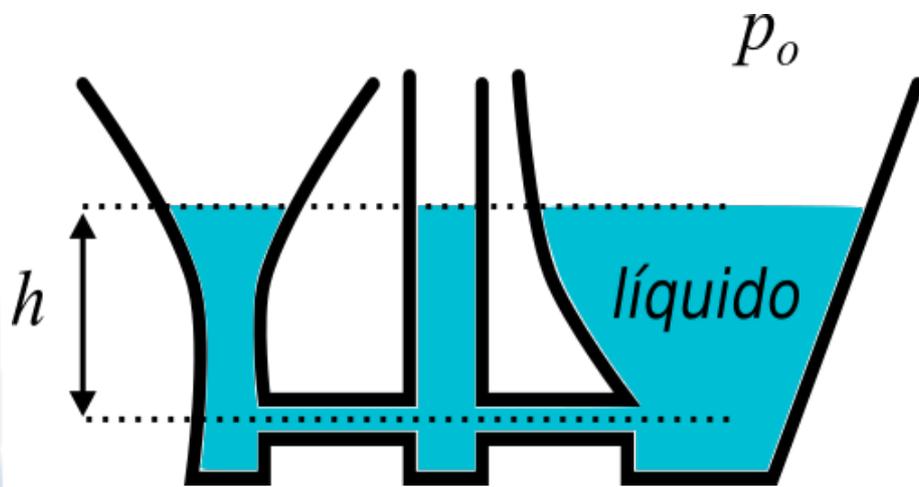
Água é lentamente derramada no recipiente da figura abaixo até que o nível tenha aumentado nos tubos A, B e C. Interrompe-se o derramamento antes que haja o transbordamento. Como se comparam entre si as profundidades de água nas três colunas (parcialmente cheias)?

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



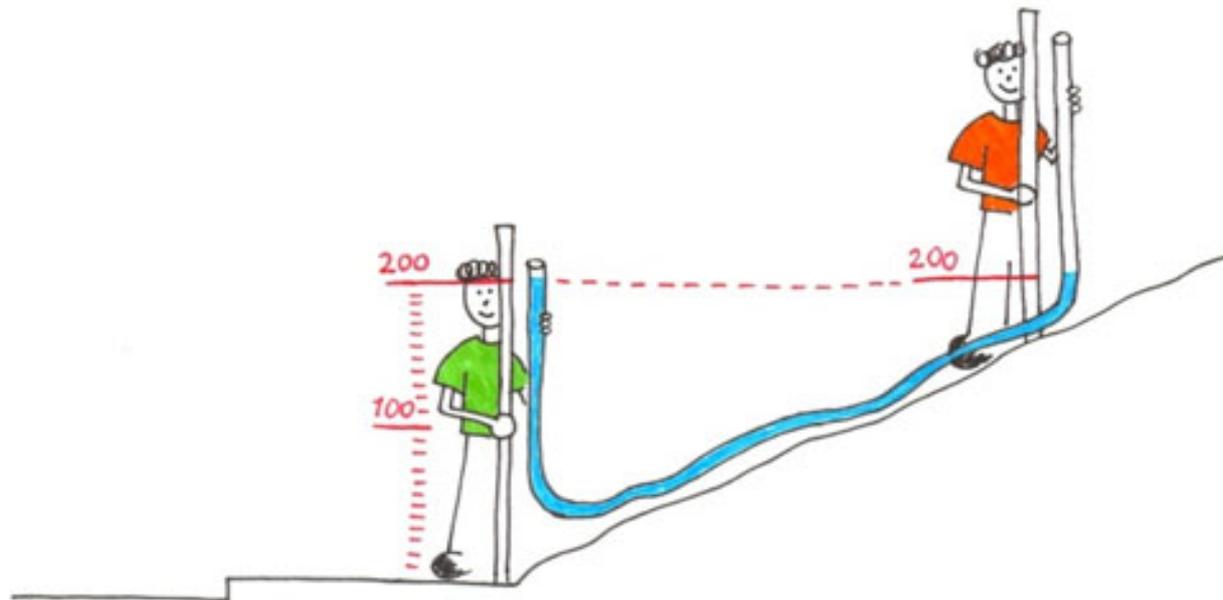
# Vasos Comunicantes

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!**

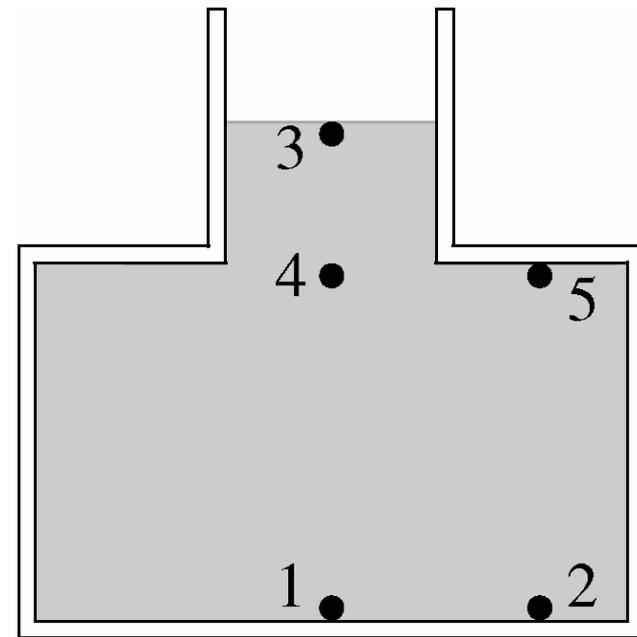


**A mangueira de nível, utilizada na construção civil, é uma aplicação prática deste fenômeno!**

## Teste Conceitual 1.5

Supondo que o fluido na figura está todo em equilíbrio estático, a pressão no ponto 5 é

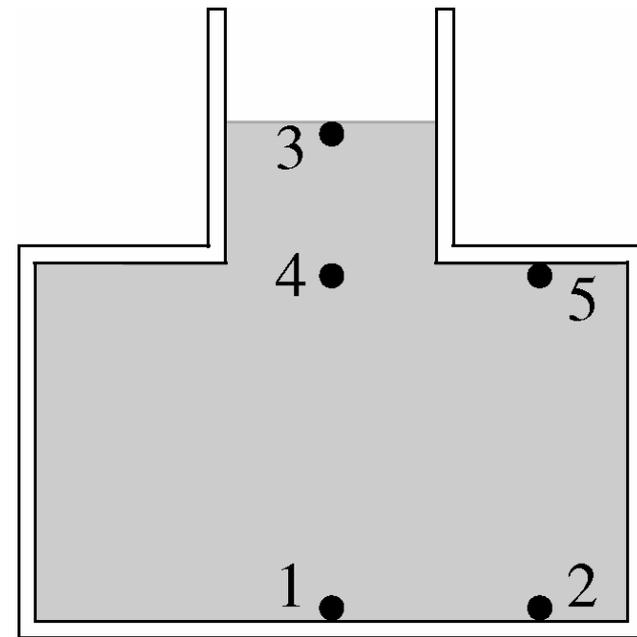
- A) Maior que a do ponto 4
- B) Igual à do ponto 4
- C) Menor que a do ponto 4
- D) Não dá para determinar



# Teste Conceitual 1.5

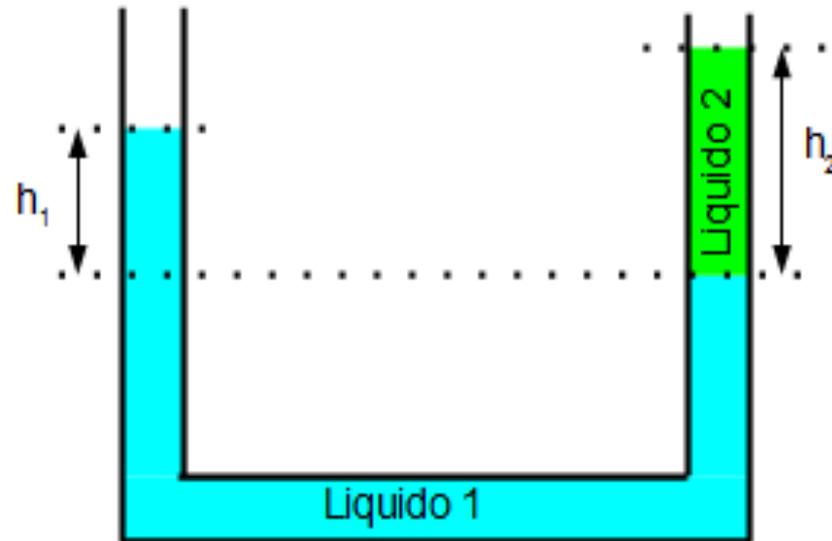
Supondo que o fluido na figura está todo em equilíbrio estático, a pressão no ponto 5 é

- A) Maior que a do ponto 4
- B) Igual à do ponto 4**
- C) Menor que a do ponto 4
- D) Não dá para determinar



**Se abrirmos um furo no ponto 5, sairá um esguicho!**

## Aplicação: Tubo em U com dois líquidos distintos.



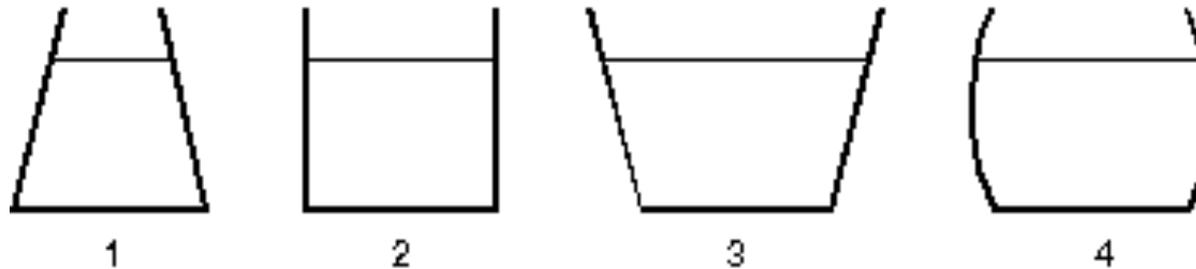
Pela Lei de Stevin, a diferença de pressão entre dois pontos de um líquido é cte, dependendo apenas do desnível entre esses pontos.

Logo, **se produzirmos uma variação de pressão num ponto do líquido, essa variação se transmite igualmente a todos os pontos do líquido.** Esse conceito é conhecido por

**“Princípio de Pascal”**

**V. exemplo 15.4**

## Teste Conceitual 1.6

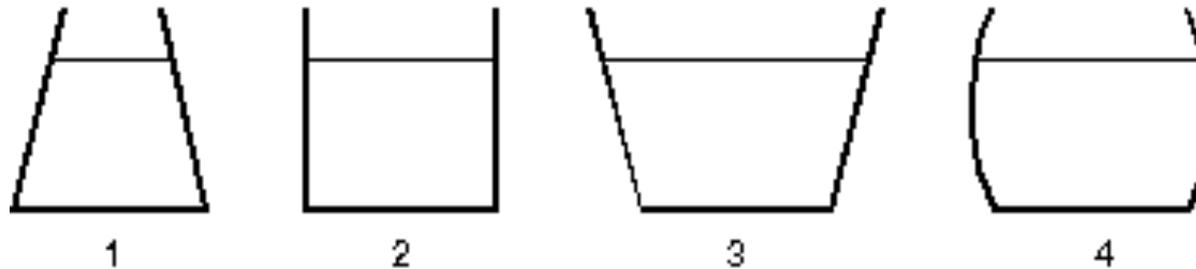


As vasilhas de água mostradas acima têm formatos e volumes diferentes, mas a mesma área de fundo, e estão preenchidas até a mesma altura.

Considere a força total exercida pela água no fundo de cada vasilha. Podemos dizer que

- A)  $F_1 < F_2 < F_4 < F_3$
- B)  $F_3 < F_4 < F_2 < F_1$
- C)  $F_1 < F_2 = F_4 < F_3$
- D)  $F_1 = F_2 = F_3 = F_4$

## Teste Conceitual 1.6



As vasilhas de água mostradas acima têm formatos e volumes diferentes, mas a mesma área de fundo, e estão preenchidas até a mesma altura.

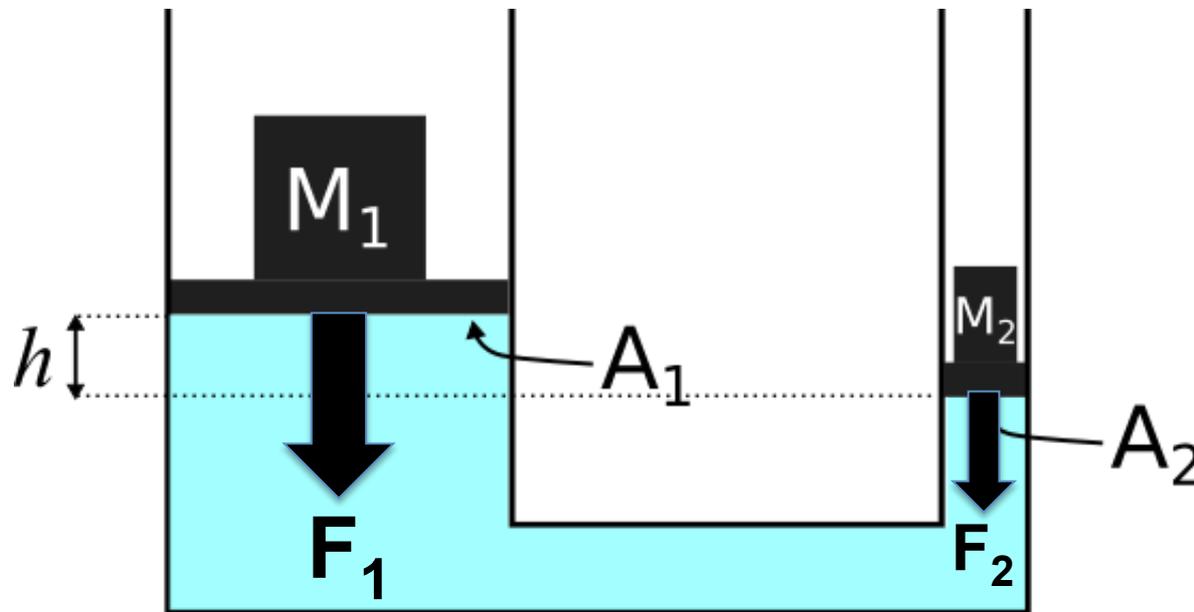
Considere a força total exercida pela água no fundo de cada vasilha. Podemos dizer que

- A)  $F_1 < F_2 < F_4 < F_3$
- B)  $F_3 < F_4 < F_2 < F_1$
- C)  $F_1 < F_2 = F_4 < F_3$
- D)  $F_1 = F_2 = F_3 = F_4$**

## Aplicação: Elevador Hidráulico

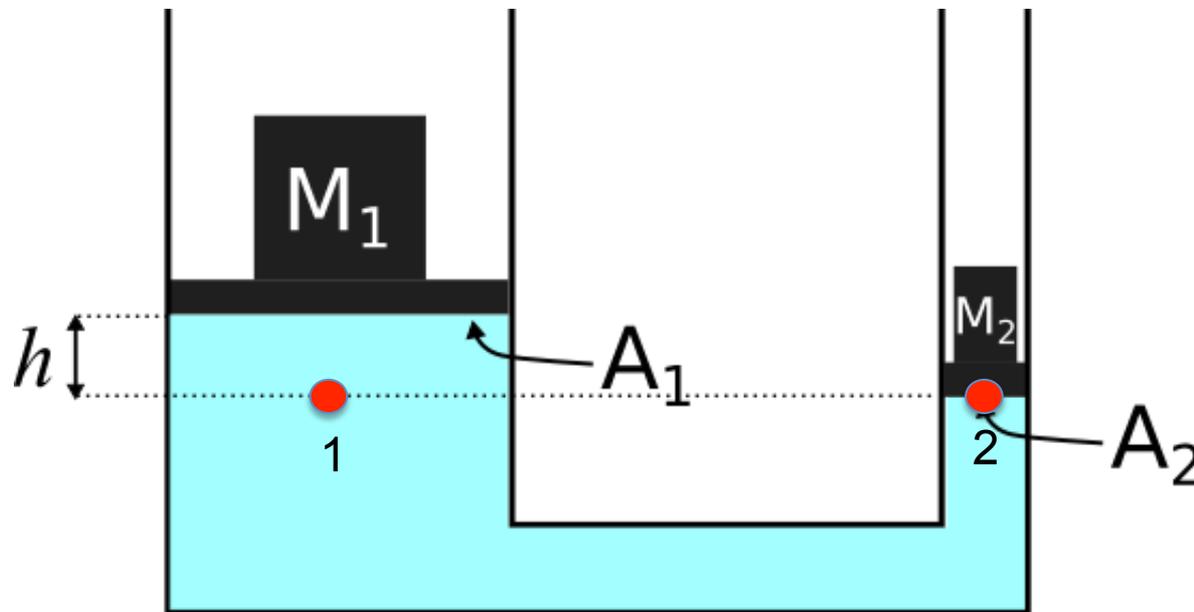
→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)

