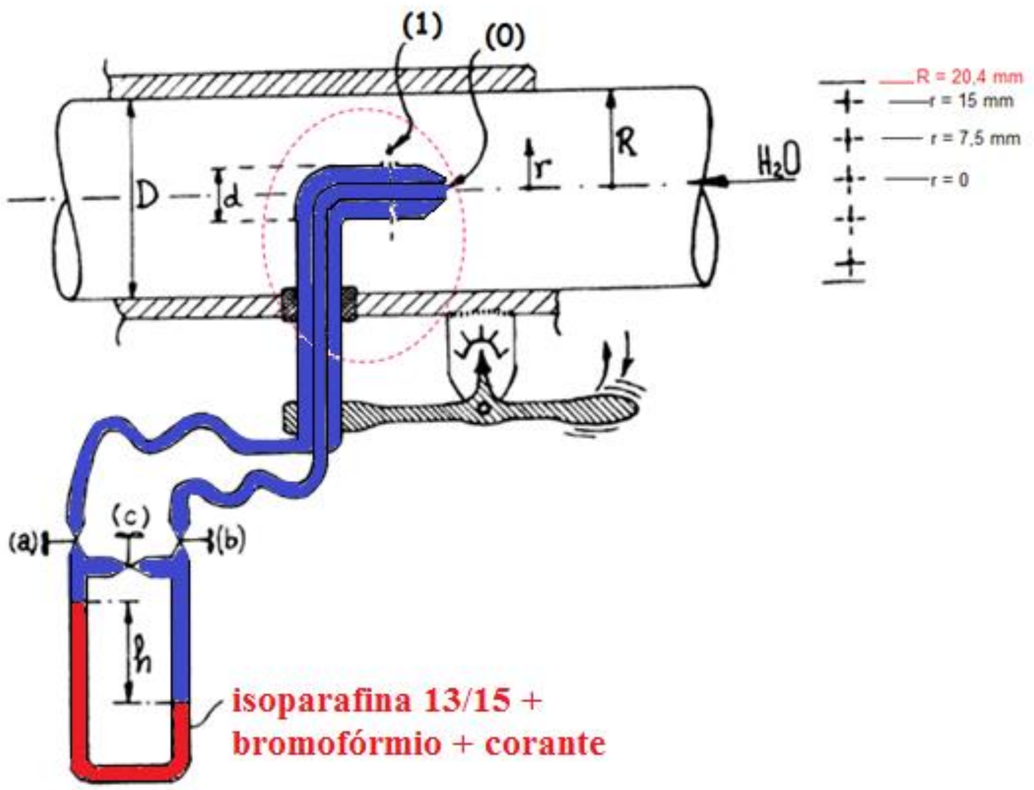
Gostaria de mostrar que existem situações em que a equação da energia (equação 1) se comporta igual a equação de Bernoulli (equação 2).

$$H_1 + H_m = H_2 + H_{p1-2} \rightarrow \text{equação 1}$$

$$H_1 = H_2 \rightarrow \text{equação 2}$$

Para tal demonstração eu vou considerar um tubo de Pitot esquematizado pela figura 1.

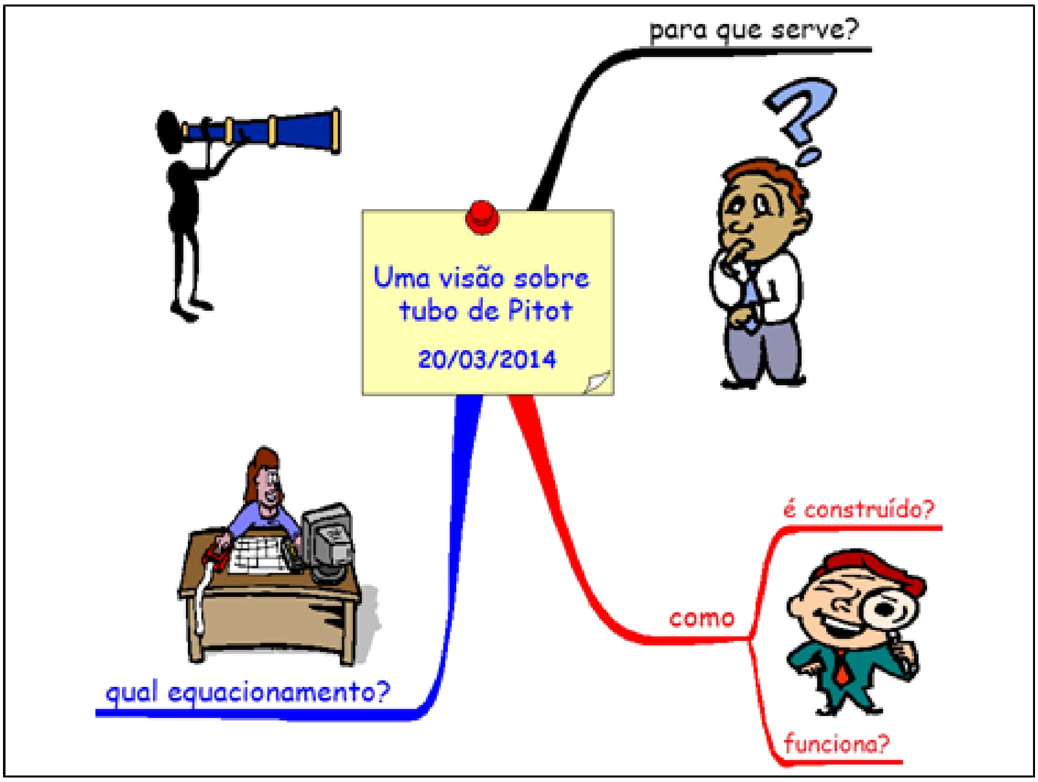


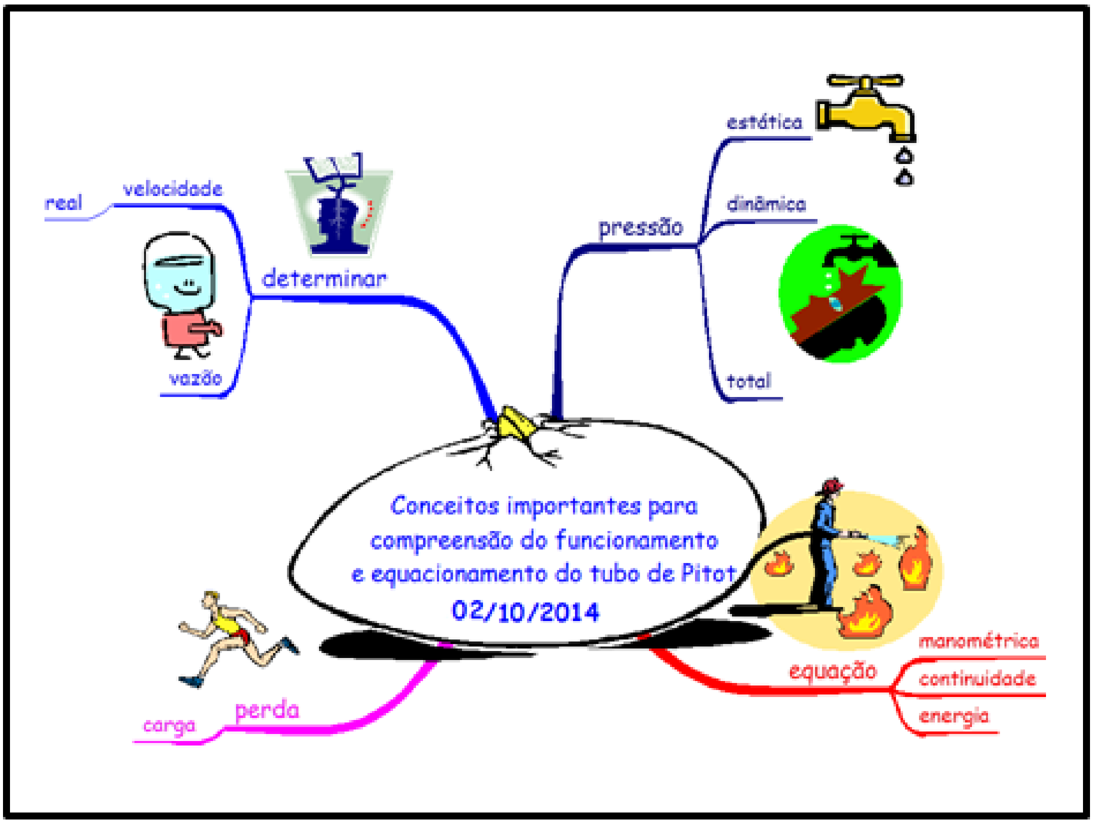
Devemos notar que neste caso, (0) e (1) são considerados praticamente um ponto de um meio contínuo e além disto a distância entre eles ;e **realmente** muito pequeno e isto nos permite considerar **desprezível** a perda de carga entre eles e isto nos permite escrever que:

$$H_0 = H_1 \therefore z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$z_0 = z_1; v_0 = 0 \therefore v_1 = v_{real} = \sqrt{2g \times \left(\frac{p_0 - p_1}{\gamma}\right)}$$

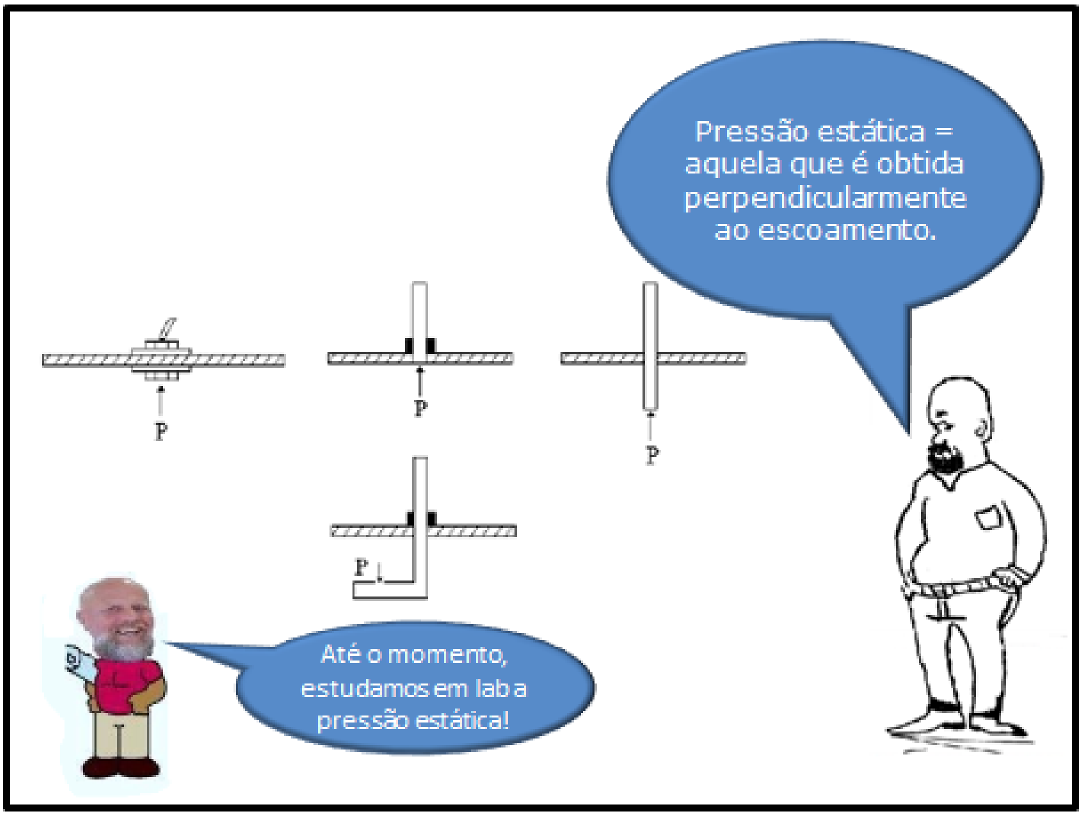

MECÂNICA
FLUIDOS
FUNDAMENTOS
APLICAÇÕES
Experiência do tubo de Pitot
09 de abril de 2015

