

Sétima aula de FT

- Primeiro semestre de 2014





Vamos sintetizar o que foi estudado até hoje do capítulo 1: introdução, definição e propriedades do fluido; capítulo 2: estática dos fluidos; capítulo 3: cinemática dos fluidos e capítulo 4: equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente .

Vamos fazer também mais alguns exercícios!



Capítulo 1: introdução, definição e propriedades dos fluidos.

1.1 – Conceito de fluido

Substância que não tem forma própria e estando em repouso não resiste a nenhum esforço tangencial.

1.2 – Classificação básica

Líquidos e gases

1.3 – Massa específica

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow [\rho]_{SI} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Capítulo 1: introdução, definição e propriedades dos fluidos (cont.)

1.4 – Peso específico

$$\gamma = \frac{G}{V} \Rightarrow [\gamma]_{SI} = \frac{N}{m^3}$$

1.5 – Relação entre peso específico e massa específica

$$\gamma = \rho \times g$$

1.6 – Obtenção da massa específica em função da temperatura

$$\rho_{\text{água}} \frac{kg}{m^3} = 1000 - 0,01788 \times |t_C - 4|^{1,7}$$

Capítulo 1: introdução, definição e propriedades dos fluidos (cont.)

1.7 – Determinação da aceleração da gravidade

$$g = 980,616 - 2,5928 \times \cos 2\varphi + 0,0069 \times (\cos 2\varphi)^2 - 0,3086 \times H$$

$\varphi \rightarrow$ latitude em graus

$H \rightarrow$ altitude em km

$g \rightarrow$ aceleração da gravidade em cm/s^2

Capítulo 1: introdução, definição e propriedades dos fluidos (cont.)

1.8 – Equação de Clapeyron

$$pV = nRT$$

p = pressão absoluta do gás que no SI será em N/m^2 ou Pa

V = volume do gás no SI em m^3

n = número de mols = m/M , onde m = massa e M = massa molecular do gás

R = constante universal do gás que no SI seria em $\text{J}/(\text{mol} \times \text{K})$

T = temperatura na escala absoluta, ou seja, Kelvin, onde $t_K = t_C + 273,15$ (ou 273)

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \times \text{K}} = 8,314 \times 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{mol} \times \text{K}} = 0,082 \frac{\text{atm} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}}$$

$$R = 62,3 \frac{\text{mmHg} \times \text{L}}{\text{mol} \times \text{K}} = 1,98 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \times \text{K}}$$

Capítulo 2: Estática dos Fluidos

2.1 – Conceito de pressão

Considerando uma pressão média, temos:

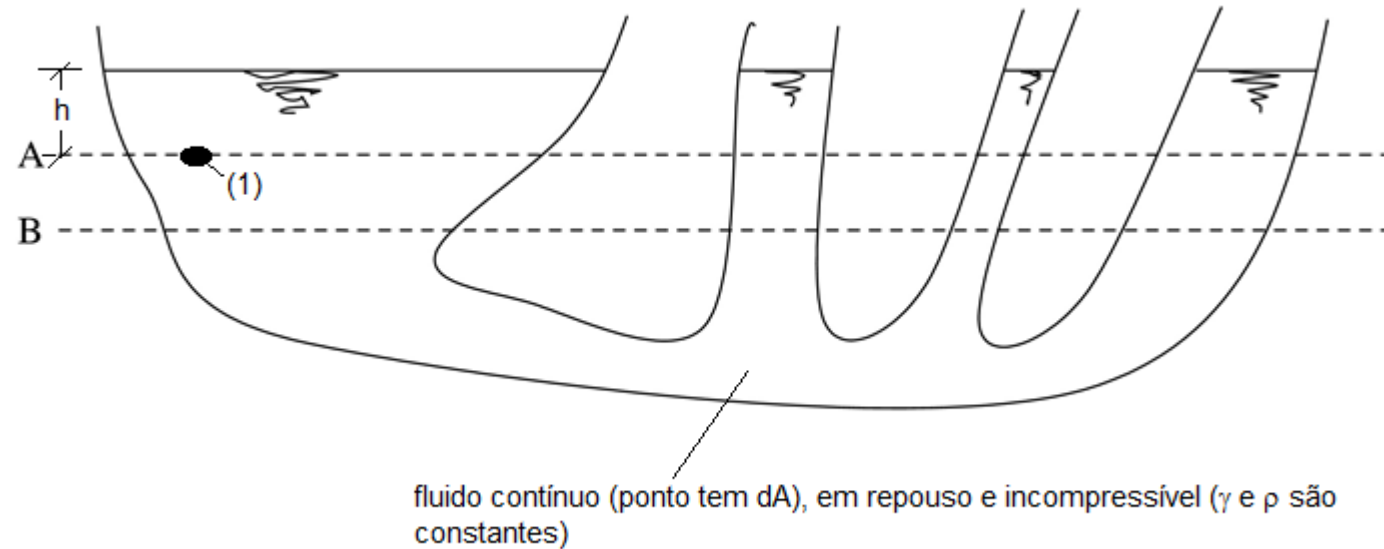
$$p = \frac{|F_N|}{A} \Rightarrow [p] = \frac{F}{L^2} \therefore [p]_{SI} = \frac{N}{m} = \text{Pa(Pascal)}$$

2.2 – Conceito de escala efetiva ou relativa.

É aquela que adota como zero a pressão atmosférica local ($p_{\text{atm_local}}$), portanto nesta escala podemos ter pressões positivas (maiores que a p_{atm}), pressões nulas (iguais a p_{atm}) e pressões negativas (menores que a p_{atm}), sendo estas também denominadas de depressões ou vácuos técnicos

Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

2.3 – Pressão em um ponto fluido na escala efetiva



$$p_1 = \gamma \times h$$

onde h é definida como carga de pressão:

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

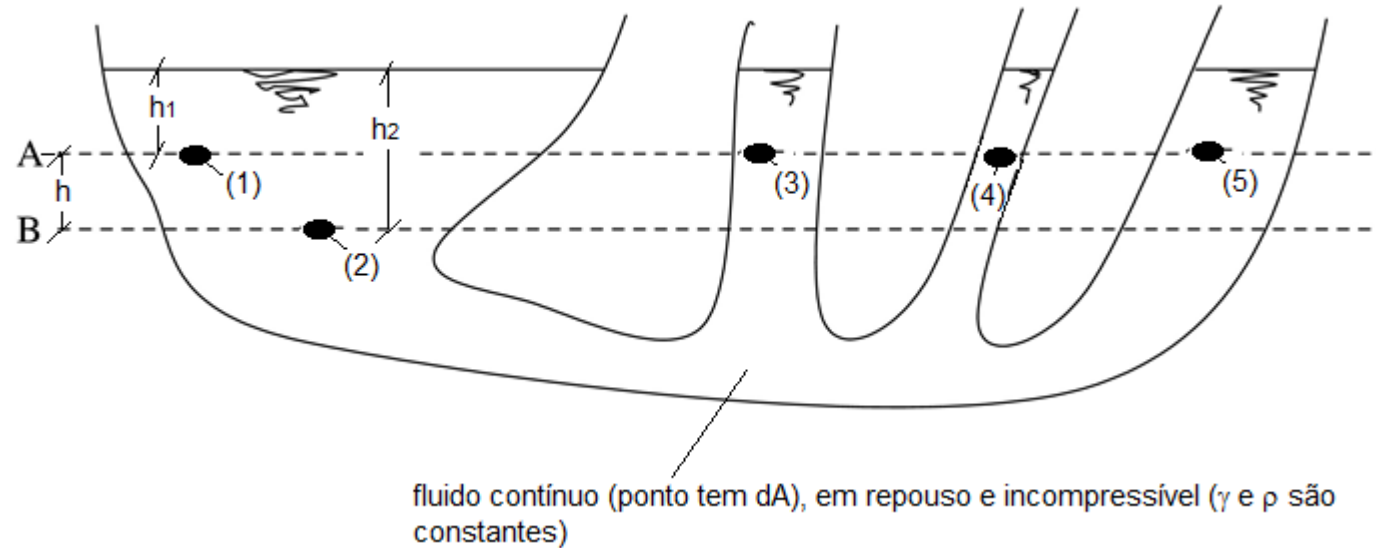
Observação: a unidade de carga de pressão será sempre uma unidade de comprimento seguida do nome do fluido considerado, exemplos: mca (metro de coluna d'água) e mmHg (milímetro de mercúrio)

2.4 – Teorema de Stevin

“A diferença de pressão entre dois pontos fluidos pertencentes a um fluido incompressível, contínuo e em repouso é igual ao produto do seu peso específico pela diferença de cota entre os pontos”

$$p_2 - p_1 = \gamma \times (h_2 - h_1) = \gamma \times h$$

Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)



$$p_2 - p_1 = p_2 - p_3 = p_2 - p_4 = p_2 - p_5 = \gamma \times h$$

Conclusões:

1. as pressões dos pontos de um plano horizontal traçado em um meio fluido são iguais;
2. a diferença de pressão entre dois pontos fluidos não depende da distância entre eles e sim da diferença de cotas;
3. a pressão em um ponto fluido não depende do formato do recipiente, desde que ele não seja capilar.

Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

2.5 – Relações entre unidades de pressão

$$\begin{aligned} 1\text{atm} &= 760\text{mmHg} = 10330 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 1,033 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 10,33\text{mca} \\ &= 101234 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cong 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \text{Pa} = 1\text{bar} = 14,7 \frac{\text{lbf}}{\text{pol}^2} \\ &= 14,7\text{psi} \end{aligned}$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 9,8\text{Pa}$$

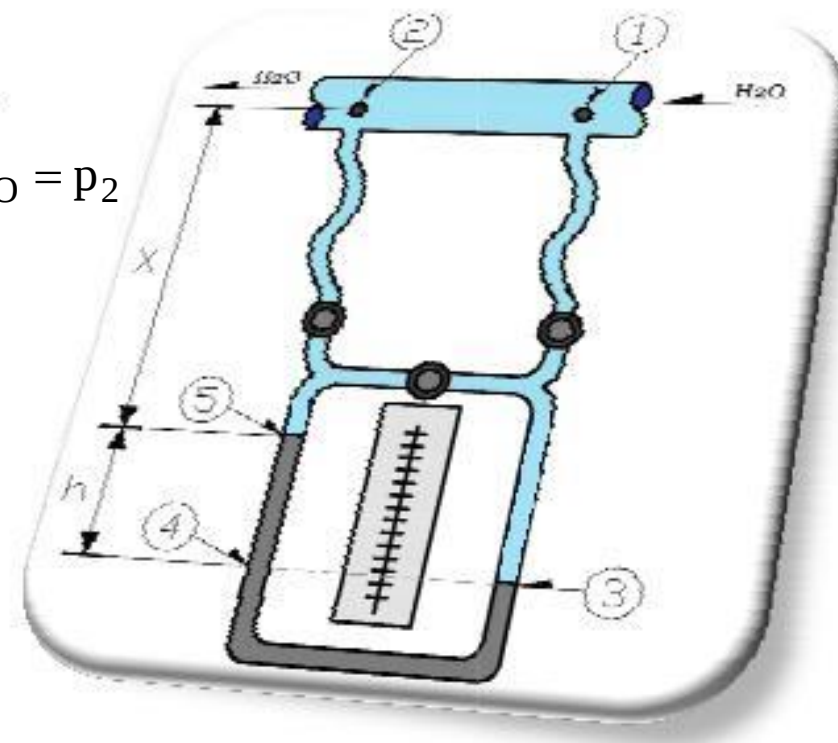
Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

2.6 – Equação manométrica

Adotando - se como referência o ponto (1):

$$p_1 + x \times \gamma_{H_2O} + h \times \gamma_{H_2O} - h \times \gamma_{Hg} - x \times \gamma_{H_2O} = p_2$$

$$p_1 - p_2 = h \times (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})$$



Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

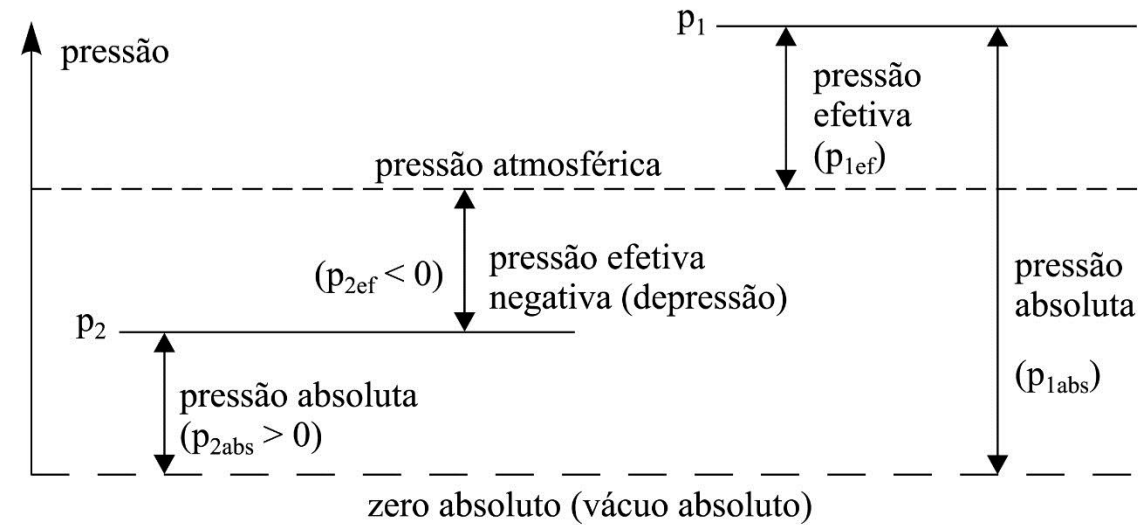
2.7 – Escala absoluta de pressão – é aquela que adota como zero o vácuo absoluto, portanto nesta escala só temos pressões positivas teoricamente poderíamos ter a pressão nula que corresponderia ao vácuo absoluto.

Observação:

Para distinguir as duas escalas de pressão (absoluta ou efetiva) convencionamos que ao trabalhar na escala absoluta colocaremos o símbolo “***abs***”, sendo a única exceção a pressão atmosférica, já que esta na escala efetiva valerá sempre zero, portanto o seu valor diferente de zero já indica que está sendo considerada na escala absoluta.

Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

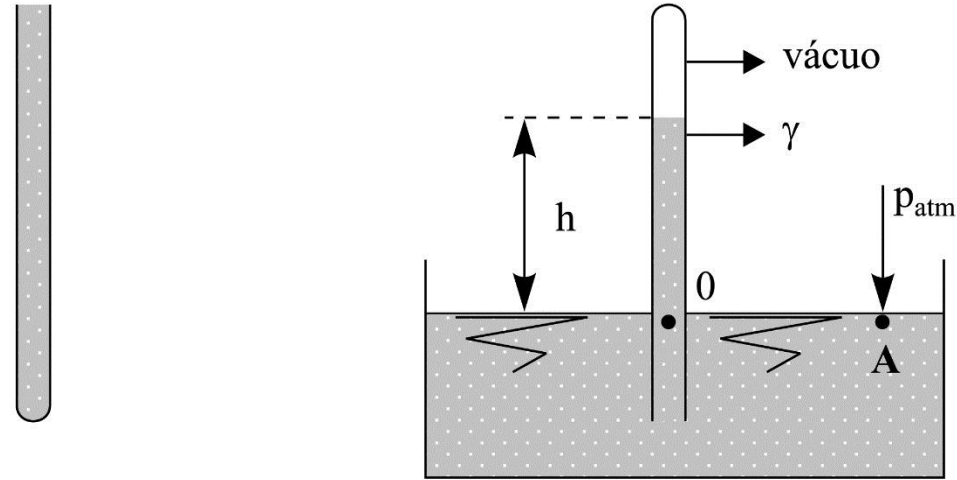
2.8 – Diagrama comparativo entre escalas



$$p_{abs} = p + p_{atm|local}$$

Capítulo 2: Estática dos Fluidos (cont.)

2.9 – Barômetro



É um aparelho que trabalha na escala absoluta e que foi projetado para a determinação da pressão atmosférica local que também é denominada de pressão barométrica.

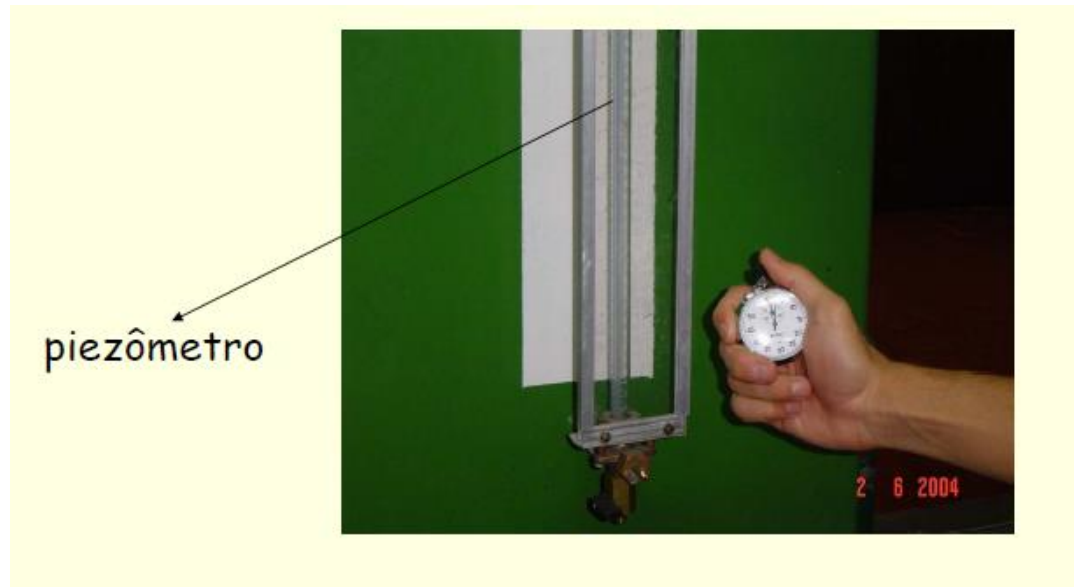
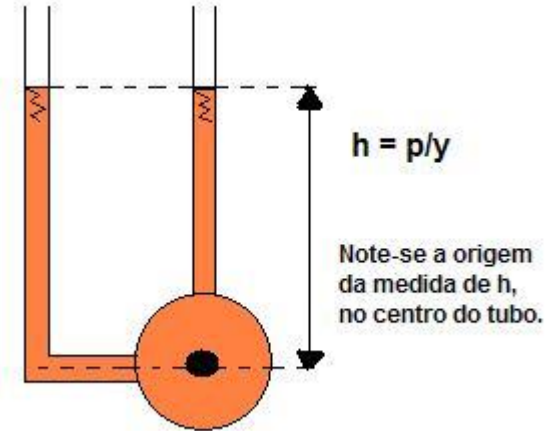
$$p_A = p_0$$

$$p_{atm|local} = \gamma h$$

2.10. Piezômetro

PIEZÔMETRO LIMITAÇÕES

Não mede
pressões
negativas (não
se forma a
coluna de
líquido)



