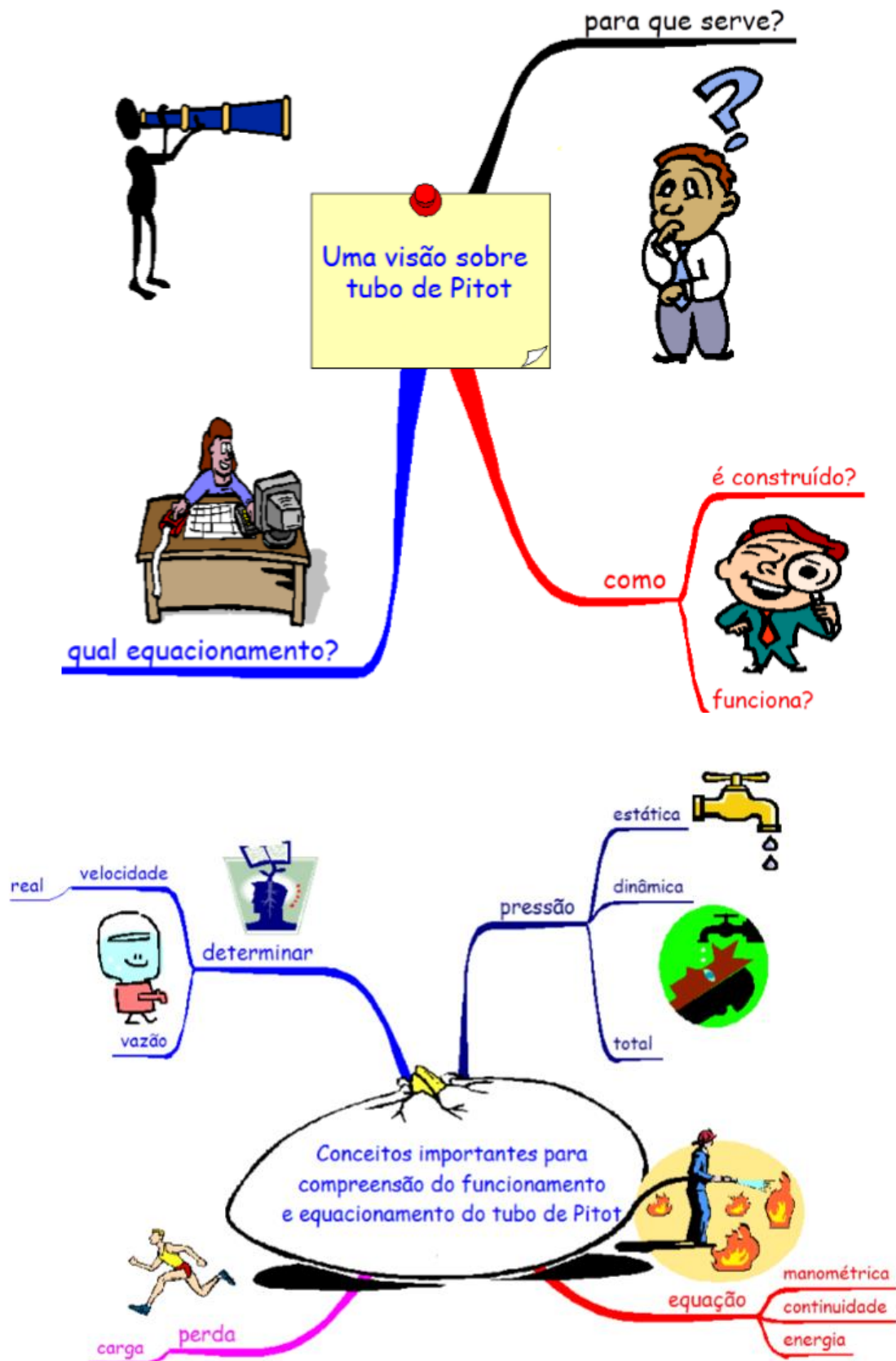


4.6. Experiência do tubo de Pitot



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

Na sua origem, poderia ser esquematizado como mostra a figura 33.

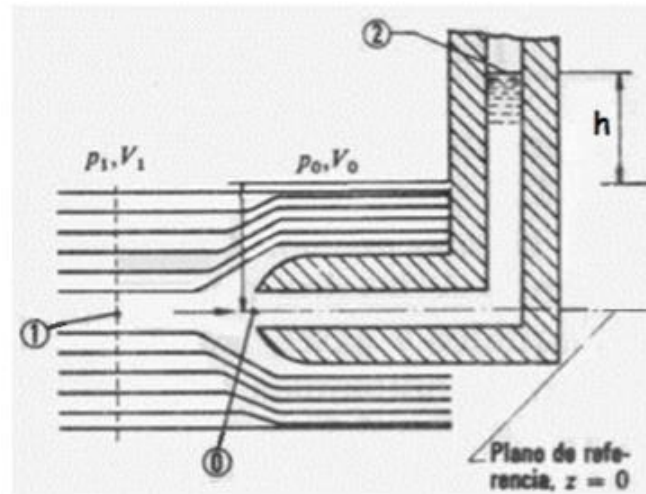


Figura 33 que foi extraída da página http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Pitot

Aplicando a equação de Bernoulli de (1) a (0), pois as seções estão muito próximas, resulta:

$$v_{\text{real}} = \sqrt{2gh} \quad \text{equação 36}$$

Importante saber que existem outros tipos de Pitot, como mostro a seguir:



Mais alguns exemplos em aviões



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

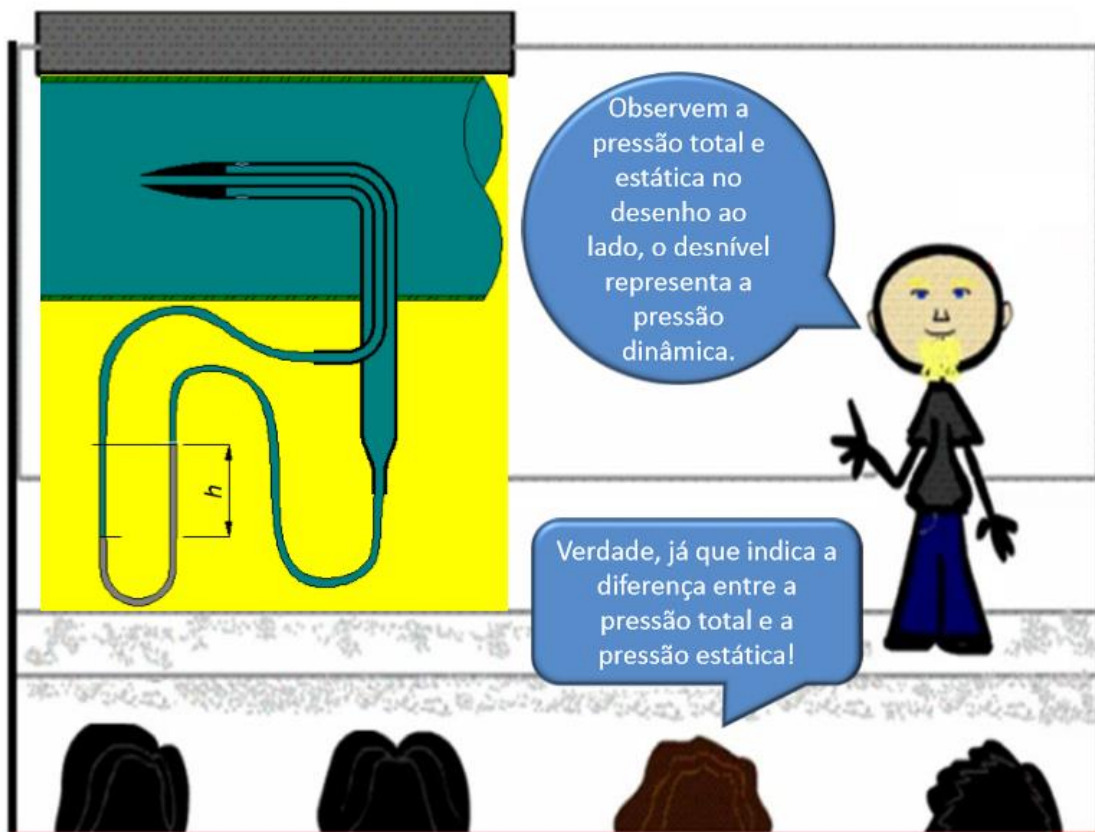
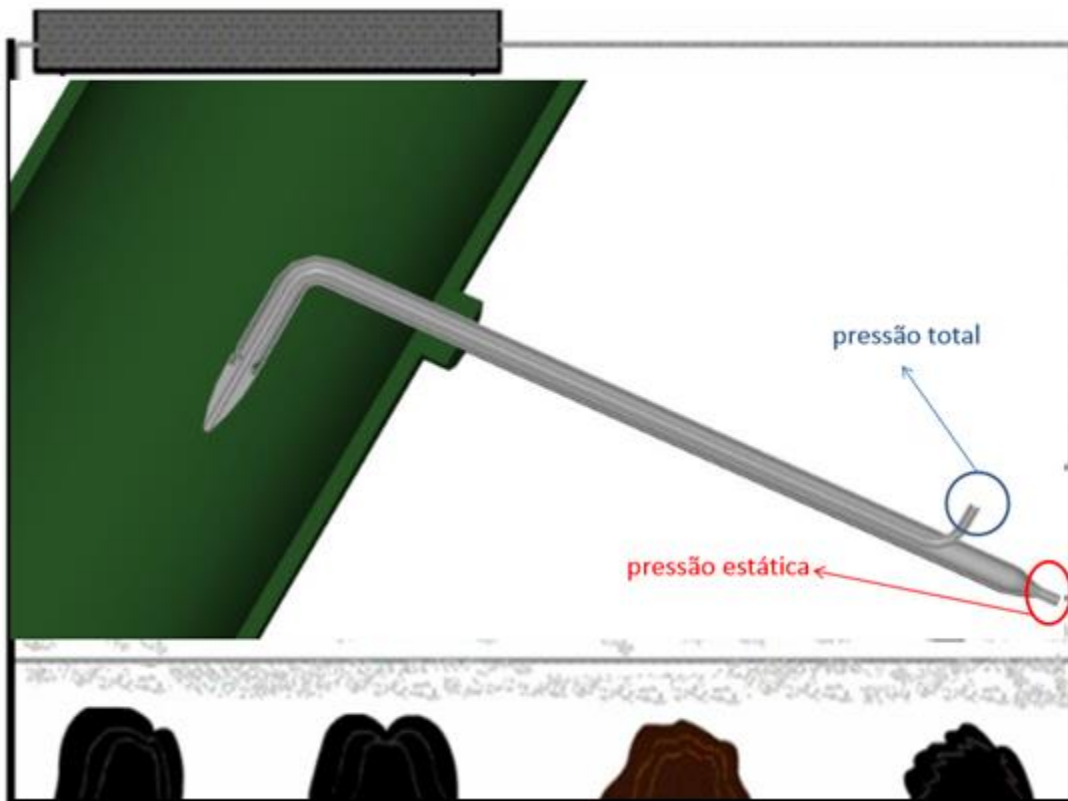


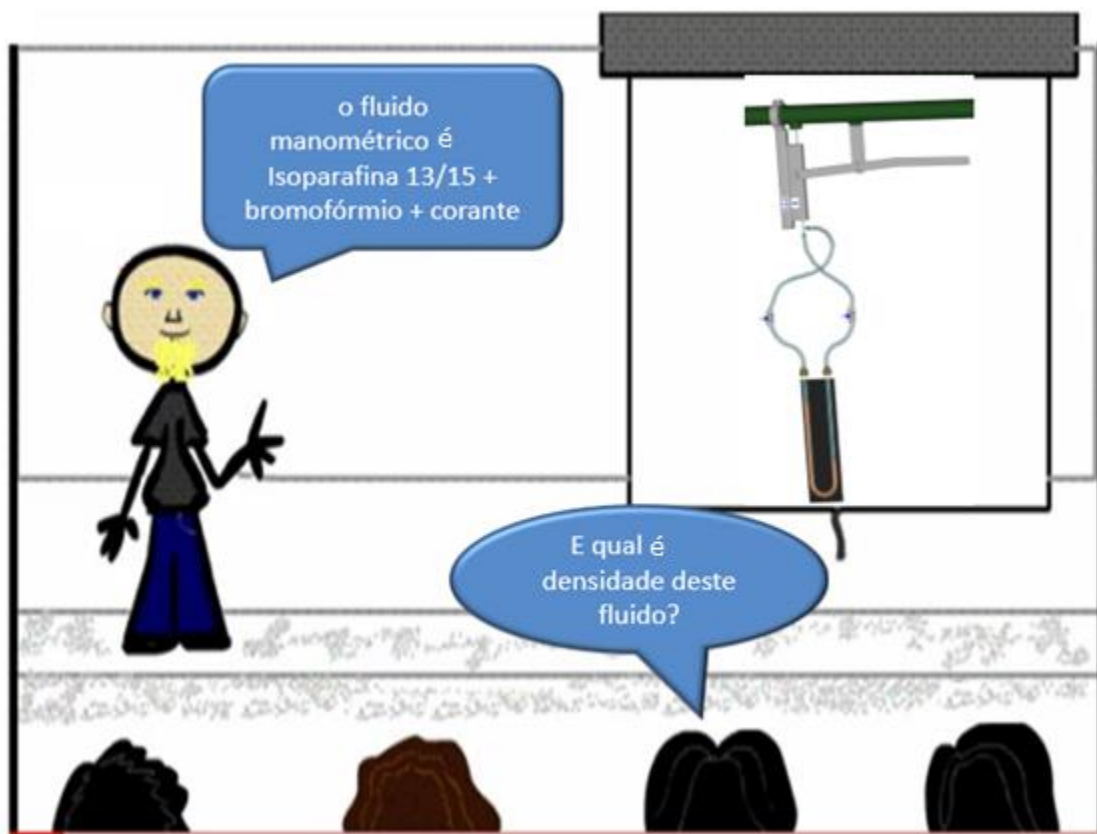
Já o Valdir mostra o tubo de Pitot geralmente usado pelas companhias de saneamento, como por exemplo a SABESP.