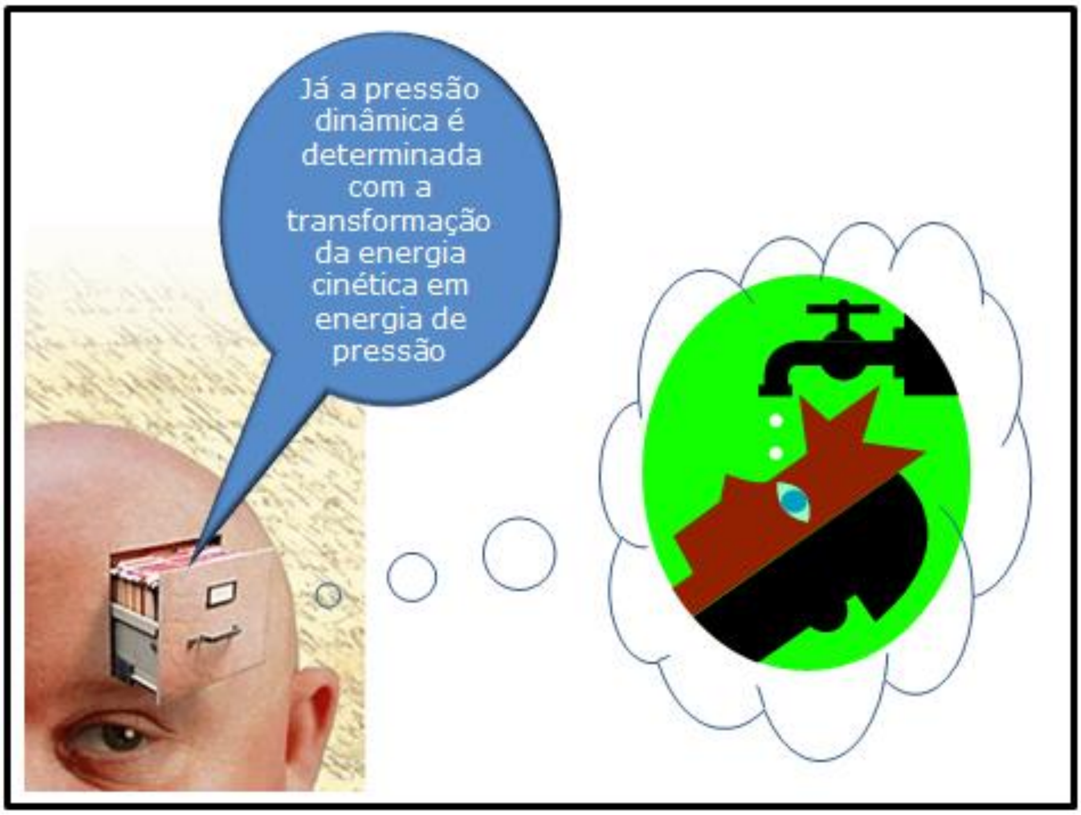

para que serve?
Uma visão sobre tubo de Pitot
20/03/2014
é construído?
como
funciona?
qual equacionamento?

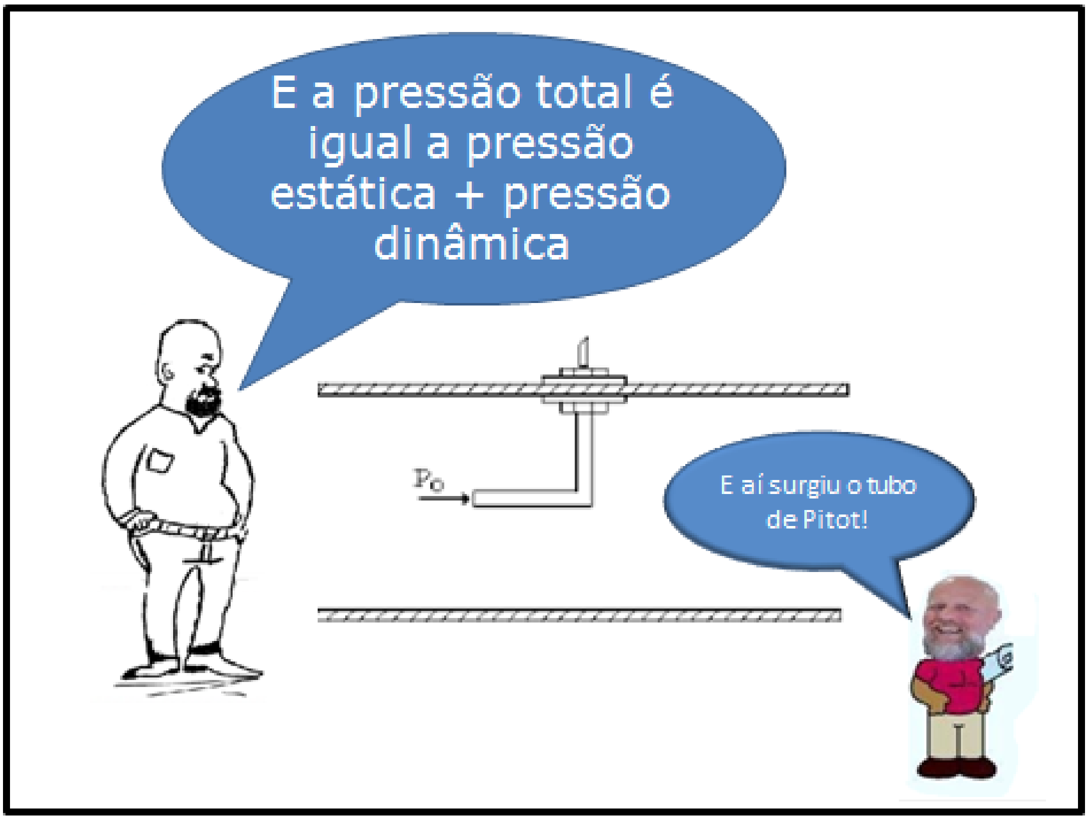


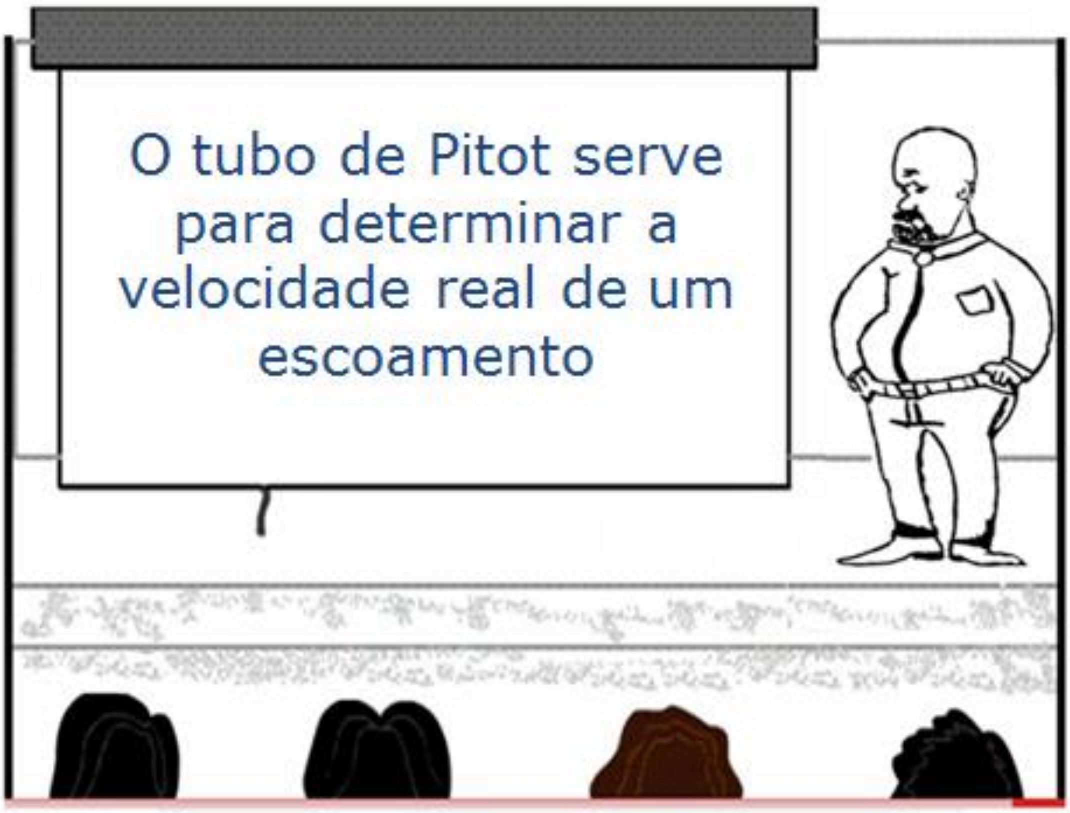
Conceitos importantes para compreensão do funcionamento e equacionamento do tubo de Pitot
02/10/2014
determinar
velocidade
real
vazão
pressão
estática
dinâmica
total
equação
manométrica
continuidade
energia
perda
carga

Portanto, para compreender o funcionamento dos tubos de Pitot é fundamental ter os conceitos de pressão total, pressão estática e pressão dinâmica


Pressão estática = aquela que é obtida perpendicularmente ao escoamento.
P
P
P
P
Até o momento, estudamos em lab a pressão estática!


Já a pressão dinâmica é determinada com a transformação da energia cinética em energia de pressão

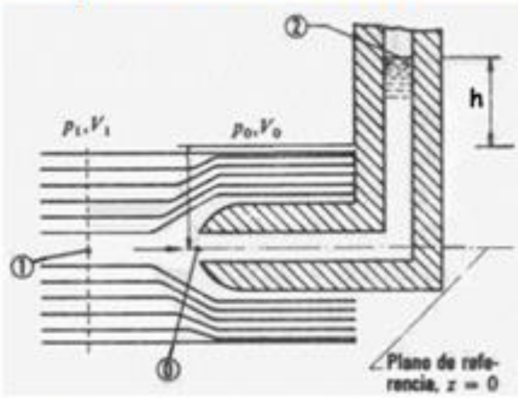

E a pressão total é igual a pressão estática + pressão dinâmica
P_0
E aí surgiu o tubo de Pitot!