É impraticável
para medida de
pressões
elevadas (a altura
da coluna será
muito alta)
Não mede
pressão de gases
(o gás escapa,
não formando a
coluna)

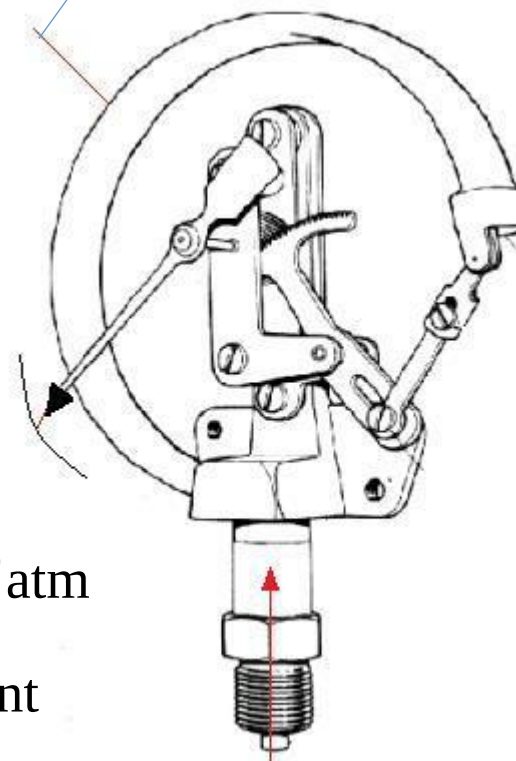
Pressão manométrica é a pressão medida com relação à pressão da atmosfera. A diferença entre pressão manométrica e pressão absoluta é a pressão atmosférica. A pressão manométrica também é chamada de pressão efetiva que é aquela que adota como zero a pressão atmosférica local (pressão barométrica). Por ser mais barato, pois o sensor é mais simples, geralmente se mede a pressão manométrica.



$$P_m = P_{int} - P_{ext}$$

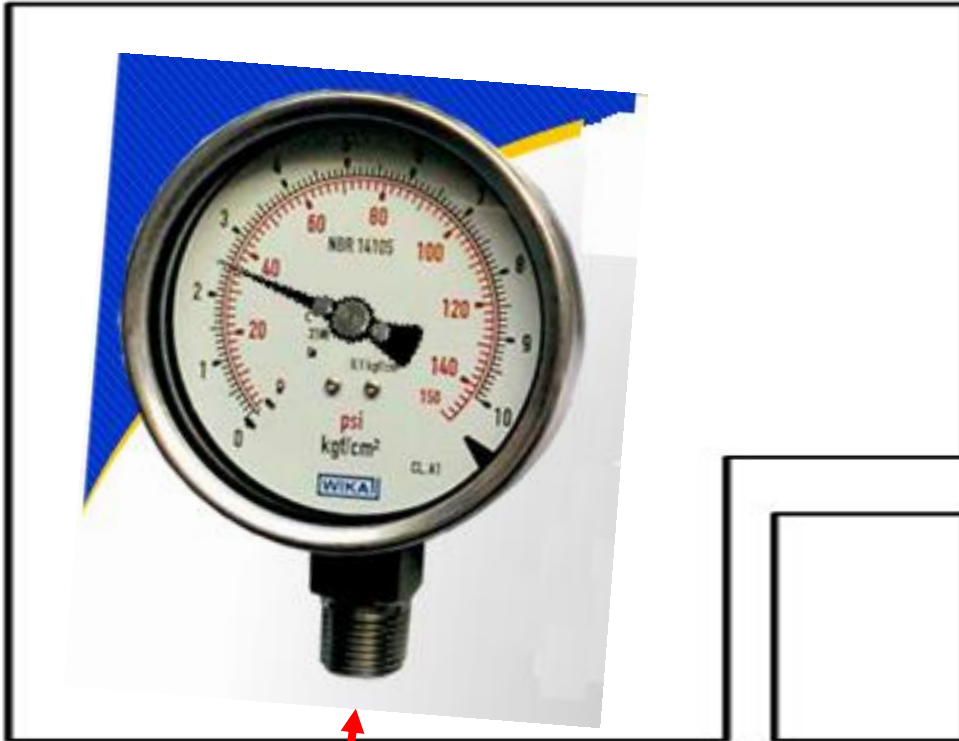
Mede a pressão manométrica, que é a pressão interna menos a externa.

2.11 Manômetro metálico tipo Bourdon



$$P_{ext} = P_{atm}$$

$$P_m = P_{int}$$



Manômetro = só escala positiva



Vacuômetro = só escala negativa

$$P_m = P_{int} - P_{ext}$$

$$\text{Se } P_{ext} = P_{atm} \rightarrow P_m = P_{int}$$



Manovacuômetro =
apresenta a escala
negativa e a escala
positiva



$$P_m = P_{int} - P_{ext}$$

$$\text{Se } P_{ext} = P_{atm} \rightarrow P_m = P_{int}$$



Blaise Pascal

Entre os dezoito e dezenove anos inventou a primeira máquina de calcular. Aos vinte anos aplicou seu talento à física, pois se interessou pelo trabalho de Torricelli sobre pressão atmosférica, deixando como resultado o Princípio de Pascal sobre a lei das pressões num líquido, que publicou em 1653 no seu Tratado do equilíbrio dos líquidos.

PUTS!

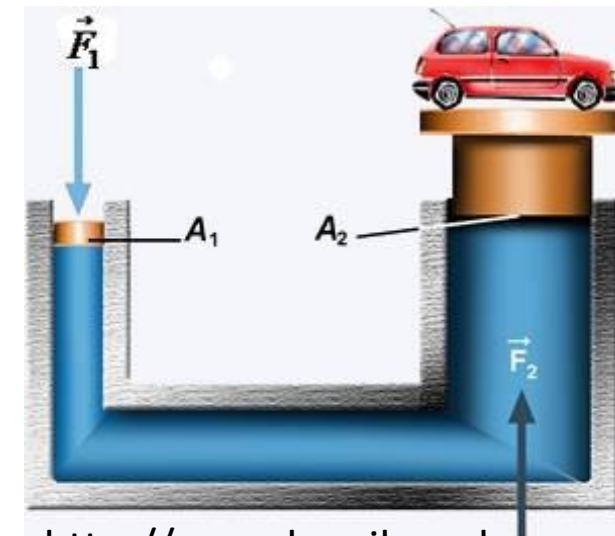


2.12 Lei de Pascal (1623-1662)

Ao se aplicar a pressão em um ponto fluido ela se transmite integralmente aos demais pontos.



Vantagens dos fluidos sobre os sólidos!

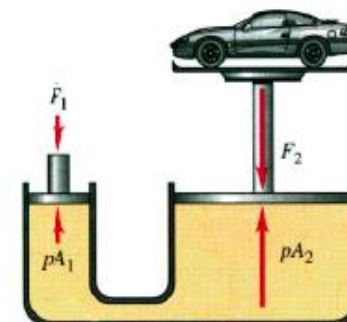


<http://www.brasilecola.com>

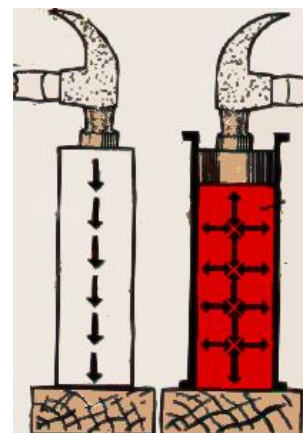


$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \longrightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$