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



## Aplicação: Elevador Hidráulico

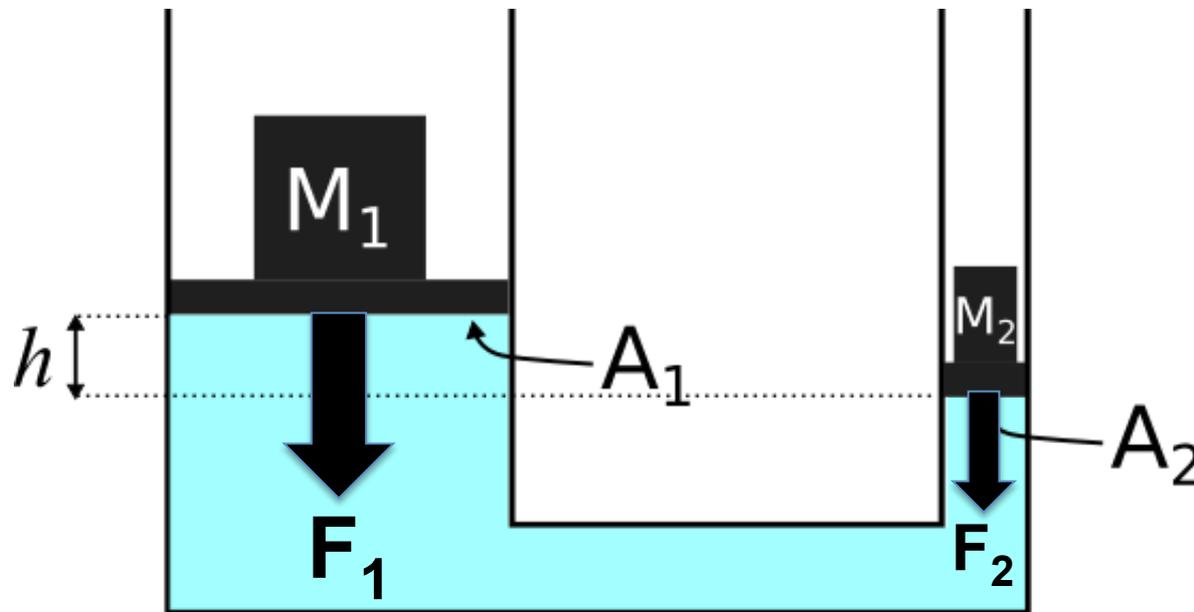
→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)



$$p_1 = p_2 \Rightarrow p_0 + \frac{F_1}{A_1} + \rho gh = p_0 + \frac{F_2}{A_2}$$

## Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)



$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} + \rho gh$$

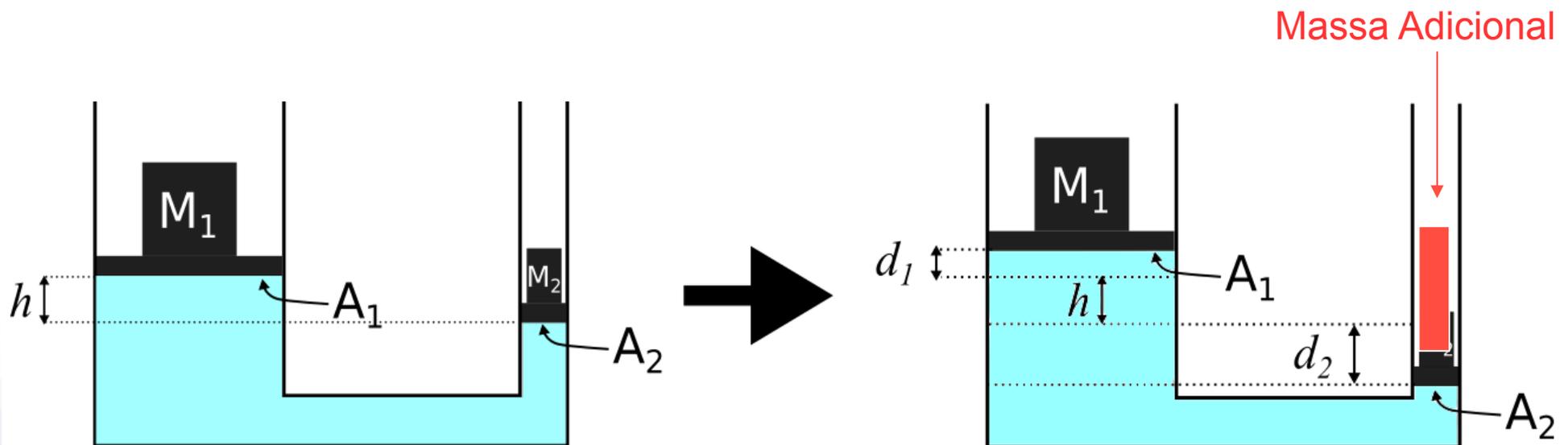
→ Uma peq. força numa peq. área equilibra uma gde força numa gde área!

Olhar o problema resolvido 15,7!

## Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)

De quanto subirá o pistão 1 se deslocamos o pistão 2 para baixo, colocando, por exemplo, uma massa adicional?



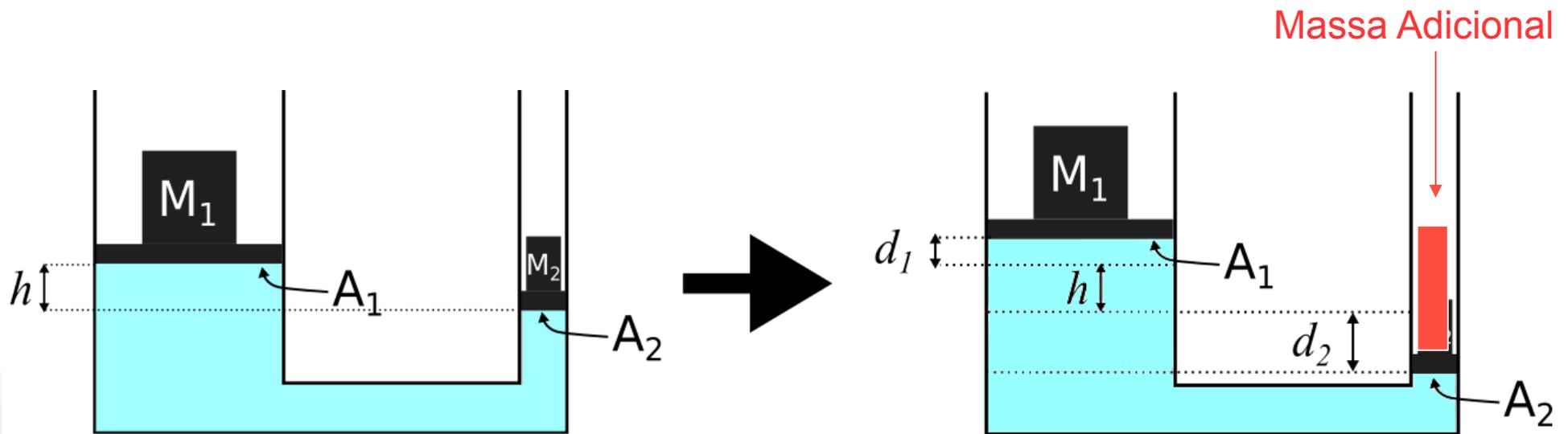
Como o líquido é incompressível:

$$d_1 = d_2 \frac{A_2}{A_1}$$

## Aplicação: Elevador Hidráulico

→ Multiplicação da força (usado p.ex num elevador de oficina mecânica)

Qual deve ser a força adicional para levantar o pistão 1 de uma distância  $d_1$ ?



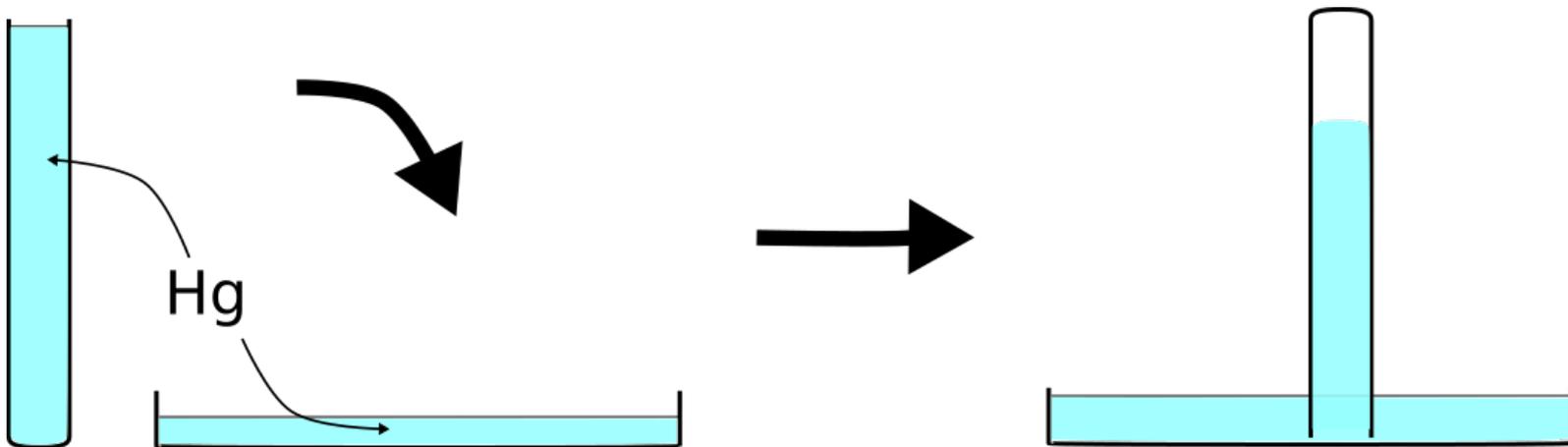
$$F'_2 - F_2 = \rho g d_1 (A_1 + A_2)$$

→ Olhar o problema resolvido 15,7!

**Qual a força exercida pelo ar em nosso antebraço?**

## Medidores de Pressão: Barômetro de mercúrio

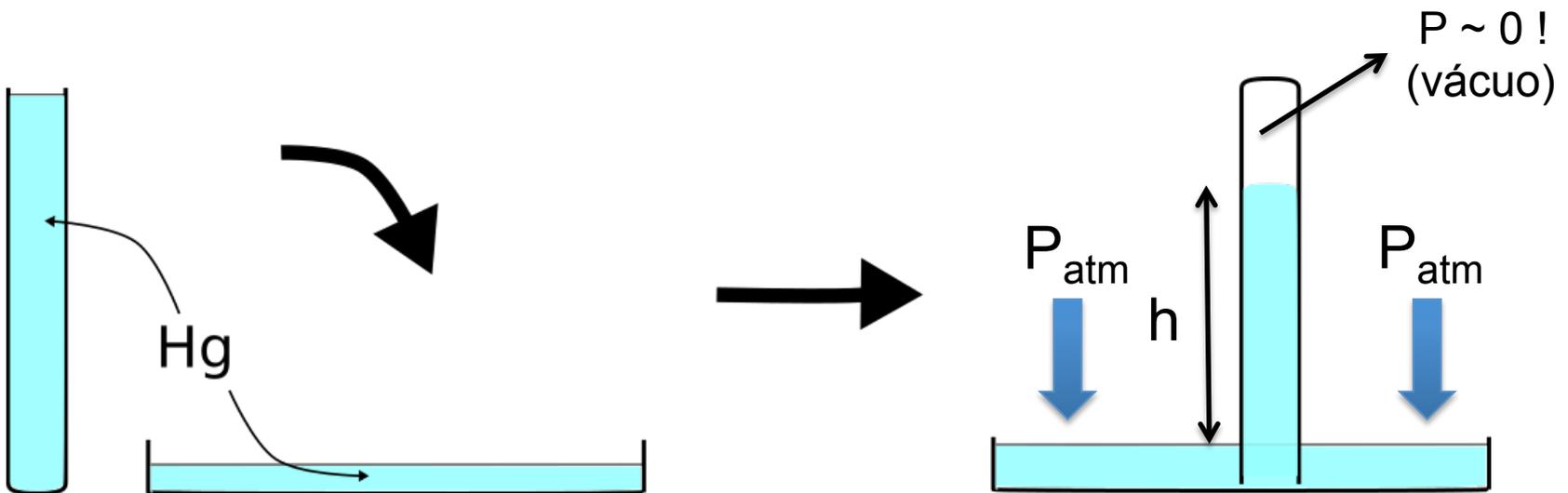
(Hg é um metal líquido à temp. ambiente, com  $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg / m}^3$ )



Por que o líquido não escorre totalmente?

## Medidores de Pressão: Barômetro de mercúrio

(Hg é um metal líquido à temp. ambiente, com  $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg / m}^3$ )



$$P_{\text{atm}} = \rho_{\text{Hg}} g h$$

Na altura do mar e a  $0^\circ\text{C}$ ,  $h = 0,760 \text{ m}$   $\rightarrow P_{\text{atm}} = 101,3\text{kPa}$

## Outras unidades de pressão

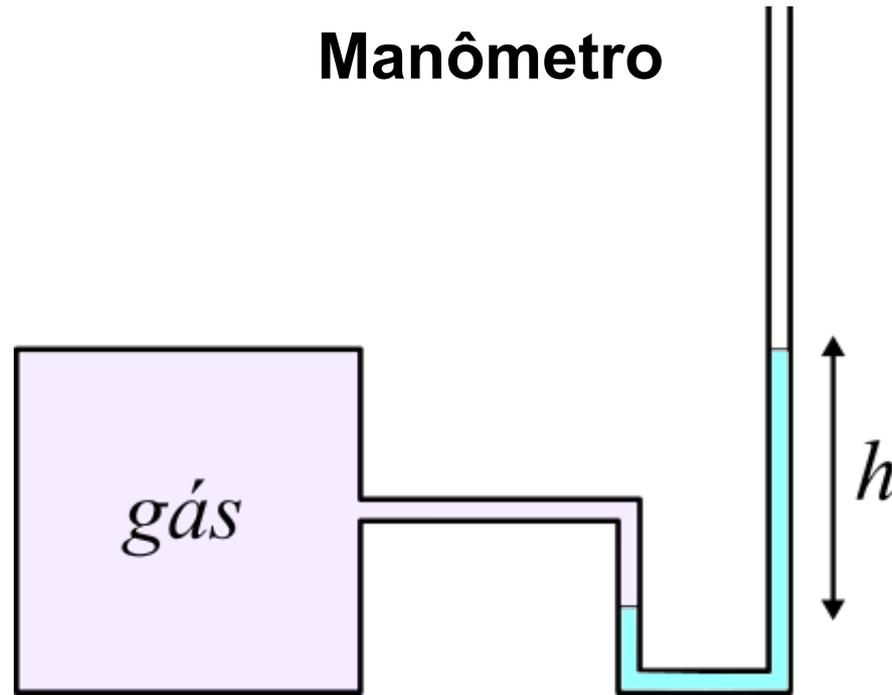
Por tradição, em muitas situações práticas usa-se unidades de pressão diferentes do Pascal

**TABELA 15.2** Unidades de pressão

Unidade	Abreviação	Valor correspondente a 1 atm	Usos
pascal	Pa	101,3 kPa	unidade do SI: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
atmosfera	atm	1 atm	geral
milímetros de mercúrio	mm de Hg	760 mm de Hg	pressão barométrica e gases
polegadas de mercúrio	pol	29,92 polegadas	pressão barométrica nas previsões de tempo nos EUA
libras por polegada quadrada	psi	14,7 psi	engenharia e indústria
100kPa	bar	1,013 bar	geral – útil pois é quase igual a 1 atm mas é um ‘numero redondo’ no SI

# Medidores de Pressão

## Manômetro



A altura  $h$  fornece a pressão do gás.