O tubo de Pitot serve para determinar a velocidade real de um escoamento

O instrumento foi apresentado em 1732 por Henry de Pitot:

"A idéia deste instrumento era tão simples e natural que no momento que eu o concebi, corri imediatamente a um rio para fazer o primeiro experimento com um tubo de vidro". (Benedict, 1984).

Na sua origem poderia ser esquematizado da seguinte forma:



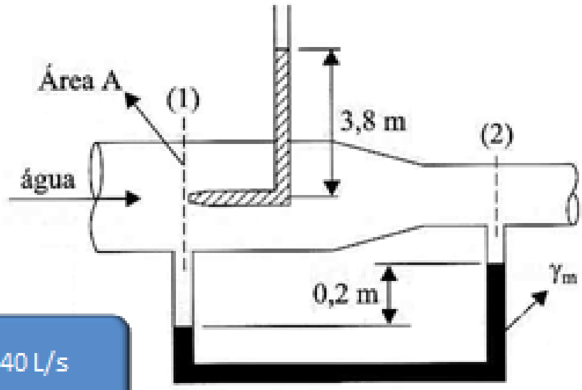
$$v_{real} = \sqrt{2g \times h}$$

Imagem extraída do sítio:

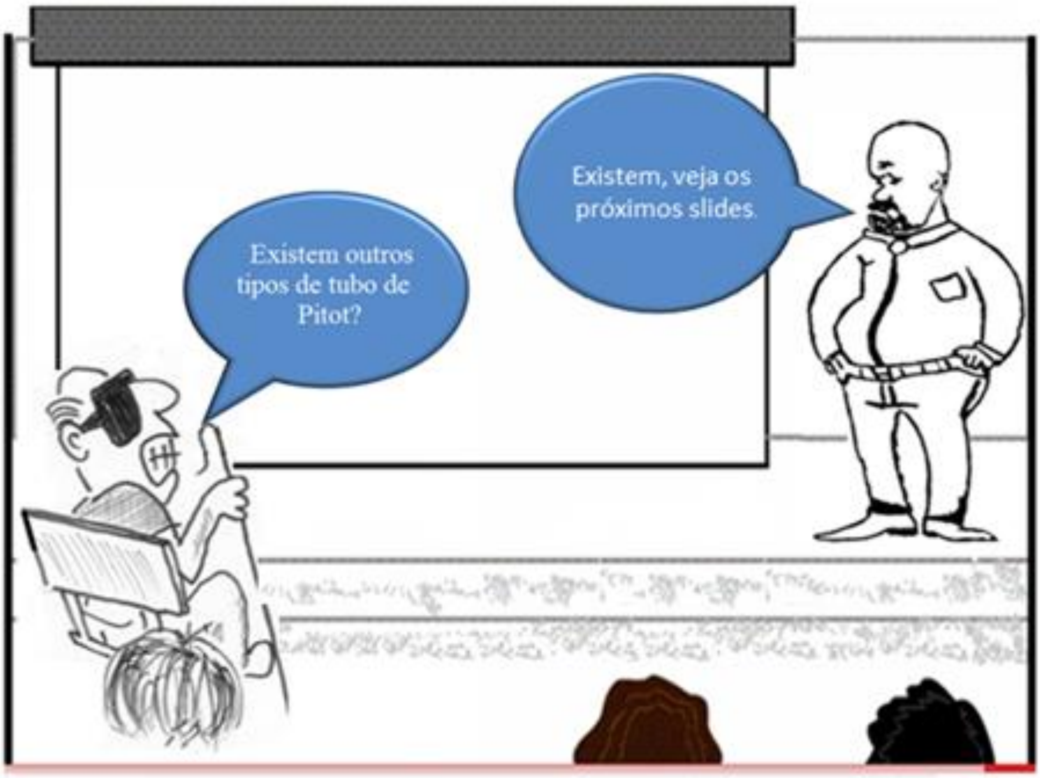
http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Pitot

Posso e aí vai uma aplicação extraída do livro do professor Franco Brunetti

Dado o dispositivo da figura, calcular a vazão do escoamento da água no conduto. Dados: $\gamma_{H_2O} = 10^4\ N/m^3$; $\gamma_m = 6 \times 10^4\ N/m^3$; $p_2 = 20\ kPa$; $A = 10^{-2}\ m^2$; $g = 10\ m/s^2$.
Desprezar as perdas e supor o diagrama de velocidades uniforme na seção.

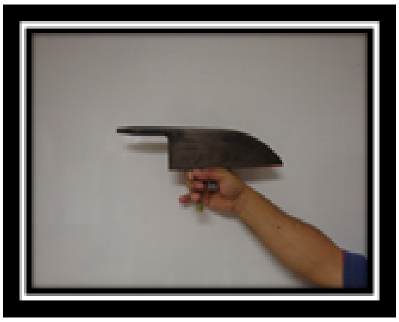


Resposta 40 L/s



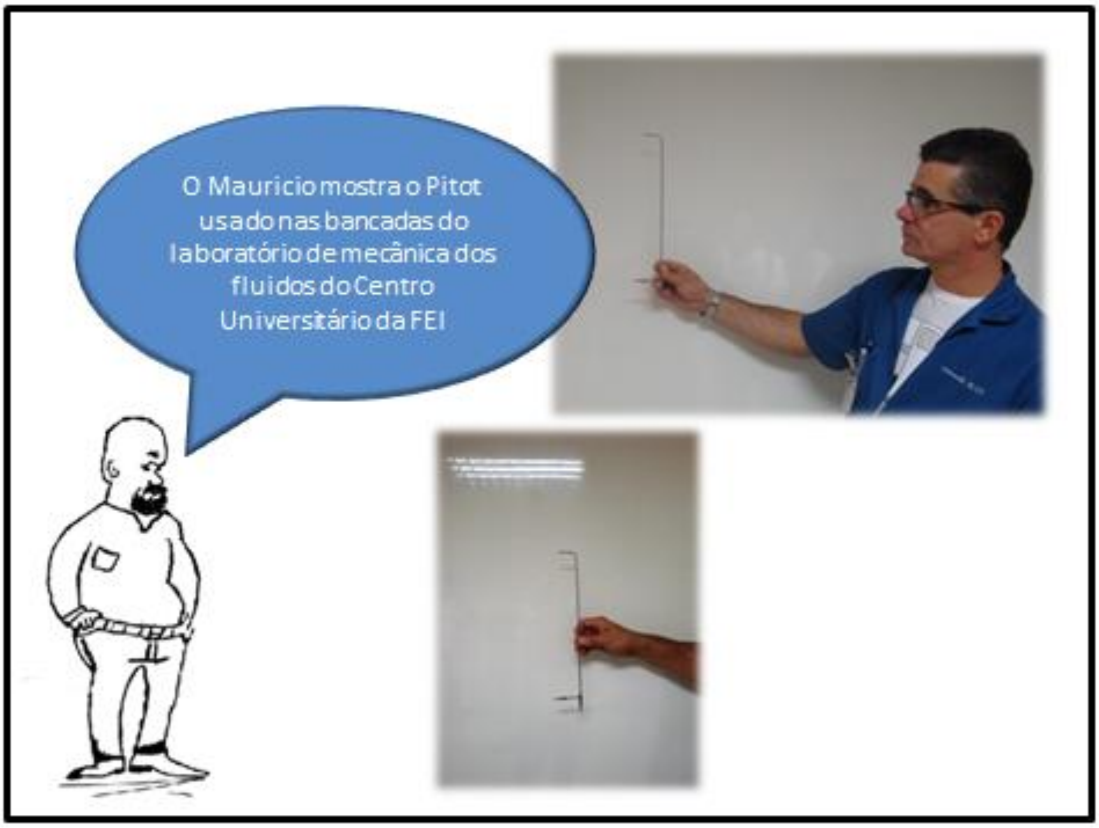
Tubo de Pitot representado abaixo

é um tubo aberto dirigido contra a corrente do fluido que indica a pressão total.



Mais alguns exemplos em aviões

Não deixa de ser um avião!


O Mauricio mostra o Pitot usado nas bancadas do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI

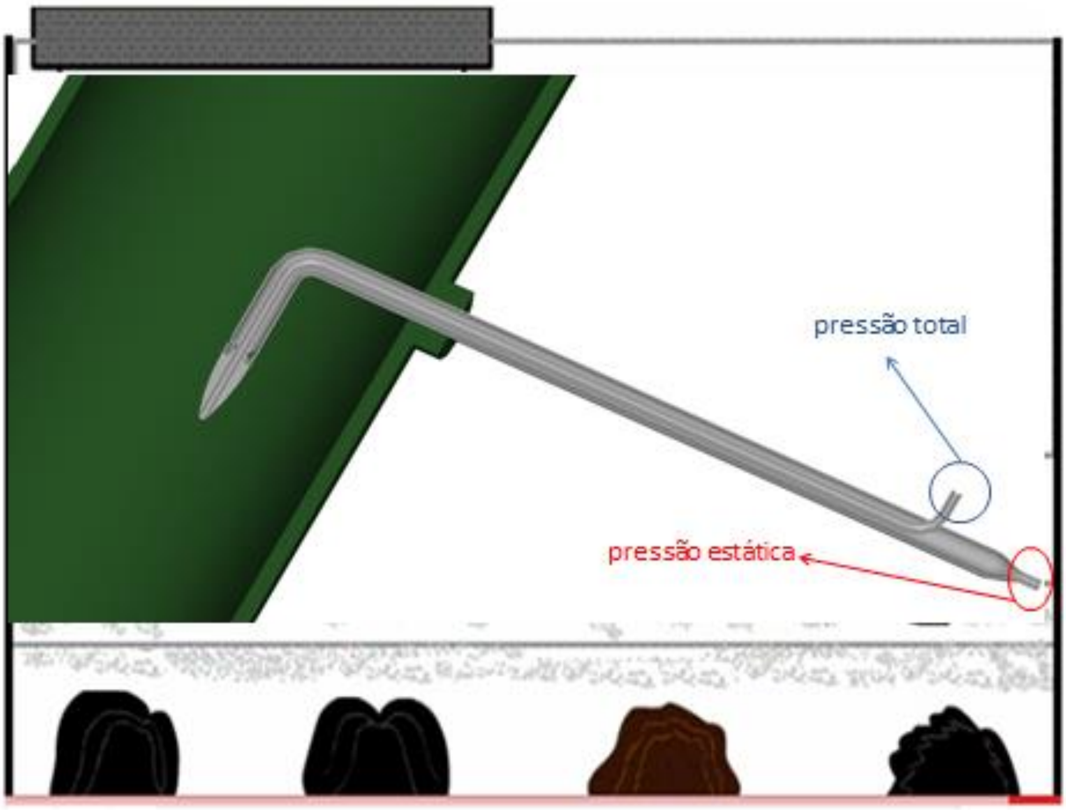

Já o Valdir mostra o tubo de Pitot geralmente usado pelos companhia de saneamento, como por exemplo a SABESP.

