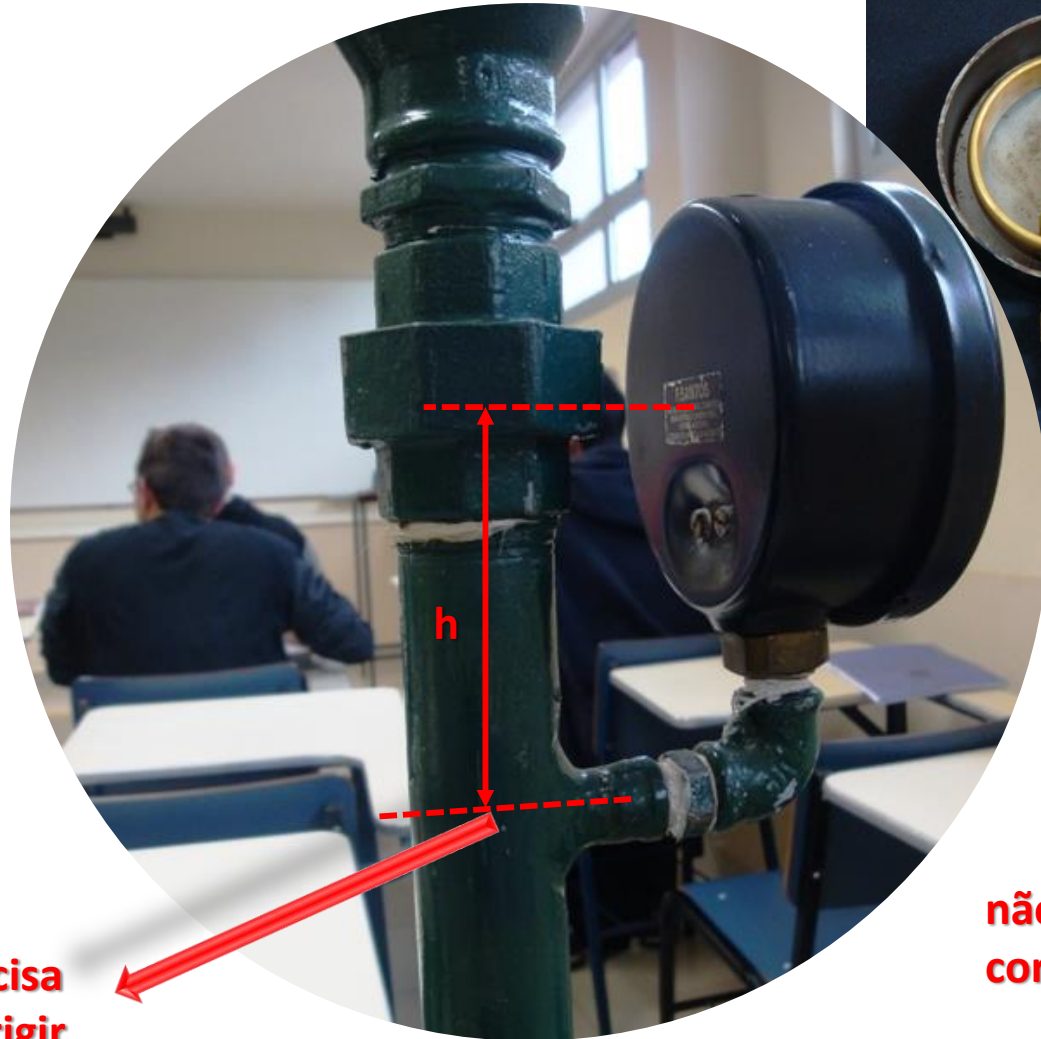


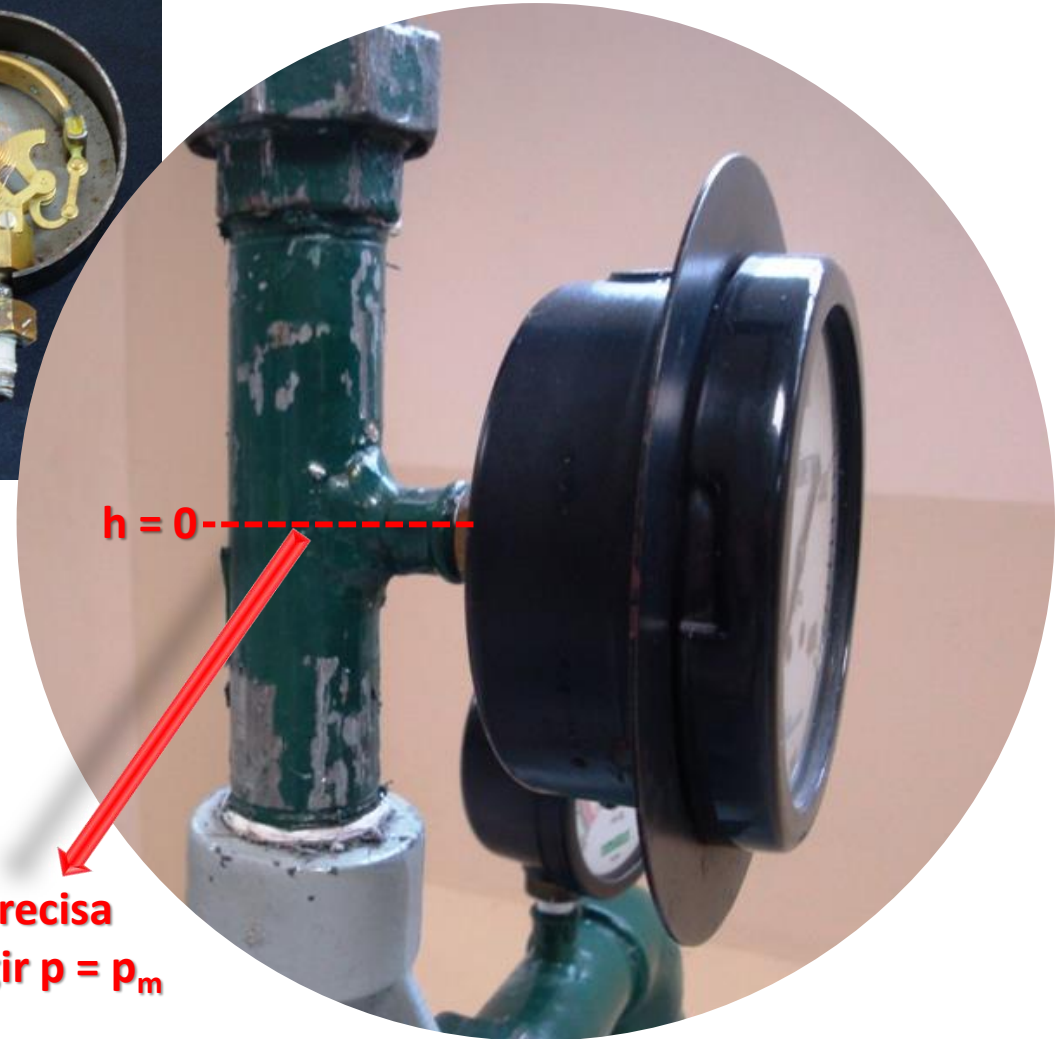
# Calcule a pressão $p_1$



# Leituras em manômetros metálicos



precisa  
corrigir  
 $p = p_m + \gamma h$



não precisa  
corrigir  $p = p_m$

## Tipo Bourdon – lemos a $p_m$

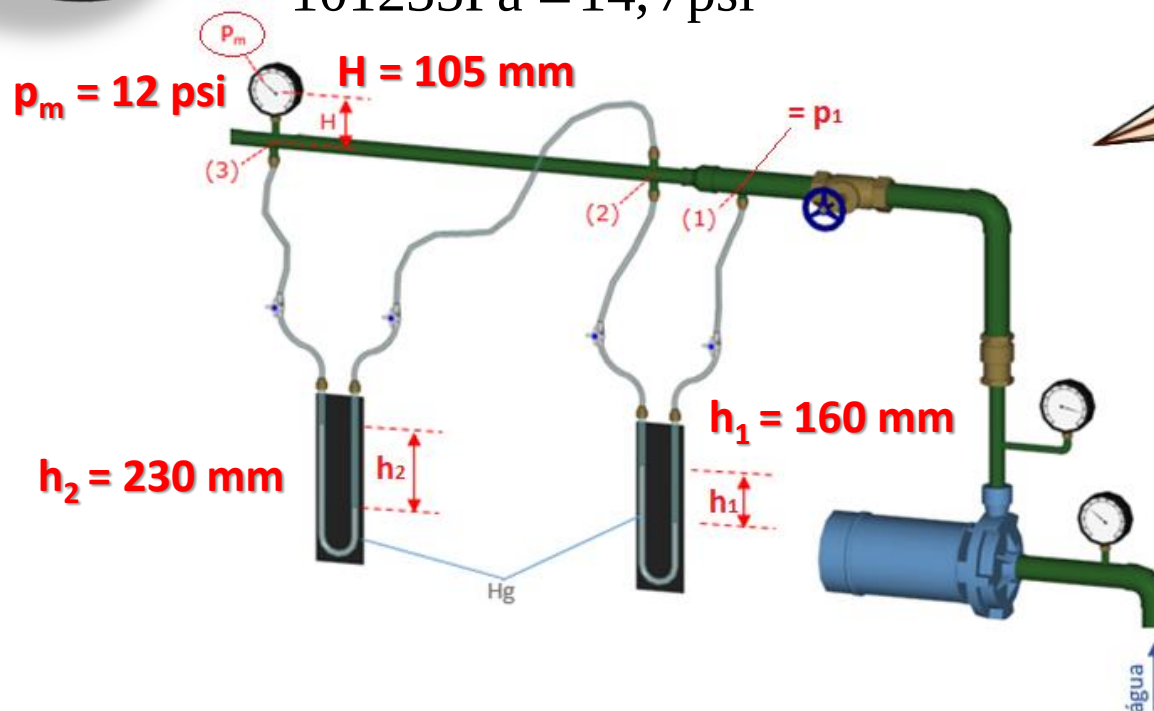


Dado  $p_m$ ,  $H$ ,  $h_2$ ,  $h_1$ ,  
 $\gamma_{\text{água}}$  e  $\gamma_{\text{Hg}}$ , calcule  $p_1$   
 (pela hidrostática)