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

Ex: medidores de pressão de pneu em postos de gasolina

Obs: A **pressão manométrica** pode ser nula ou mesmo negativa!

## **Teste Online: Algumas respostas...**

**Por que um objeto mergulhado em um fluido sofre uma força de Empuxo?**

**Estudante 1- “Porque o empuxo é uma força vertical, dirigida para cima, que qualquer líquido exerce sobre um corpo nele mergulhado, ou seja, é uma força de interação com o líquido.”**

**Estudante 2- “Pois a força gravitacional que puxa o objeto para baixo deve ser equilibrada por uma força orientada para cima”**

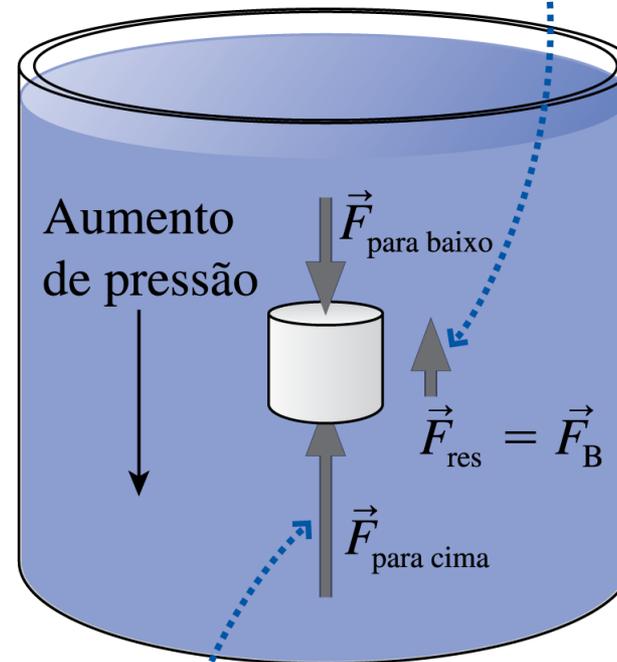
**Estudante 3- “Como a pressão varia com a profundidade, a força feita pela pressão na parte de baixo do objeto é maior que na de cima (as laterais se cancelam) resultando em uma força para cima.”**

# Empuxo

Considere um objeto cilíndrico de um material qualquer, submerso em um fluido.

Como a pressão aumenta com a profundidade, a força sobre o objeto devido ao contato com o fluido é diferente de zero e aponta **para cima**.

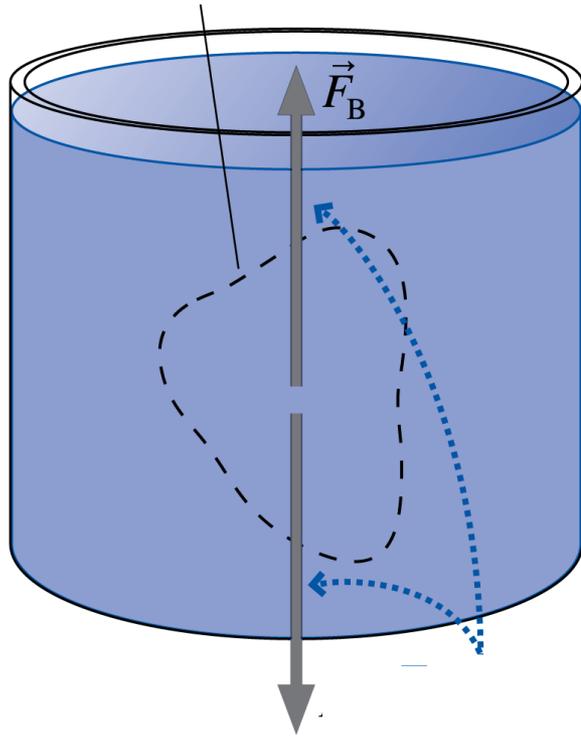
A força resultante do fluido sobre o cilindro é a força de empuxo  $\vec{F}_B$ .



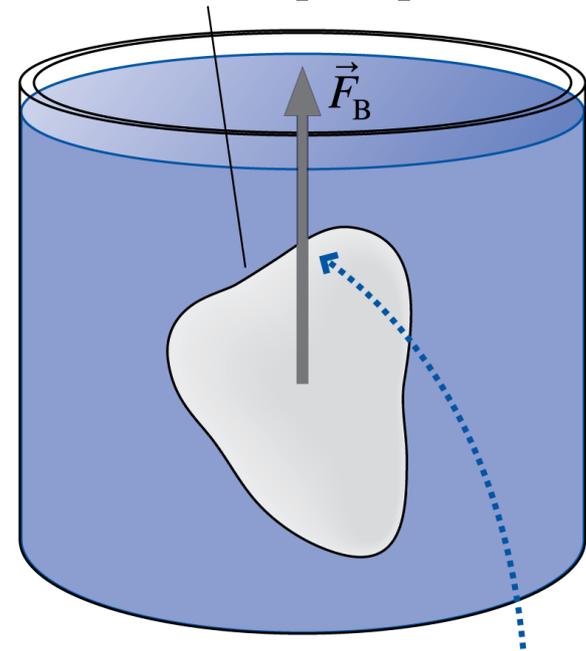
$F_{\text{para cima}} > F_{\text{para baixo}}$  porque a pressão é maior no fundo. Logo, o fluido exerce uma força resultante orientada para cima.

A mesma conclusão se aplica para objetos de **qualquer** formato, total ou parcialmente submersos no fluido

(a) Limite imaginário em torno de uma parcela de fluido



(b) Objeto real de mesmo tamanho e formato que a parcela do fluido



$F_B$  = força de empuxo sobre o volume tracejado devido ao resto do fluido

$F_G$  = peso do volume tracejado de fluido

Num fluido em equilíbrio:  $F_B + F_G = 0$

O objeto sofre a MESMA força de empuxo vertical que seria sentida sobre o volume de fluido que ele deslocou, pois o restante do fluido não foi alterado

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, no seu livro “Sobre corpos flutuantes” (séc III A.C.)



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, no seu livro “Sobre corpos flutuantes” (séc III A.C.)



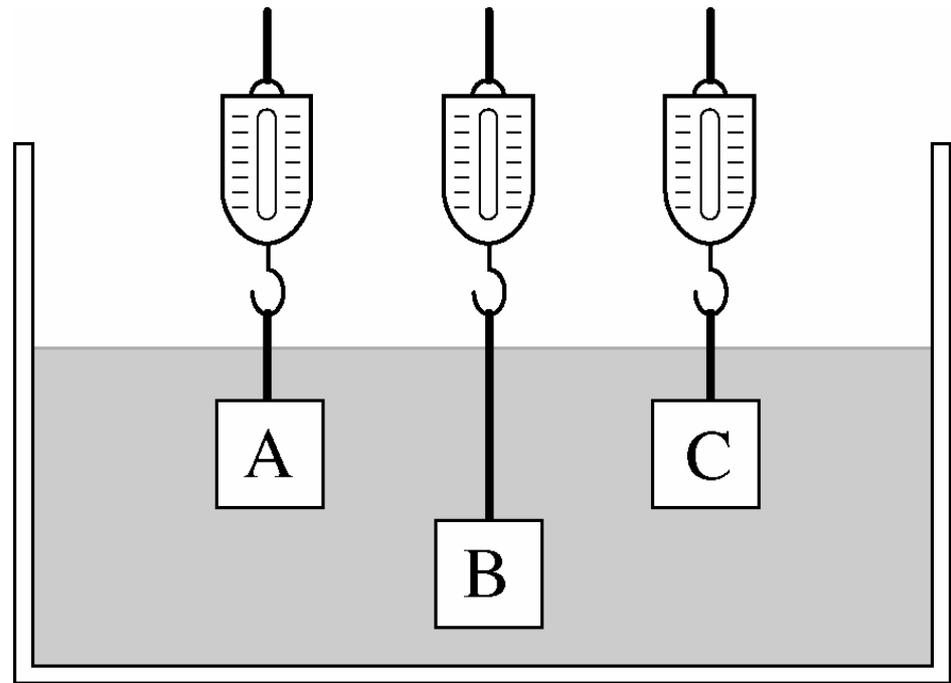
único exemplar existente do texto grego original, copiado por volta do ano 1000 DC e só encontrado em 1906 “escondido” atrás de outro texto do século XIII. Vejam <http://archimedespalimpsest.org>

## Teste Conceitual 2.1

Três blocos de mesmo tamanho e com as massas indicadas estão suspensos de balanças enquanto são mergulhados num fluido, conforme a figura.

P: como se ordenam os pesos aparentes dos blocos, conforme medidos pelas balanças?

(Obs: Assuma que os fios são inextensíveis e de massa desprezível)

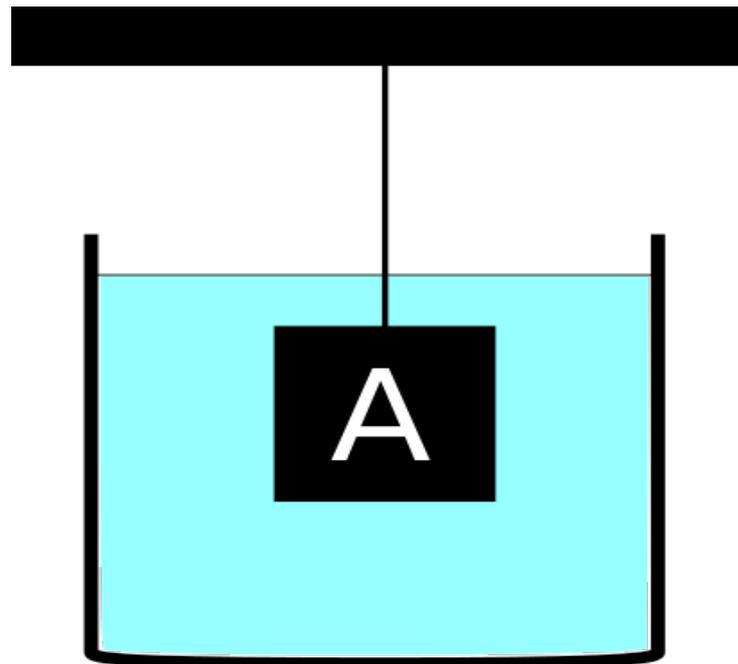


$$m_A = m_B$$

$$m_C > m_A$$

- A)  $P_A^{\text{apar}} = P_C^{\text{apar}} < P_B^{\text{apar}}$   
B)  $P_A^{\text{apar}} = P_B^{\text{apar}} < P_C^{\text{apar}}$   
C)  $P_A^{\text{apar}} < P_B^{\text{apar}} < P_C^{\text{apar}}$   
D)  $P_A^{\text{apar}} = P_B^{\text{apar}} = P_C^{\text{apar}}$

**Problema: Qual a Tensão no barbante da figura abaixo?**

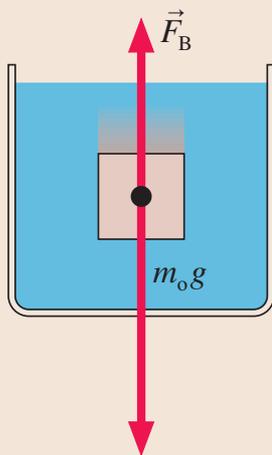


Fluido: Álcool Etílico – bloco: Alumínio sólido com volume  $100\text{cm}^3$ .

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

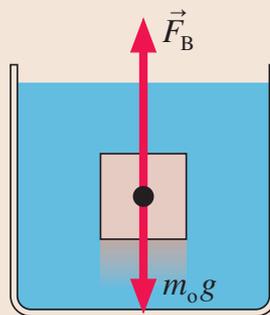
# Empuxo e Flutuação

$$\rho_o > \rho_f$$



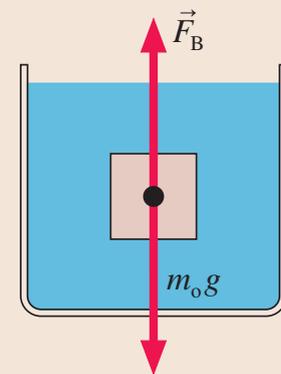
Objeto afunda

$$\rho_o < \rho_f$$



Objeto sobe até a superfície,  
onde flutua parcialmente submerso

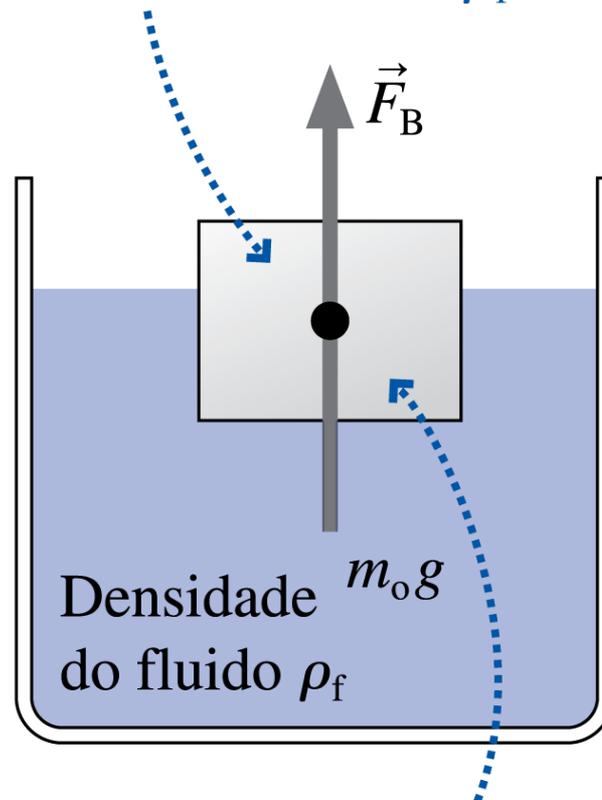
$$\rho_o = \rho_f$$



Objeto em equilíbrio  
hidrostático

# Empuxo e Flutuação

Um objeto de densidade  $\rho_o$  e volume  $V_o$  está flutuando num fluido de densidade  $\rho_f$ .

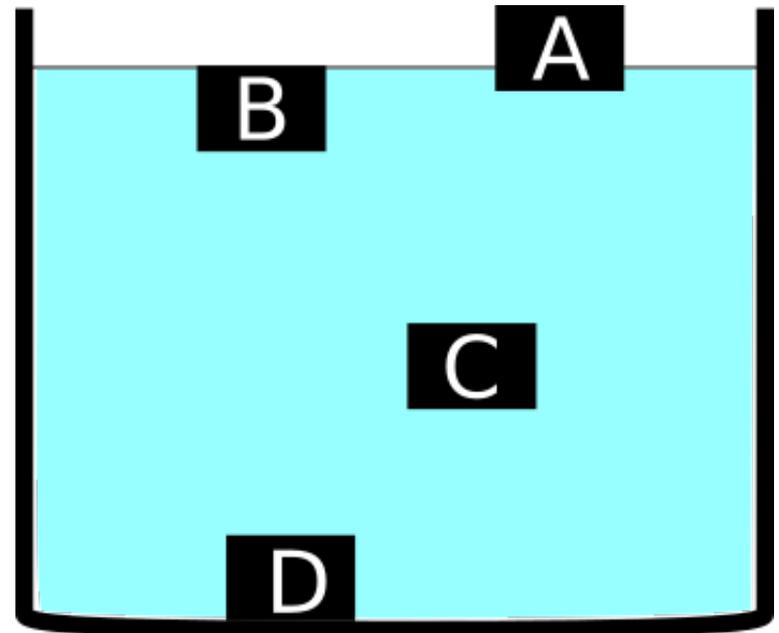


O volume submerso do objeto é igual ao volume  $V_f$  do objeto do fluido deslocado.