Elevador hidráulico



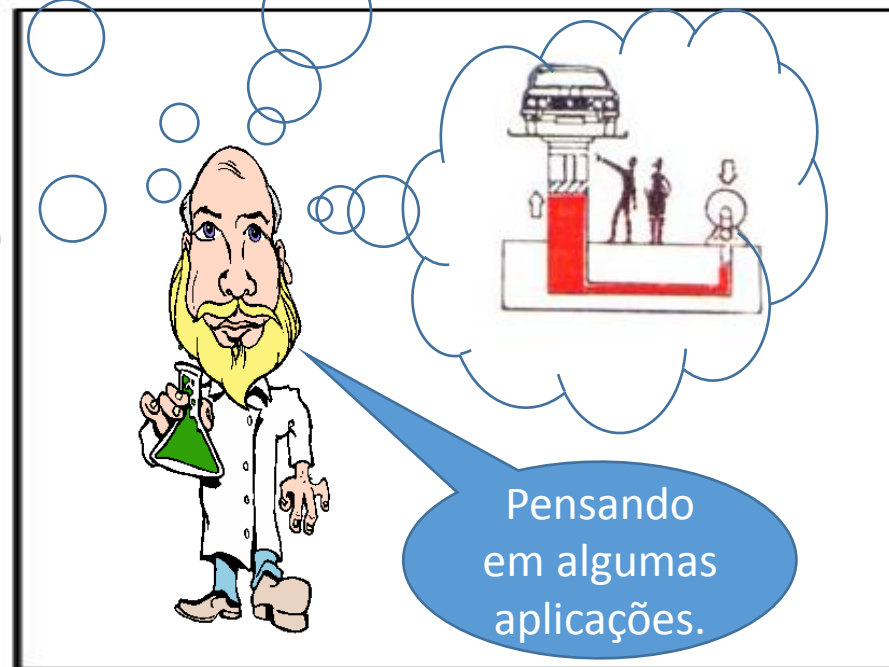
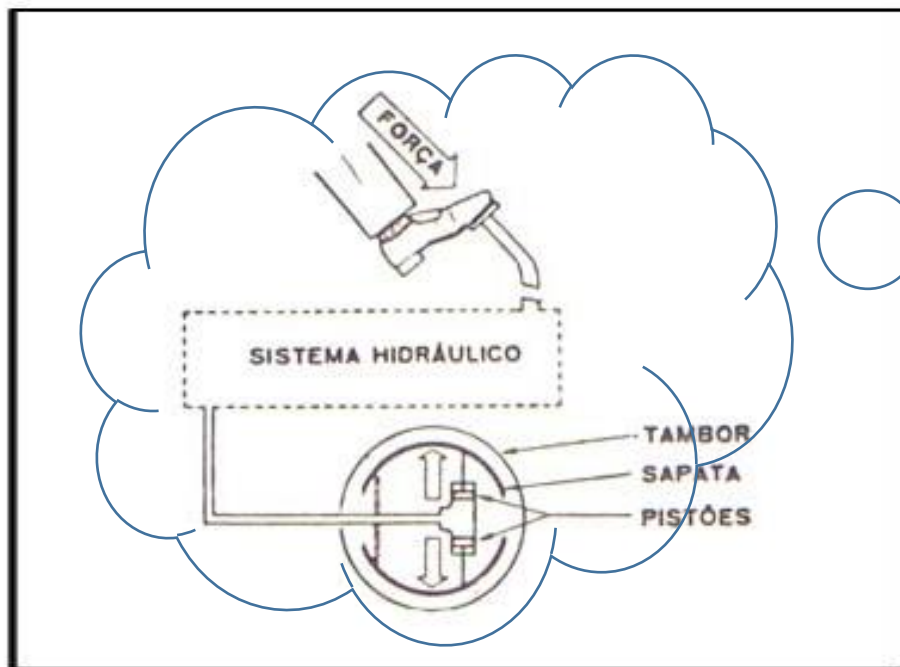
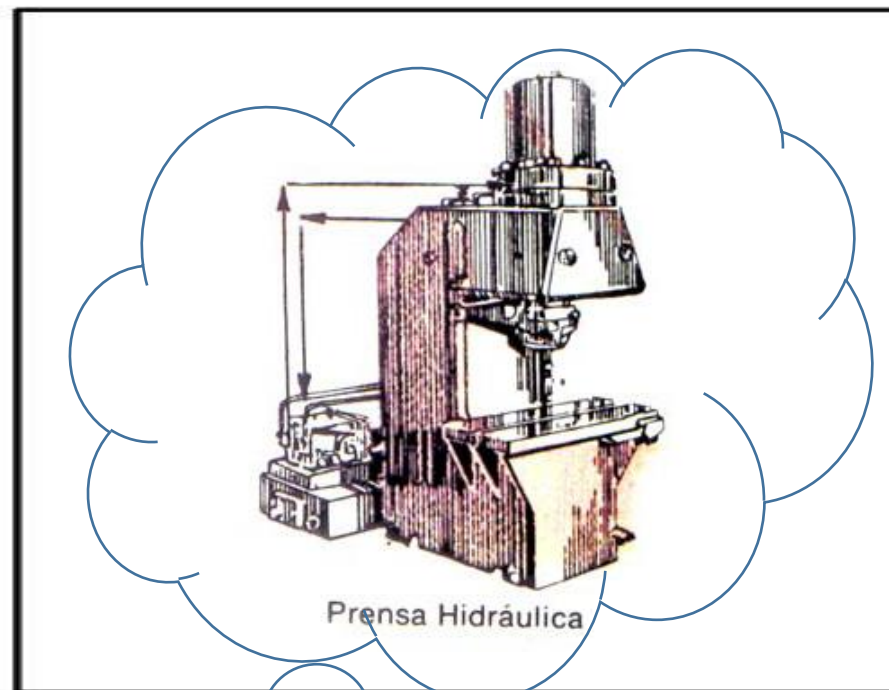
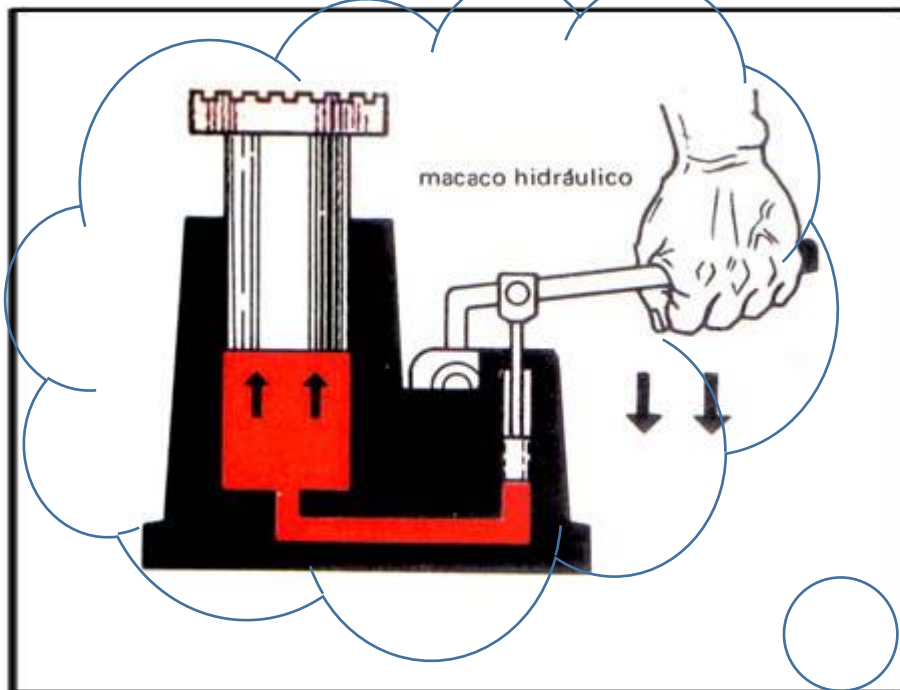
Existem muitas vantagens de se trabalhar com fluido em relação aos sólidos!

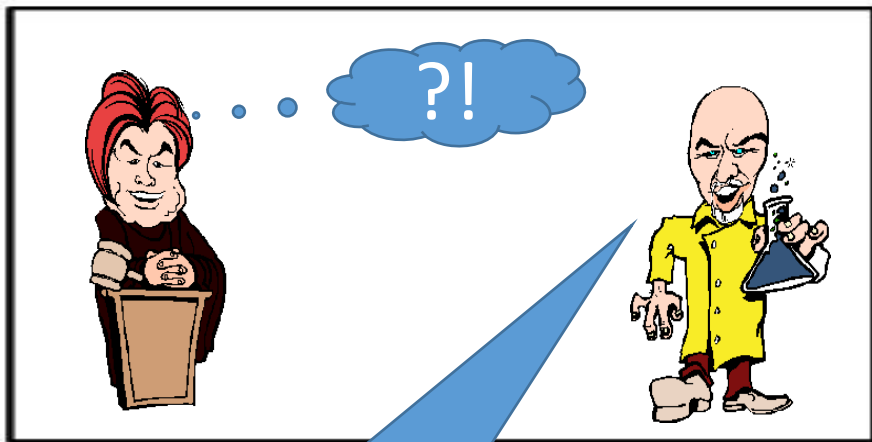


Para os sólidos a propagação da força é na direção da sua aplicação e só se consegue mudá-la através de engrenagens.

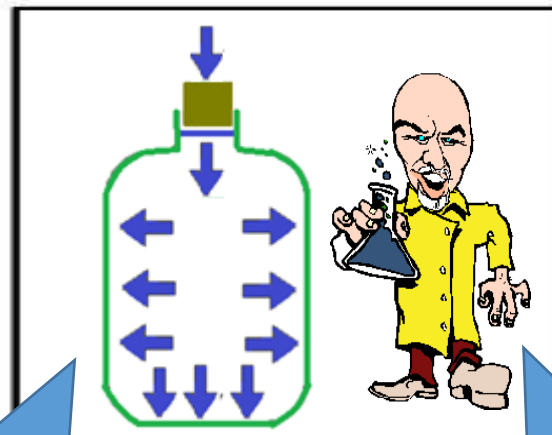
Já nos fluidos ela se propaga espontaneamente em todas as direções