Esta foi a primeira  
 atividade  
 supervisionada!



$$101235 \text{ Pa} = 14,7 \text{ psi}$$



Temperatura da água  
 24°C, portanto com ela  
 determinamos a massa  
 específica d'água e do  
 mercúrio.

$$\rho_{\text{água}} = 997,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

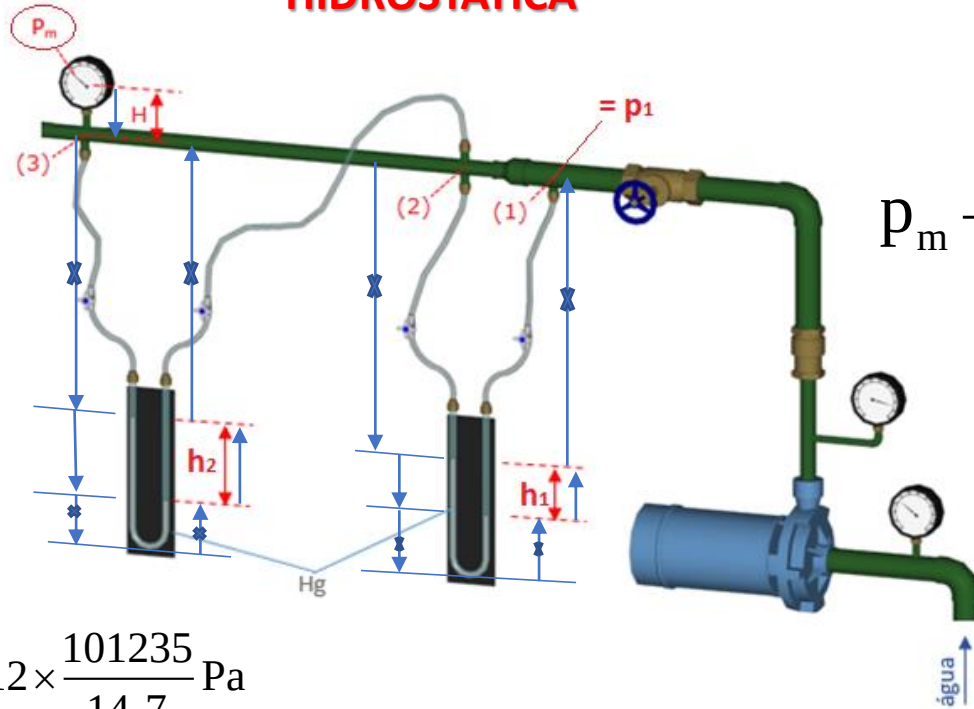
$$\rho_{\text{Hg}} = 13536 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

[http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica\\_I/consultas.htm](http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_I/consultas.htm)



## HIDROSTÁTICA

Adoto a origem no centro do manômetro metálico e pergunto, qual a pressão que tenho lá?



$$P_m + \gamma_{\text{água}} \times H + \gamma_{\text{Hg}} \times h_2 - \gamma_{\text{água}} \times h_2 + \gamma_{\text{Hg}} \times h_1 - \gamma_{\text{água}} \times h_1 = p_1$$

Para efetuar as contas a equação tem que ser homogênea, ou seja, todas as grandezas envolvidas devem estar no mesmo sistema de unidades, portanto, transformamos o psi para Pa:

$$101235 \text{ Pa} = 14,7 \text{ psi} \therefore 1 \text{ psi} = \frac{101235}{14,7} \text{ Pa}$$

$$P_m = 12 \times \frac{101235}{14,7} \text{ Pa}$$

$$H = 0,105 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,23 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,16 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{água}} = 9,8 \times 997,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{\text{Hg}} = 9,8 \times 13536 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$82640,82 + 9773,54 \times 0,105 + 132652,8 \times 0,23 - 9773,54 \times 0,23 + 132652,8 \times 0,16 - 9773,54 \times 0,16 = p_1$$

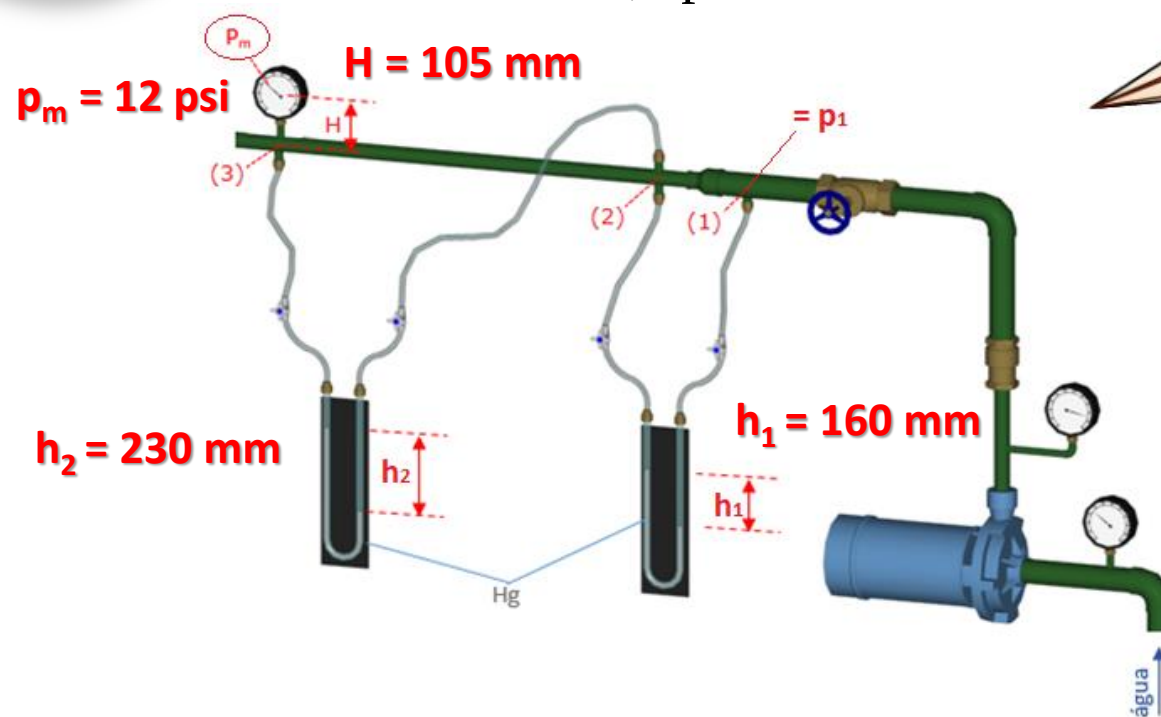
$$\therefore p_1 = 131589,9531 \text{ Pa} \cong 131590 \text{ Pa}$$

Dado  $p_m$ ,  $H$ ,  $h_2$ ,  $h_1$ ,  
 $\gamma_{\text{água}}$  e  $\gamma_{\text{Hg}}$ , calcule  $p_1$   
 (pela hidrodinâmica)

Nosso problema de  
 hoje e para resolvê-  
 lo, temos que saber a  
 vazão!



$$101235 \text{ Pa} = 14,7 \text{ psi}$$



Temperatura da água  
 24°C, portanto com ela  
 determinamos a massa  
 específica d'água e do  
 mercúrio.

$$\rho_{\text{água}} = 997,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13536 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

[http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica\\_I/consultas.htm](http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_I/consultas.htm)







Cronometro o  
tempo para o  $\Delta h$  e  
obtenho  $\Delta t$



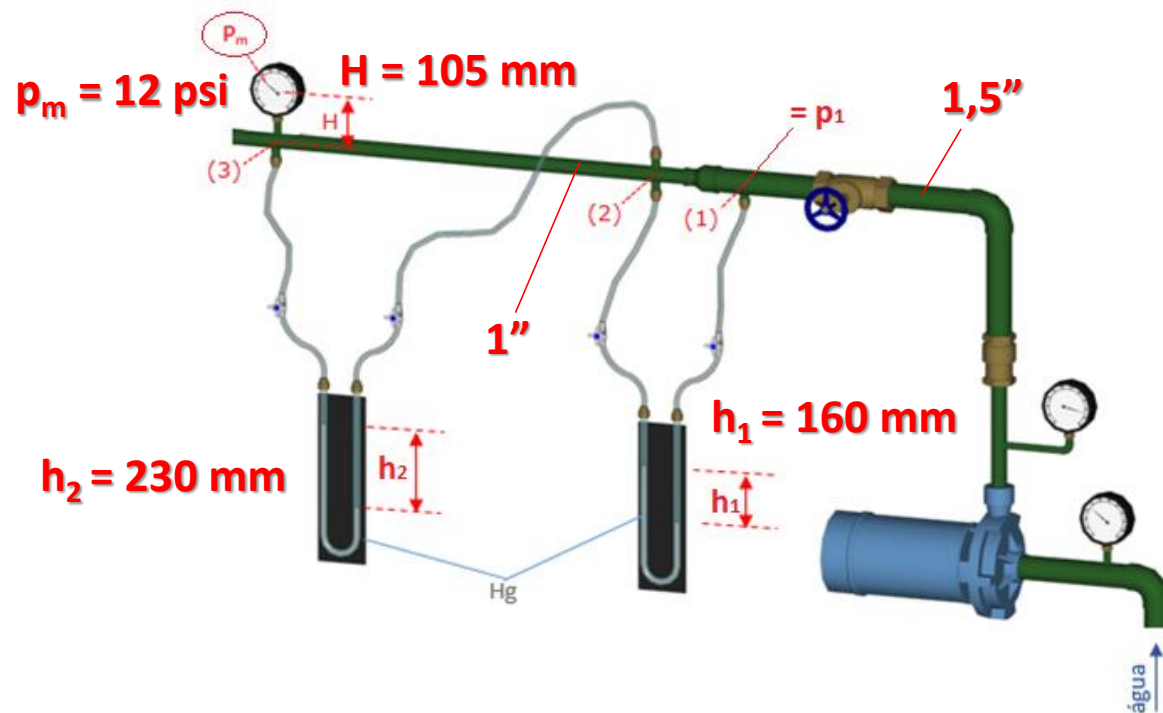
$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{\Delta t}$$

$$A_{\text{tanque}} = L_1 \times L_2$$

$\Delta h = 100 \text{ mm}$  e  $\Delta t = 19,69 \text{ s}$



## HIDRODINÂMICA



Equação da energia de (1) a (3):

$$H_1 = H_3 + H_{p1-3}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 \times v_3^2}{2g} + H_{p1-2} + H_{p2-3}$$