## Teste Conceitual 2.2

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

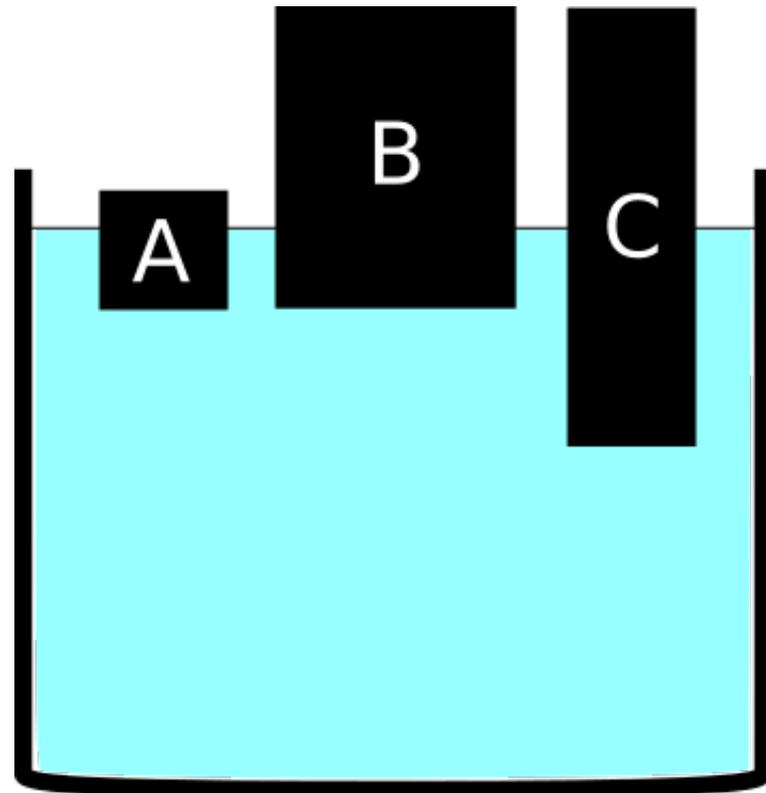
- (A)  $E_A < E_B = E_C = E_D$
- (B)  $E_A < E_B < E_C < E_D$
- (C)  $E_A < E_B = E_C < E_D$
- (D)  $E_D < E_C < E_B < E_A$



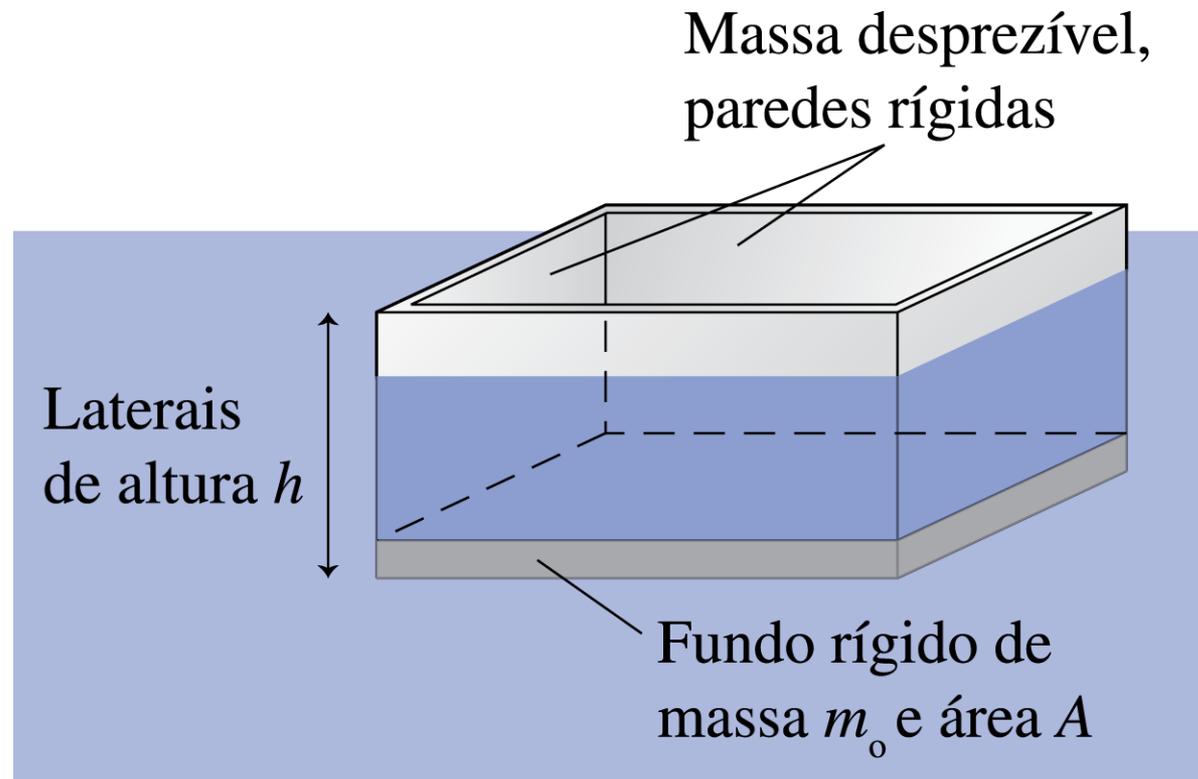
## Teste Conceitual 2.3

Ordene as densidades dos três blocos.

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



# Flutuação: “modelo” para um barco



## Teste Conceitual 2.4

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.

## **Teste Online: Algumas respostas...**

**Gelo derretendo no copo: nível sobe, desce ou fica igual?**

**Estudante 1- “O nível de água abaixa, visto que por flutuar o gelo é menos denso, portanto, o gelo ocupa um volume de água maior que o seu próprio.”**

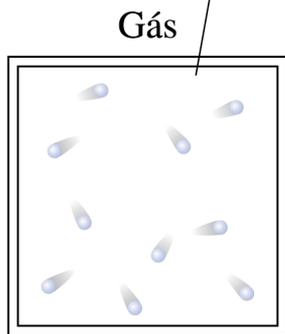
**Estudante 2- “Fica igual, porque o peso do cubo de gelo é igual ao peso da água deslocada. Enquanto o gelo derrete e vira água, ela ocupa o volume que o cubo estava ocupando.”**

**Estudante 3- “Eu gostei da questão, pois sempre vejo comentários falando que os níveis do oceanos estão subindo devido ao derretimento das geleiras, o que não faz sentido, pois o gelo não aumenta o volume dos oceanos.”.**

# Pressão em gases

Atenção: a Lei de Stevin **não** se aplica no caso de fluidos compressíveis (ex: gases)

Densidade e pressão  
*ligeiramente* menores  
no topo



$$p(h) = p_0 + \rho gh$$

Paredes de  
um recipiente  
imaginário

Ar

Espaço

Terra

1. A densidade e a pressão do ar são maiores na superfície terrestre.
2. Devido a gravidade, a densidade e a pressão diminuem com o aumento da altitude.
3. A densidade e a pressão se aproximam de zero no espaço sideral.

Nesse caso, pode-se mostrar que, num recipiente a temperatura constante, vale a relação

$$P(z) \sim P_{\text{embaixo}} \exp(-z / z_0)$$

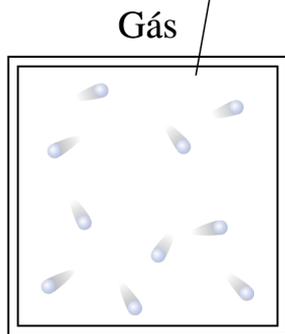
onde (na Terra)  $z_0 \sim 8,5$  km!

Assim, para recipientes pequenos,  $P(z) \sim$  constante

# Pressão em gases

Atenção: a Lei de Stevin **não** se aplica no caso de fluidos compressíveis (ex: gases)

Densidade e pressão *ligeiramente* menores no topo



$$p(h) = p_0 + \rho gh$$

Paredes de um recipiente imaginário

Ar

Espaço

Terra

1. A densidade e a pressão do ar são maiores na superfície terrestre.
2. Devido a gravidade, a densidade e a pressão diminuem com o aumento da altitude.
3. A densidade e a pressão se aproximam de zero no espaço sideral.

Nesse caso, pode-se mostrar que, num recipiente a temperatura constante, vale a relação

$$P(z) \sim P_{\text{embaixo}} \exp(-z / z_0)$$

onde (na Terra)  $z_0 \sim 8,5$  km!

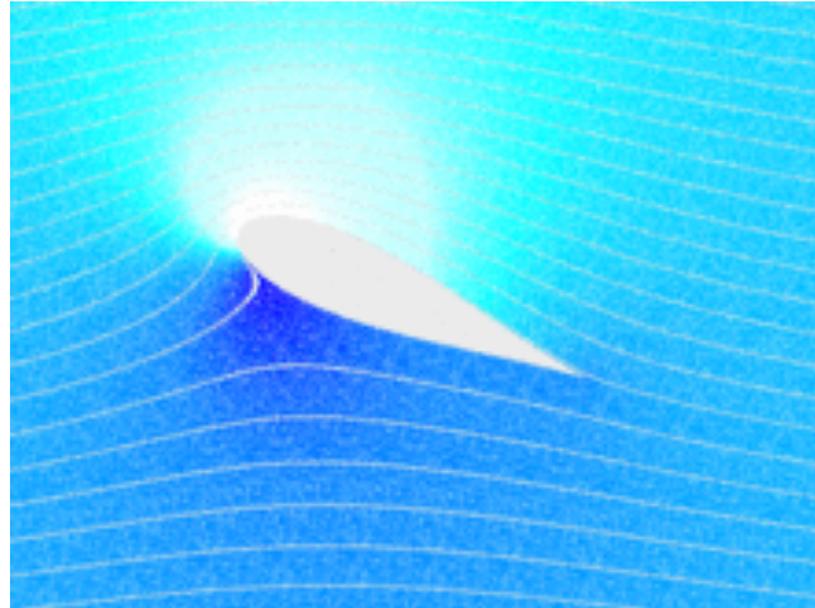
Assim, para recipientes pequenos,  $P(z) \sim$  constante

**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  $\rho$  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."**

# Hidrodinâmica : Fluidos em movimento



# Hidrodinâmica : Fluidos em movimento

Porém, entender o movimento de fluidos reais no caso mais geral é um dos problemas mais difíceis da Física !

Vórtices

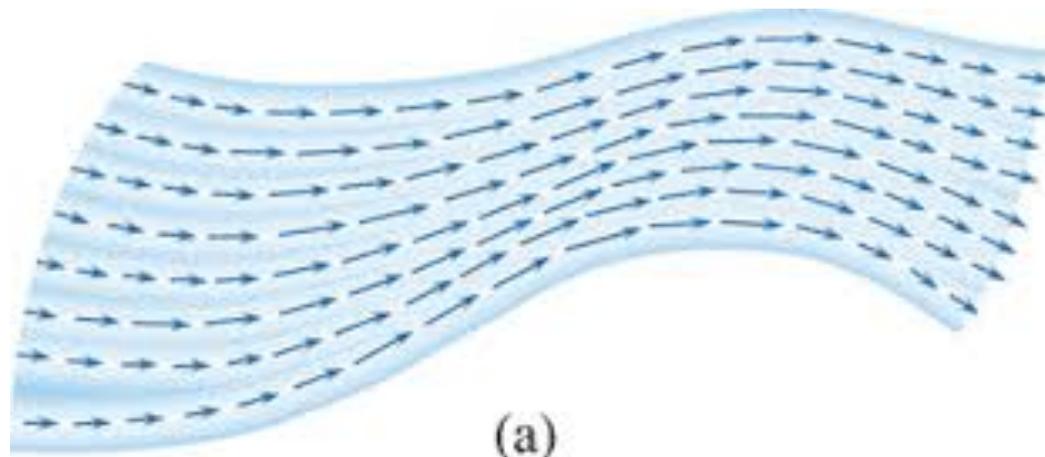


Turbulência

# Hidrodinâmica : Fluidos em movimento

Aqui vamos nos restringir inicialmente a situações idealizadas, suficientes para uma 1ª aproximação. Vamos supor que o fluido:

- é **incompressível**
- Flui de forma **estacionária**: a velocidade das partículas passando por um dado ponto do fluido não muda no tempo.

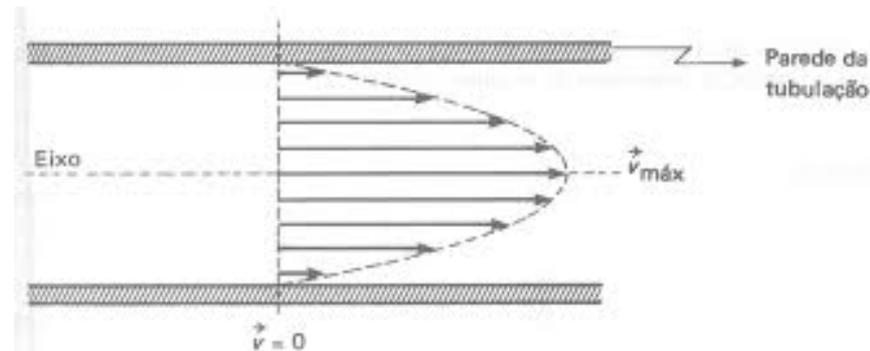


# Hidrodinâmica : Fluidos em movimento

- **não possui viscosidade** ou seja, desprezaremos o atrito entre as partículas do fluido, bem como com as paredes ao longo dos quais ocorre um escoamento.

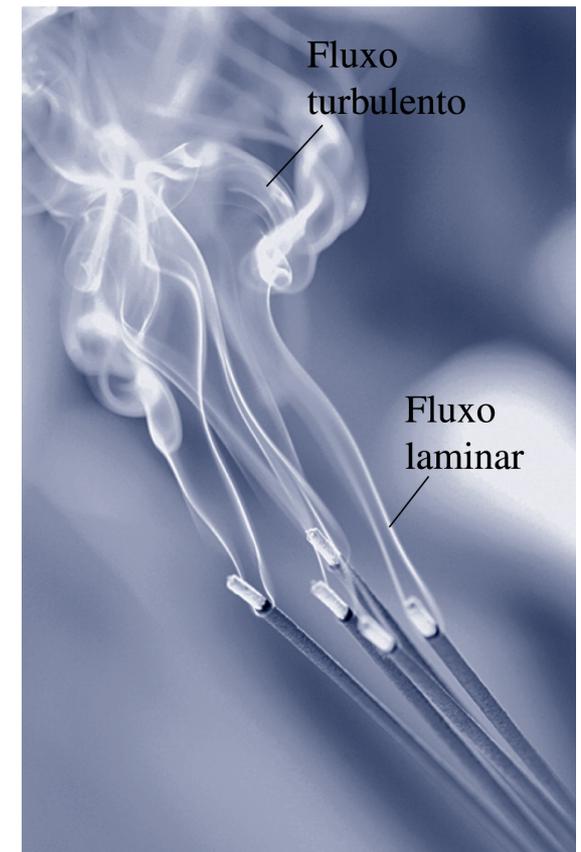
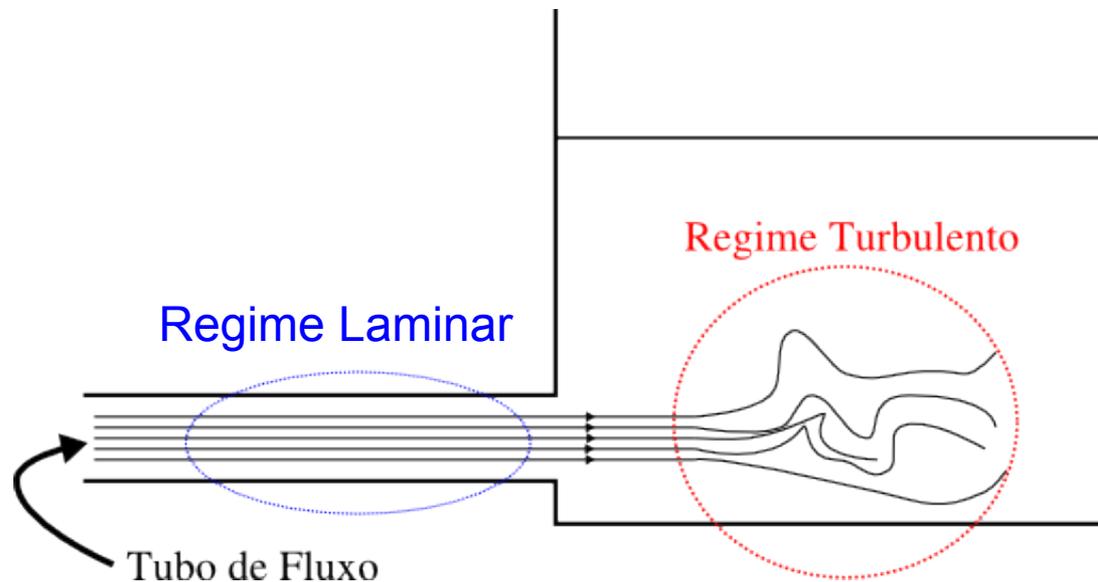
Obs: A viscosidade é essencial para compreender o comportamento de fluidos em muitas situações reais – desprezá-la é “como estudar as propriedades da água seca” (R. Feynman).