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

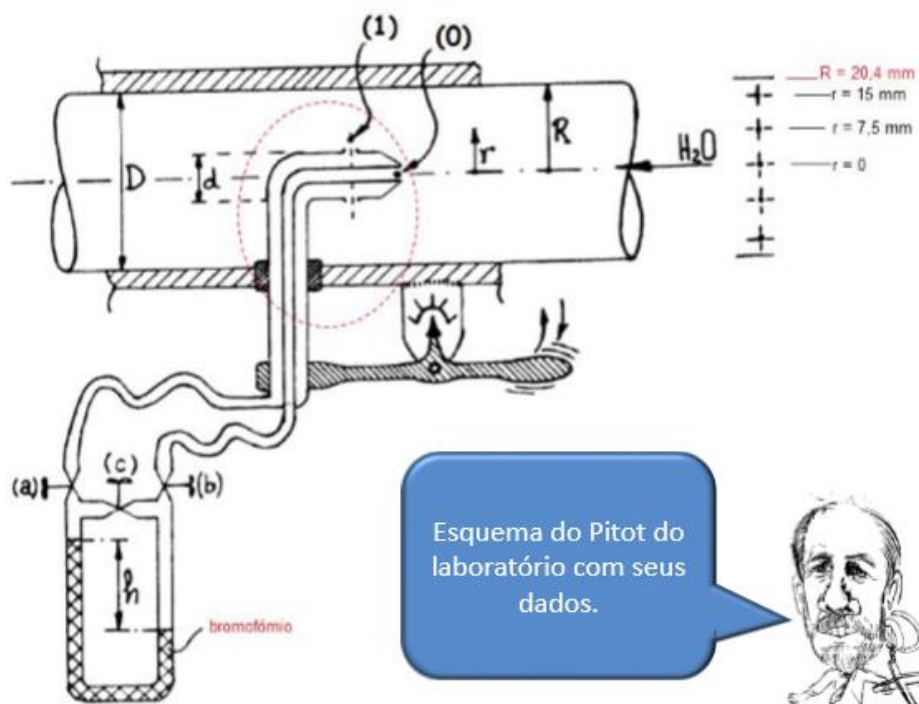




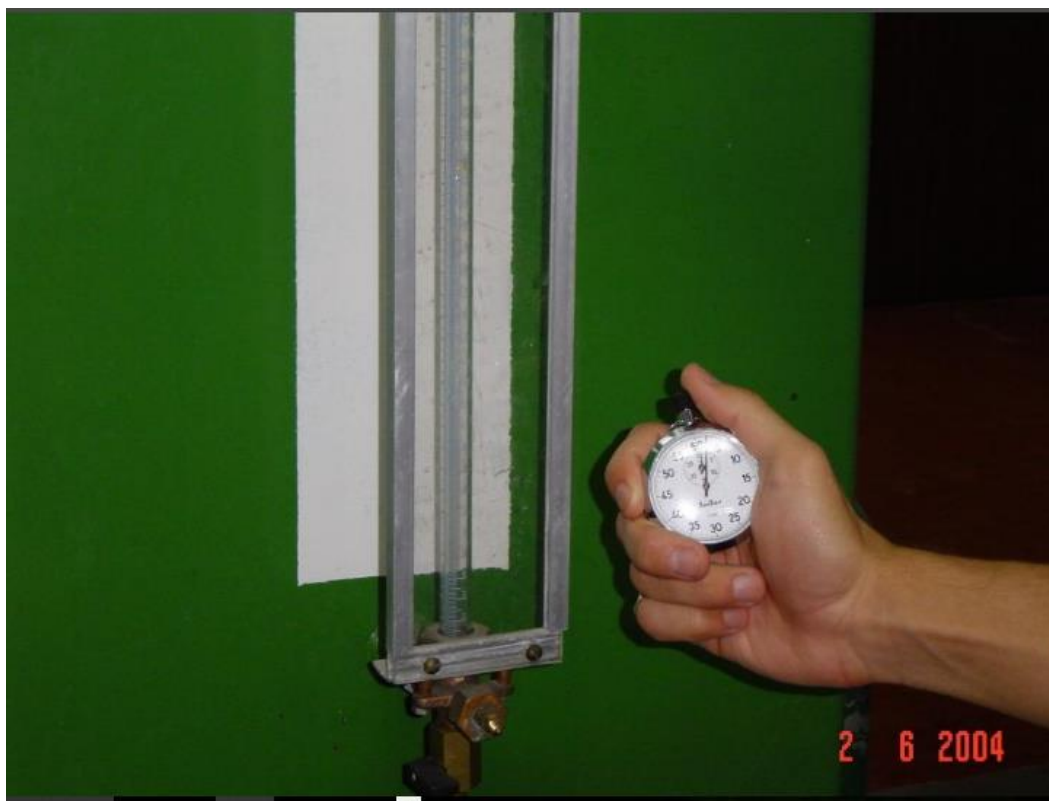


Ela tinha sido determinado no CLM no dia 27/09/2012 no densímetro digital marca: ANTON PAAR MOD: DMA4500