Adotando o PHR no eixo do tubo, temos que:  $z_1 = z_3$

Por outro lado, sabemos que:

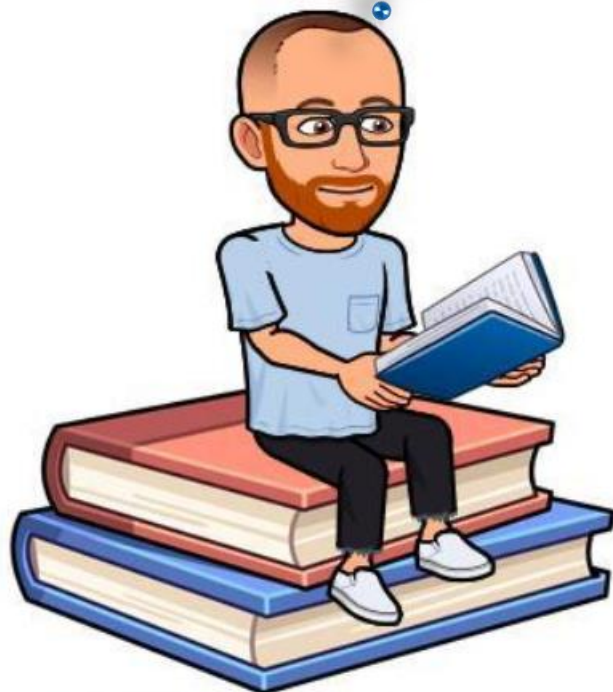
$$p_3 = \frac{12 \times 101235}{14,7} + 9773,54 \times 0,105 = 83667,04 \text{ Pa}$$

Para especificar os coeficientes de Coriolis e as velocidades médias, temos que determinar a vazão de escoamento:

$$Q = \frac{0,1 \times (0,74 \times 0,736)}{19,69} \cong 0,00277 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,77 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

**Aí, vamos achar as velocidades médias do escoamento, para isso, lembramos que os tubos são de aço 40, respectivamente com diâmetros nominais de 1,5" e 1", consultamos a norma ANSI B3610:**

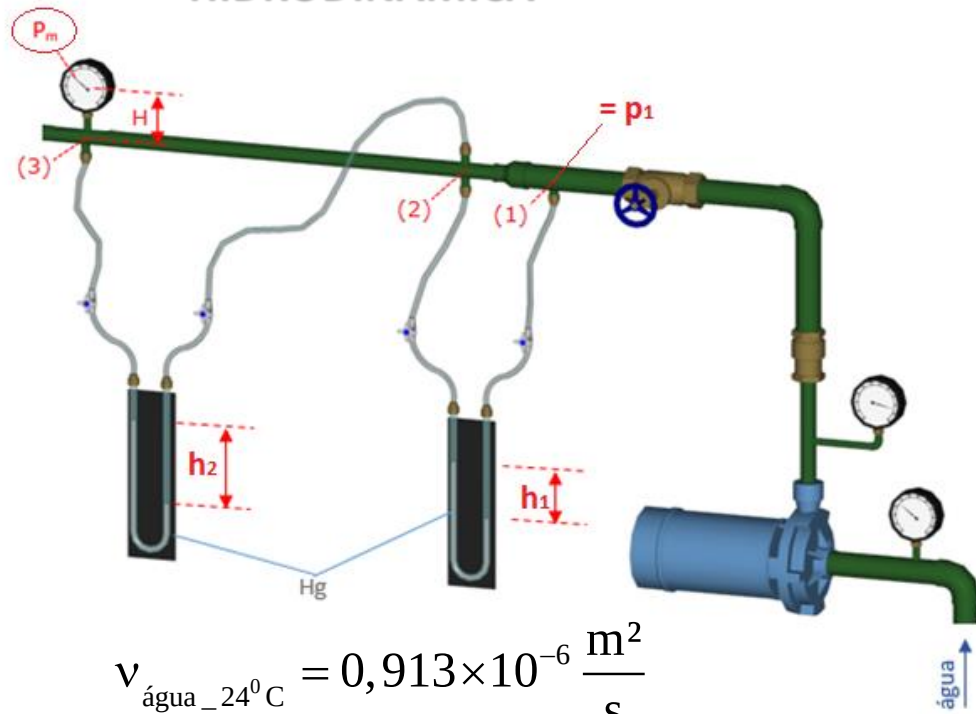
Norma para o  
aço  
ANSI B3610



| Diâmetro nominal (pol)<br>--<br>Diâmetro externo (mm) | Designação de espessura<br>(v. Nota 2) | Espessura de parede (mm)<br>(v. Nota 3) | Diâmetro interno (mm) | Área da seção livre (cm²) | Área da seção de metal (cm²) | Superfície externa (m²/m) | Peso aproximado (kg/m) |                  | Momento de inércia (cm⁴) | Momento resistente (cm³) | Raio de giração (cm) |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
|                                                       |                                        |                                         |                       |                           |                              |                           | Tubo vazio (Nota 5)    | Conteúdo de água |                          |                          |                      |
| 1/4                                                   | 10S                                    | 1,65                                    | 10,4                  | 0,85                      | 0,62                         | 0,043                     | 0,49                   | 0,085            | 0,116                    | 0,169                    | 0,430                |
| --                                                    | Std. 40, 40S                           | 2,23                                    | 9,2                   | 0,67                      | 0,81                         |                           | 0,62                   | 0,067            | 0,138                    | 0,202                    | 0,413                |
|                                                       | XS, 80, 80S                            | 3,02                                    | 7,7                   | 0,46                      | 1,01                         |                           | 0,79                   | 0,046            | 0,157                    | 0,229                    | 0,393                |
| 13,7                                                  |                                        |                                         |                       |                           |                              |                           |                        |                  |                          |                          |                      |
| 1/8                                                   | 10S                                    | 1,65                                    | 13,8                  | 1,50                      | 0,81                         | 0,054                     | 0,63                   | 0,150            | 0,236                    | 0,285                    | 0,551                |
| --                                                    | Std. 40, 40S                           | 2,31                                    | 12,5                  | 1,23                      | 1,08                         |                           | 0,84                   | 0,123            | 0,304                    | 0,354                    | 0,531                |
|                                                       | XS, 80, 80S                            | 3,20                                    | 10,7                  | 0,91                      | 1,40                         |                           | 1,10                   | 0,090            | 0,359                    | 0,419                    | 0,506                |
| 17,1                                                  |                                        |                                         |                       |                           |                              |                           |                        |                  |                          |                          |                      |
| 1/2                                                   | Std. 40, 40S                           | 2,77                                    | 15,8                  | 1,96                      | 1,61                         | 0,071                     | 0,42                   | 0,20             | 0,71                     | 0,67                     | 0,66                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 3,73                                    | 13,8                  | 1,51                      | 2,06                         |                           | 1,62                   | 0,15             | 0,84                     | 0,78                     | 0,64                 |
|                                                       | 160                                    | 4,75                                    | 11,8                  | 1,10                      | 2,47                         |                           | 1,94                   | 0,11             | 0,92                     | 0,86                     | 0,61                 |
| 21                                                    | XXS                                    | 7,47                                    | 6,4                   | 0,32                      | 3,52                         |                           | 2,55                   | 0,03             | 1,01                     | 0,95                     | 0,56                 |
| 3/4                                                   | Std. 40, 40S                           | 2,87                                    | 20,9                  | 3,44                      | 2,15                         | 0,083                     | 1,68                   | 0,34             | 1,54                     | 1,16                     | 0,85                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 3,91                                    | 18,8                  | 2,79                      | 2,80                         |                           | 2,19                   | 0,28             | 1,86                     | 1,40                     | 0,82                 |
|                                                       | 160                                    | 5,54                                    | 15,6                  | 1,91                      | 3,68                         |                           | 2,88                   | 0,19             | 2,19                     | 1,65                     | 0,77                 |
| 27                                                    | XXS                                    | 7,82                                    | 11,0                  | 0,95                      | 4,63                         |                           | 3,63                   | 0,10             | 2,41                     | 1,81                     | 0,72                 |
| 1                                                     | Std. 40, 40S                           | 3,37                                    | 26,6                  | 5,57                      | 3,19                         | 0,105                     | 2,50                   | 0,56             | 2,64                     | 2,18                     | 1,07                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 4,55                                    | 24,3                  | 4,64                      | 4,12                         |                           | 3,23                   | 0,46             | 4,40                     | 2,63                     | 1,03                 |
|                                                       | 160                                    | 6,35                                    | 20,7                  | 3,37                      | 5,39                         |                           | 4,23                   | 0,34             | 5,21                     | 3,12                     | 0,98                 |
| 33                                                    | XXS                                    | 9,09                                    | 15,2                  | 1,82                      | 6,94                         |                           | 5,44                   | 0,18             | 5,85                     | 3,50                     | 0,92                 |
| 1 1/4                                                 | Std. 40, 40S                           | 3,56                                    | 35                    | 9,65                      | 4,32                         | 0,132                     | 3,38                   | 0,96             | 8,11                     | 3,85                     | 1,37                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 4,85                                    | 32,5                  | 8,28                      | 5,68                         |                           | 4,46                   | 0,83             | 10,06                    | 4,77                     | 1,33                 |
|                                                       | 160                                    | 6,35                                    | 29,4                  | 6,82                      | 7,14                         |                           | 5,60                   | 0,68             | 11,82                    | 5,61                     | 1,29                 |
| 42                                                    | XXS                                    | 9,70                                    | 22,7                  | 4,07                      | 9,90                         |                           | 7,76                   | 0,41             | 14,19                    | 6,74                     | 1,20                 |
| 1 1/2                                                 | Std. 40, 40S                           | 3,68                                    | 40,8                  | 13,1                      | 5,15                         | 0,151                     | 4,04                   | 1,31             | 12,90                    | 5,34                     | 1,58                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 5,08                                    | 38,1                  | 11,4                      | 6,89                         |                           | 5,40                   | 1,14             | 16,27                    | 6,75                     | 1,54                 |
|                                                       | 160                                    | 7,14                                    | 33,9                  | 9,07                      | 9,22                         |                           | 7,23                   | 0,91             | 20,10                    | 8,33                     | 1,48                 |
| 48                                                    | XXS                                    | 10,16                                   | 27,9                  | 6,13                      | 12,2                         |                           | 9,53                   | 0,61             | 23,64                    | 9,80                     | 1,39                 |
| 2                                                     | Std. 40, 40S                           | 3,91                                    | 52,5                  | 21,7                      | 6,93                         | 0,196                     | 5,44                   | 2,17             | 27,72                    | 9,20                     | 2,00                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 5,54                                    | 49,2                  | 19,0                      | 9,53                         |                           | 7,47                   | 1,90             | 36,13                    | 11,98                    | 1,95                 |
|                                                       | 160                                    | 8,71                                    | 42,9                  | 14,4                      | 14,1                         |                           | 11,08                  | 1,44             | 48,41                    | 16,05                    | 1,85                 |
| 60                                                    | XXS                                    | 11,07                                   | 38,2                  | 11,4                      | 17,1                         |                           | 13,44                  | 1,14             | 54,61                    | 18,10                    | 1,79                 |
| 2 1/2                                                 | Std. 40, 40S                           | 5,16                                    | 62,7                  | 30,9                      | 11,0                         | 0,235                     | 8,62                   | 3,09             | 63,68                    | 17,44                    | 2,41                 |
| --                                                    | XS, 80, 80S                            | 7,01                                    | 59,0                  | 27,3                      | 14,5                         |                           | 11,40                  | 2,73             | 80,12                    | 21,95                    | 2,35                 |
|                                                       | 160                                    | 9,52                                    | 54,0                  | 22,9                      | 19,0                         |                           | 14,89                  | 2,29             | 97,94                    | 26,83                    | 2,27                 |