1. Suponha uma garrafa cheia de líquido, o qual é praticamente incompressível

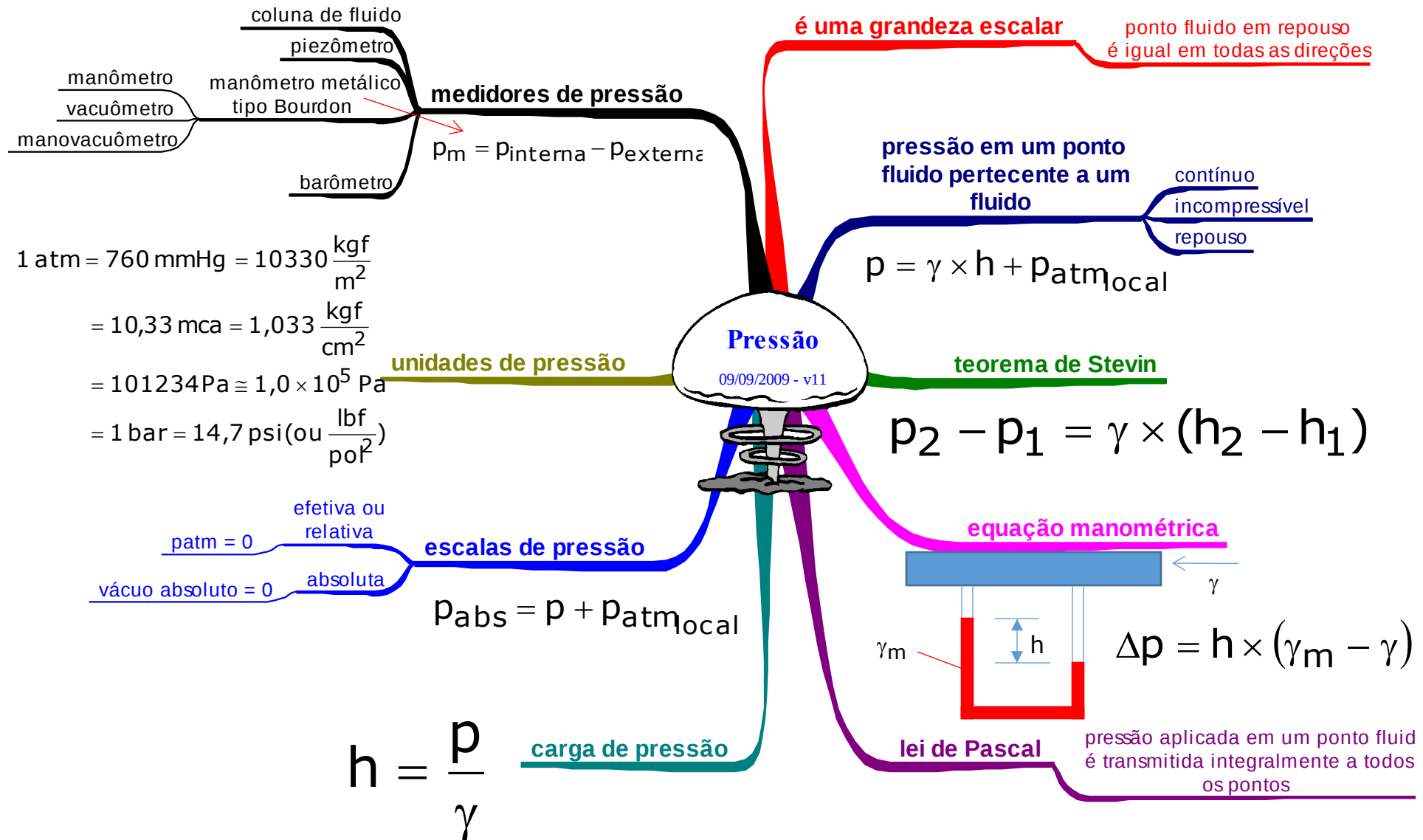


2. Se aplicarmos uma força de 100 N numa rolha de 1 cm² de área.

4. Se o fundo tiver uma área de 20 cm², existirá no mesmo uma força de 2000N.

3. O resultado será uma pressão de 100 N/cm² agindo em todos os seus pontos.

Sintetizando o capítulo 2: estática dos fluidos



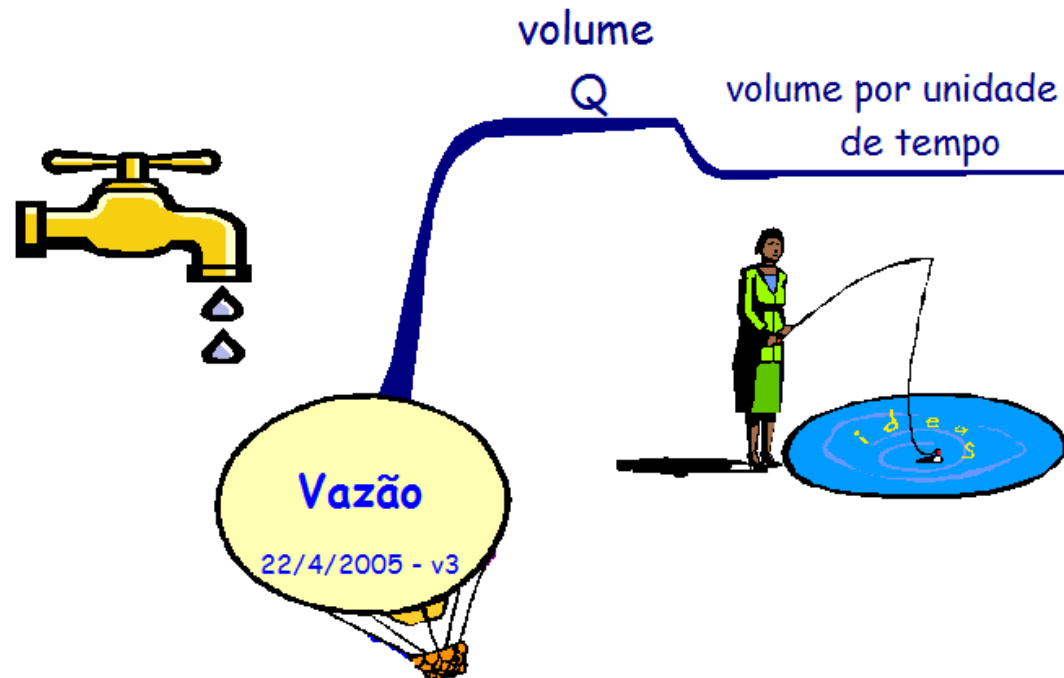
Capítulo 3: Cinemática dos fluidos

3.1 – Escoamento em regime permanente

O tempo não é uma variável do que estudamos.

3.2 – Conceito de vazão ou vazão volumétrica

$$Q = \frac{V}{t}$$



Capítulo 3: Cinemática dos fluidos (cont.)

3.3 – Conceito de velocidade média

Para efeito de dimensionamento das tubulações é fundamental que se recorra a outra expressão para especificação da vazão:

$$Q = v \times A$$

onde:

v = velocidade média do escoamento

A = área da seção formada pelo fluido



É fundamental
também que se saiba
efetuar a medição de
vazão



forma direta

pelo conceito

V/t



forma indireta

tubo de pitot

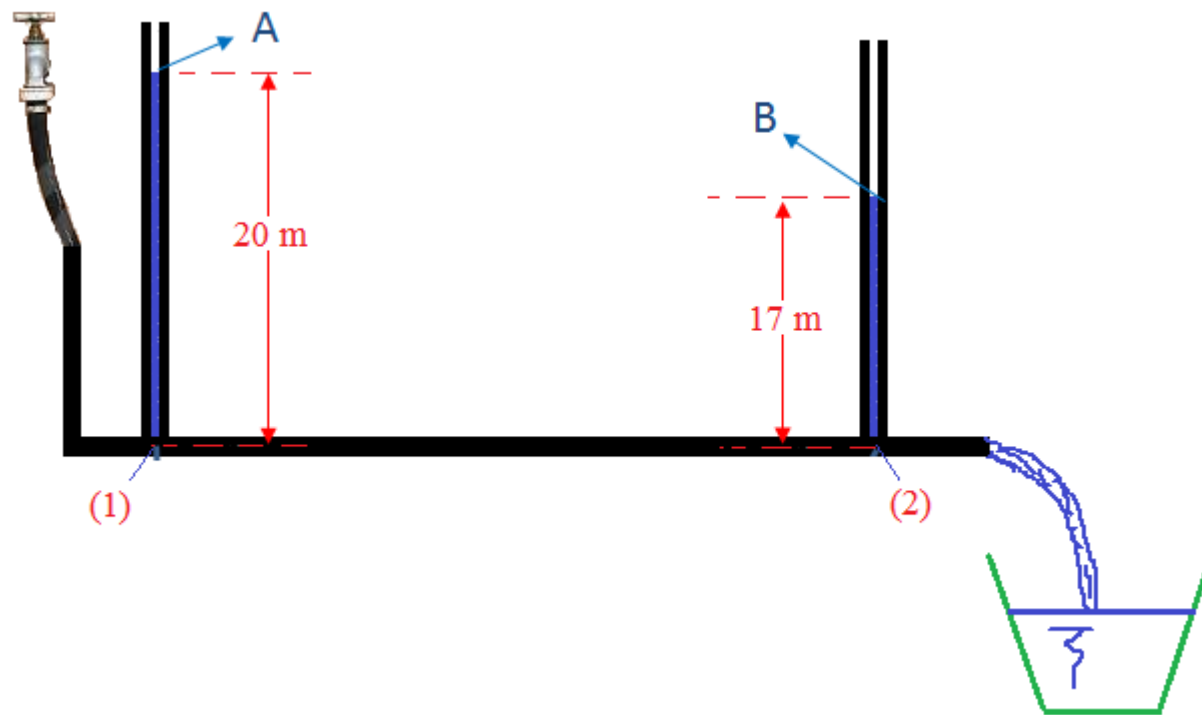
tubo venturi

placa de orifício

molinete

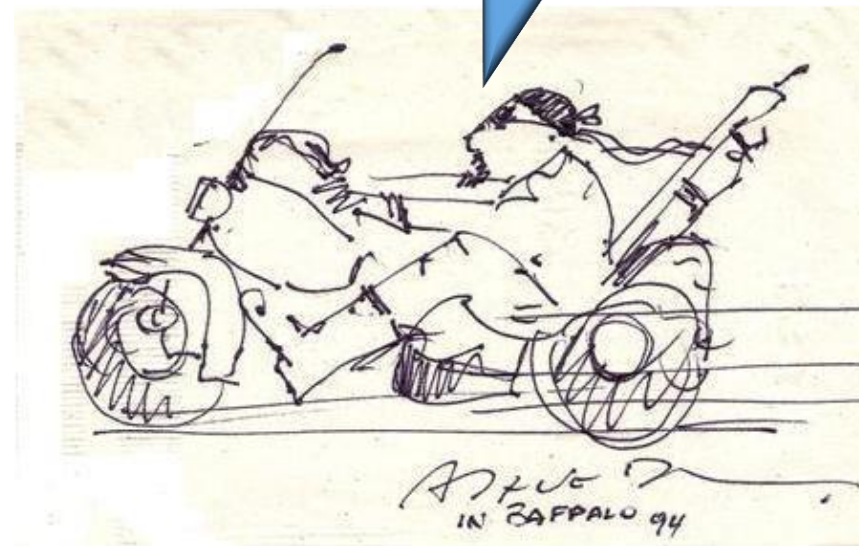
....