um fluido viscoso  
“agarra nas paredes”



# Fluxo laminar

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



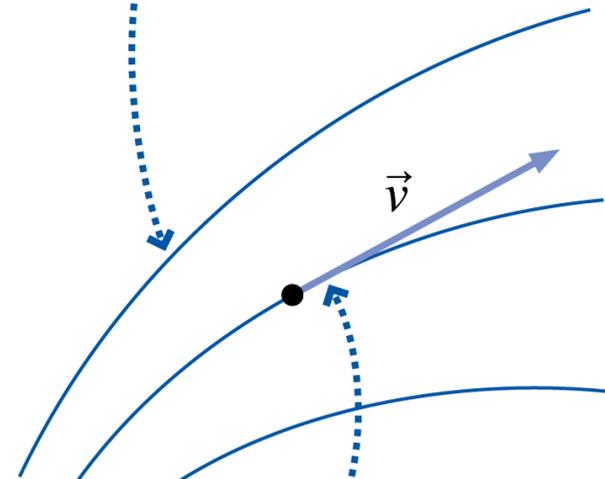
# Linhas de Fluxo e tubos de fluxo

**Linha de fluxo** : trajetória seguida por uma partícula qualquer em um fluido em movimento estacionário.

Linha de fluxo



1. Linhas de fluxo nunca se cruzam.



2. A velocidade da partícula do fluido é tangente à linha de fluxo.

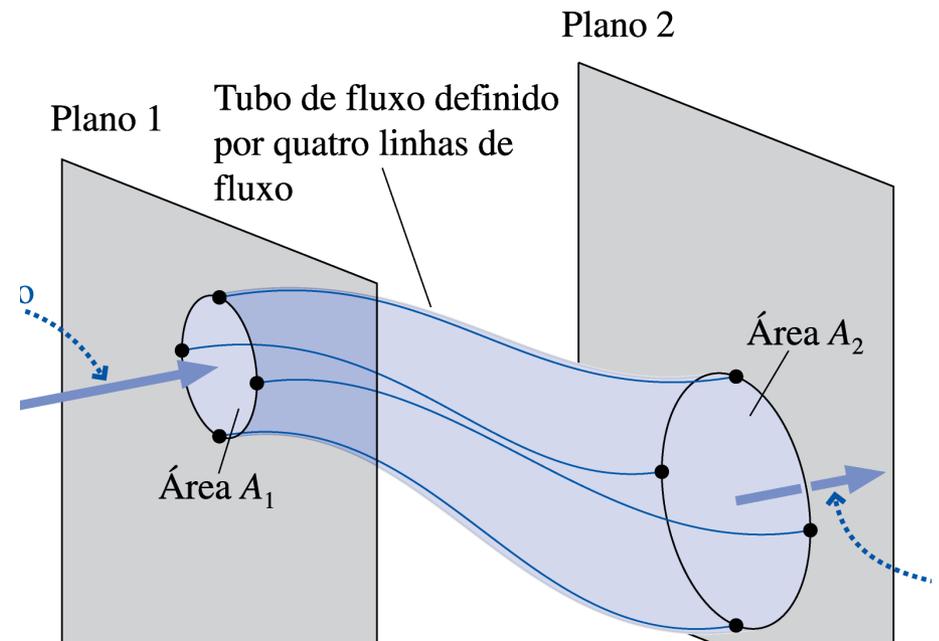
3. A velocidade é maior onde as linhas de fluxo estão mais próximas.

# Linhas de Fluxo e tubos de fluxo

**Linha de fluxo** : trajetória seguida por uma partícula qualquer em um fluido em movimento estacionário.

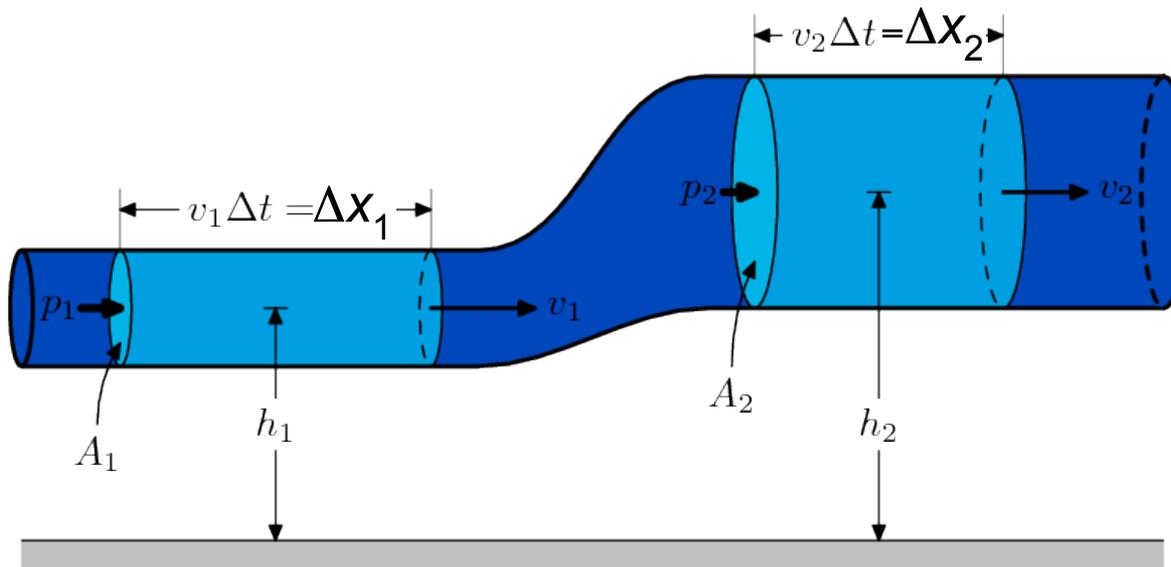
**Tubo de fluxo**: feixe de linhas de fluxo que atravessa uma determinada área do fluido

Linha de fluxo



# Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo

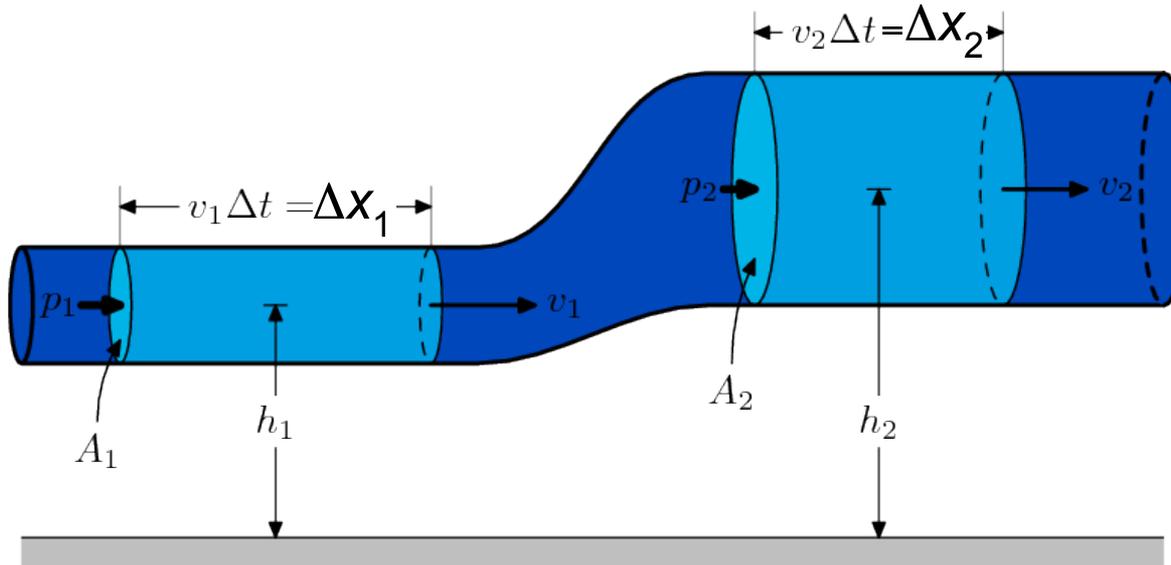


Em  $\Delta t$  um vol  $V_1$  do líquido atravessa  $A_1$ . Se a velocidade do fluido é  $v_1$ ,

$$V_1 = A_1 v_1 \Delta t$$

# Equação da Continuidade

Considerando o movimento de um fluido em um tubo de fluxo

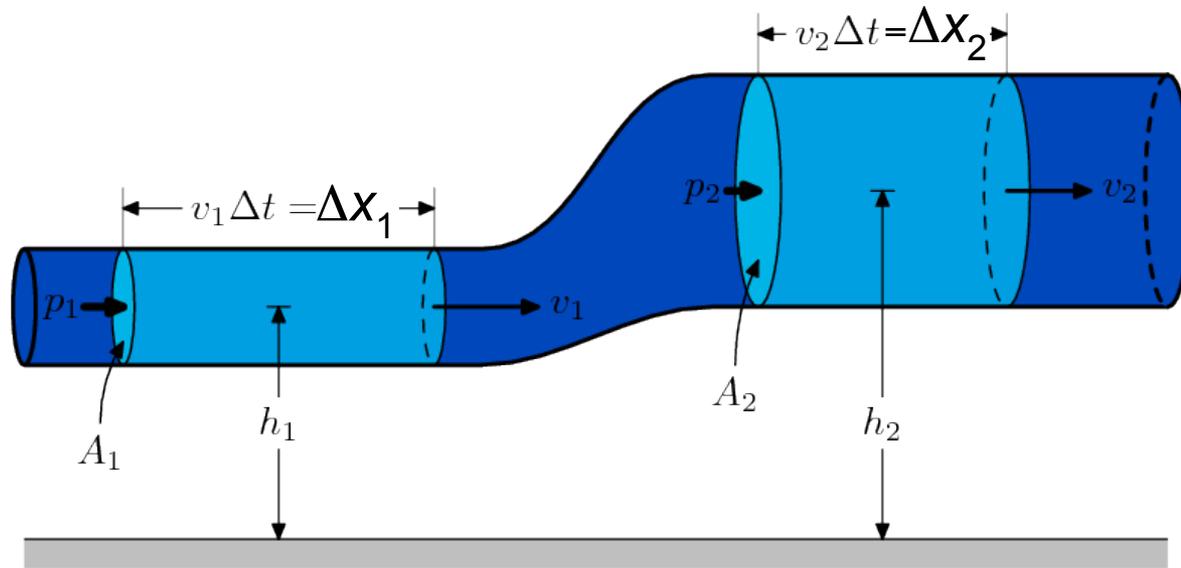


A mesma análise pode ser feita para  $A_2$ , de forma que em  $\Delta t$ , um vol  $V_2$  do líquido atravessa  $A_2$ . Neste caso, a velocidade do fluido é  $v_2$ ,

$$V_2 = A_2 v_2 \Delta t$$

# Equação da Continuidade

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

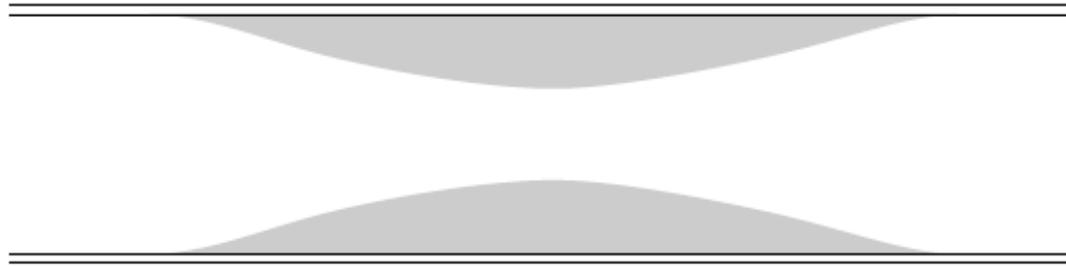


$$V_1 = V_2 \mapsto A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q \text{ (vazão de volume)}$$

$[\text{m}^3/\text{s}]$

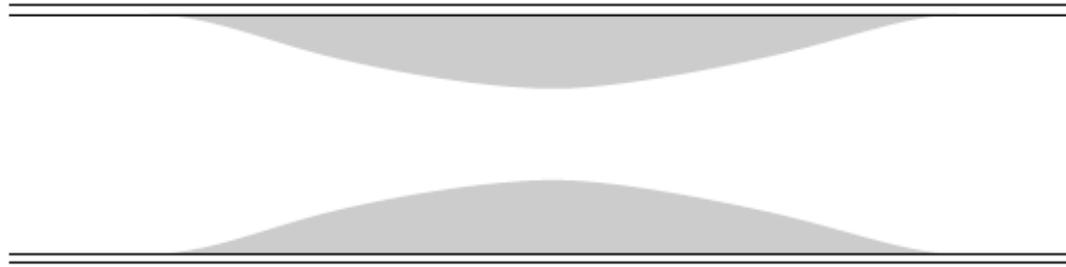
## Teste Conceitual 3.1



Sangue corre por uma artéria coronária que está parcialmente bloqueada por depósitos nas paredes. Em qual parte da artéria o fluxo (qtde de sangue fluindo por unidade de tempo) é maior?

- A) Na parte mais estreita
- B) Na parte mais larga
- C) O fluxo é igual em ambas as partes

## Teste Conceitual 3.2

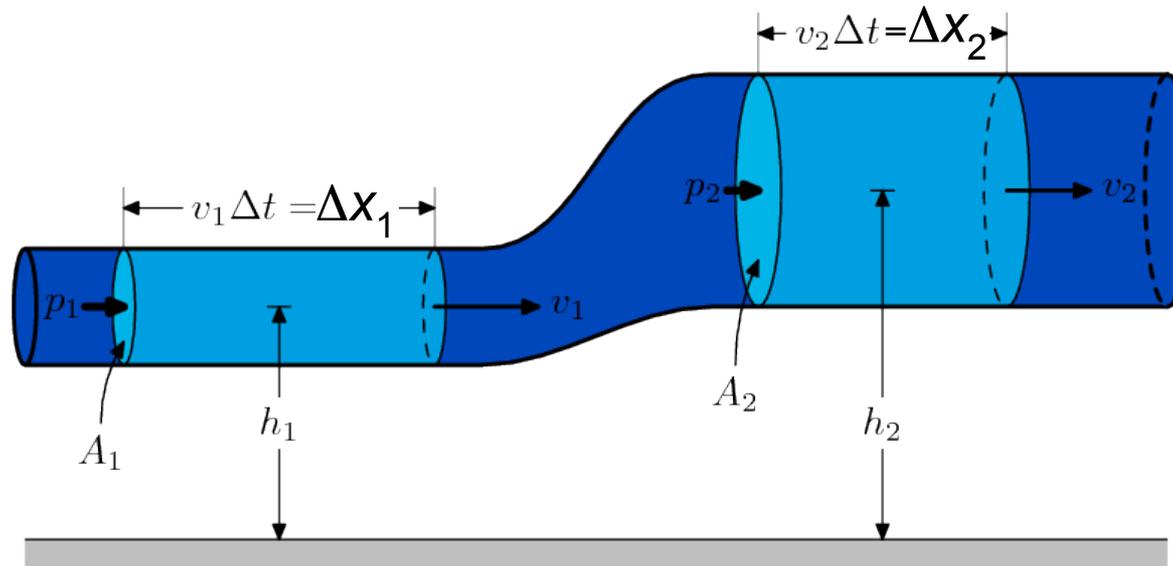


Sangue corre por uma artéria coronária que está parcialmente bloqueada por depósitos nas paredes. Em qual parte da artéria o sangue corre mais rápido?