## HIDRODINÂMICA



$$v_{\text{água}_{-24^{\circ}\text{C}}} = 0,913 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Re_1 = \frac{2,12 \times 0,0408}{0,913 \times 10^{-6}} \cong 94738,23 \Rightarrow Re_3 > Re_1 \longrightarrow \alpha_1 = \alpha_3 \cong 1,0$$

$$\frac{p_1}{9773,54} + \frac{1 \times 2,12^2}{2 \times 9,8} = \frac{83667,04}{9773,54} + \frac{1 \times 4,97^2}{2 \times 9,8} + H_{P_{1-2}} + H_{P_{2-3}}$$

Calculamos as velocidades médias do escoamento:

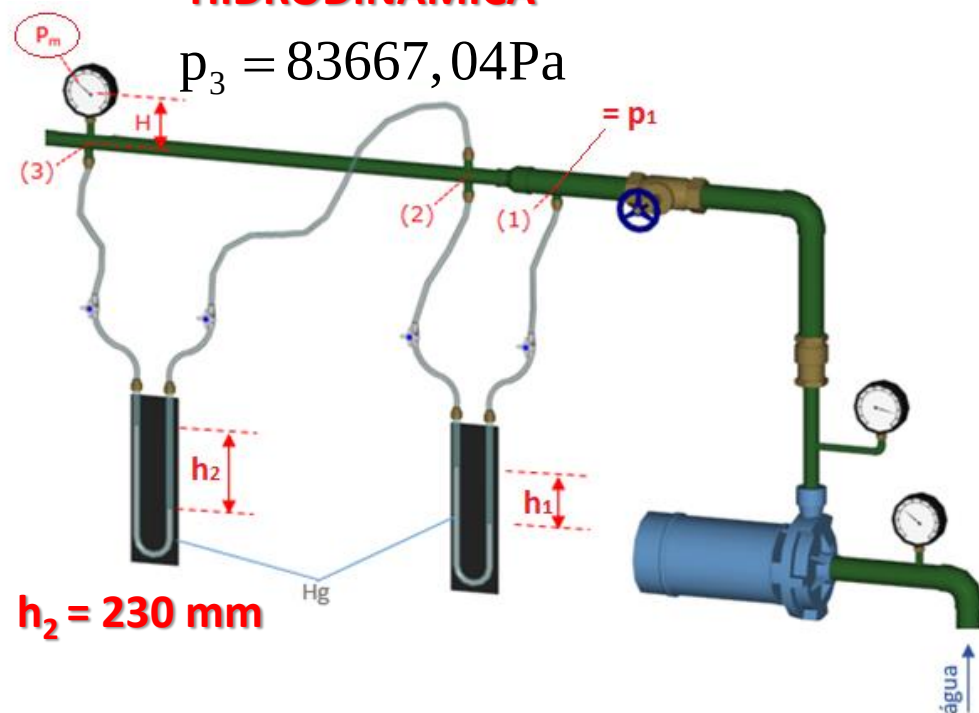
$$v_1 = \frac{0,00277}{13,1 \times 10^{-4}} \cong 2,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_3 = \frac{0,00277}{5,57 \times 10^{-4}} \cong 4,97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para especificarmos os coeficientes de Coriolis, calculamos os números de Reynolds, foi optar em calcular na seção 1, já que na seção (3) ele é maior ainda:

**Portanto, para a determinação da pressão  $p_1$ , temos que antes determinar as perdas de 1 até 2 e de 2 até 3.**

## HIDRODINÂMICA



**Equação da energia de (1) a (2):**

$$H_1 = H_2 + H_{p_{1-2}} \quad \therefore \cancel{z_1} + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \times v_1^2}{2g} = \cancel{z_2} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times v_2^2}{2g} + H_{p_{1-2}}$$

$$H_{p_{1-2}} = \frac{p_1 - p_2}{9773,54} + \frac{1 \times 2,12^2 - 1 \times 4,97^2}{19,6}$$

**Equação da energia de (2) a (3):**

$$H_2 = H_3 + H_{p_{2-3}}$$

$$\cancel{z_2} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times v_2^2}{2g} = \cancel{z_3} + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 \times v_3^2}{2g} + H_{p_{2-3}}$$

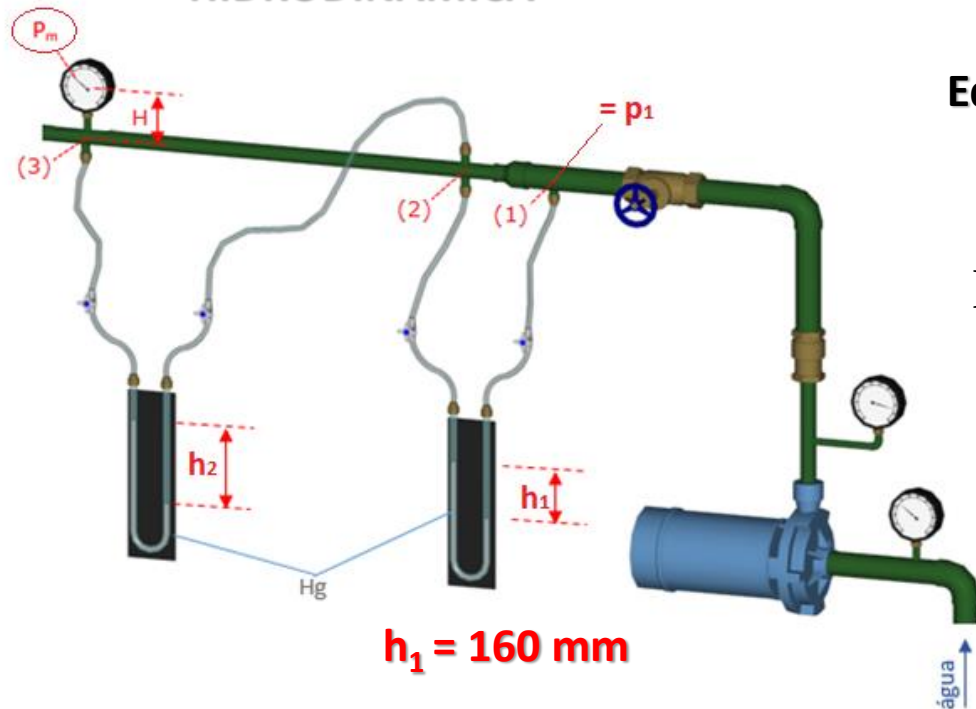
$$\therefore H_{p_{2-3}} = \frac{p_2 - p_3}{\gamma}$$

**Equação manométrica de (2) a (3):**  $p_2 - p_3 = h_2 \times (\gamma_{Hg} - \gamma_{água})$

$$\therefore H_{p_{2-3}} = \frac{0,23 \times (132652,8 - 9773,54)}{9773,54} \cong 2,892m$$