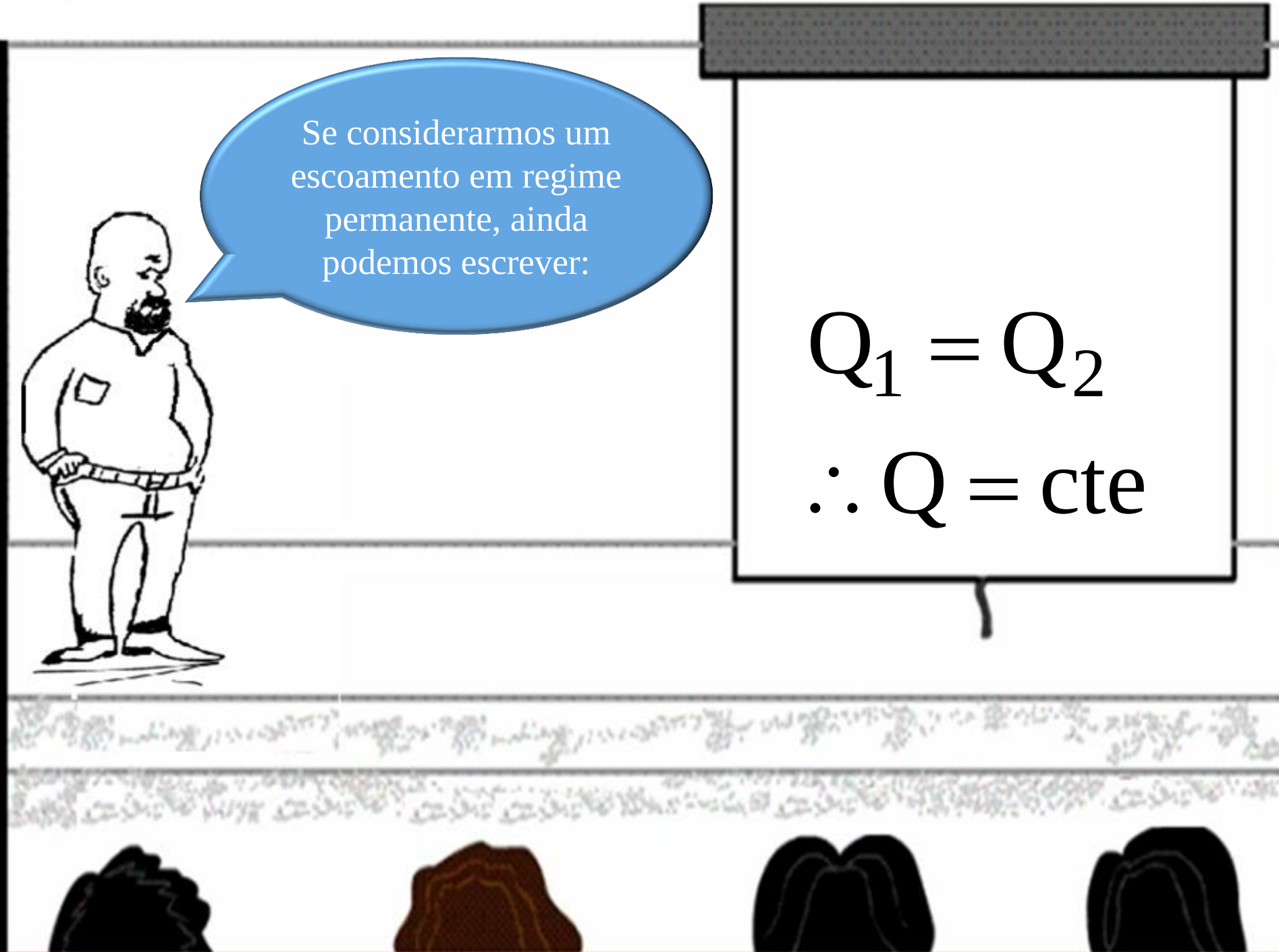




Coletamos um
volume V (20L)
em um certo
tempo (10s)

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{20}{10} = 2 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$





Se considerarmos um escoamento em regime permanente, ainda podemos escrever:

$$Q_1 = Q_2$$

$$\therefore Q = \text{cte}$$

Capítulo 4: Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente

4.1 – Introdução

Neste capítulo efetuamos um balanço de cargas mecânicas (carga igual a energia por unidade de peso do fluido) entre duas seções do escoamento.

4.2 – Tipos de cargas observadas na seção do escoamento.

4.2.1 – Carga potencial de posição

$$z = \frac{mgz}{mg} \Rightarrow [z] = [L]$$

4.2.2 – Carga de pressão

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p \times G}{G} \Rightarrow \left[\frac{p}{\gamma} \right] = [L]$$

Capítulo 4: Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente (cont.)

4.2.3 – Carga cinética

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{mg} \Rightarrow \left[\frac{v^2}{2g} \right] = [L]$$

4.3 – Carga mecânica total em uma seção do escoamento incompressível e em regime permanente

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Capítulo 4: Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente (cont.)

4.4 – Equação de Bernoulli

Hipóteses:

1. fluido ideal ($\mu = 0$);
2. trecho sem máquina hidráulica;
3. escoamento sem troca de calor;
4. escoamento em regime permanente;
5. escoamento incompressível;
6. propriedades uniformes na seção.

$$H_1 = H_2$$

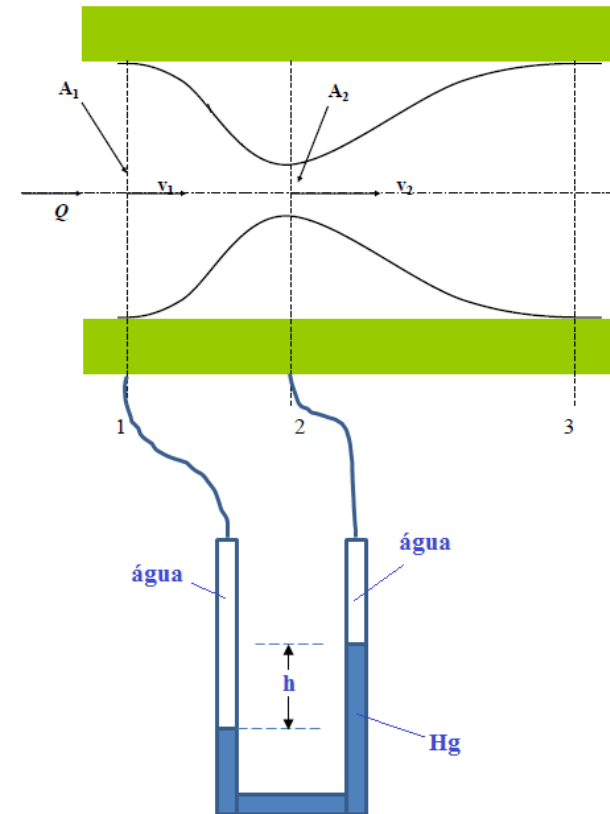
$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Capítulo 4: Equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente (cont.)

4.5 – Aplicação da equação de Bernoulli, equação da continuidade e equação manométrica no medidor de vazão tipo Venturi

$$V_{\text{teórica}} = V_2 = \sqrt{\frac{2gh \left(\frac{\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \right)}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

$$Q_{\text{teórica}} = V_{\text{teórica}} \times A_2$$





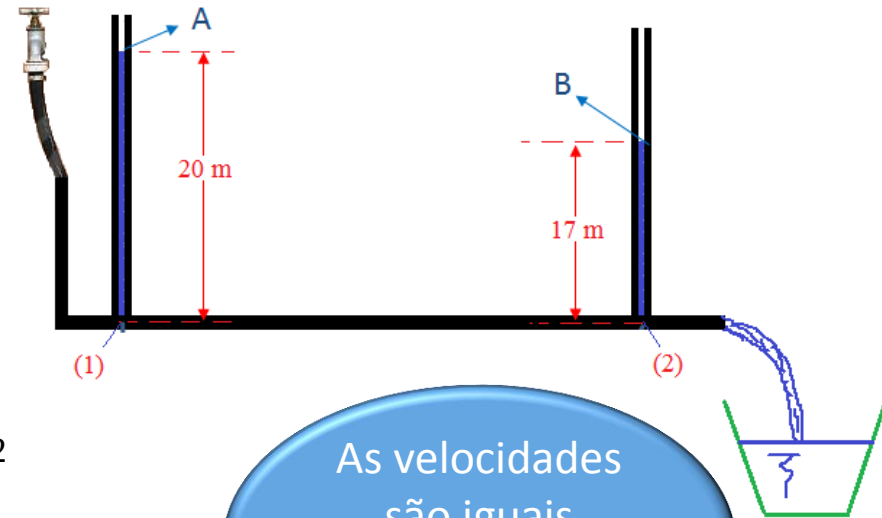
Vamos agora procurar determinar a carga total em cada uma das seções fixada na mangueira que tem um diâmetro interno igual a 50 mm

$$Q = 2 \frac{L}{s} = 2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v \times A$$

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,05^2}{4}$$

$$v = \frac{4 \times 2 \times 10^{-3}}{\pi \times 0,05^2} \cong 1,02 \frac{\text{m}}{\text{s}} = v_1 = v_2$$

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$



As velocidades são iguais porque a Q é constante!