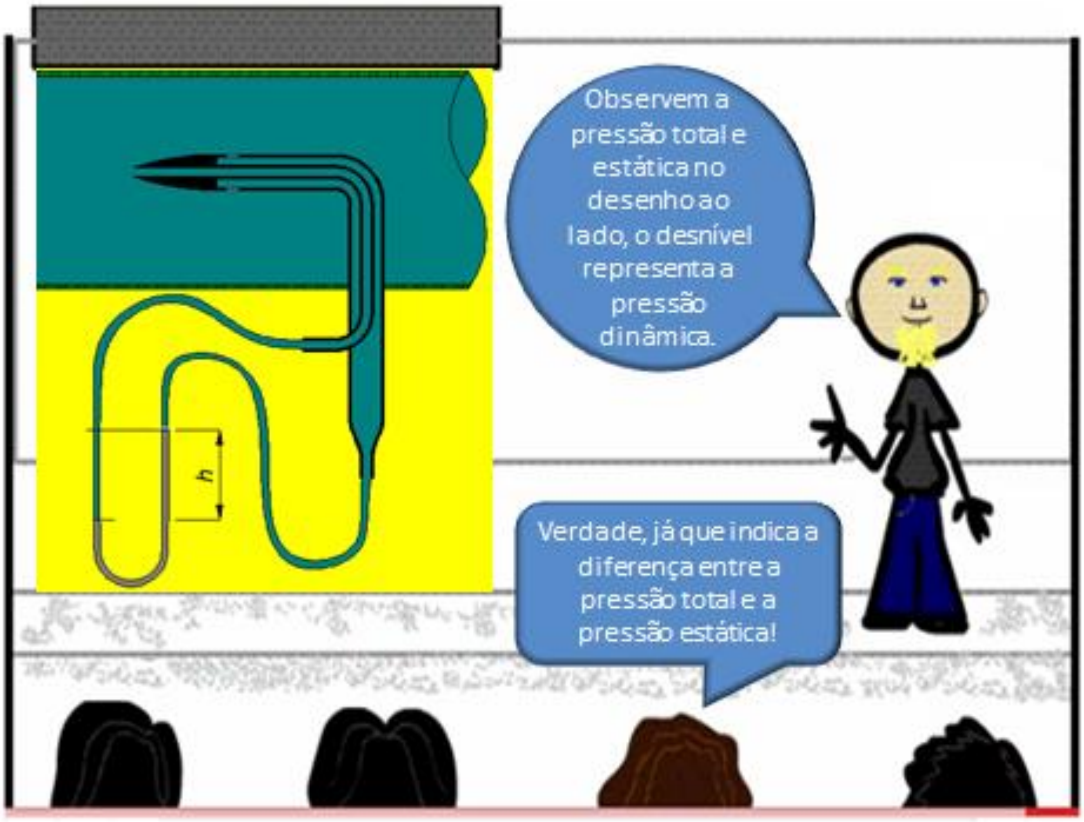
Tubo de Prandtl

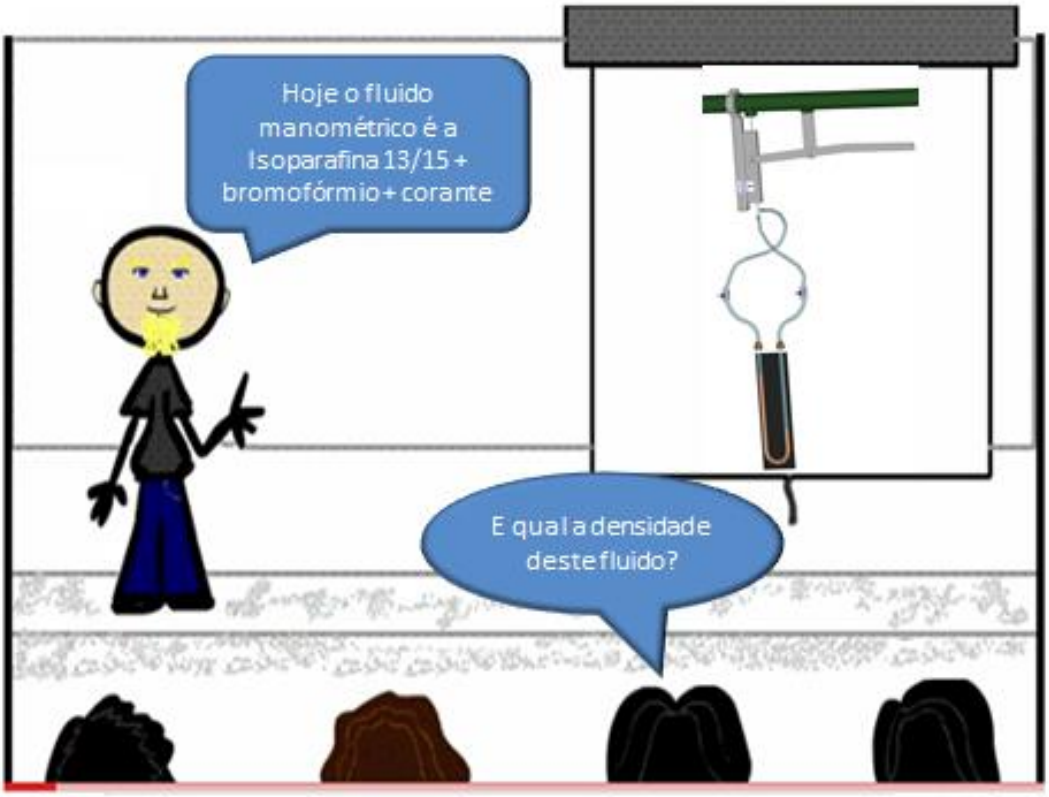
Consta de um tubo de Pitot unido a outro que o envolve, e possui uma aberturas que permitem medir a pressão estática. Vêm acoplados na extremidade de um manômetro que indica a diferença entre ambos; ou seja a pressão dinâmica.

Instalação do tubo de Pitot na bancada do laboratório, onde o manômetro diferencial em forma de U permite a determinação da pressão dinâmica, isto porque em um de seus ramos atua a pressão total e no outro a pressão estática


27 4 2005
leituras pressão
total e estática
pressão estática
Como êle é
internamente?
ponto de estagnação

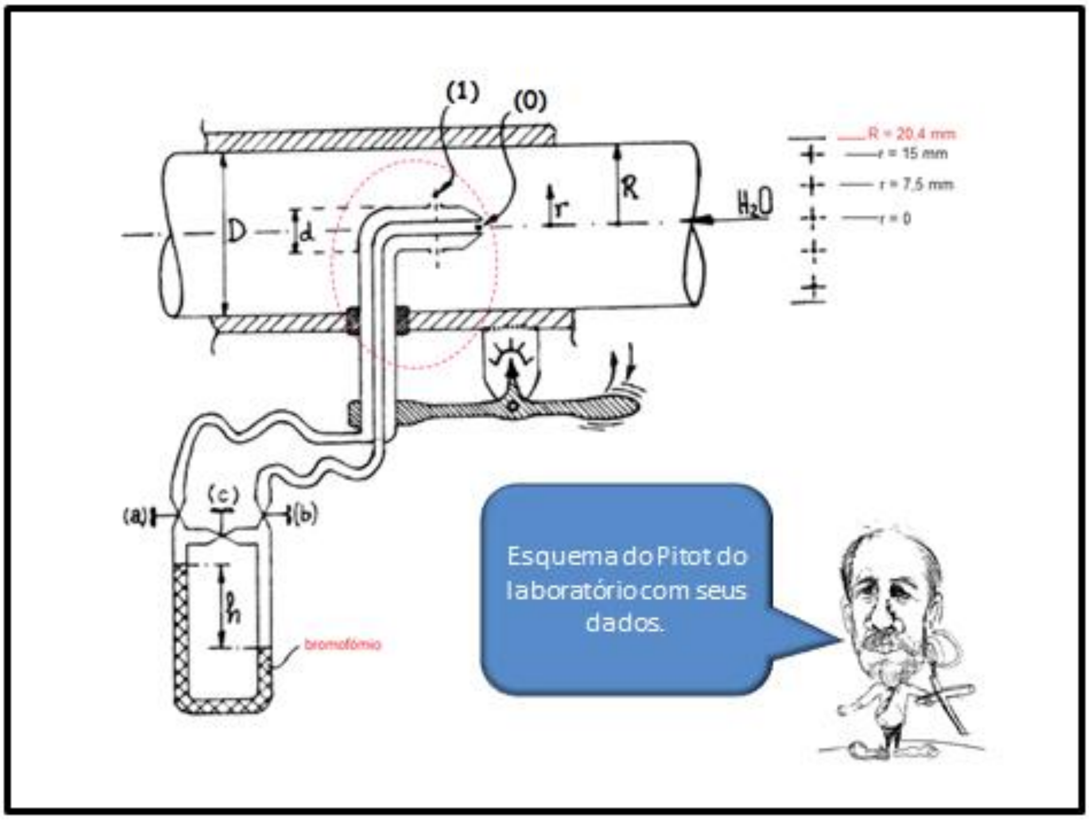

pressão total
pressão estática


h
Observem a pressão total e estática no desenho ao lado, o desnível representa a pressão dinâmica.
Verdade, já que indica a diferença entre a pressão total e a pressão estática!


Hoje o fluido manométrico é a Isoparafina 13/15 + bromofórmio + corante
E qual a densidade deste fluido?

Determinado no CLM no dia 27/09/2012 no densimetro digital marca: ANTON PAAR MOD: DMA4500

	Isoparafina 13/15 + bromofórmio + corante
Temperatura (^{0}C)	ρ (kg/m^3)
15	2890,98
20	2877,83
25	2864,75



Para qualquer Pitot:

como a distância entre as seções (0) e (1) é desprezível, podemos aplicar a equação da energia que se transforma na equação de Bernoulli já que para a situação a perda de carga é desprezível.