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

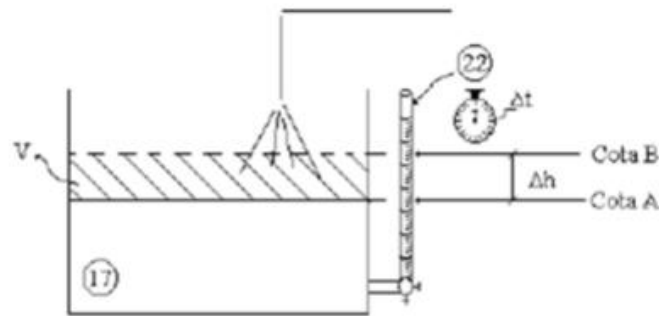


Através desta experiência, como os dados obtidos com o Pitot instalado no centro do tubo ($r = 0$), determine a vazão do escoamento, que deve ser comparada com a vazão obtida de forma direta, como pode ser visto a seguir:



Determinação da vazão de forma direta

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



Nesta experiência, além da determinação da vazão pelo Pitot, que deve ser comparada com a obtida no tanque, você deve comparar as velocidades reais obtidas em função do “r” experimentalmente com as obtidas por uma das expressões a seguir:

$$v_{\text{real}} = v_{\text{máx}} \times \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{1/7} \Rightarrow \text{para o escoamento turbulento, e}$$

$$v_{\text{real}} = v_{\text{máx}} \times \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \text{ para o escoamento laminar.}$$

Importante a expressão que será usada é escolhida através do número de Reynolds, calculado através da **vazão real**, a obtida de forma direta; a **velocidade máxima**, utilizada nas expressões acima, deve ser obtida com a mesma através da **vazão real**, como mostro a seguir:

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = v \times A = v \times 13,1 \times 10^{-4} \therefore v = v_{\text{média}} = \frac{Q}{13,1 \times 10^{-4}} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Re} = \frac{v \times D_H}{\nu} = \frac{v \times 0,0408}{10^{-6}}$$

$$\text{la min ar} \Rightarrow v_{\text{máx}} = 2 \times v_{\text{média}} ; \text{turbulento} \Rightarrow v_{\text{máx}} = \frac{60}{49} \times v_{\text{média}}$$

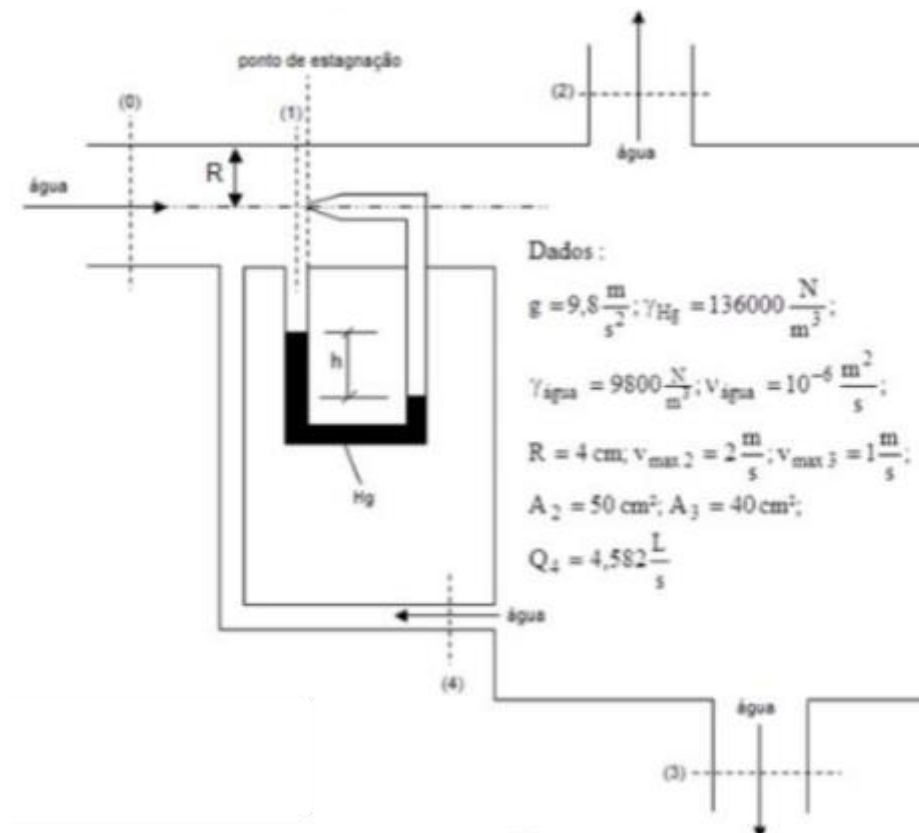
Importante: os objetivos desta experiência, o seu equacionamento e os dados para levantados, podem ser vistos no meu canal do YouTube: Alemão MecFlu Resolve, respectivamente nos endereços:

<https://www.youtube.com/watch?v=hvLSFU7XtQQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=h8wRalpVsUU>