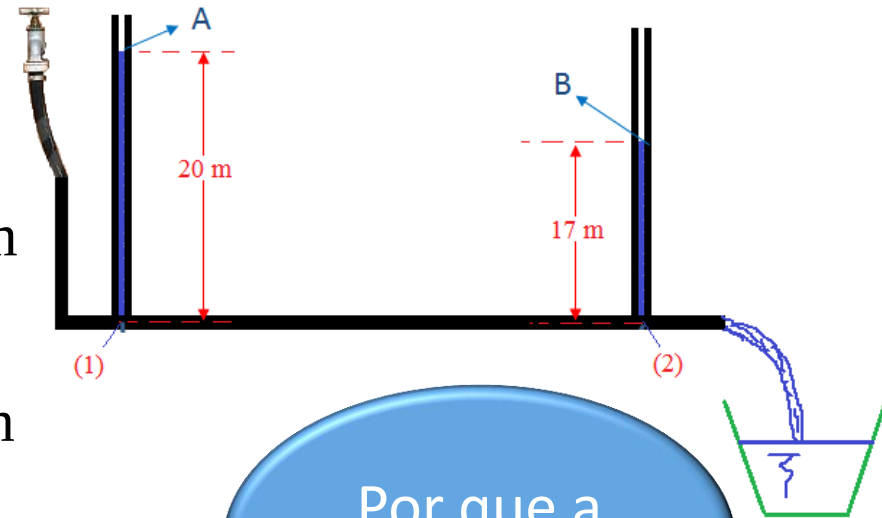


Isto mesmo e adotando o plano horizontal de referência no eixo da mangueira, temos:

$$H_1 = 0 + 20 + \frac{1,02^2}{2 \times 9,8} \cong 20,1\text{m}$$

$$H_2 = 0 + 17 + \frac{1,02^2}{2 \times 9,8} \cong 17,1\text{m}$$

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$



Por que a diferença?

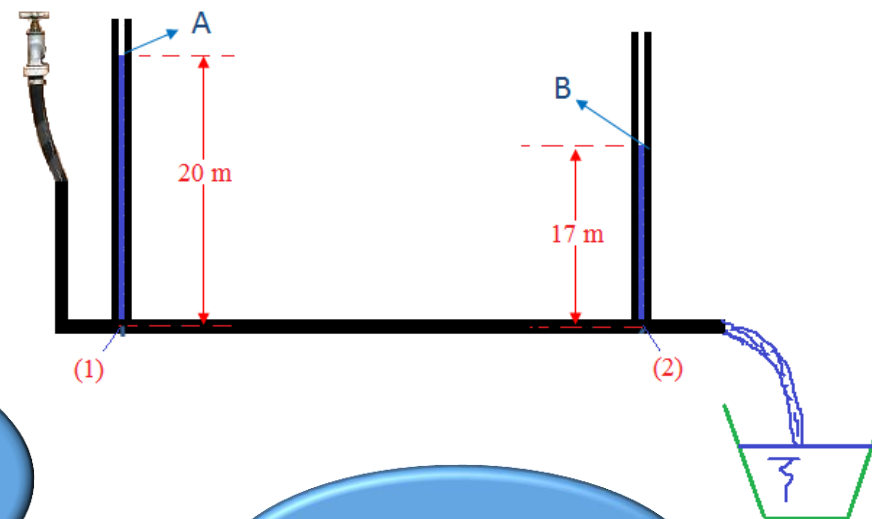


Primeiro para ter o Escoamento, pois em um trecho sem máquina hidráulica o fluido sempre esco da carga maior para a carga menor!

$$H_1 > H_2$$

O fluido esco da seção 1 para a seção 2.

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$



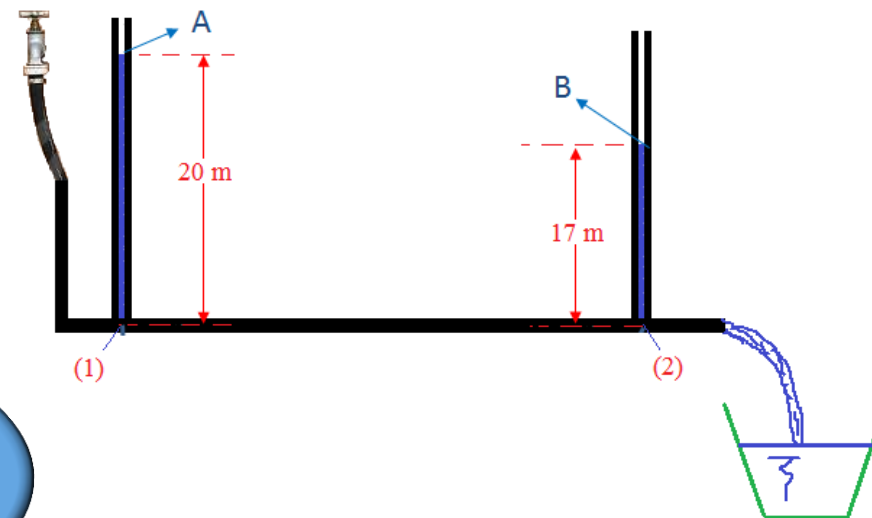
E o que origina esta diferença?

É a viscosidade
(μ) do fluido!

$$H_1 > H_2$$



E o que vem a
ser viscosidade?



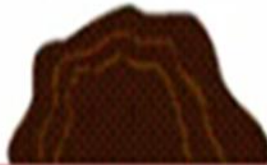
Vou buscar o
conceito de
viscosidade!





A viscosidade é a propriedade que o fluido tem que exprime a resistência que ele oferece aos esforços tangenciais. Ela também é responsável pelo atrito do fluido com as paredes internas do conduto por onde ele escoa e o atrito entre as camadas fluidas.

Então é ela que é responsável pela existência da perda de carga?



$$H_{\text{inicial}} > H_{\text{final}} \therefore H_{\text{inicial}} = H_{\text{final}} + H_{\text{p}i-f}$$

$H_{\text{p}i-f}$ = perda de carga

A viscosidade é também denominada de viscosidade dinâmica e em nosso curso será representada pela letra μ , tendo sua equação dimensional representada por:

$$[\mu] = \frac{F \times T}{L^2}$$

$$[\mu]_{SI} = \frac{N \times s}{m^2} = Pa \times s$$

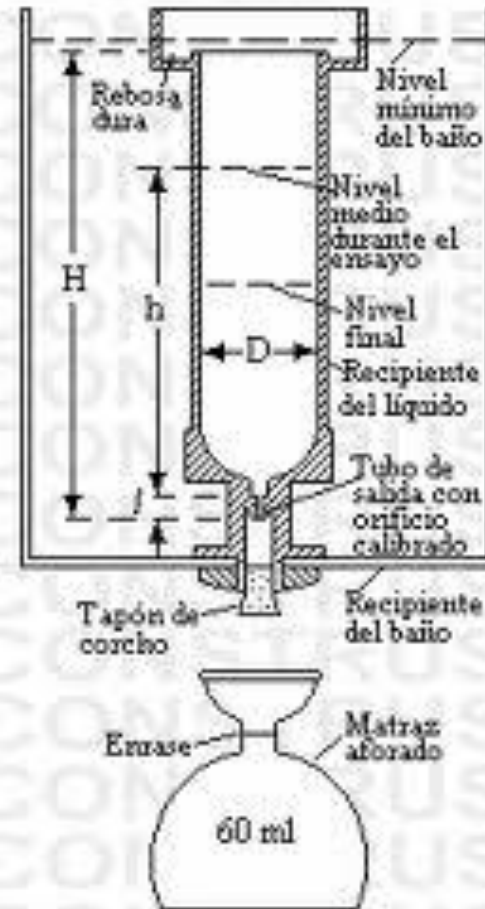
Exatamente!

Como determinamos a viscosidade?





A viscosidade pode ser determinada por um viscosímetro, por exemplo o de Saybolt.