Através da equação de Bernoulli é possível a determinação da velocidade real referente ao ponto (1) como mostramos a seguir:

Equação de Bernoulli: $H_0 = H_1$

Portanto:

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

Como $Z_0 = Z_1$ e $v_0 = 0$ e ainda $p_0 - p_1 = p_d$

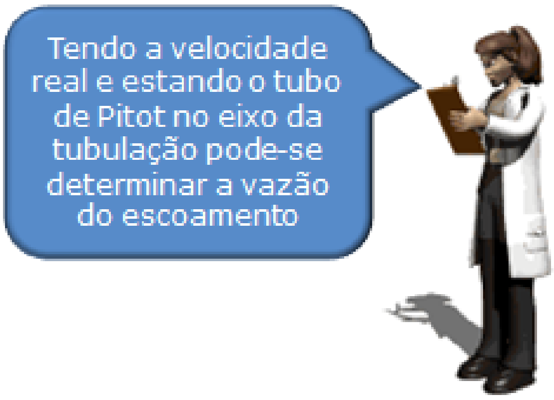
tem – se :

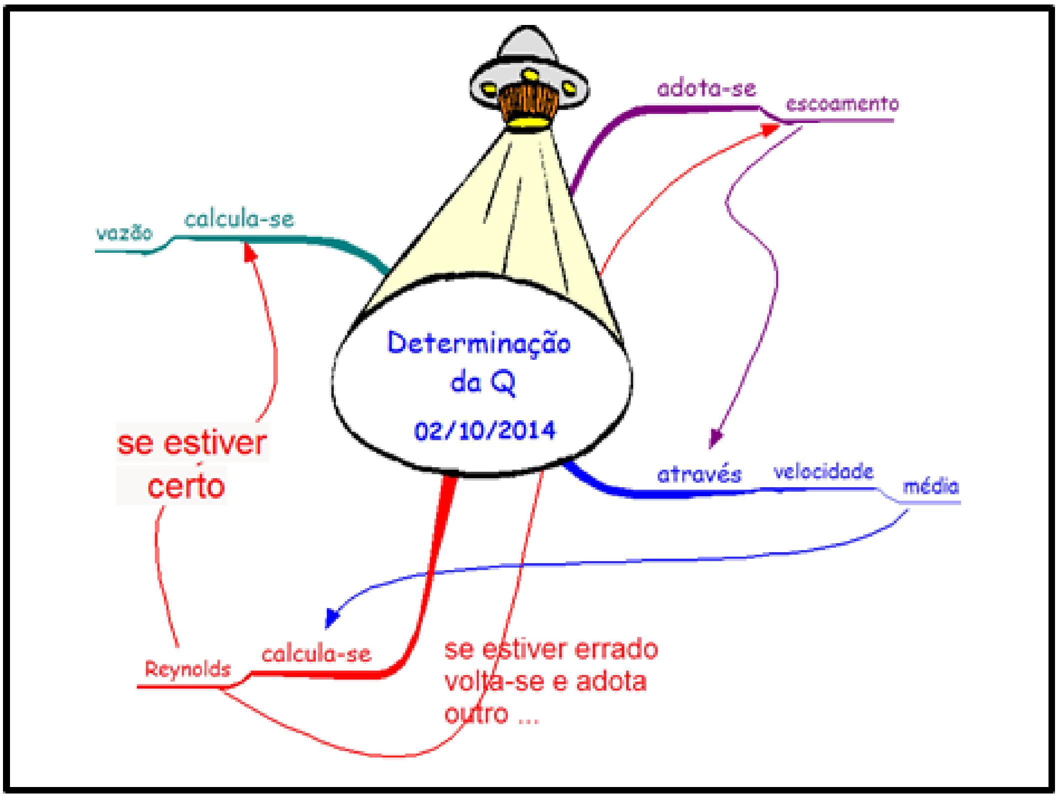
$$v_1 = \sqrt{2g \times \frac{p_d}{\gamma}}$$

Pela equação manométrica se tem:

$p_0 - p_1 = h \times (\gamma_m - \gamma)$, portanto:

$$v_{real} = \sqrt{2g \times \frac{(\gamma_m - \gamma)}{\gamma}} \times \sqrt{h}$$





Se o Pitot não estiver no eixo da tubulação

Adota-se o escoamento, por exemplo o turbulento, onde se sabe que:

$$v_{real} = v_{máx} \times \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7}$$

Tendo-se a velocidade real calcula-se a velocidade máxima e média:

$$v_{média} = \frac{49}{60} \times v_{máx}$$

Com a velocidade média verifica-se o Reynolds.

Se não for turbulento:

Repete-se o procedimento anterior adotando-se o escoamento laminar, onde se tem:

$$v_{real} = v_{máx} \times \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

$$v_{média} = \frac{v_{máx}}{2}$$

Para este relatório além da determinação da vazão pelo Pitot, que deve ser comparada com a obtida no tanque, peço as representações gráficas das velocidades reais em função do "r", tanto a experimental como a obtida pela expressão:

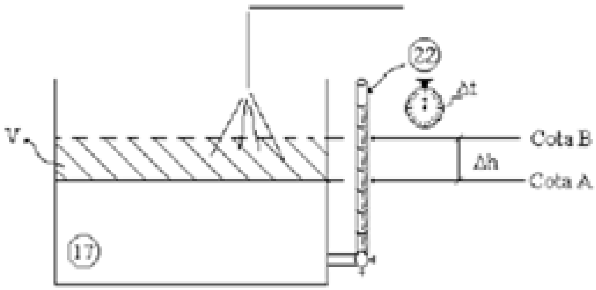
$$v_{real} = v_{máx} \times \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7} \quad \text{ou} \quad v_{real} = v_{máx} \times \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$


Obtenção
da Q pelo
tanque
25 8 2004


2 6 2004

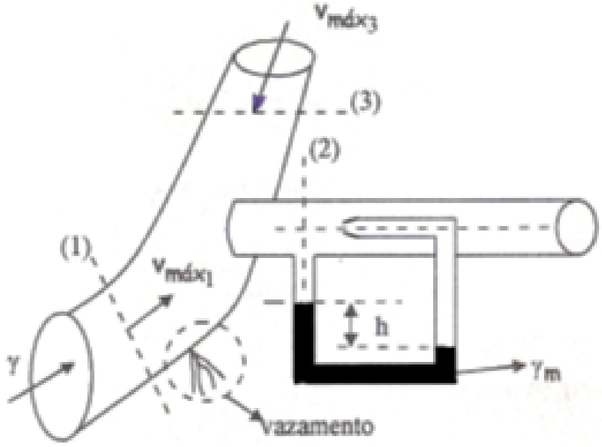
Determinação da vazão de forma direta

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} = \frac{V}{t}$$

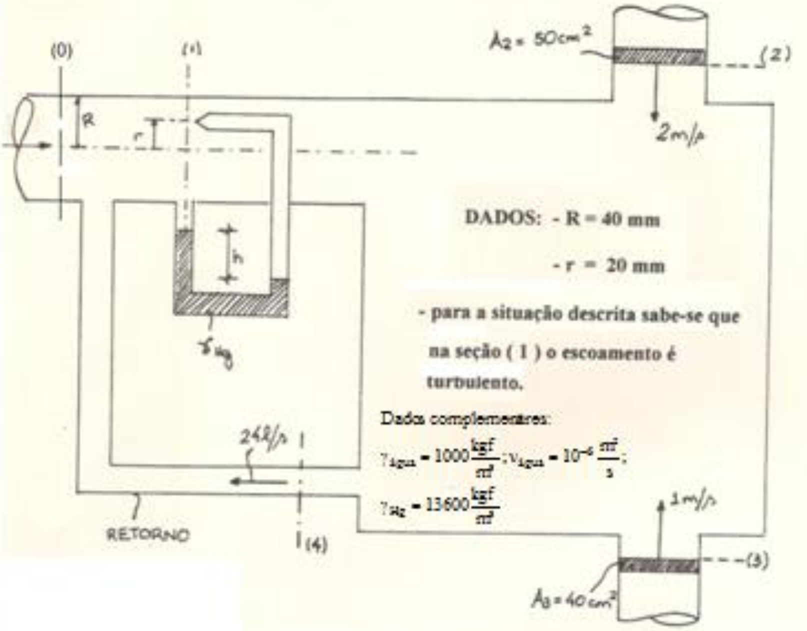


1. O engenheiro de manutenção constatou um vazamento em um trecho de uma dada instalação, como é esquematizado a seguir. Sabendo que o escoamento na seção (1) é laminar e que tem em (2) e (3) turbulento, pede-se determinar a vazão do vazamento.

Dados: nas seções (1), (2) e (3) se considera conduto forçado de seção circular, onde se tem $D_1 = 38{,}1$ mm; $D_2 = 15{,}6$ mm; $D_3 = 26{,}6$ mm; $v_{máx1} = 1$ m/s; $v_{máx3} = 2$ m/s; $h = 3{,}7$ cm; $\nu = 10^{-5}$ m²/s; $\gamma = 8500$ N/m³; $\gamma_m = 136000$ N/m³; $g = 9{,}8$ m/s²



2 Considerando o esquema abaixo pede-se determinar o desnível do fluido manométrico utilizado no manômetro diferencial acoplado ao tubo de Pitot e verificar se o sentido indicado para a seção (0) está correto.



DADOS: - R = 40 mm

- r = 20 mm

- para a situação descrita sabe-se que na seção (1) o escoamento é turbulento.

Dados complementares:

$\gamma_{água} = 1000 \frac{kgf}{m^3}$; $\nu_{água} = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$;

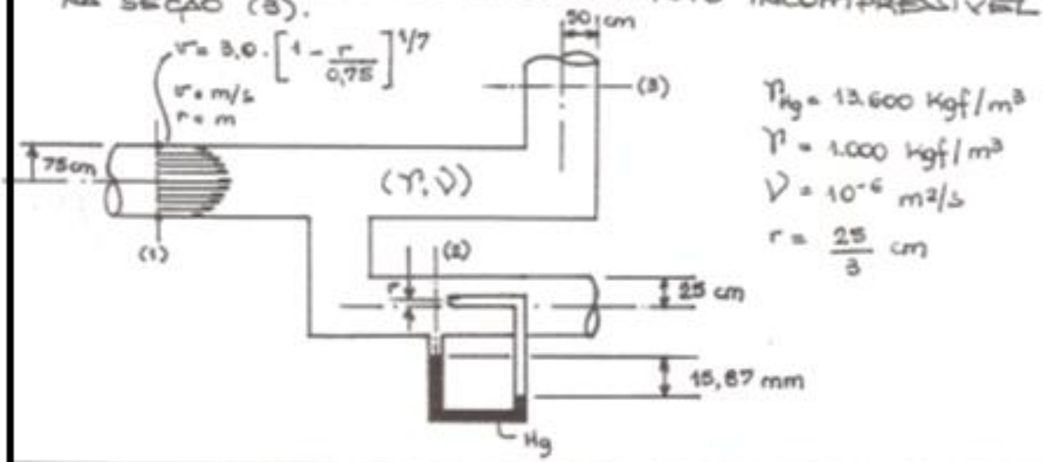
$\gamma_{Hg} = 13600 \frac{kgf}{m^3}$

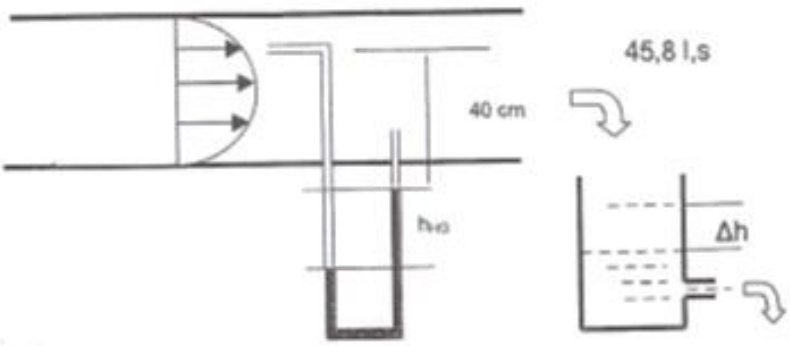
3ª QUESTÃO: O ESQUEMA A SEGUIR REPRESENTA UM TRECHO DE UMA INSTALAÇÃO HIDRÁULICA ONDE TODAS AS TUBULAÇÕES SÃO FORÇADAS E DE SEÇÃO TRANSVERSAL CIRCULAR. PEDE-SE:

(VALOR 2,5)

a) AS VAZÕES EM VOLUME NAS SEÇÕES (1), (2) E (3);

b) A CLASSIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO INCOMPRESSÍVEL NA SEÇÃO (3).