**Temos que achar  $p_1 - p_2$**

## HIDRODINÂMICA



Equação manométrica de (1) a (2):  $p_1 - p_2 = h_1 \times (\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{água}})$

$$H_{p_{1-2}} = \frac{0,160 \times (132652,8 - 9773,54)}{9773,54} + \frac{1 \times 2,12^2 - 1 \times 4,97^2}{19,6}$$

$$H_{p_{1-2}} \cong 0,981\text{m}$$

$$\frac{p_1}{9773,54} + \frac{1 \times 2,12^2}{2 \times 9,8} = \frac{83667,04}{9773,54} + \frac{1 \times 4,97^2}{2 \times 9,8} + H_{p_{1-2}} + H_{p_{2-3}}$$

$$\frac{p_1}{9773,54} + 0,2293061224 = 8,560566591 + 1,26025 + 0,981 + 2,892 \Rightarrow p_1 = 131595,9316\text{Pa} \cong 131596\text{Pa}$$

Pela hidrostática achamos:  $p_1 = 131589,9531\text{Pa} \cong 131590\text{Pa}$  ➡ Diferença desprezível

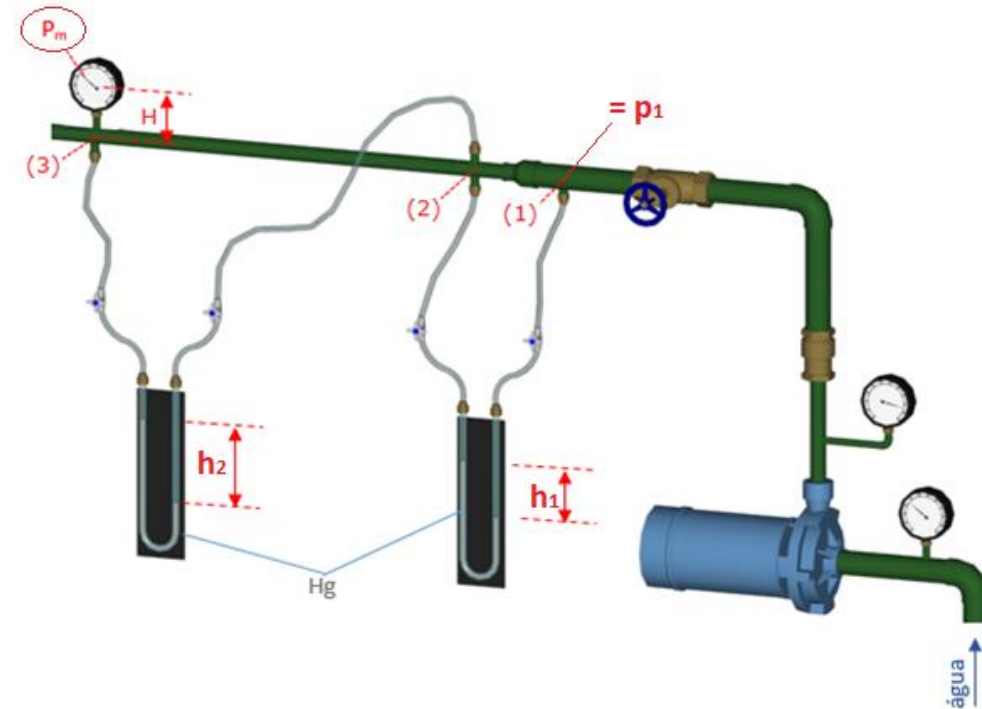


## REFLEXÕES SOBRE AS PERDAS CALCULADAS

Considerando os comprimentos, podemos afirmar que em relação ao comprimento total da bancada, temos:  $L_{1-2}$  desprezível;  $L_{2-3}$  não desprezível. Já em relação as áreas das seções:  $A_1$  é diferente de  $A_2$  e a partir daí a área fica constante.

Está parecendo que existem dois tipos de perda de carga!

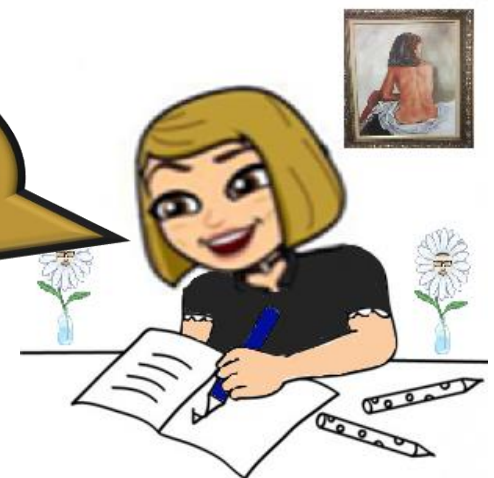




ummmm...



Agora ficou claro porque iniciamos resolvendo os exercícios anteriores com dados experimentais, vamos revê-los na bancada:







$$H_{p_{1-2}} = h_{f_{1-2}}$$

(2)

(1)

A perda no tubo com área constante e comprimento não desprezível é a perda de carga distribuída, no nosso curso representada por  $h_{f_r}$ , é devido a viscosidade do fluido e/ou a rugosidade do tubo.






$$H_{p_{1-2}} = h_{s_{1-2}} \text{ e } H_{p_{3-4}} = h_{s_{3-4}}$$

(4) (3)

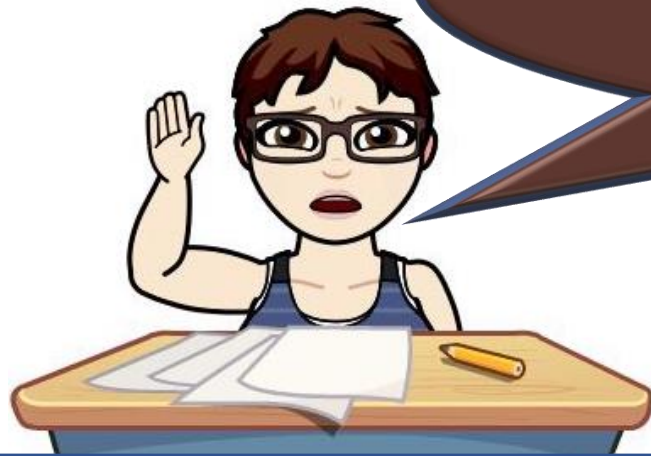
(2)

(1)

Já os trechos com comprimentos desprezíveis e onde temos presença de acessório hidráulico, mudança de seção ou direção, ocorre a perda singular ou localizada, que no nosso curso representamos por  $h_s$



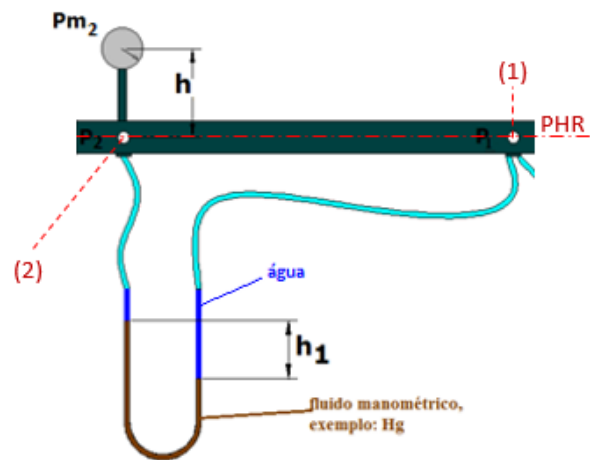
Para projetos não podemos usar os procedimentos mostrados até agora, já que ainda a instalação não existe fisicamente e aí como fazemos?



Recorremos as equações empíricas!



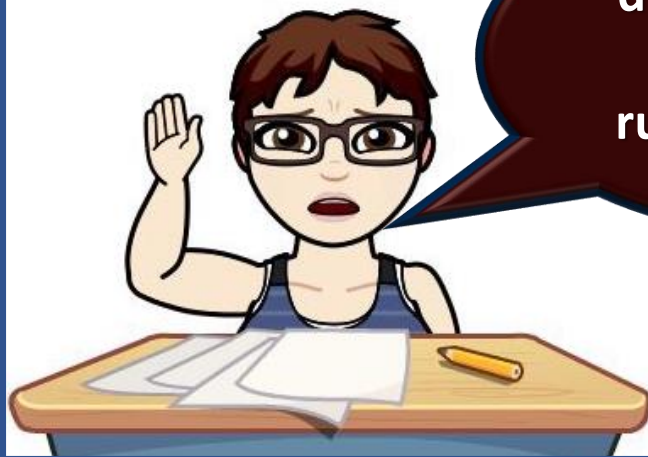
Vamos começar?



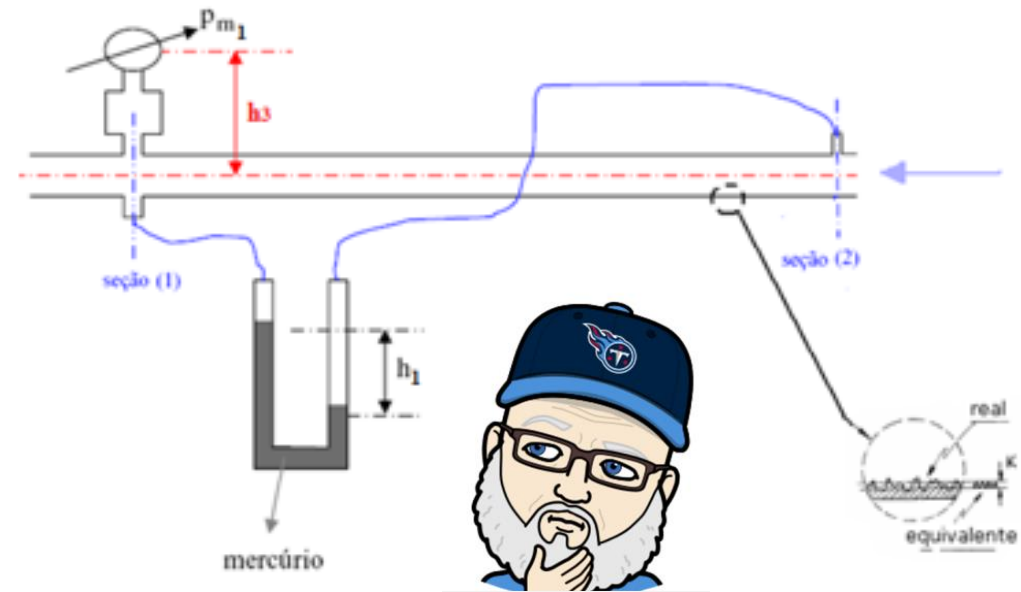
Sim, iniciamos com a perda de carga distribuída ( $h_f$ )







Esta perda ocorre devido a viscosidade do fluido e as rugosidades internas das paredes!



ummmm...