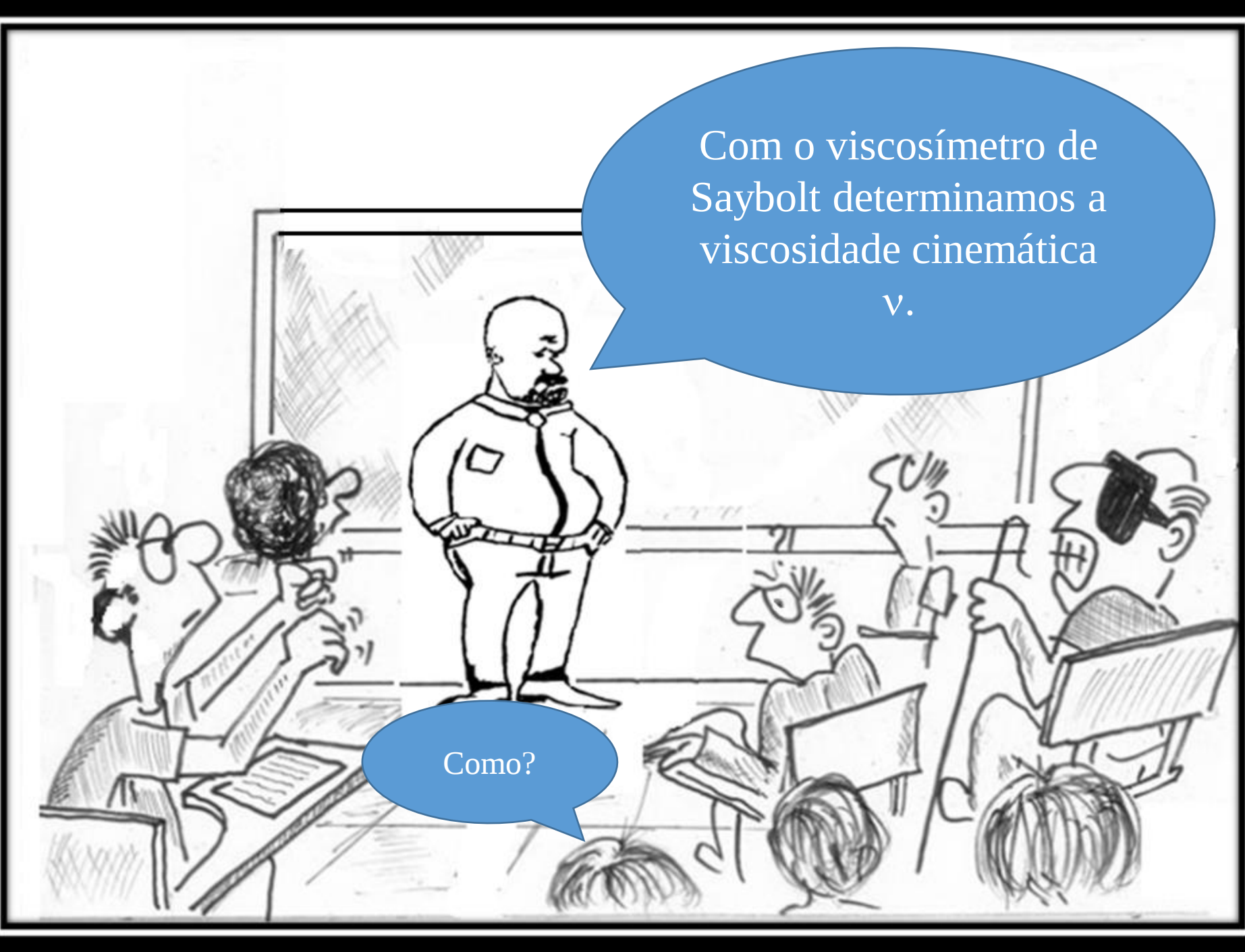
Viscosidad Saybolt

CONSTRUSUR

CONSTRUSUR

O viscosímetro Saybolt está baseado no tempo de passagem de um determinado volume do fluido, geralmente 60 mL, através de um orifício, que pode ser o UNIVERSAL ou o FUROL, o que permite determinar a viscosidade Saybolt Universal (SSU) e Saybolt Furol (SSF) a temperaturas que variam entre ambiente 5°C e 250°C. O ensaio baseia-se na medição dos segundos que uma quantidade padrão de amostra consome para escoar através de um furo padronizado, a uma temperatura constante e muito precisa.



A black and white cartoon illustration of a classroom. A professor, a bald man with a beard wearing a sweater and tie, stands at the front with his hands on his hips. He is addressing a group of students. On the left, two students are seated at a desk, looking towards the professor. On the right, three students are seated at another desk; one is holding a book, another is holding a pen, and a third is wearing glasses and looking at a book. The background shows a simple classroom setting with a window. Two blue speech bubbles are overlaid on the image: one from the professor and one from a student.

Com o viscosímetro de Saybolt determinamos a viscosidade cinemática ν .

Como?

$$[\nu] = \frac{L^2}{T} \therefore [\nu]_{SI} = \frac{m^2}{s}$$

Por exemplo:

$$\nu = A \times t - \frac{B}{t}$$

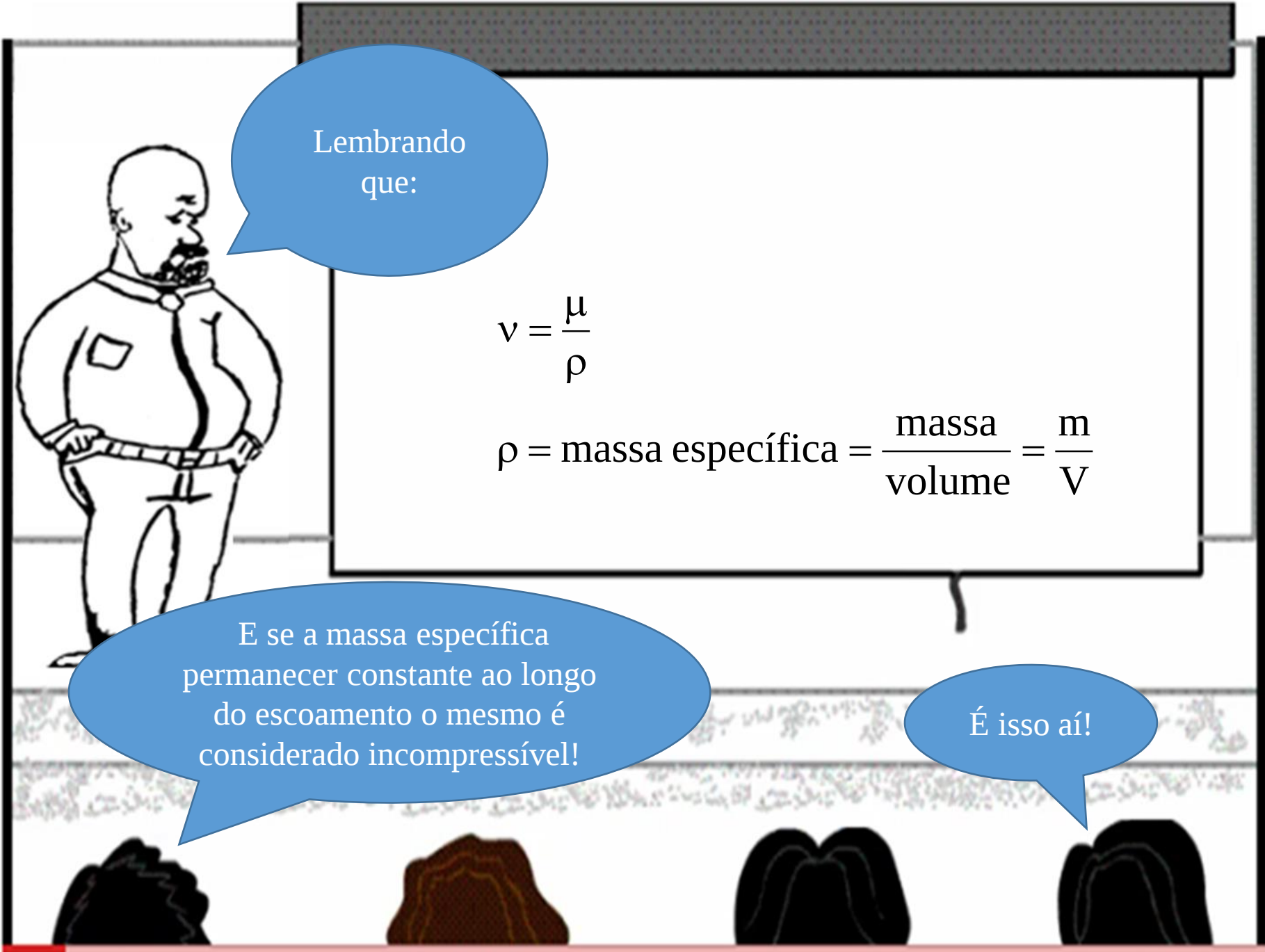
t = tempo cronometrado

A e B = parâmetros que dependem do viscosímetro



Beleza, mas tendo a viscosidade cinemática, como determinamos a viscosidade dinâmica?





Lembrando
que:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\rho = \text{massa específica} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} = \frac{m}{V}$$

E se a massa específica
permanecer constante ao longo
do escoamento o mesmo é
considerado incompressível!

É isso aí!

É importante se definir as unidades da viscosidade e da viscosidade cinemática no Sistema CGS, pois o mesmo muitas vezes é utilizado em tabelas destas propriedades do fluido



$$[\mu] = \frac{F \times T}{L^2} \therefore [\mu]_{\text{CGS}} = \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} = \text{poise} = 100 \text{centipoise}$$

$$1 \text{dina} = 10^{-5} \text{N} \rightarrow 1 \text{cm}^2 = 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\therefore 1 \text{poise} = 1 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{10^{-5} \text{N} \times \text{s}}{10^{-4} \text{m}^2} = 10^{-1} \frac{\text{N} \times \text{s}}{\text{m}^2} = 10^{-1} \text{Pa} \times \text{s}$$

$$[\nu] = \frac{L^2}{T} \therefore [\nu]_{\text{CGS}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = \text{stoke} = \text{St}$$

$$1 \text{St} = 100 \text{centistokes} = 100 \text{cSt} \therefore 1 \text{St} = 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$



Outra ponto que merece destaque é o conceito de massa especifica relativa (densidade relativa), já que também é muito utilizada em tabelas de propriedades dos fluidos.

Esta propriedades relaciona a massa específica do fluido com a massa específica padrão



$$\rho_R = \frac{\rho}{\rho_{\text{padrão}}}$$

$$\rho_R = \frac{\rho_{\text{líquido}}}{1000 \text{ kg} / \text{m}^3}$$

Exatamente, e a massa específica padrão para líquidos e a massa específica d'água a 4°C que é igual a 1000 kg/m³ e para os gases é a massa específica do ar nas CNPT (condições normais de pressão e temperatura)



E como achamos a massa específica padrão do ar nas CNPT?





É originada da
equação de
Clepeyron:

$$pV = nRT \Rightarrow pV = \frac{m}{M} RT$$

$$p \times \frac{V}{m} = \frac{R}{M} \times T$$

$$\frac{p}{\rho} = R_{\text{gás}} \times T \Rightarrow R_{\text{ar}} = 287 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \times \text{K}}$$

$$[p] = \text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}; [T] = \text{K} \therefore [\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

E se a massa específica
permanecer constante ao longo
do escoamento o mesmo é
considerado incompressível!

É isso aí!