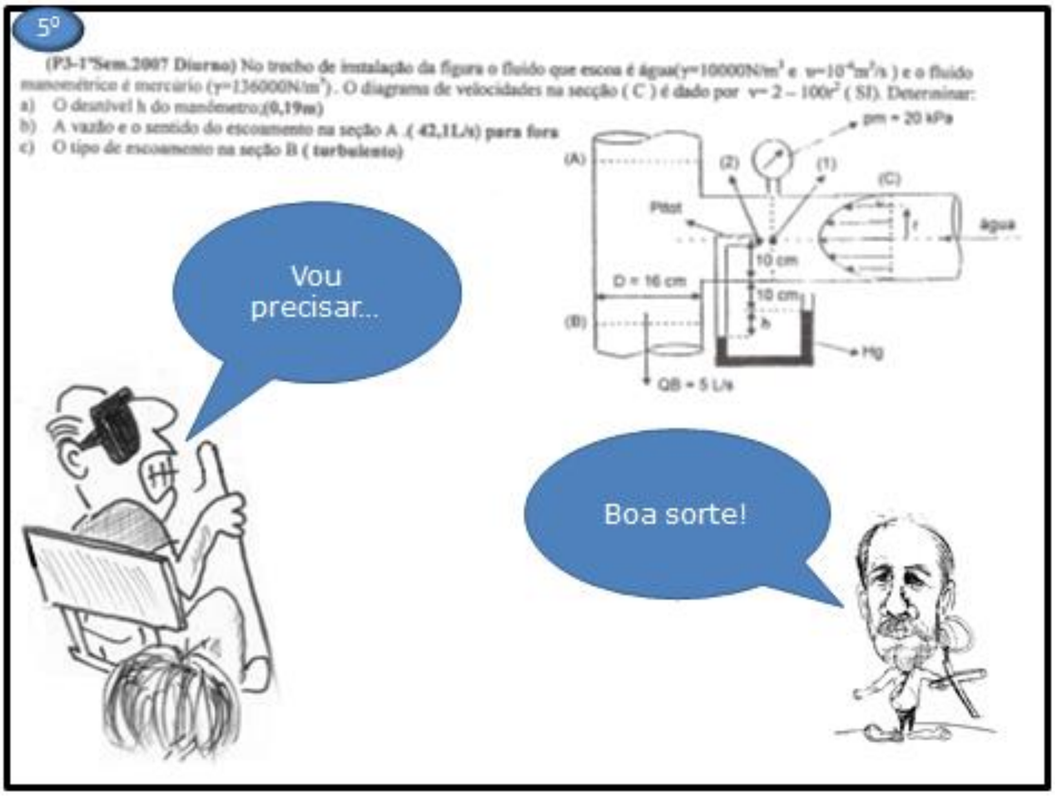
Quarta questão:

1 - Conhecendo a vazão de água que sai do tubo da figura (45,8 l/s), calcular o tempo necessário para que o nível água dentro do tanque suba 2,8 m. O tanque tem uma base de 2,6 m^2 e contem um tubo de 5 cm de diâmetro, por onde sai a água com a velocidade constante de 6 m/s.

2 - Sabendo que o tubo de Pitot da figura está colocado em um ponto distante 4 cm do eixo do tubo, calcular a velocidade da água neste ponto. Sabe-se que o regime é turbulento e que a vazão é de 45,8 l/s e que o diâmetro deste tubo é 10 cm.

3 - Conhecendo a pressão da água antes do tubo de Pitot P = 20 kPa, calcular a altura do mercúrio dentro do manômetro.

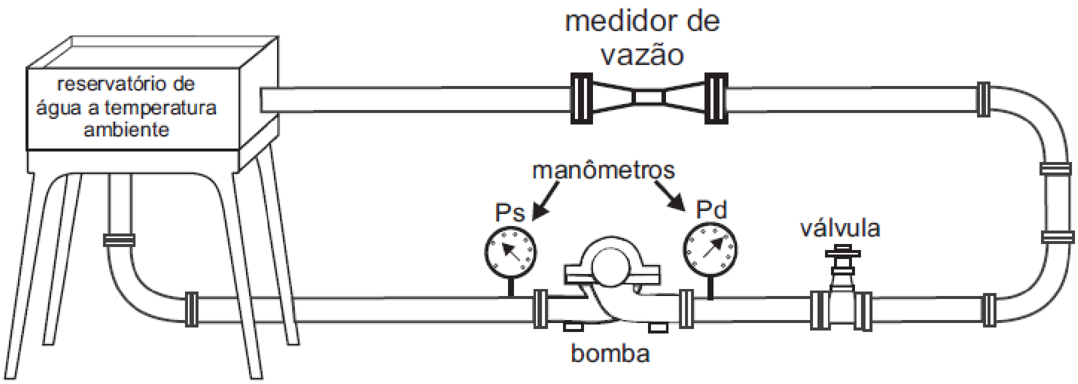
γ_{Hg} = 136.000 N/m³ γ_a = 10.000 N/m³



Gostaria de abordar um outro exemplo muito importante para os estudos relacionados com os escoamentos fluido e que a perda de carga não aparece na equação da energia aplicada a um escoamento incompressível e em regime permanente, ,e quando consideramos entrada e saída de uma máquina, isto porque a perda já é considerada no rendimento da máquina.

$$H_e + H_B = H_s \Rightarrow z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + H_B = z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g}$$

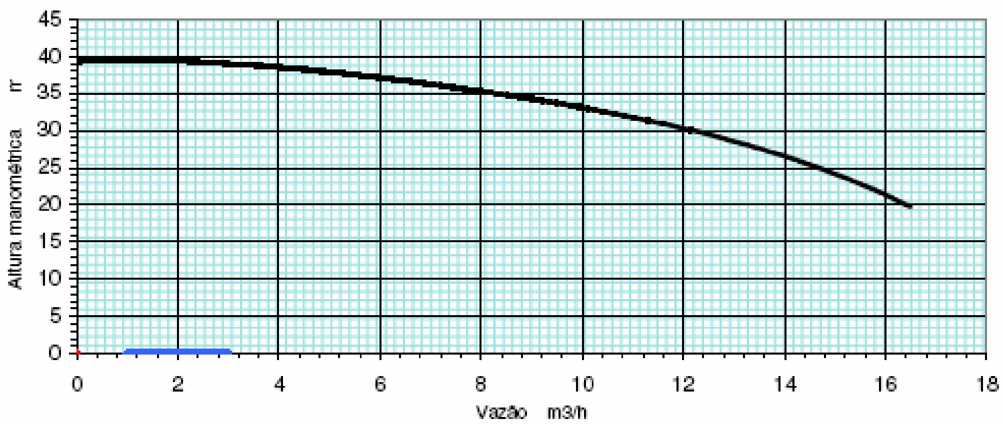
A equação anterior é fundamental para obtenção da curva $H_B = f(Q)$ que é fornecida pelo fabricante o qual ensaia a bomba em uma bancada similar a esquematizada a seguir.

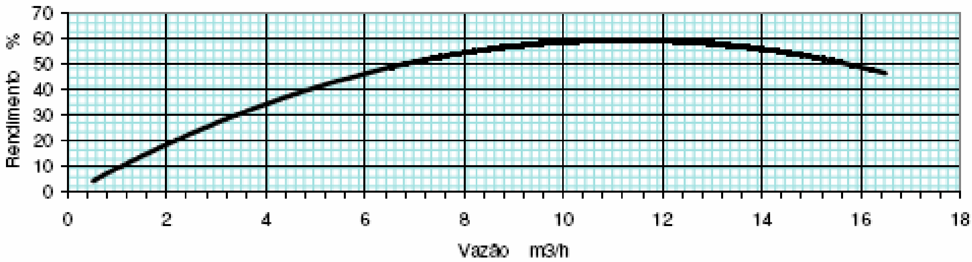


Através dos ensaios o fabricante obtém as curvas abaixo:

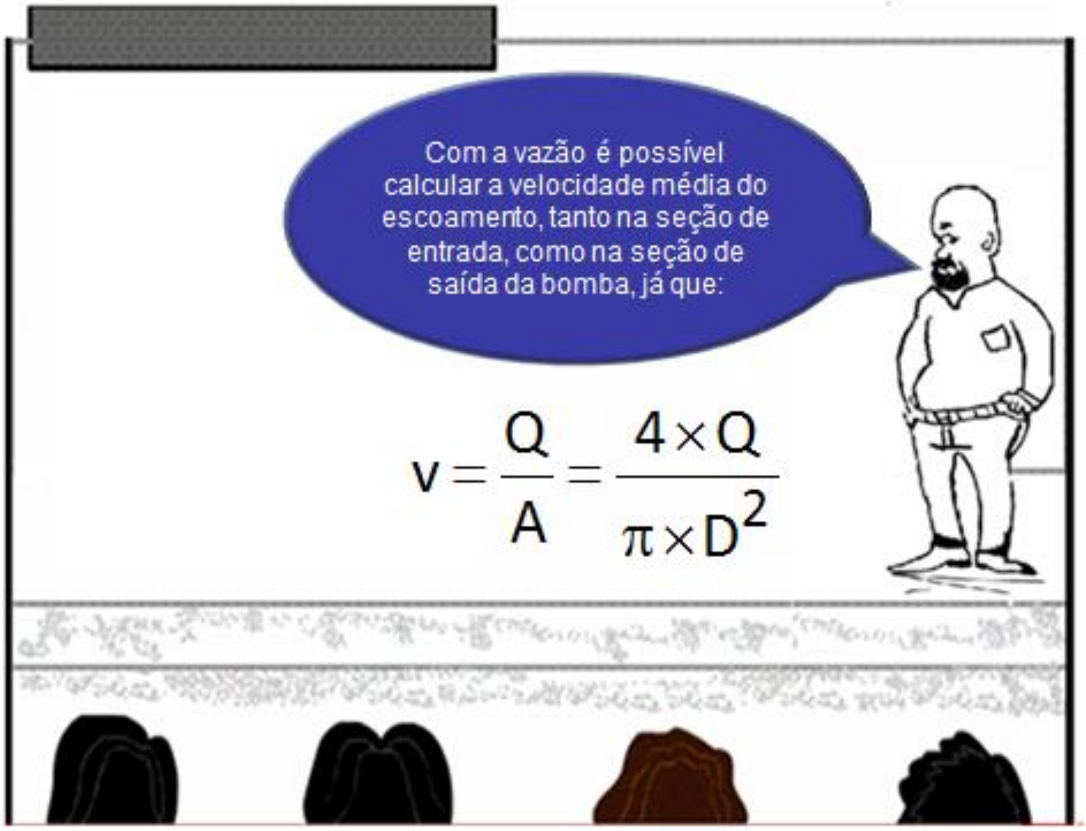
GRUNDFOS MARK	MARK GRUNDFOS LTDA.						
	Bomba Centrífuga Monoestágio						MODELO DF
Rotor	146	mm	Número de estágios	1	Sucção	Recalque	RPM
Ponto de trabalho					1.1/2"	1"	3.500
Q		Hm			Vedação	Roscas	Válido para água limpa a 20 C.
cv		%			Selo mecânico	BSP	

Testes e Aceitação conforme Norma ISO 9906:1999 Anexo A





Para obtenção das curvas anteriores inicialmente determinamos a vazão de forma direta.