Isso mesmo e não podemos esquecer que estas aumentam com o tempo e originam uma diminuição da vazão !







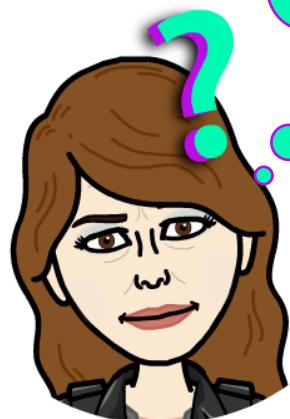
Tabela 7,1 – Capacidade das canalizações de ferro e aço. (Sem revestimento permanente interno – pg 118 do livro: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto

| Idade        | D = 4"<br>(100 mm) | 6" (150<br>mm) | 10" (250<br>mm) | 16" (400<br>mm) | 20" (500<br>mm) | 30" (750<br>mm) |
|--------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tubos novos  | Q = 100%           | 100%           | 100%            | 100%            | 100%            |                 |
| Após 10 anos | 81%                | 83%            | 85%             | 86%             | 86%             | 100%            |
| Após 20 anos | 68%                | 72%            | 74%             | 75%             | 76%             | 87%             |
| Após 30 anos | 58 a 62%           | 65%            | 67%             | 68%             | 69%             | 77%             |
| Após 40 anos | 50 a 55%           | 58%            | 61%             | 62%             | 63%             |                 |
| Após 50 anos | 43 a 49%           | 54%            | 56%             | 57%             | 59%             |                 |

O que  
isso  
acarreta?



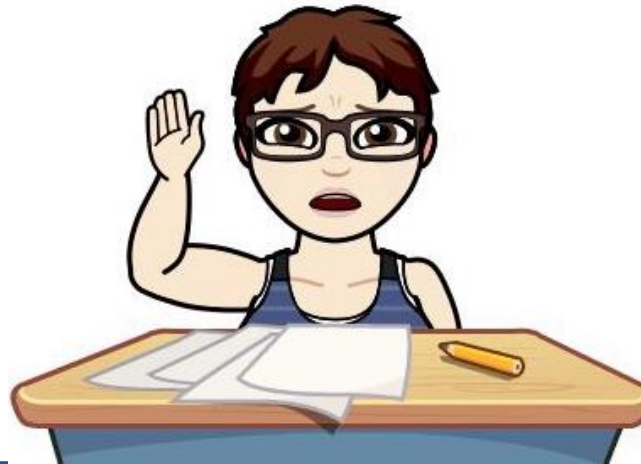
Amostra de incrustação na rede de ferro fundido cinzento



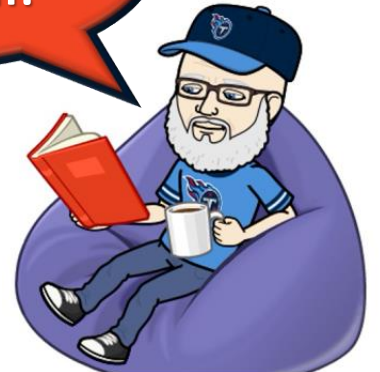
**E no tubo liso não ocorrem a perda distribuída?**



**Como calcular a perda devido a viscosidade dos fluidos e a rugosidade dos tubos, ou seja, a perda distribuída, também denominada de perda continua?**



**Também ocorrem!**



**Existem várias maneiras para este cálculo, nesta aula apresento o seu cálculo pela fórmula universal, também denominada de fórmula de Darcy Weisbach**



Vamos aprender  
fazendo, resolvam  
os próximos  
problemas!

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}, \text{ onde:}$$

$h_f$  = perda de carga distribuída ou contínua

$f$  = coeficiente de perda de carga distribuída

$L$  = comprimento do tubo

$D_H$  = diâmetro hidráulico

$v$  = velocidade média do escoamento

$g$  = aceleração da gravidade

$Q$  = vazão do escoamento

$A$  = área da seção formada pelo fluido

**A fórmula universal uma das mais empregadas na indústria, pois pode ser utilizada para qualquer tipo de líquido (fluido incompressível) e para tubulações de qualquer diâmetro e material**





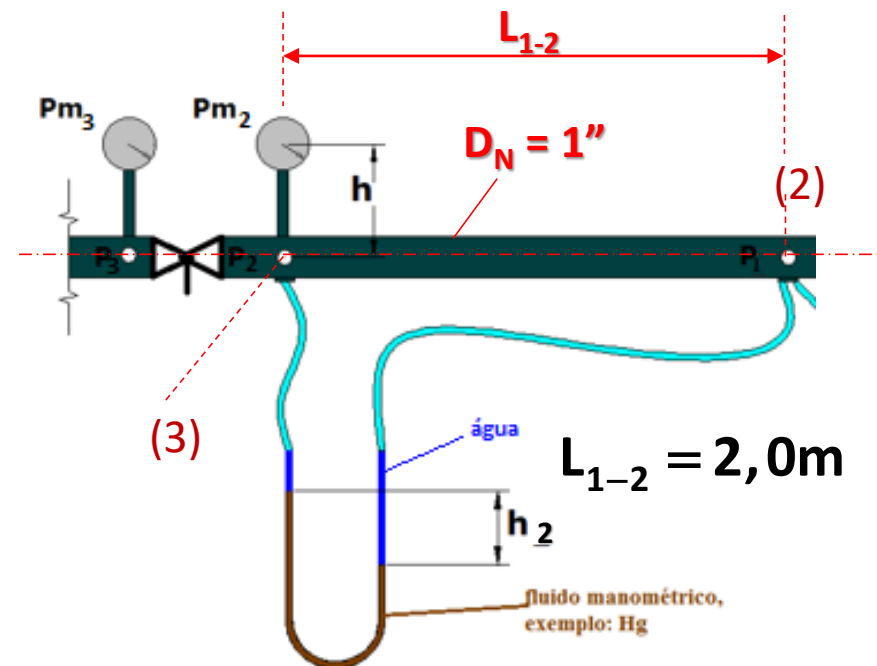
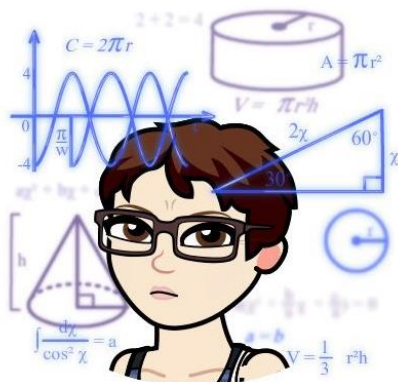
Considerando a perda calculada de (2) a (3), especifique o coeficiente de perda de carga distribuída experimental neste tubo.

**Dados:**

$$H_{p_{1-2}} \cong 2,892\text{m}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$D_N = 1'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6\text{mm} \Leftrightarrow A = 5,57\text{cm}^2$$



$$Q \cong 2,77 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,77 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Vamos aprender fazendo!





Como trata-se de um tubo de seção transversal circular e forçada, podemos reescrever a fórmula universal.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{Q^2}{2g \times \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)^2} = \frac{16}{2g \times \pi^2} \times f \times \frac{L}{D^5} \times Q^2$$

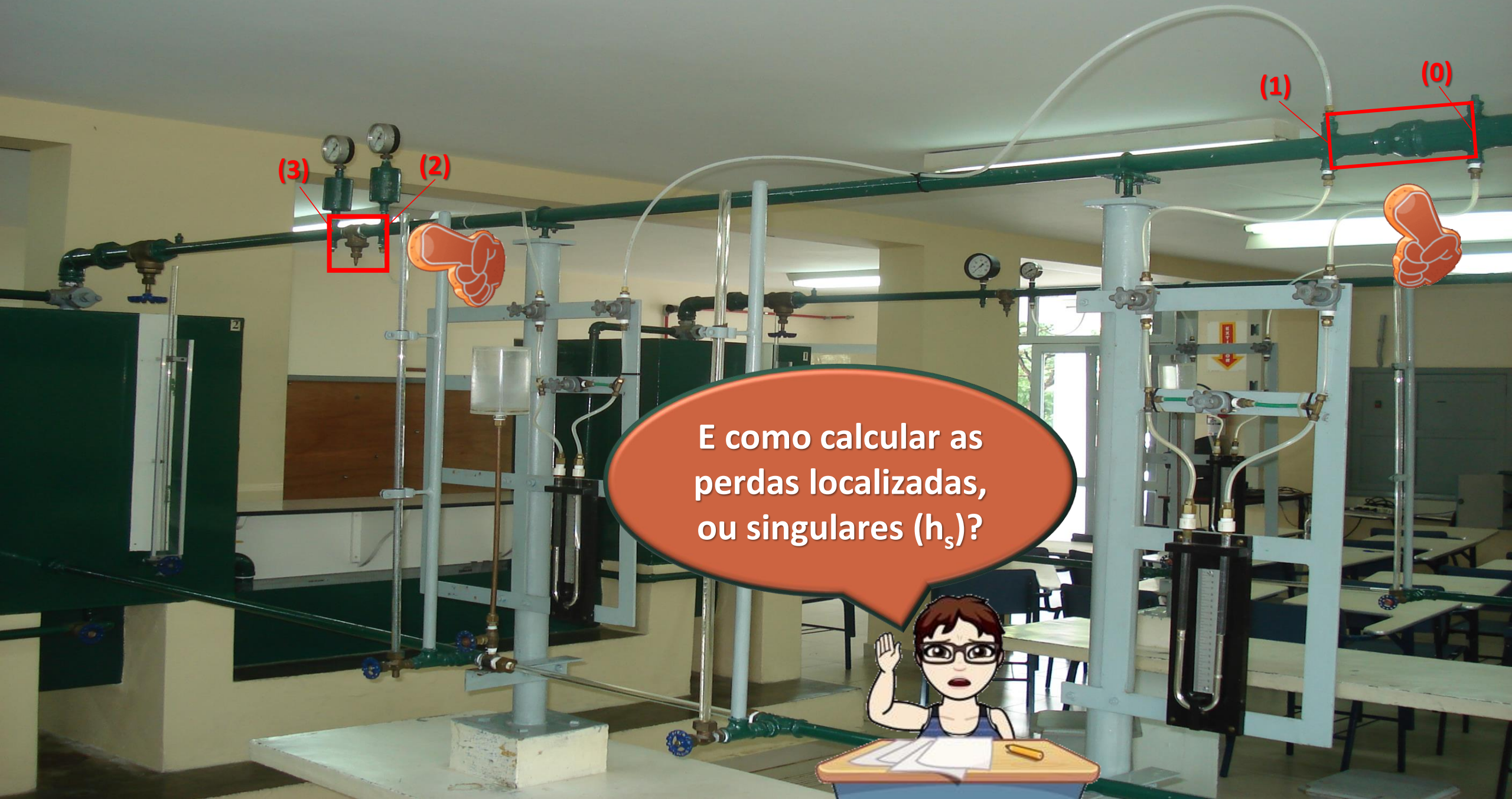
$$2,892 = \frac{16}{2 \times 9,8 \times \pi^2} \times f \times \frac{2}{0,0266^5} \times \left( 2,77 \times 10^{-3} \right)^2$$