<https://www.youtube.com/watch?v=FGAP2I2pm-M>

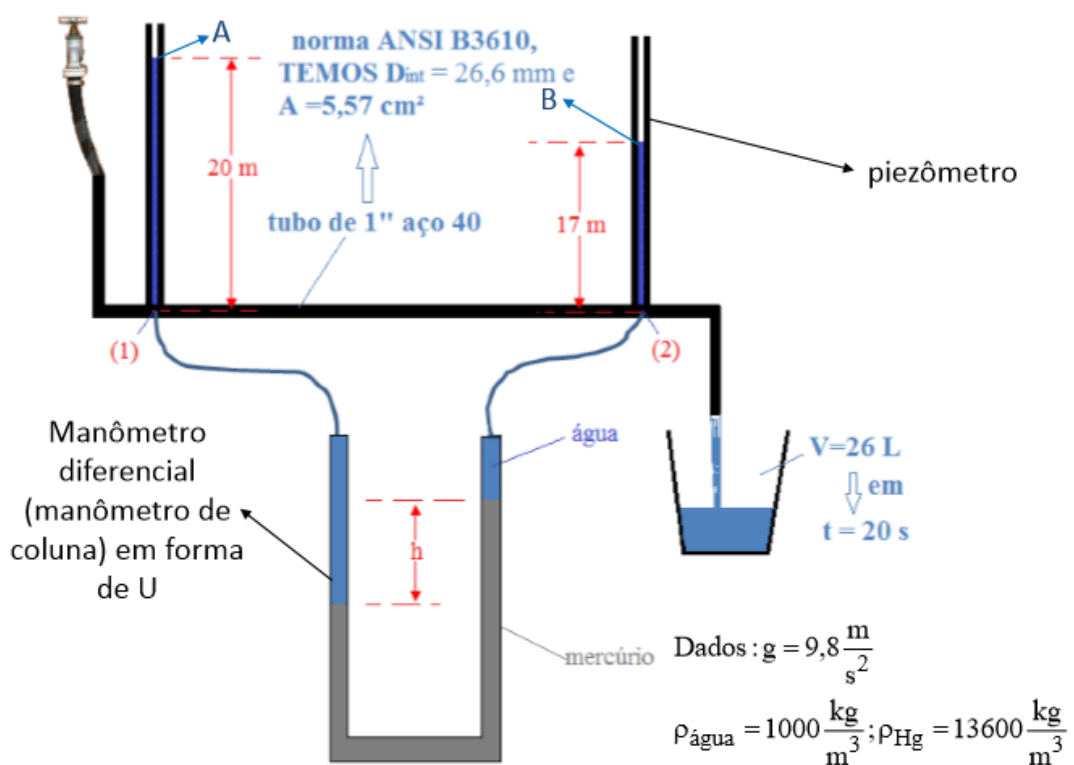
Exercício 69: Considere o esquema a seguir e determine o desnível do fluido manométrico utilizado no manômetro diferencial acoplado ao tubo de Pitot e a vazão na seção (0), sabendo que o escoamento é turbulento em todas as seções.



4.7. Equação da energia para um escoamento incompressível, em regime permanente e em trecho sem máquina hidráulica

Vamos retornar ao exercício 61, porém, considerando que as seções não se encontram próximas e onde ocorre o escoamento de um fluido real, ou seja aquele que a viscosidade é diferente de zero (exercício 70).

Exercício 70: Considerando o trecho da instalação representado abaixo, pede-se comparar a carga total em (1) com a carga total em (2).



Como a carga total em uma seção do escoamento incompressível e em regime permanente é calculada por: $H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$, é necessário adotar um plano horizontal de referência (PHR) e determinar a vazão do escoamento, que pode ser obtida de forma direta, ou seja, dividindo-se o volume coletado pelo tempo da coleta:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{26}{20} = 1,3 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 1,3 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

O PHR sendo adotado no eixo da tubulação que contém as seções (1) e (2), resulta em considerar: $z_1 = z_2 = 0$.

Com a vazão, calculamos a velocidade média do escoamento, que para o exercício, como a área da tubulação é constante, será igual nas seções (1) e (2), portanto:

$$v_1 = v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{1,3 \times 10^{-3}}{5,57 \times 10^{-4}} \cong 2,334 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Conhecida a carga potencial de posição (z), a carga potencial de pressão (p/γ) e como calcula-se a carga cinética ($v^2/2g$), obtém-se a carga total na seção (1) e (2):

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = 0 + 20 + \frac{2,334^2}{2 \times 9,8} \cong 20,28\text{m}$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = 0 + 17 + \frac{2,334^2}{2 \times 9,8} \cong 17,28\text{m}$$



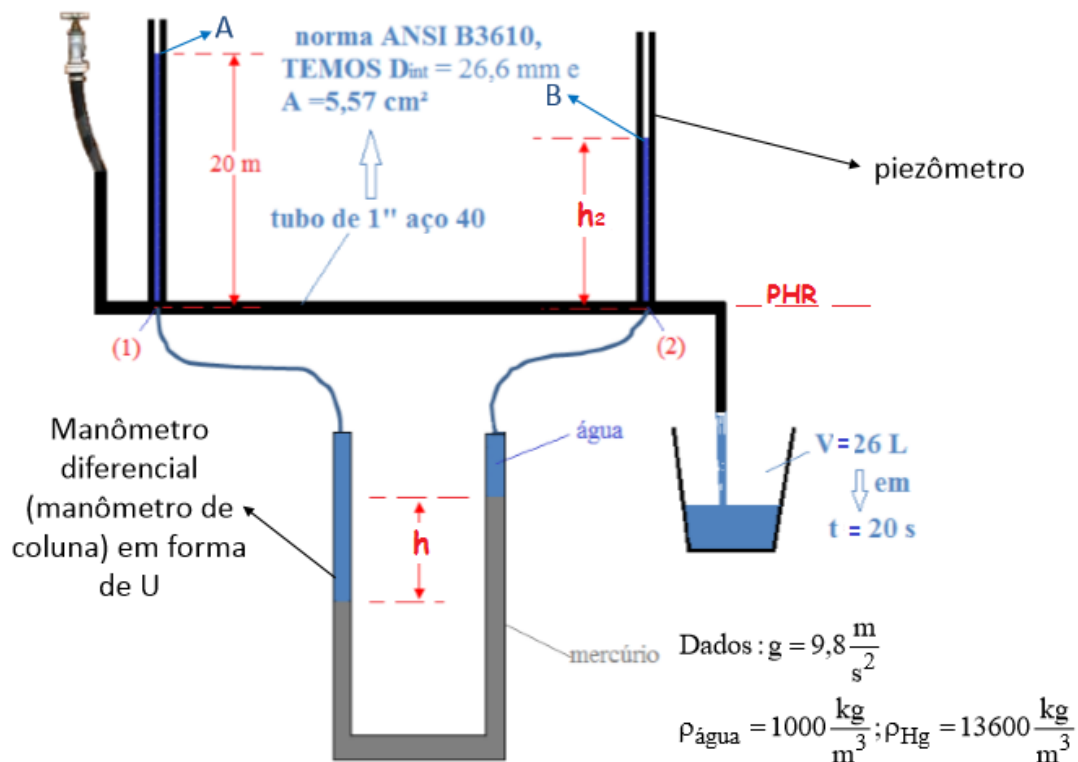
Como o escoamento é de um fluido real, viscosidade diferente de zero, existe no sentido de escoamento uma dissipação de energia, que considerada por unidade de peso é denominada de perda de carga, representada por H_p , portanto, o balanço de cargas, entre as seções (1) e (2), representa a equação da energia para um escoamento incompressível e em regime permanente (equações 37 e 38).