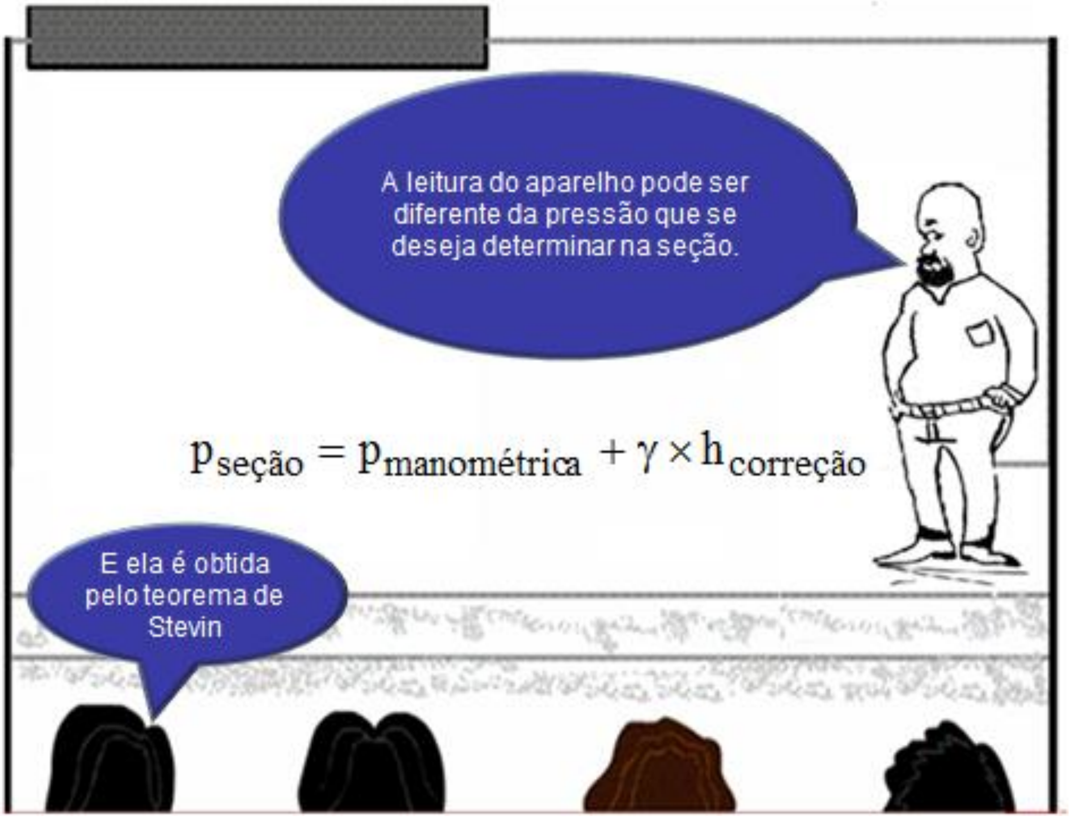

Com a vazão é possível calcular a velocidade média do escoamento, tanto na seção de entrada, como na seção de saída da bomba, já que:
$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$


Aí temos que determinar as cargas potenciais.
Se o mesmo for adotado no eixo da bomba, tem-se:
$Z_e = 0$
$Z_s =$ medido


Medindo os Z


Determinação das cargas de pressão através das leituras das pressões e para isto temos:
• vacuômetro (poderia ser também um manovacuômetro) na seção de entrada = pme;
• manômetro na seção de saída = pms

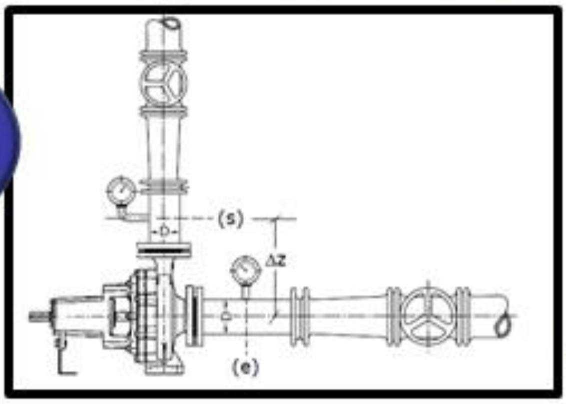
Cuidado $p_{ms} \neq p_s$


A leitura do aparelho pode ser diferente da pressão que se deseja determinar na seção.
$p_{seção} = p_{manométrica} + \gamma \times h_{correção}$
E ela é obtida pelo teorema de Stevin


Para a situação descrita ao lado temos:
$p_e = p_{me} + \gamma * h_e$
e $p_s = p_{ms}$


(s)
(e)


Já na situação ao lado ambas as pressões devem ser corrigidas!


(s)
Δz
D
(e)

14

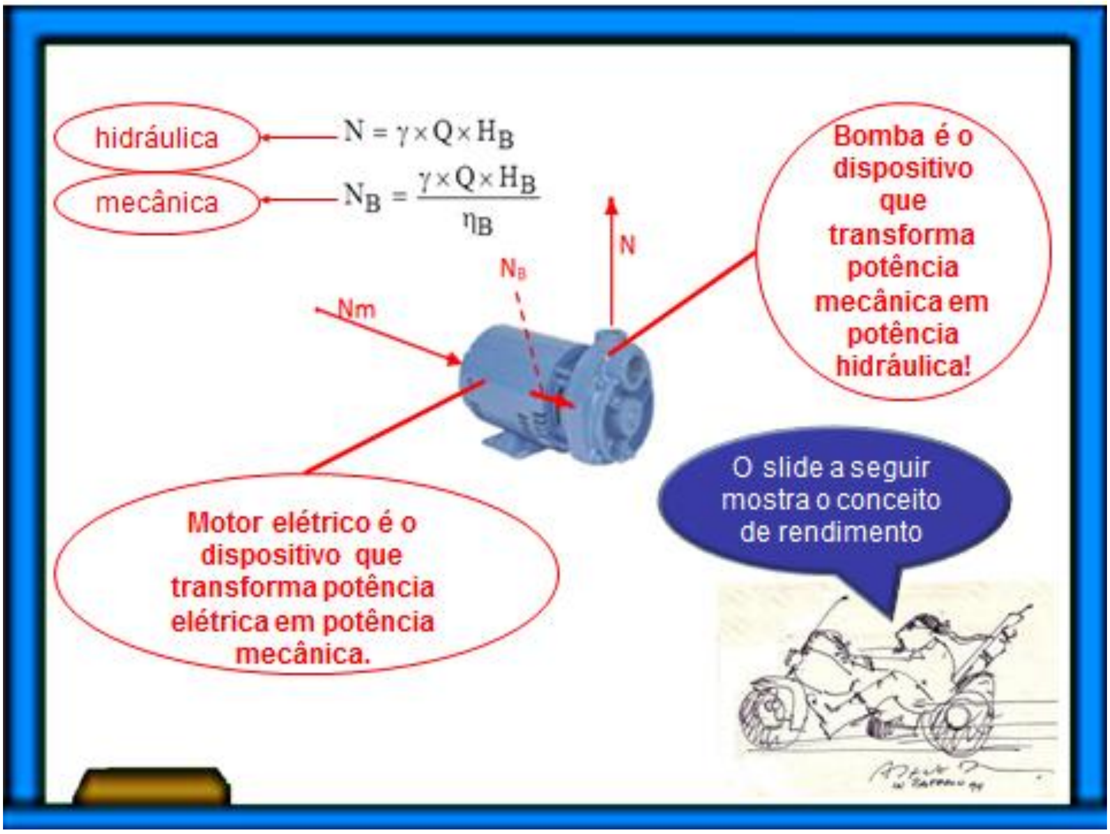
Portanto, temos H_B e a Q:

$$H_B = (Z_s - Z_e) + \left(\frac{p_s - p_e}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_s^2 - v_e^2}{2g}\right) \rightarrow Q = \frac{V}{t}$$

E aí podemos pensar em construir a curva de $H_B = f(Q)$

Importante ainda notar que nesta experiência **não** conseguimos obter o rendimento da bomba (η_B) e por este motivo iremos considerar o rendimento global e aí o nosso gráfico será o rendimento global em função da vazão ($\eta_{global} = f(Q)$)

No intuíto de eliminar dúvidas, vamos evocar alguns conceitos:



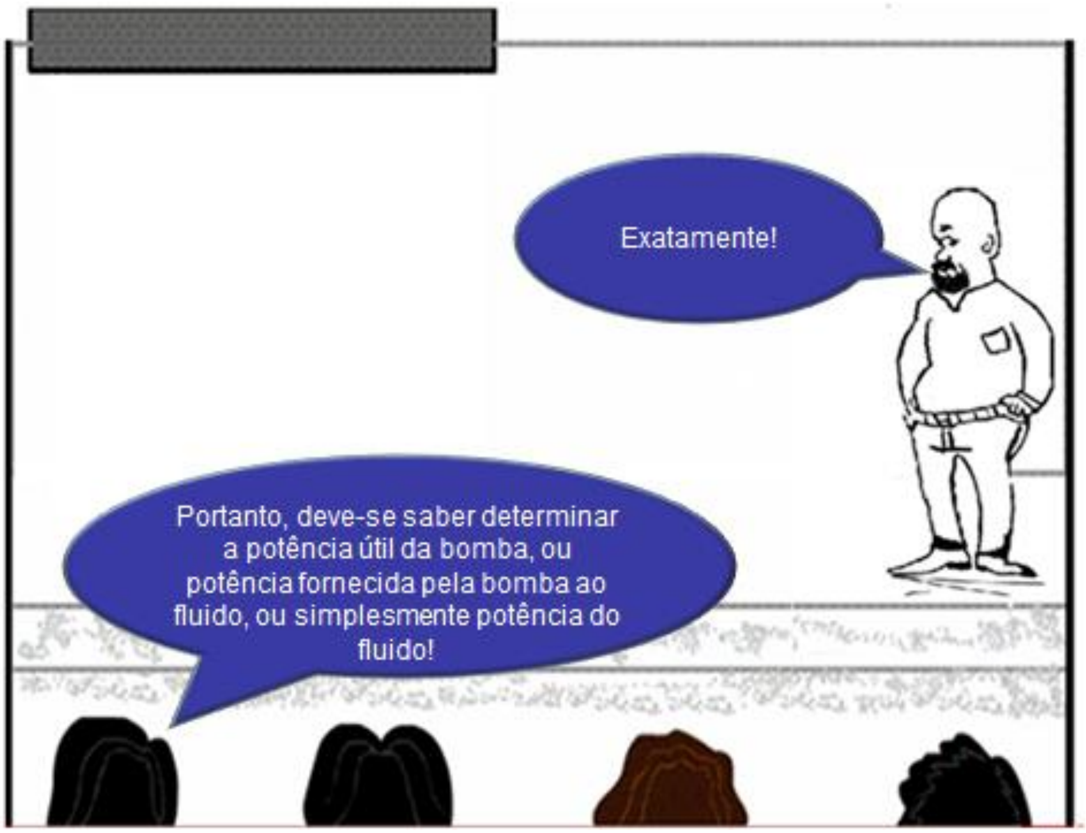
Conceito de rendimento:

$$\eta = \frac{\text{potência que saí}}{\text{potência que entra}}$$

$$\eta_{motor} = \frac{N_B}{N_m}$$

$$\eta_{bomba} = \eta_B = \frac{N}{N_B} = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{N_B}$$

$$\eta_{global} = \frac{N}{N_m} = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{N_m}$$