$$\frac{2,892 \times 19,6 \times \pi^2 \times 0,0266^5}{16 \times 2 \times \left( 2,77 \times 10^{-3} \right)^2} = f \Rightarrow f \cong 0,0303$$

Legal, esse eu entendi!







E como calcular as perdas localizadas, ou singulares ( $h_s$ )?





Uma das  
possibilidades é  
pela equação a  
seguir:

$$h_s = k_s \times \frac{v^2}{2g} = k_s \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$h_s$  = perda singular ou localizada

$K_s$  = coeficiente de perda de carga singular

$v$  = velocidade média do escoamento

$g$  = aceleração da gravidade

$Q$  = vazão do escoamento

$A$  = área da seção formada pelo fluido





Considerando a perda calculada de (1) a (2), especifique o coeficiente de perda de carga singular para redução.

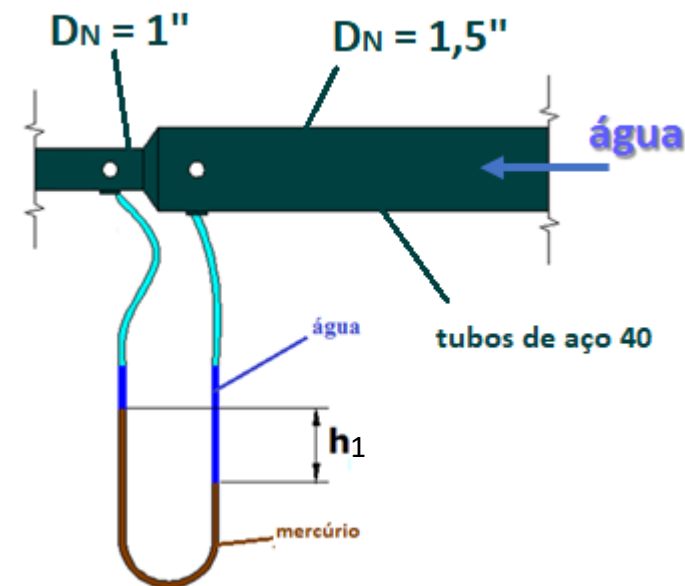
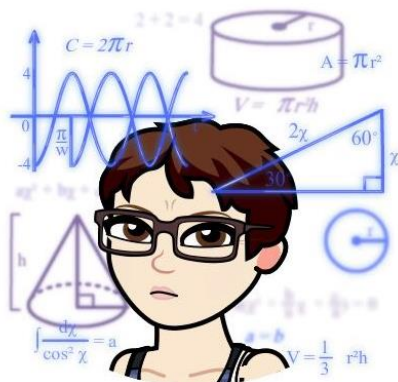
**Dados:**

$$H_{p_{0-1}} \cong 0,981\text{m}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$D_N = 1,5'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 40,8\text{mm} \Leftrightarrow A = 13,1\text{cm}^2$$

$$D_N = 1'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6\text{mm} \Leftrightarrow A = 5,57\text{cm}^2$$



$$Q \cong 2,77 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,77 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Importante: sempre que houver duas velocidades, usamos a velocidade média **MAIOR**!



$$h_s = k_s \times \frac{v^2}{2g} \Rightarrow 0,891 = K_s \times \frac{4,97^2}{19,6} \quad \therefore \frac{0,891 \times 19,6}{4,97^2} = K_s \Rightarrow K_s \cong 0,71$$



É dessa maneira que determinamos, tanto as perdas de carga, como os coeficientes de perda de carga experimentalmente e são estas experiências que inspiram as criações das fórmulas empíricas!





No desenvolvimento de projetos não conseguiremos achar o coeficiente de perda de carga distribuída ( $f$ ), nem o coeficiente de perda de carga singular experimentalmente, como iremos determina-los?

Se você consultar referências ligadas ao assunto, elas vão indicar várias possibilidades, aqui eu vou trabalhar com a minha página da web para determinação dos  $f$  e dos demais coeficientes.

[http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica\\_1/consultas.htm](http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_1/consultas.htm)



CLICAR EM: [•Determinação do  \$f\$ , por Haaland, Swamee e Jain, Churchill e planilha](#)





Ir  abrir uma planilha Excel com esta, sendo que de princípio ela vale para água até 40  C, não sendo água, ou sendo outro fluido, a viscosidade, a massa específica e a viscosidade cinemática devem ser inseridas digitando.

| A  | B                        | C                                   | D                          | E               | F                     | G             | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|----|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  |                          | propriedades do fluido transportado |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | temp ( C)                |                                     | $\mu$ (kg/ms)              | $\rho$ (kg/m  ) | $p_v$ (Pa)            | $\nu$ (m  /s) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | 18                       |                                     | 1,05E-03                   | 998,6           |                       | 1,055E-06     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  |                          | propriedades do local               |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | g =                      |                                     | m/s                        |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | patm =                   |                                     | Pa                         |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | mat. tubo   o            |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 |                          | espessura                           | Dint (mm)                  | A (cm  )        |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 |                          | K(m)                                | DH/k                       |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 |                          |                                     | #DIV/0!                    |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | FLUIDO (líquido)         |                                     | Velocidade econ mica (m/s) |                 | Material da Tubulação |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 |  gua:                    |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | - serviços gerais       |                                     | 0,9 a 2,5                  |                 |   o                   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | - rede industrial        |                                     | 0,9 a 2,2                  |                 |   o                   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | Bombas:                  |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | - linha de sucção        |                                     | 0,9 a 2,2                  |                 |   o                   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | - linha de recalque      |                                     | 2,1 a 3,0                  |                 |   o                   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 |  cido clorídrico         |                                     | 1,5                        |                 | rev. de borracha      |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 |  cido sulfúrico 88 a 98% |                                     | 1,2                        |                 | F  F                  |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 |  mon aco                 |                                     | 1,8                        |                 |   o                   |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 |                          |                                     |                            |                 |                       |               |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Legenda

- deve ser preenchida
- será calculada
- preenchimento opcional
- copiado de outra planilha

Q

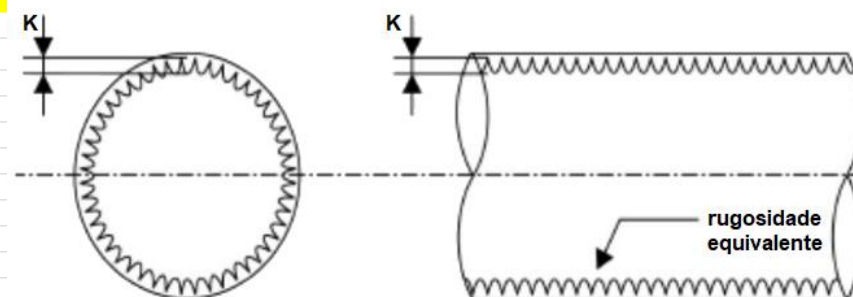
m  /h

Q(m  /s) Q(L/s) Q(L/min)

deve transformar para m  /h

2. Em seguida você vai digitar o diâmetro interno e a área da seção livre.

3. Digitamos a rugosidade equivalente



4. Digitamos a vazão em má/h



Clicamos na aba de comparação\_f  
e temos as opções a seguir:

|    | A | B       | C       | D       | E                    | F                          | G                      | H                     | I                         | J | K |
|----|---|---------|---------|---------|----------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|---|---|
| 1  |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 2  |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 3  |   | Q(m³/h) | v(m/s)  | Re      | f <sub>Haaland</sub> | f <sub>Swamee e Jain</sub> | f <sub>Churchill</sub> | f <sub>planilha</sub> | f <sub>experimental</sub> |   |   |
| 4  |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 5  |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 6  |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 7  |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 8  |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 9  |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 10 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 11 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 12 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 13 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 14 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 15 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 16 |   | 0,0     | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0!              | #DIV/0!                    | #DIV/0!                | #DIV/0!               |                           |   |   |
| 17 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 18 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 19 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 20 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 21 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 22 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 23 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 24 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 25 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 26 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 27 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 28 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 29 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 30 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 31 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |
| 32 |   |         |         |         |                      |                            |                        |                       |                           |   |   |

Introdução\_e\_dados   propriedades d'água   Haaland   Swamee e Jain   Churchill   Planilha   **comparação\_f**