$$H_{\text{inicial}} = H_{\text{final}} + H_{p_{i-f}} \quad \text{equação 37}$$

$$z_{\text{inicial}} + \frac{p_{\text{inicial}}}{\gamma} + \frac{v_{\text{inicial}}^2}{2g} = z_{\text{final}} + \frac{p_{\text{final}}}{\gamma} + \frac{v_{\text{final}}^2}{2g} + H_{p_{i-f}} \quad \text{equação 38}$$

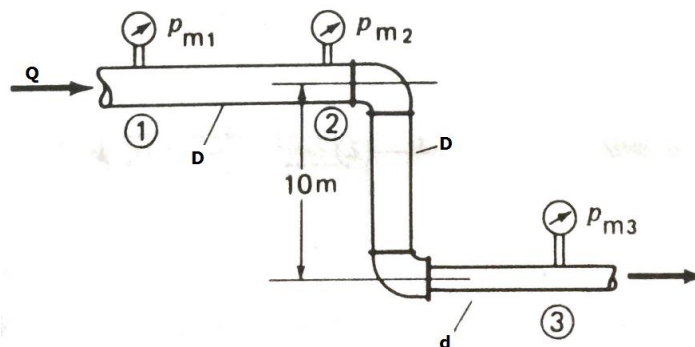
Importante: em um trecho sem máquina o fluido sempre escoar da maior carga para a menor carga e a diferença entre elas é a perda de carga no trecho considerado.

Exercício 71: Sabendo que a perda de carga no escoamento de (1) para (2) é 3 m, pede-se determinar a carga de pressão h_2 e o desnível h .



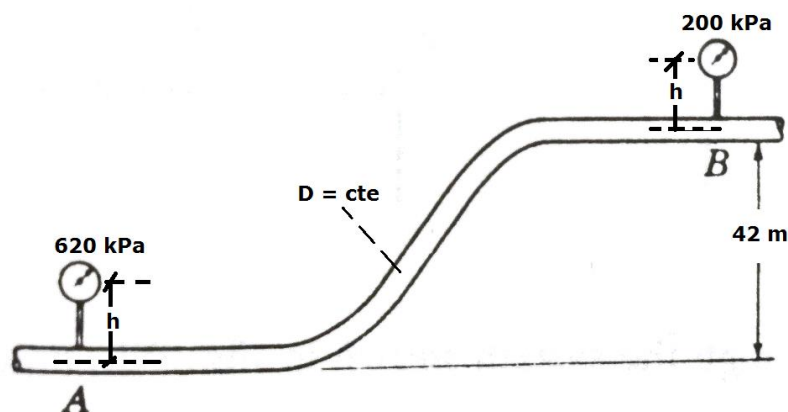
Exercício 72: Água escoar através de um tubo com uma vazão de 4 L/s. Se as pressões manométricas p_{m1} , p_{m2} e p_{m3} são respectivamente 13,8 kPa, 12,3 kPa e 10,8 kPa, calcule a perda de carga nos trechos de (1) a (2); de (2) a (3) e de (1) a (3).

Dados: $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; e os diâmetros internos das tubulações $D = 52,5 \text{ mm}$ e $d = 26,6 \text{ mm}$.



Exercício 73: Para o trecho esquematizado a seguir, pede-se determinar a perda de carga entre as seções representadas no mesmo.

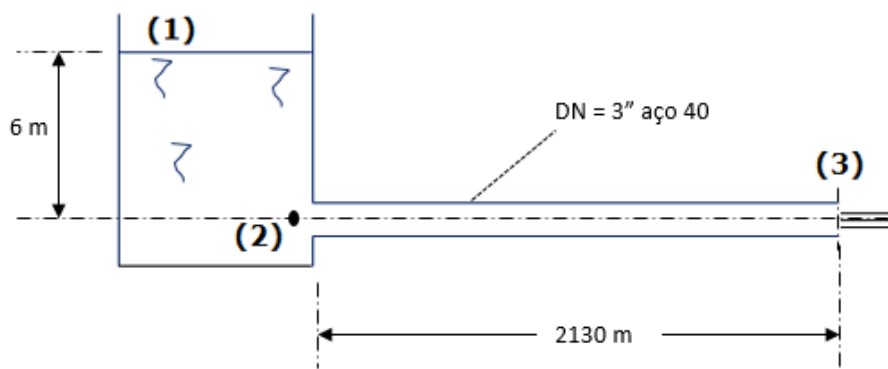
Dados: tubulação de diâmetro constante; peso específico do fluido que escoar igual a 7840 N/m^3 .



Exercício 74: Um reservatório de grandes dimensões é utilizado para armazenar óleo que é transportado por um tubo de aço 40 de diâmetro nominal de 3" ($D_{int} = 77,9 \text{ mm}$ e $A = 47,7 \text{ cm}^2$) e comprimento de 2130 m. Sabendo que o escoamento é laminar e origina uma perda de carga de 3,0 m, pede-se:

- especificar a pressão no ponto (2) que se encontra no interior do reservatório;
- a velocidade média na saída da tubulação (v_3).

Dados: peso específico do fluido que escoar igual a 7840 N/m^3 .



4.8. Coeficiente de Coriolis

Este coeficiente adimensional, geralmente representado por α , é introduzido para corrigir a carga cinética, isto pelo fato da mesma ser calculada pela velocidade média do escoamento, e como o diagrama de velocidades não é uniforme na seção, como mostra a figura 34, onde o escoamento é laminar, e a figura 35, onde o escoamento é turbulento, o cálculo pode não ser preciso.