- A) Na parte mais estreita
- B) Na parte mais larga
- C) A velocidade é igual em ambas as partes

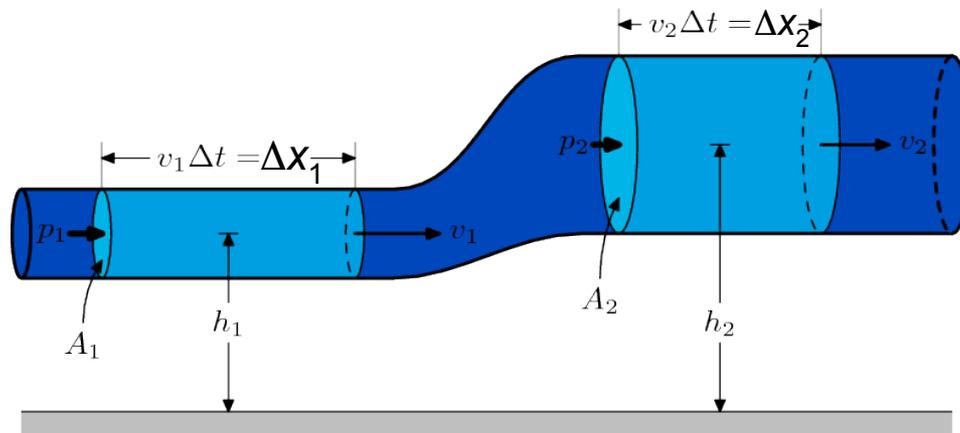
# Equação de Bernoulli (Daniel Bernoulli, 1738)

Expressa a **Conservação de Energia** em um fluido ideal



P: quais são as trocas de energia envolvidas qdo o líquido, inicialmente compreendido entre  $A_1$  e  $A_2$ , se move para a região entre  $A_1 + \Delta x_1$  e  $A_2 + \Delta x_2$  ?

# Equação de Bernoulli

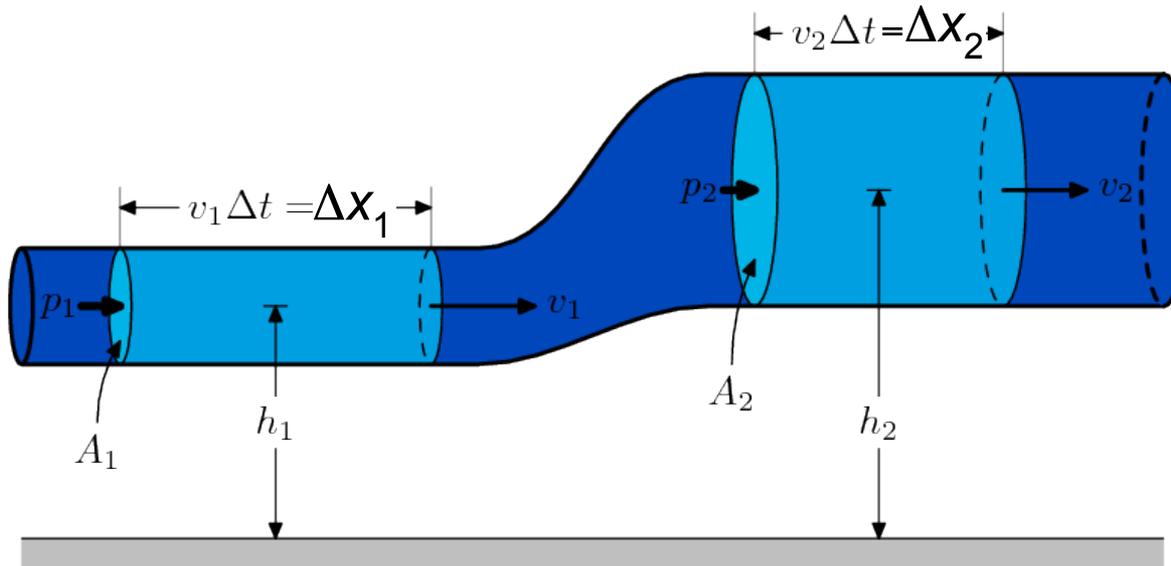


Conservação de Energia:  $\Delta E^{cin} + \Delta U = W^{ext}$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = W^{ext}$$

# Equação de Bernoulli

Considere o **trabalho**  $W^{ext}$  realizado **sobre** o fluido enquanto ele se desloca

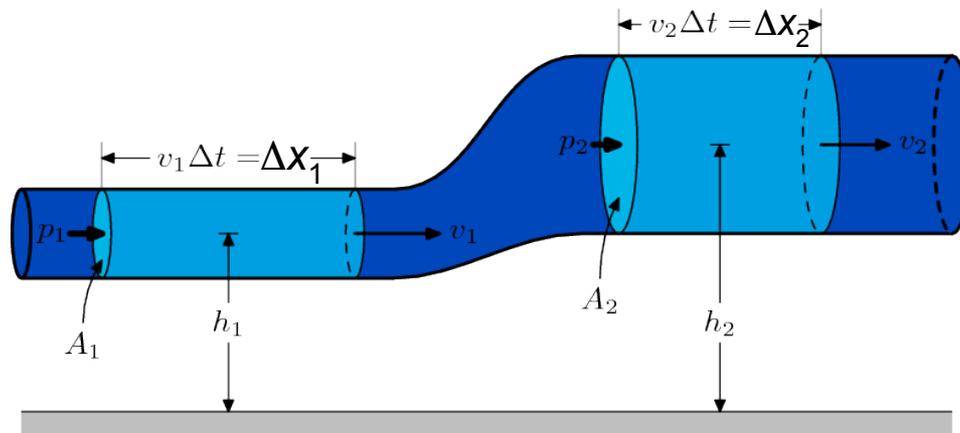


$$W^{ext} = W_1 + W_2 + \cancel{W_{lateral}} = 0 \text{ (forças } \perp \text{ desloc)}$$

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

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

# Equação de Bernoulli

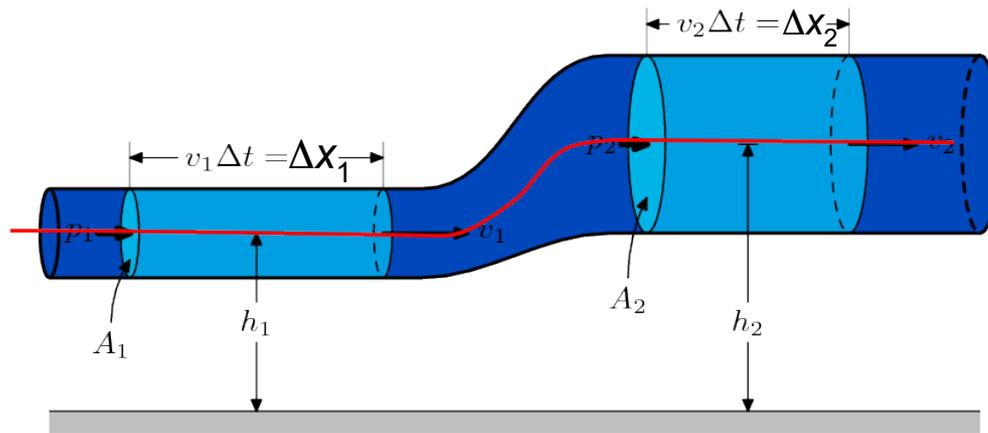


Conservação de Energia:  $\Delta E + \Delta U = W^{ext}$

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

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

# Equação de Bernoulli



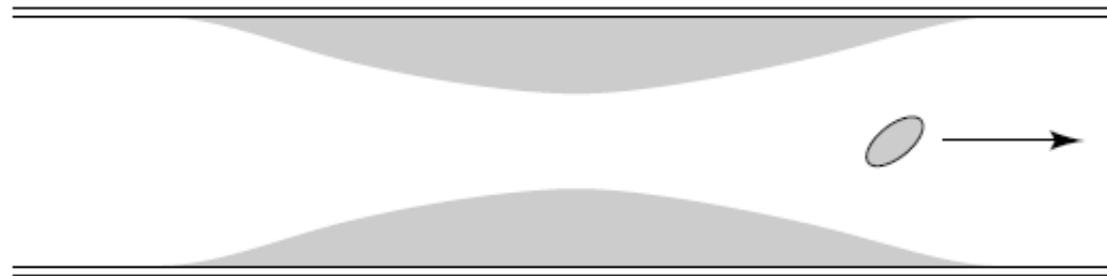
$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_2 - mgy_1 = P_1V - P_2V$$

Equação de Bernoulli

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

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

## Teste Conceitual 3.3

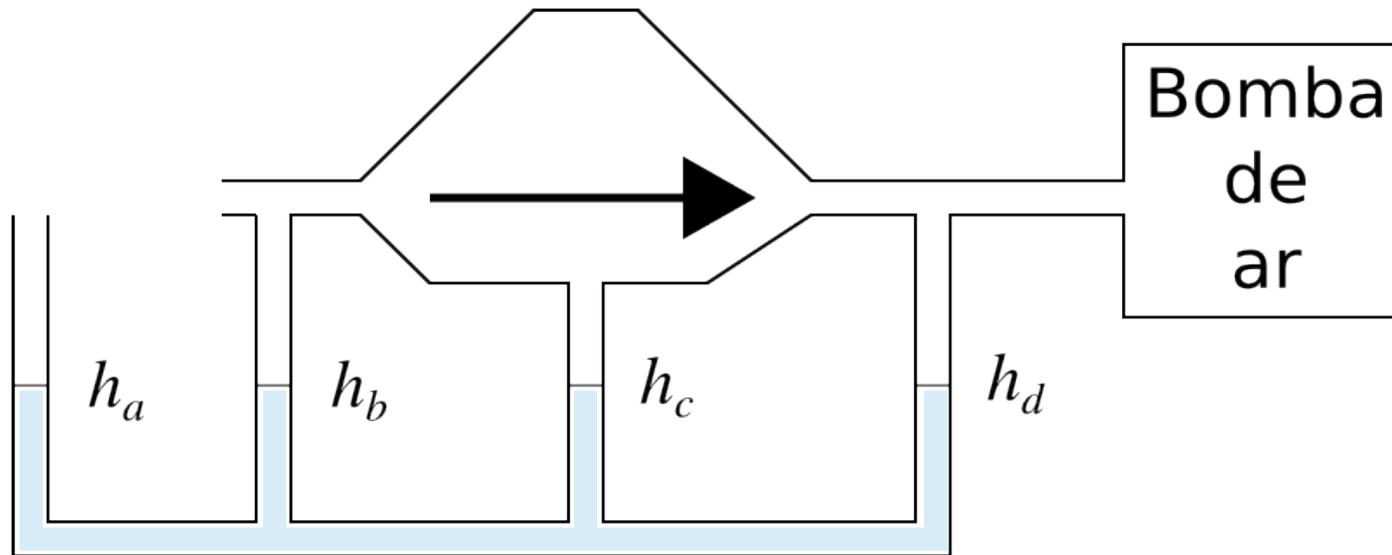


Uma plaqueta é carregada pelo fluxo de sangue através de uma artéria coronária que está parcialmente bloqueada por depósitos nas paredes. Quando a plaqueta sai da região estreita e passa para a região mais larga ela sente

- A) um aumento na pressão
- B) nenhuma mudança na pressão
- C) uma queda na pressão.

## Teste Conceitual 3.4

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



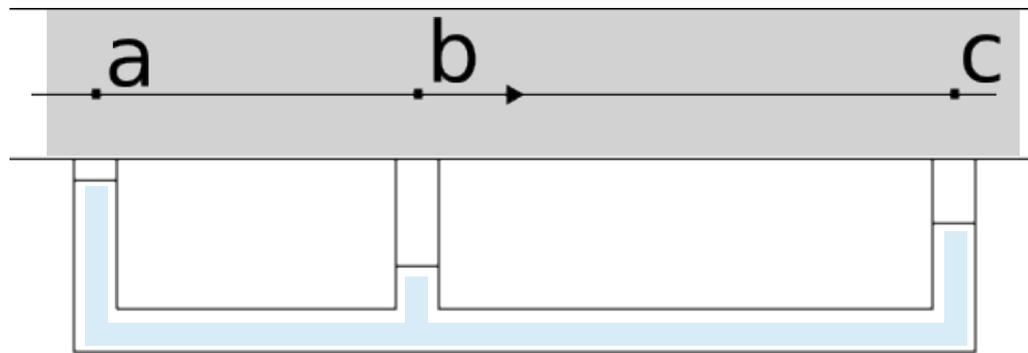
- (A)  $h_a < h_c < h_b < h_d$
- (B)  $h_a > h_c > h_b > h_d$
- (C)  $h_a > h_c > h_b = h_d$
- (D)  $h_a < h_c < h_b = h_d$

## Teste Conceitual 3.5

Gás flui no tubo cinza abaixo, o qual tem variações internas de diâmetro que não podem ser vistas diretamente.

Qual a sequência correta entre as velocidades do gás nos pontos a, b, c?

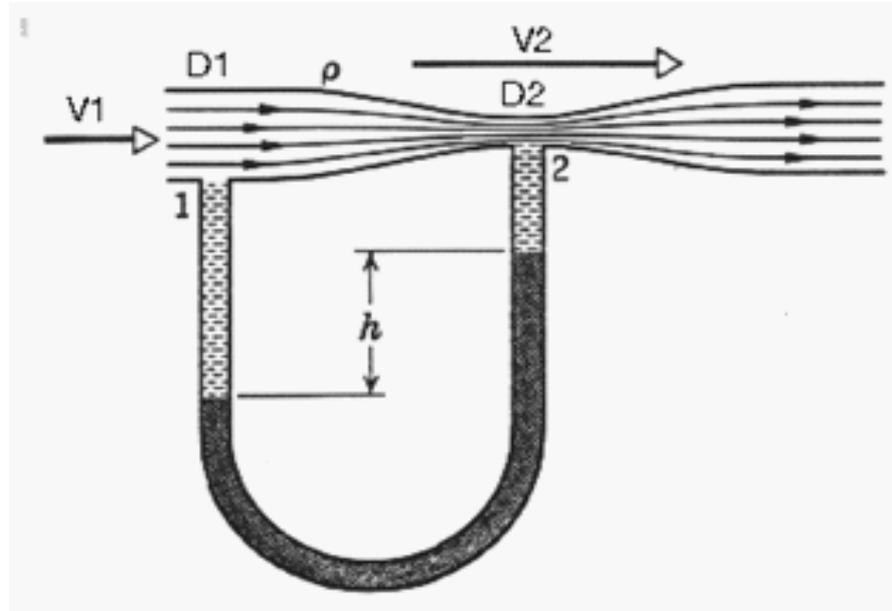
Obs: assumamos que podemos usar a eq. de Bernoulli