Determinação de N

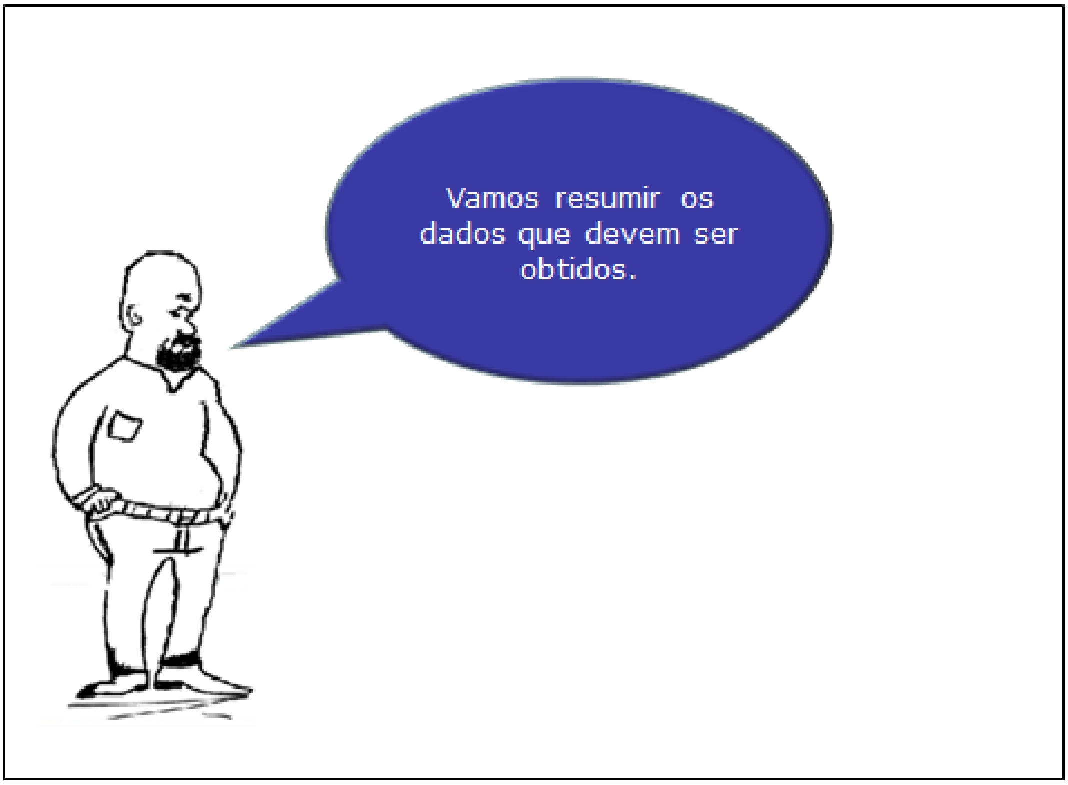
$$H_B = \frac{\text{energia fornecida pela bomba ao fluido}}{\text{peso do fluido}} = \frac{E}{G}$$

$$\therefore E = G \times H_B = \gamma \times V \times H_B$$

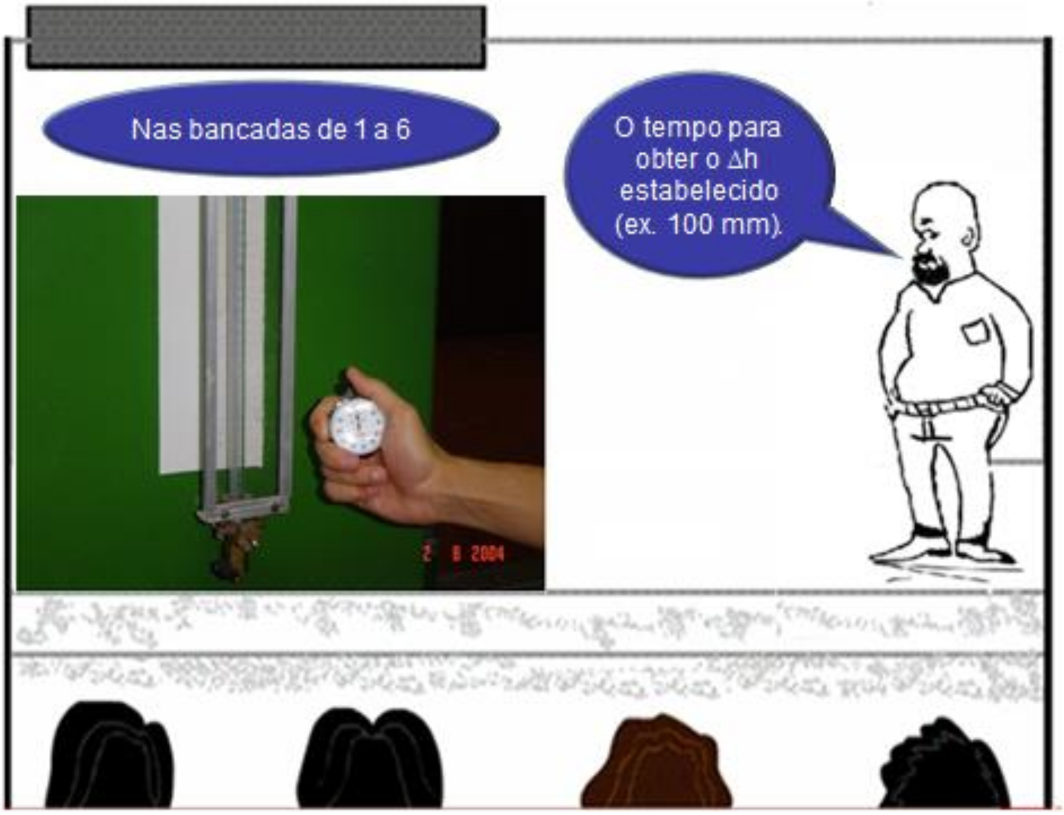
$$\frac{E}{t} = N = \frac{\gamma \times V \times H_B}{t} = \gamma \times Q \times H_B$$

$$\text{Se } [\gamma] = \frac{kgf}{m^3} \rightarrow [Q] = \frac{m^3}{s} \rightarrow [H_B] = m \therefore [N] = \frac{kgf \times m}{s}$$

$$1CV = 75\frac{kgf \times m}{s} = 75 \times 9{,}8\,\frac{N \times m}{s}(\text{ou } w) = \frac{75 \times 9{,}8}{1000} kw$$


Vamos resumir os dados que devem ser obtidos.


26 3 2008
As pressões manométricas de entrada e saída


Nas bancadas de 1 a 6
O tempo para obter o Δh estabelecido (ex. 100 mm).
2 8 2004


Bancadas 7 e 8
PRO 1000
Vazao instant.
10,74 m3/h
incontrol
MENU
ENTER


Para cada vazão, no intuíto da calcular o rendimento global, devemos também ler a potência consumida da rede pelo conjunto do motor e bomba através do wattímetro como mostrado ao lado.
8


Com as leituras anteriores, criamos a tabela de dados a seguir:

Tabela de dados para as bancadas de 1 a 6:

Ensaio	Pme (____)	he (mm)	Pms (_____)	hs (mm)	Δh (mm)	t (s)	n (rpm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

$\Delta z = z_s - z_e =$ ....$t_{água} =$ ......

$D_{int entrada} =$ ....$D_{int saida} =$ ....

$g =$ ....

Tabela de dados para as bancadas 7 e 8:

Ensaio	Pme (____)	he (mm)	Pms (_____)	hs (mm)	Q (m³/h)	n (rpm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

$\Delta z = z_s - z_e =$ ....$t_{água} =$ ......

$D_{int entrada} =$ ....$D_{int saida} =$ ....

$g =$ ....

Procurando ajudar nos estudos

Cálculos para obtenção da curva $H_B = f(Q)$

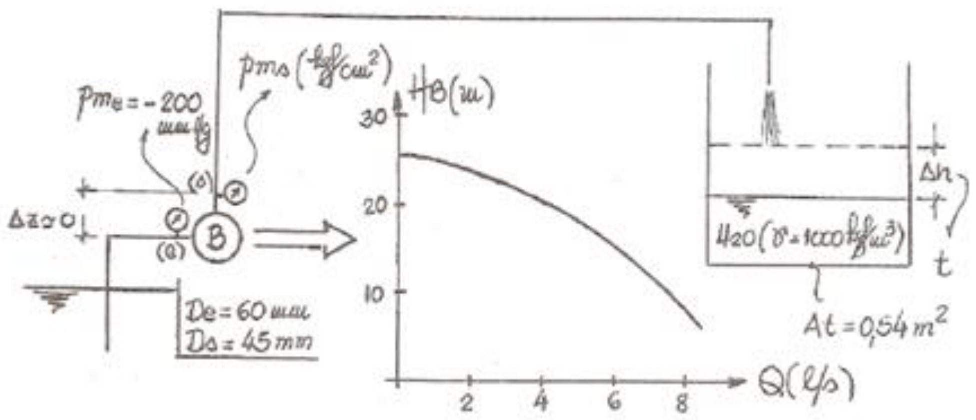
http://youtu.be/K5cpsoTrtuU

Experiência para obtenção da curva $H_B = f(Q)$

http://www.youtube.com/watch?v=5DIyg5X9-fk

2 Sabendo-se que o tempo cronometrado para um Δh= 15cm no tanque é 20s, determinar a leitura do manômetro de saída da bomba.

Resp.: p_{ms}= 1,71 kgf/ cm^2



Continuará no próximo semestre