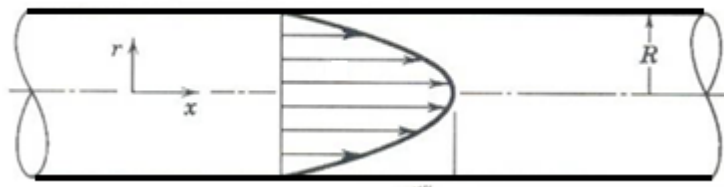


Figura 34

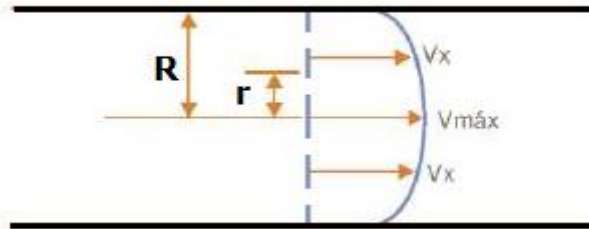


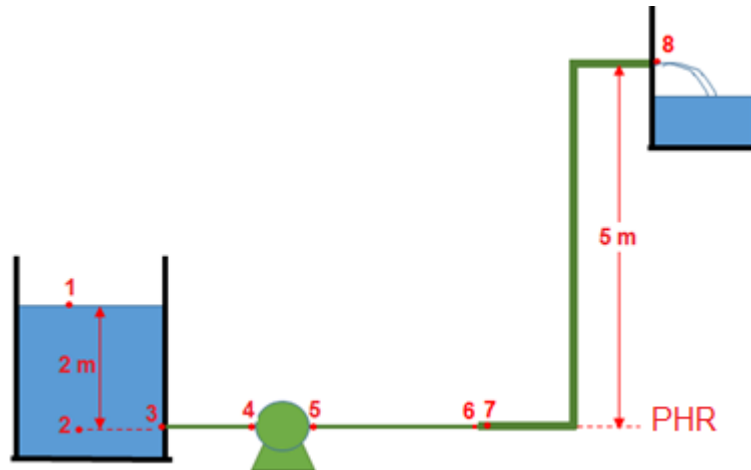
Figura 35

Para o escoamento laminar, $Re \leq 2000$ temos $\alpha = 2$, portanto: $\frac{\alpha \times v^2}{2g} = \frac{v^2}{g}$.

Já para o escoamento turbulento, $Re \geq 4000$, apesar do α variar de 1,05 a 1,11, geralmente é adotado como sendo aproximadamente igual a 1,0, portanto:

$$\frac{\alpha \times v^2}{2g} \cong \frac{v^2}{2g}.$$

Exercício 75: Na linha abaixo esquematizada deverão circular $15 \text{ m}^3/\text{h}$ de água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 10^{-3} \text{ pa} \times \text{s}$). Calcular p_2 , p_3 , p_4 , p_5 , p_6 e p_7 relativas. São dados: $H_{p3-4} = 3,1 \text{ m}$; $H_{p5-6} = 4,1 \text{ m}$; $H_{p6-7} = 1,8 \text{ m}$; $H_{p7-8} = 10,2 \text{ m}$; aceleração da gravidade $9,8 \text{ m/s}^2$; área da seção transversal dos tubos: até 6: $A = 0,001314 \text{ m}^2$ ($D_{\text{int}} = 40,8 \text{ mm}$); de 7 a 8: $A = 0,002165 \text{ m}^2$ ($D_{\text{int}} = 52,5 \text{ mm}$) e o ponto 3 pertence ao reservatório.



A solução deste exercício pode ser vista no meu canal do YouTube: Alemão MecFlu Resolve no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=nApCRhICu1Q>

4.9. Equação da energia para um escoamento incompressível, em regime permanente e em presença de máquina hidráulica.

4.9.1. Conceito de máquina hidráulica

Máquina hidráulica (figura 36) é o dispositivo que introduzido no escoamento fluido fornece, ou retira, energia na forma de trabalho. A energia fornecida, ou retirada, por unidade de peso é denominada de carga manométrica da máquina.



Figura 36

Bomba hidráulica é o dispositivo que fornece carga ao fluido, esta carga fornecida é denominada de carga manométrica da bomba e representada por H_B .

Turbina hidráulica é o dispositivo que retira carga do fluido, esta carga é denominada de carga manométrica da turbina e representada por H_T .

4.9.2. Equação da energia em presença de máquina hidráulica

Considere o trecho de uma instalação representado pela figura 37, onde ocorre o escoamento incompressível e em regime permanente.

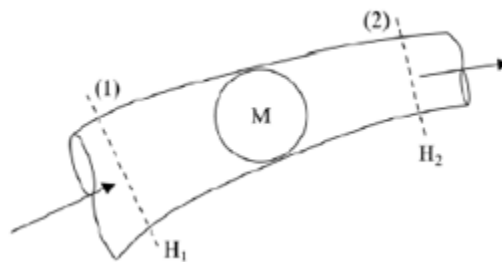


Figura 37

O balanço de cargas nos leva a equação da energia na presença de máquina hidráulica, equações 39 e 40.

$$H_{\text{inicial}} + H_M = H_{\text{final}} + H_{p_{i-f}} \quad \text{equação 39}$$

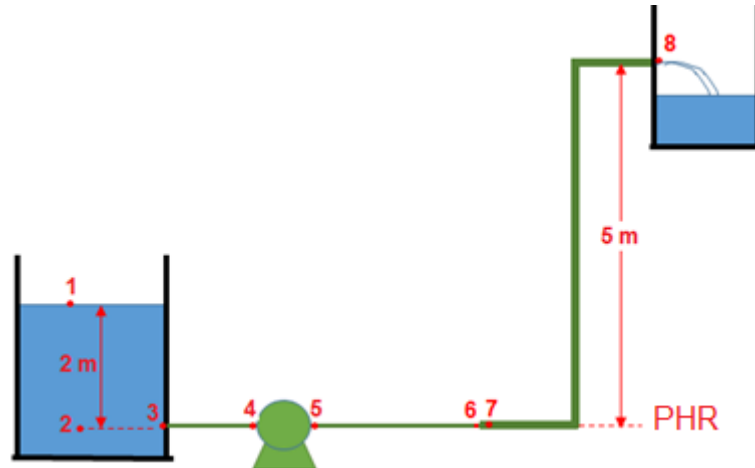
$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i \times v_i^2}{2g} + H_M = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{\alpha_f \times v_f^2}{2g} + H_{p_{i-f}} \quad \text{equação 40}$$

Observações

1. Se $H_M > 0$ é bomba e $H_M = + H_B$; se $H_M < 0$ é turbina e $H_M = - H_T$.
2. Só podemos escrever as equações 39 e 40 se o sentido do escoamento for conhecido, caso não seja, consideramos um trecho **sem máquina** e calculamos a carga total (H) em duas seções e **sempre, em um trecho sem máquina**, o fluido escoar da maior carga para a menor carga.
3. O **único trecho que não consideramos as perdas** na equação da energia é entre **a entrada e a saída de uma máquina**, isto porque as perdas já são consideradas no rendimento da máquina.

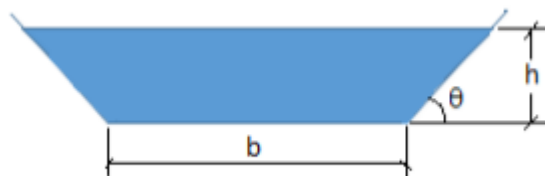
Exercício 76: Na linha abaixo esquematizada deverão circular $15 \text{ m}^3/\text{h}$ de água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$). Verificar o tipo de máquina e calcular sua carga manométrica.