- (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

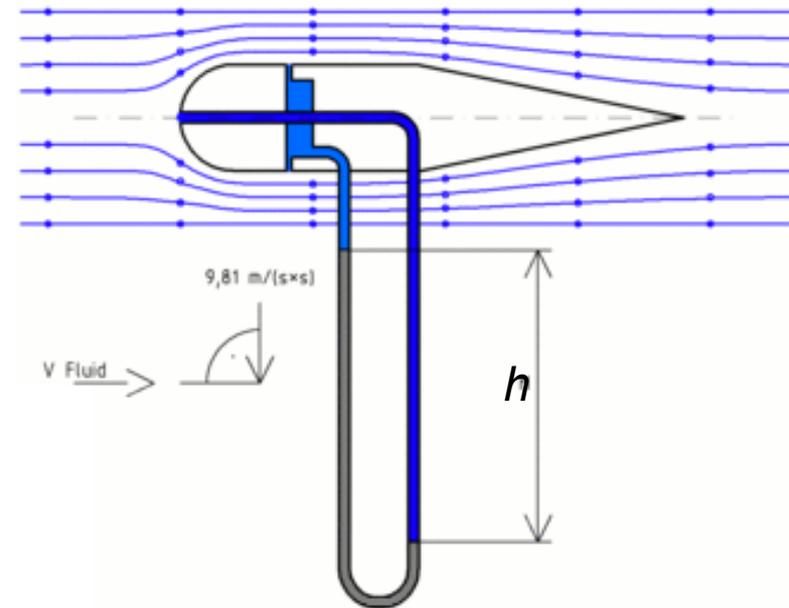
(mede a velocidade de gases em um tubo fechado)



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

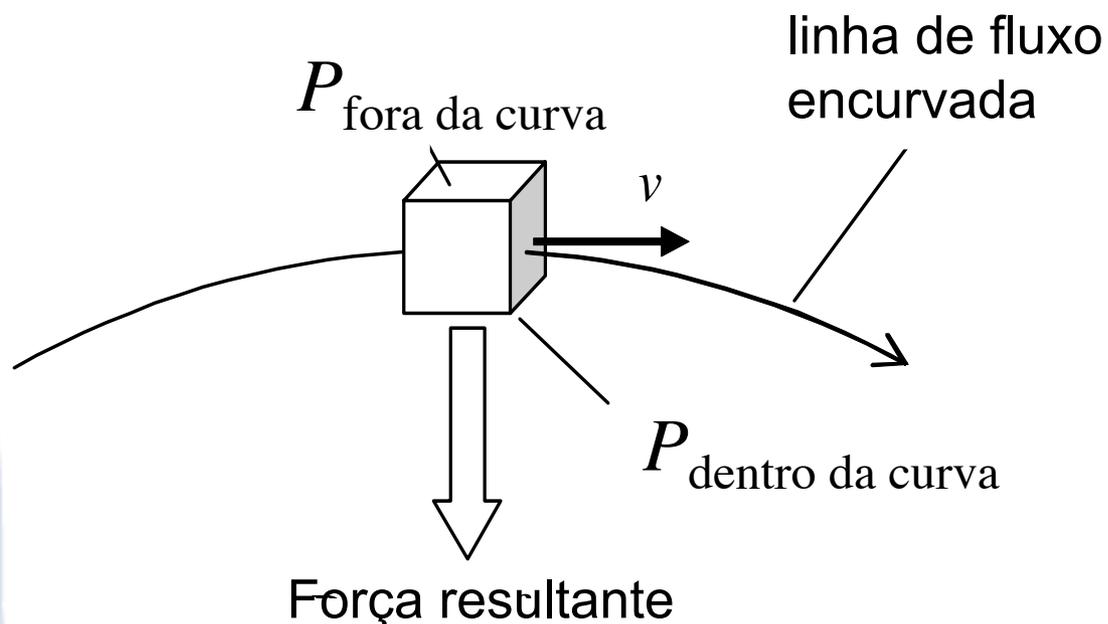
# Aplicação: Tubo de Pitot

(medidor da velocidade de fluidos ao redor de um objeto)



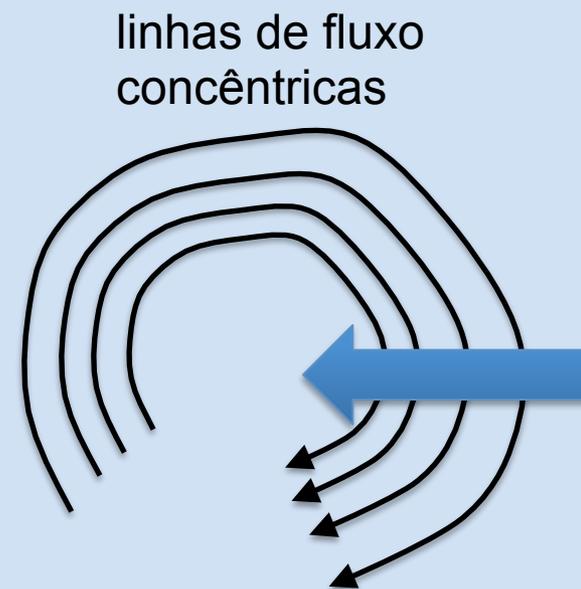
$$v = \sqrt{2 \frac{\rho_{\text{líq}}}{\rho_{\text{ar}}} gh}$$

## Varição da pressão na direção perpendicular a uma linha de fluxo



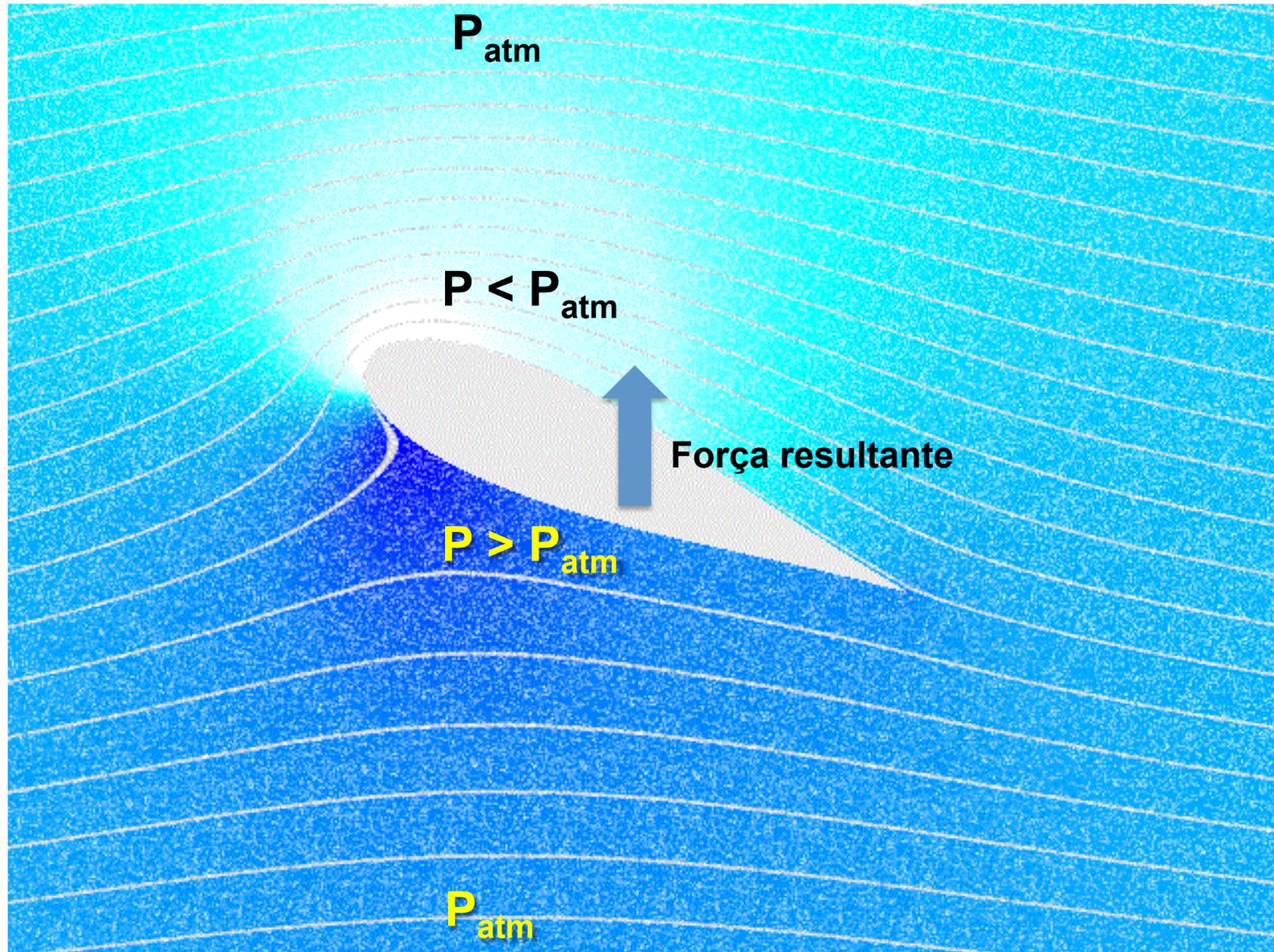
$$P_{\text{fora da curva}} > P_{\text{dentro da curva}}$$

Exemplo:  
furacão ou tornado



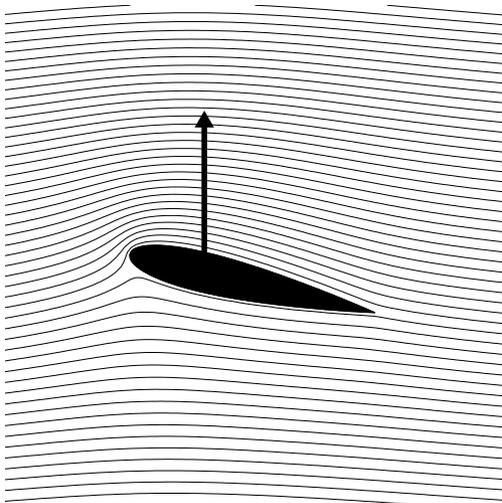
pressão cai em direção  
ao centro (efeito "olho do  
furacão")

# Aplicação: Asa de avião

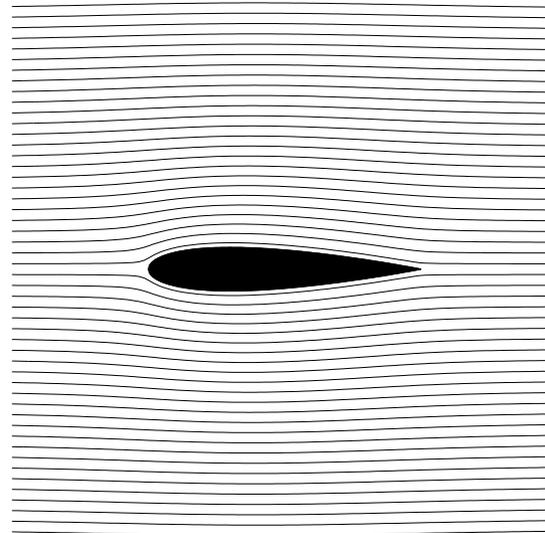


# Aplicação: Asa de avião

## Fluxo ao redor de uma asa simétrica



(a)



(c)

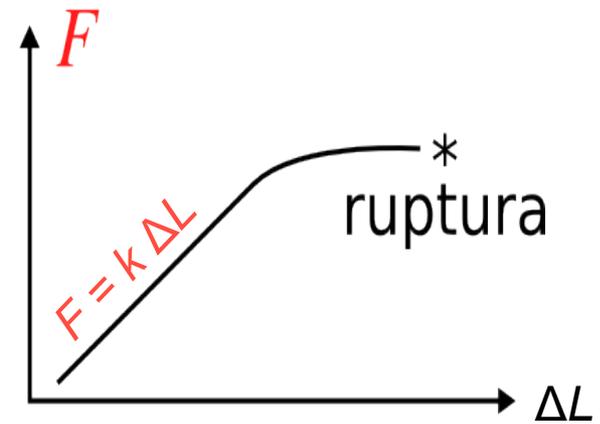
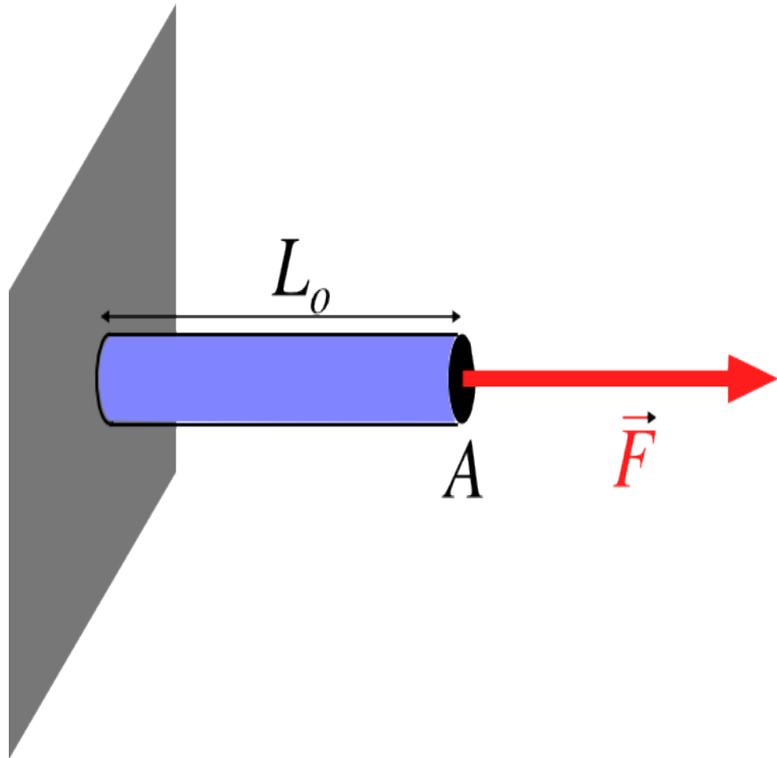
Dependendo do 'ângulo de ataque' (angulação com a direção de movimento do avião, a mesma asa pode gerar

- a) força resultante para cima (flutuação)
- b) zero força resultante
- c) até uma força resultante para baixo! (útil em aerofólios de carros de F1...)

# Elasticidade

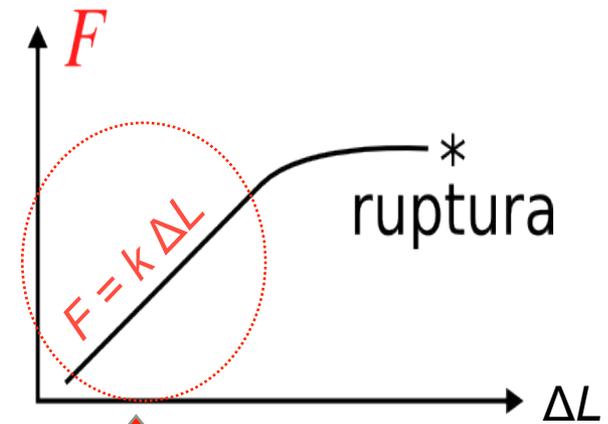
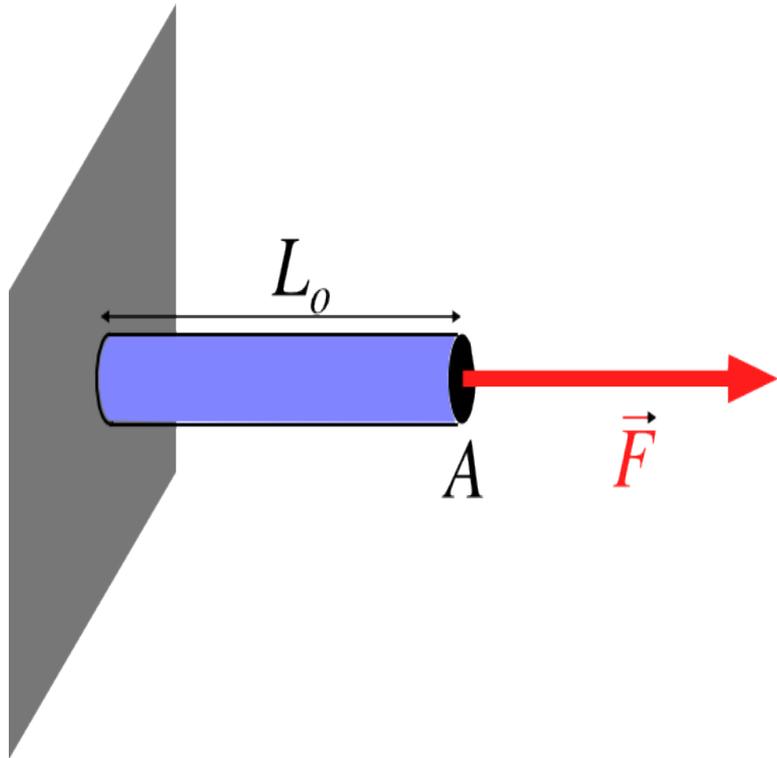
# Elasticidade

Sólidos



# Elasticidade

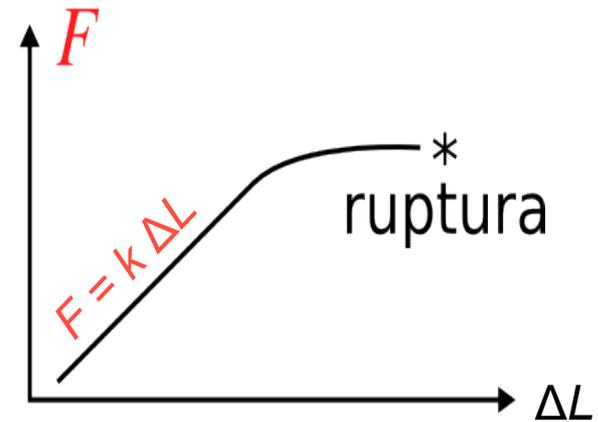
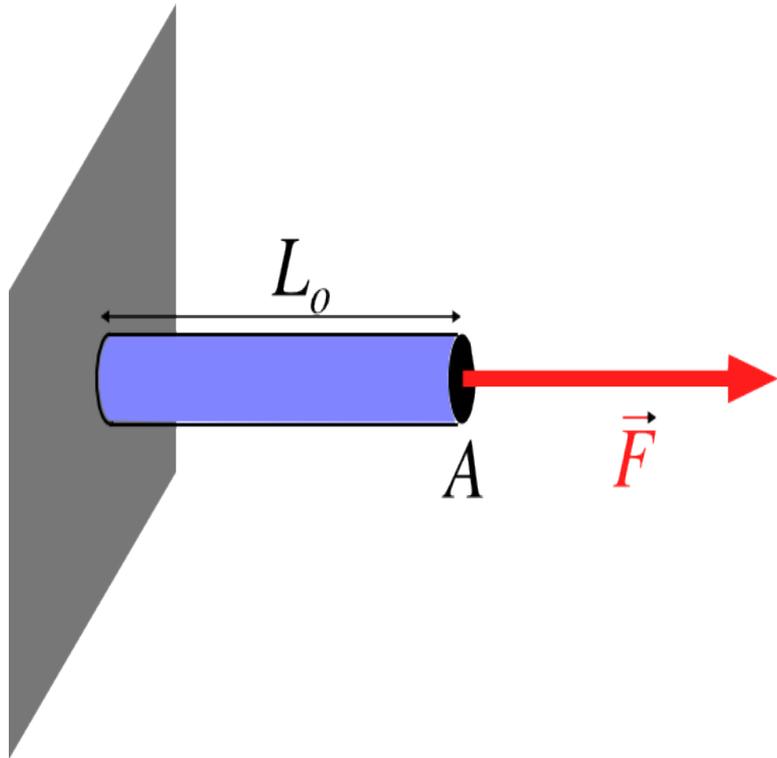
Sólidos



*Região linear*

# Elasticidade

## Sólidos

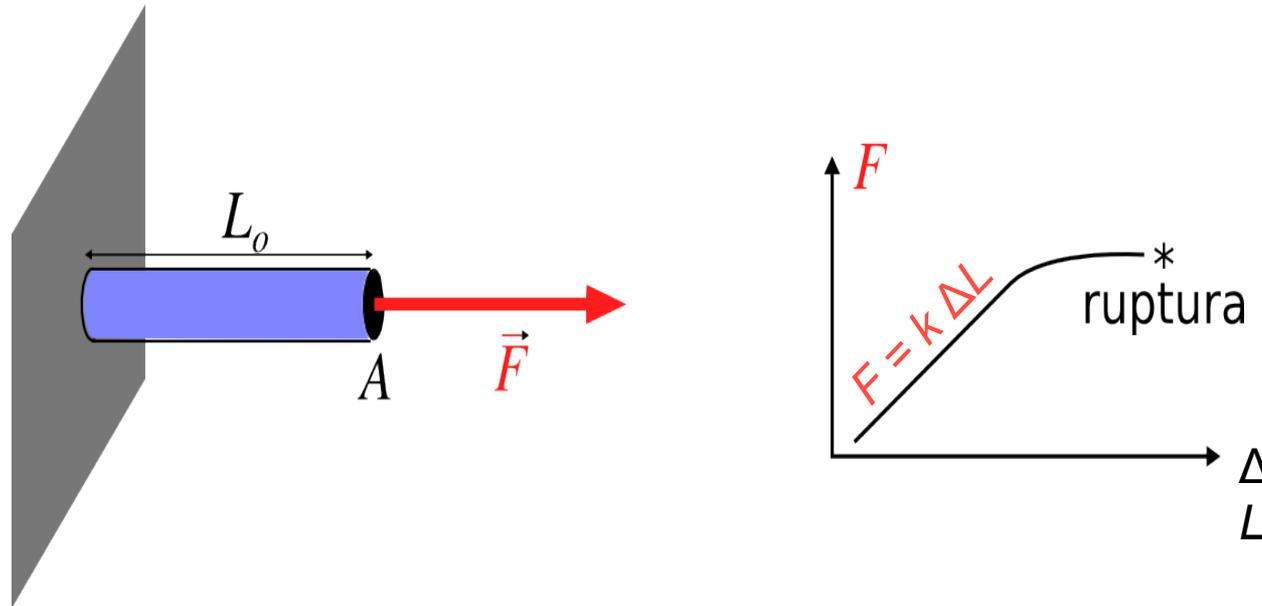


*Cada objeto tem uma constante elástica  $k$ .*

*→  $k$  depende de  $L_0$ ,  $A$  e do material*

# Elasticidade

## Sólidos



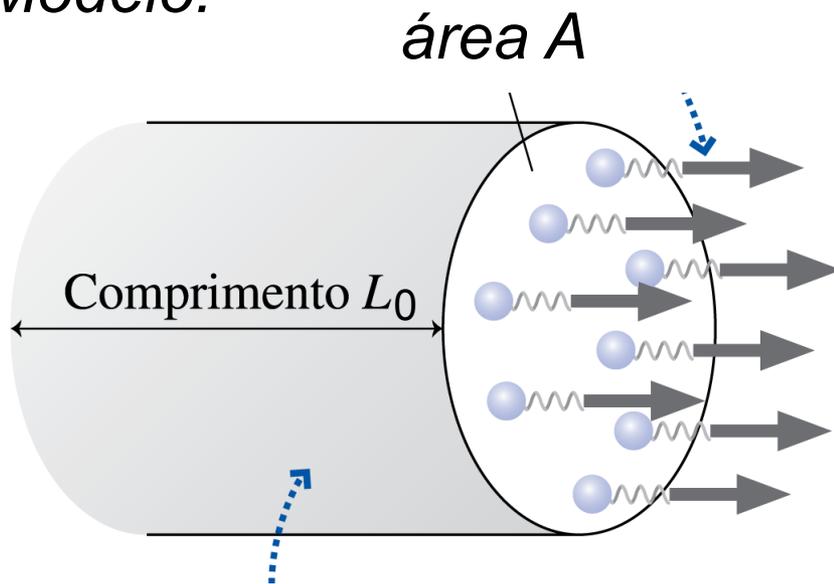
→  $k$  depende de  $L_0$ ,  $A$  e do material

*Seria interessante encontrar uma outra constante que caracterize o material e não dependa da geometria do objeto!*

**Módulo de Young**

*Ideia básica: A elasticidade de um material está diretamente relacionada com a cte elástica das suas ligações moleculares.*

*Modelo:*



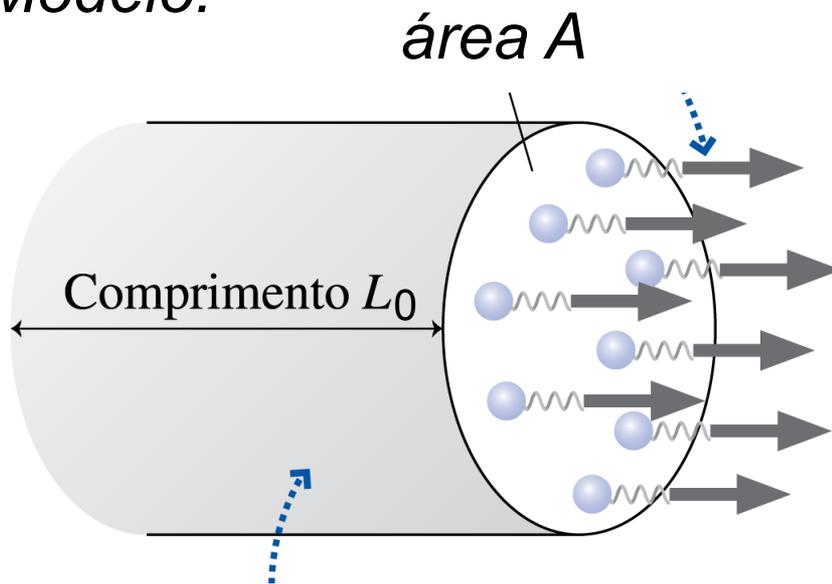
*Para cada ligação entre partículas*

$$\text{Força } f \propto F/A$$

$$\text{Deformação } \Delta l \propto \Delta L / L_0$$

*Ideia básica: A elasticidade de um material está diretamente relacionada com a cte elástica das suas ligações moleculares.*

*Modelo:*



*Aplicando a lei de Hooke para cada ligação:  $f \propto \Delta l$*

*Para cada ligação entre partículas*

$$\text{Força } f \propto F/A$$

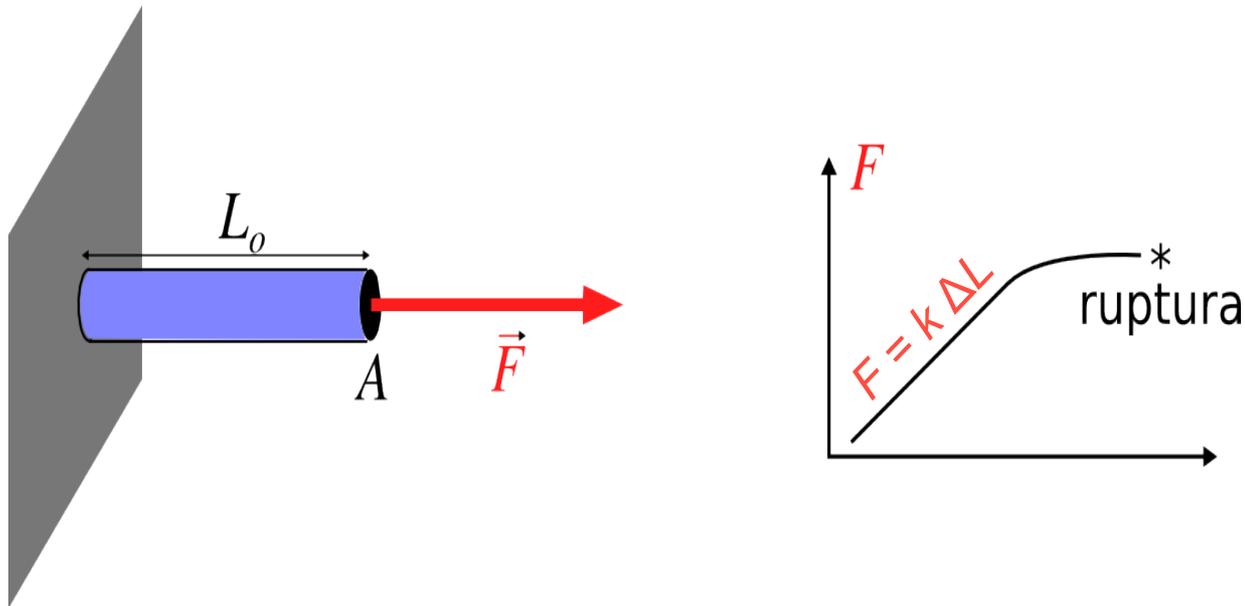
$$\text{Deformação } \Delta l \propto \Delta L / L_0$$

$$\begin{array}{l} \text{Tensão de tração (unid: N/m}^2\text{)} \\ \text{Deformação relativa (adimensional)} \end{array} \quad \left( \frac{F}{A} \right) = Y \left( \frac{\Delta L}{L_0} \right)$$

↑  
**Módulo de Young (N/m<sup>2</sup>)**

Conclusão: o Módulo de Young é uma 'constante elástica' que não depende da geometria do objeto

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



$$F = k \Delta L \rightarrow k = AY/L_0 \leftrightarrow Y = kL_0/A$$

$k, L_0, A$ : Parâmetros que podem ser medidos no laboratório.

**TABELA 15.3** Propriedades elásticas de vários materiais

<b>Substância</b>	<b>Módulo de Young (N/m<sup>2</sup>)</b>
Alumínio	$7 \times 10^{10}$
Concreto	$3 \times 10^{10}$
Cobre	$11 \times 10^{10}$
Mercúrio	–
Plástico (poliestireno)	$0,3 \times 10^{10}$
Aço	$20 \times 10^{10}$
Água	–
Madeira (abeto)	$1 \times 10^{10}$

**Obs: mesmos valores de  $Y$  valem tb para compressão elástica**

Ex: Uma pilastra de concreto ( $Y = 3 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ) tem  $0,1\text{m}^2$  de área transversa e 10m de altura. Qual o máximo peso que ela pode suportar sem se deformar mais do que 0,05% (5mm)?



R:  $1,5 \times 10^6 \text{ N}$   
(ou o peso de 150 toneladas, aprox.)

Se a pilastra fosse feita de alumínio ( $Y=7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ), ela se deformaria

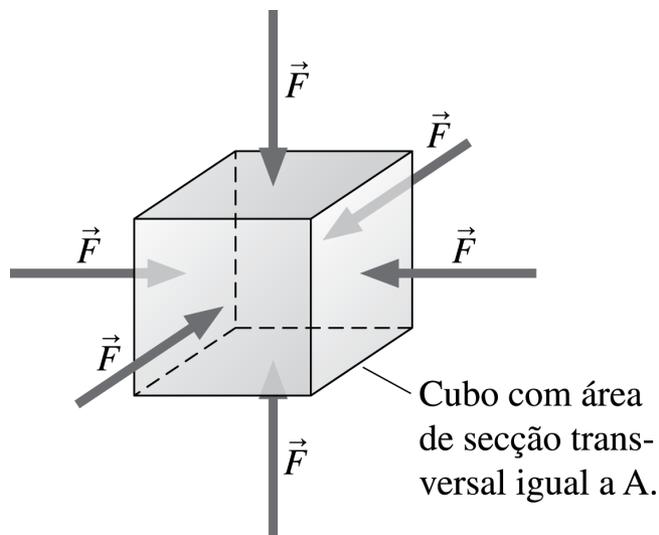
- A) o mesmo sob o mesmo peso
- B) o mesmo sob 2,5 menos peso
- C) 2,5 vezes menos sob o mesmo peso
- D) 2,5 vezes mais sob o mesmo peso

O Módulo de Young caracteriza a resposta da substância ao ser tracionada ou comprimida em uma direção específica.

Uma outra propriedade elástica chamada

## módulo de elasticidade volumétrica (B)

caracteriza o quanto uma substância é comprimida (reduz seu volume) quando sujeita a pressões iguais de todos os lados



$$F/A = \text{Pressão} = -B \underbrace{\Delta V/V_0}_{< 0 \text{ em geral !}}$$

< 0 em geral !

(ex: objetos pequenos submersos)

**TABELA 15.3** Propriedades elásticas de vários materiais

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

Mesma unidade de tensão de tração (N/m<sup>2</sup>)

Exemplo: sabemos que a água do mar tem densidade  $\rho_{\text{mar}} = 1030 \text{ Kg/m}^3$  na superfície. Qual a sua densidade no oceano a 5000m de profundidade ?

Dado:  $B = 0,2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

- A) Qual é a pressão a essa profundidade?
- B) Qual a variação relativa de volume?
- C) Qual a densidade da água do mar a essa pressão?