São dados: $H_{p3-4} = 3,1 \text{ m}$; $H_{p5-6} = 4,1 \text{ m}$; $H_{p6-7} = 1,8 \text{ m}$; $H_{p7-8} = 10,2 \text{ m}$; aceleração da gravidade $9,8 \text{ m/s}^2$; área da seção transversal dos tubos: até 6: $A = 0,001314 \text{ m}^2$ ($D_{\text{int}} = 40,8 \text{ mm}$); de 7 a 8: $A = 0,002165 \text{ m}^2$ ($D_{\text{int}} = 52,5 \text{ mm}$).



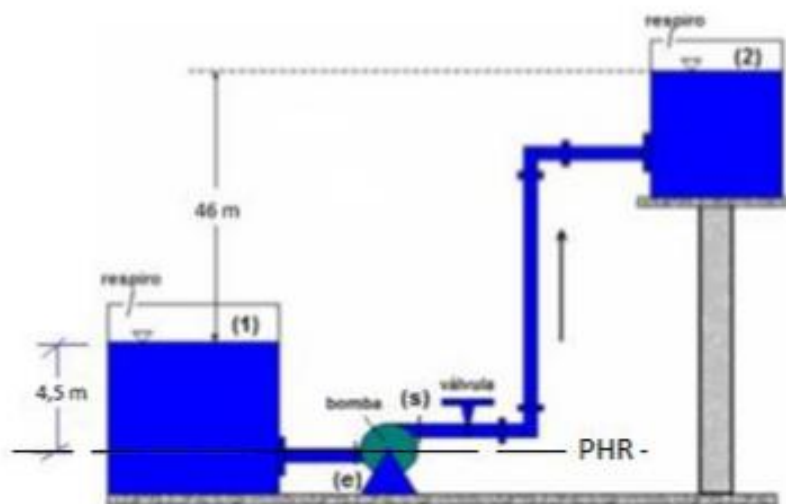
Exercício 77: Uma caixa d'água de 12000 litros precisa ser enchida num tempo de 6 horas. A tubulação é de PVC soldável e tem um diâmetro interno de 21,6 mm ($A = 3,67 \text{ cm}^2$). Considerando que a água tem uma massa específica igual a 1000 kg/m^3 e viscosidade cinemática igual a $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, pede-se: a vazão de escoamento em L/s; a vazão em massa do escoamento em kg/h; a velocidade média do escoamento em m/s e o tipo de escoamento observado na tubulação (laminar, transição ou turbulento) devidamente justificados.

Exercício 78: Na determinação da vazão de um canal é fundamental tanto o cálculo do seu diâmetro hidráulico (D_H), como do seu raio hidráulico ($R_H = D_H/4$). Considerando um canal de seção reta trapezoidal, com $\theta = 40^\circ$, $h = 2 \text{ m}$ e $b = 5 \text{ m}$, calcule o seu diâmetro hidráulico e o seu raio hidráulico.



Exercício 79: A instalação de bombeamento a seguir opera em regime permanente com uma vazão de 3,2 L/s. A tubulação antes da bomba tem uma perda de carga igual a 2,0 m. A tubulação de recalque (tubulação depois da bomba) tem uma perda de carga de 35,2 m. Sabendo que a tubulação antes da bomba tem um diâmetro interno de 52,5 mm ($A = 21,7 \text{ cm}^2$) e a tubulação de recalque um diâmetro interno igual a 40,8 mm ($A = 13,1 \text{ cm}^2$), pede-se: a carga manométrica da bomba; a velocidade que seria determinada por um tubo de Pitot se o mesmo fosse instalado no eixo da tubulação de recalque e se ao mesmo fosse acoplado um manômetro diferencial, qual seria o desnível do fluido manométrico que tem massa específica igual a 2900 kg/m^3 .

Dados: peso específico do fluido que escoar igual a 9800 N/m^3 ; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

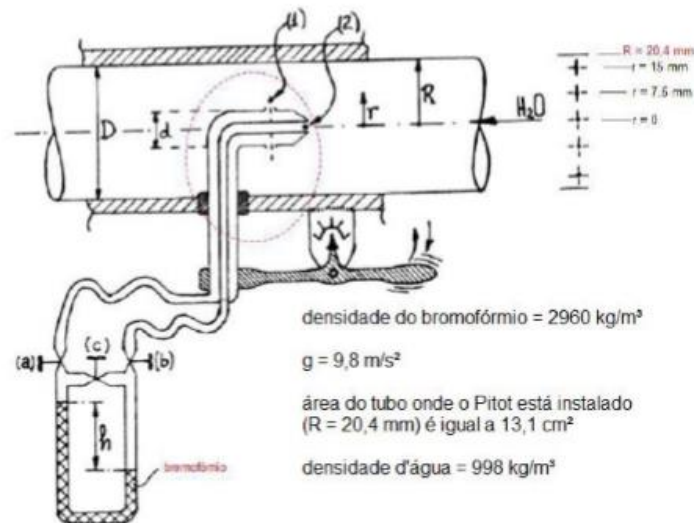


Exercício 80: Ao realizar a experiência do tubo de Pitot, obtivemos os dados fornecidos pela tabela a seguir:

Exp. PITOT		Tabela Rascunho	
ensaio	posição	r	h
-	-	mm	mm
3	B	+ 7,50	114
$\Delta h = 100 \text{ mm}$		$t = 21,3 \text{ s}$	

Sabendo que a área transversal do tanque, onde lemos a vazão real é igual a $0,5535 \text{ m}^2$, pede-se calcular a vazão pelo tubo de Pitot e compará-la com a vazão real obtendo um

$$\text{fator de correção } C_{d_{\text{pitot}}} = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{pitot}}}$$



Exercício 81: A instalação de bombeamento representada a seguir transporta água ($\rho = 995 \text{ kg/m}^3$) com uma vazão de 5 L/s . Sabendo que a instalação tem um único diâmetro igual a 63 mm , que a aceleração da gravidade é $9,8 \text{ m/s}^2$, que a pressão na entrada da bomba, registrada por um vacuômetro é -55870 Pa e que a pressão na saída da bomba, registrada pelo manômetro, é 101870 Pa , pede-se a carga manométrica da bomba; a perda de carga antes da bomba e a perda de carga depois da bomba.