Não esqueça que para  
escoamento Laminar não  
precisamos da planilha:

$Re \leq 2000 \rightarrow$  esc. laminar

$$f = \frac{64}{Re} \Leftrightarrow Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} = \frac{v D_H}{\nu}$$



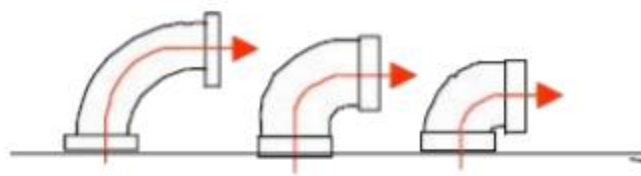
Exemplos:

Rugosidade aproximada de  
tubos comuns

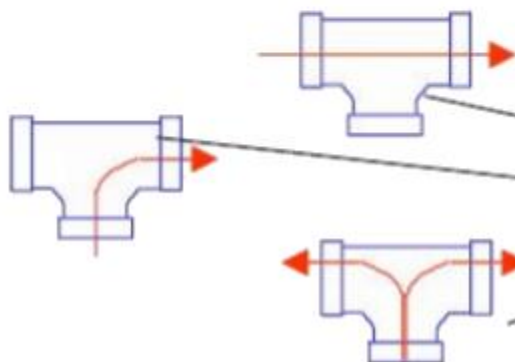
| TUBOS                          | RUGOSIDADE , K |                |
|--------------------------------|----------------|----------------|
|                                | Milímetros     | Pés            |
| Aço rebitado                   | 0,9 - 9        | 0,003 - 0,03   |
| Concreto                       | 0,3 - 3        | 0,001 - 0,001  |
| Madeira                        | 0,2 - 0,9      | 0,0006 - 0,003 |
| Ferro fundido                  | 0,26           | 0,00085        |
| Ferro galvanizado              | 0,15           | 0,0005         |
| Ferro fundido asfaltado        | 0,12           | 0,0004         |
| Aço comercial ou ferro forjado | 0,046          | 0,00015        |
| Trefilado                      | 0,0015         | 0,000005       |



Valores do coeficiente  $K_s$ , para os elementos mais comuns das canalizações, são apresentados na tabela a seguir:



$$h_s = k_s \times \frac{v^2}{2g} = k_s \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$



| Singularidade                         | $K_s$       |
|---------------------------------------|-------------|
| Alargamento gradual                   | 0,30        |
| Bocais                                | 2,75        |
| Comporta aberta                       | 1           |
| Curva de raio Longo                   | 0,25 a 0,40 |
| Curva de raio curto (cotovelo de 90°) | 0,9 até 1,5 |
| Curva de 45°                          | 0,20        |
| Cotovelo de 45°                       | 0,40        |
| Curva de 22° 30'                      | 0,10        |
| Curva de retorno                      | 2,2         |
| Crivo                                 | 0,75        |
| Redução gradual                       | 0,15        |
| Medidor venturi                       | 2,5         |
| Registro de gaveta aberto             | 0,2         |
| Registro de globo aberto              | 10          |
| Registro de ângulo aberto             | 5           |
| Junção                                | 0,40        |
| T de passagem direta                  | 0,60        |
| T de saída lateral                    | 1,3         |
| T de saída bilateral                  | 1,8         |
| Válvula de retenção                   | 2,5         |
| Válvula de pé                         | 1,75        |

Apenas um exemplo:



Outras fontes devem ser consultadas e sempre que possível, considere os valores fornecidos pelo fabricante da singularidade. Os valores da Tupy e da MIPEL, podem ser acessados na página:

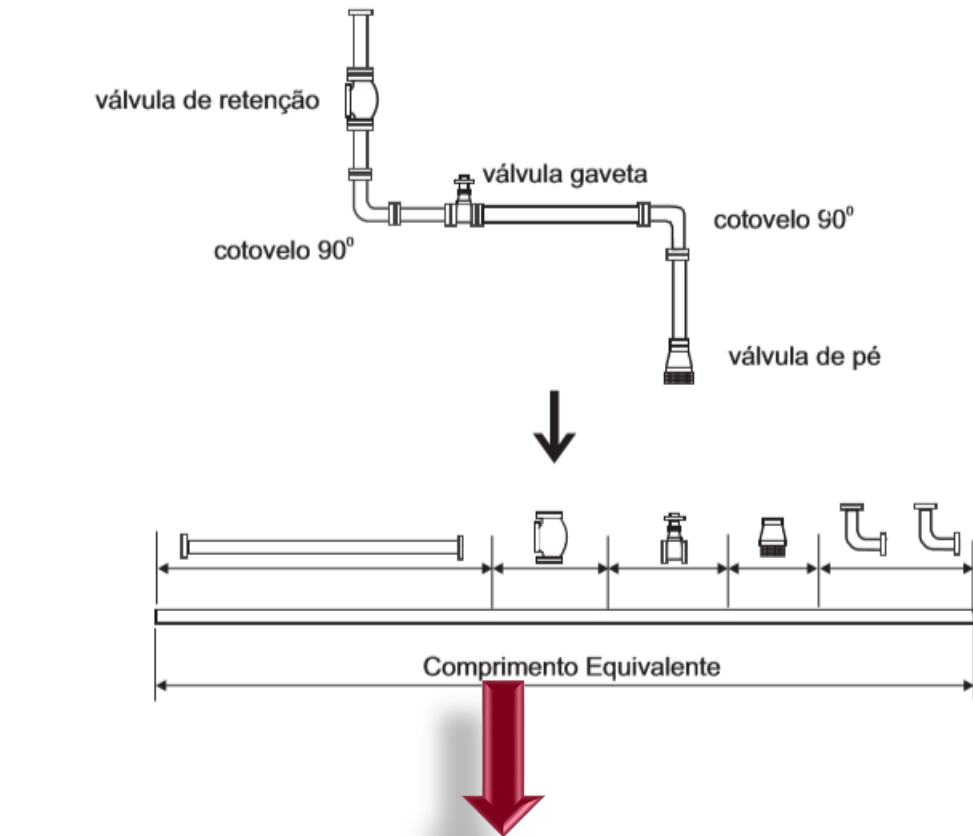
[http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica\\_1/consultas.htm](http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_1/consultas.htm)

**Para projetos é mais comum trabalharmos com os comprimentos equivalentes ( $L_{eq}$ )**

# Exemplo de valores de comprimentos equivalentes:

Outras fontes devem ser consultadas e sempre que possível, considere os valores fornecidos pelo fabricante da singularidade. Os valores da Tupy e da MIPEL, podem ser acessados na página:

[http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica\\_1/consultas.htm](http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_1/consultas.htm)



$$h_f = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)\*

| DIÂMETRO D |       | COTOVELO 90°<br>RAIO LONGO | COTOVELO 90°<br>RAIO MEDIO | COTOVELO 90°<br>RAIO CURTO | COTOVELO 45° | CURVA 90°<br>R/D - 1 1/2 | CURVA 90°<br>R/D - 1 | CURVA 45° | ENTRADA<br>NORMAL | ENTRADA<br>DE BORDA | REGISTRO DE<br>GAVETA ABERTO | REGISTRO DE<br>GLOBO ABERTO | REGISTRO DE<br>ÂNGULO ABERTO | TÊ<br>PASSAGEM<br>DIRETA | TÊ<br>SAÍDA<br>DE LADO | TÊ<br>SAÍDA<br>BILATERAL | VÁLVULA DE<br>PÉ E CRIVO | SAÍDA DA<br>CANALIZAÇÃO | VÁLVULA DE<br>RETENÇÃO<br>TIPO LEVE | VÁLVULA DE<br>RETENÇÃO<br>TIPO PESADO |
|------------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------|-------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| mm         | pol.  |                            |                            |                            |              |                          |                      |           |                   |                     |                              |                             |                              |                          |                        |                          |                          |                         |                                     |                                       |
| 13         | 1/2   | 0,3                        | 0,4                        | 0,5                        | 0,2          | 0,2                      | 0,3                  | 0,2       | 0,2               | 0,4                 | 0,1                          | 4,9                         | 2,6                          | 0,3                      | 1,0                    | 1,0                      | 3,6                      | 0,4                     | 1,1                                 | 1,6                                   |
| 19         | 3/4   | 0,4                        | 0,6                        | 0,7                        | 0,3          | 0,3                      | 0,4                  | 0,2       | 0,3               | 0,5                 | 0,1                          | 6,7                         | 3,6                          | 0,4                      | 1,4                    | 1,4                      | 5,6                      | 0,5                     | 1,6                                 | 2,4                                   |
| 25         | 1     | 0,5                        | 0,7                        | 0,8                        | 0,4          | 0,3                      | 0,5                  | 0,2       | 0,3               | 0,7                 | 0,2                          | 8,2                         | 4,6                          | 0,5                      | 1,7                    | 1,7                      | 7,3                      | 0,7                     | 2,1                                 | 3,2                                   |
| 32         | 1 1/4 | 0,7                        | 0,9                        | 1,1                        | 0,5          | 0,4                      | 0,6                  | 0,3       | 0,4               | 0,9                 | 0,2                          | 11,3                        | 5,6                          | 0,7                      | 2,3                    | 2,3                      | 10,0                     | 0,9                     | 2,7                                 | 4,0                                   |
| 38         | 1 1/2 | 0,9                        | 1,1                        | 1,3                        | 0,6          | 0,5                      | 0,7                  | 0,3       | 0,5               | 1,0                 | 0,3                          | 13,4                        | 6,7                          | 0,9                      | 2,8                    | 2,8                      | 11,6                     | 1,0                     | 3,2                                 | 4,8                                   |
| 50         | 2     | 1,1                        | 1,4                        | 1,7                        | 0,8          | 0,6                      | 0,9                  | 0,4       | 0,7               | 1,5                 | 0,4                          | 17,4                        | 8,5                          | 1,1                      | 3,5                    | 3,5                      | 14,0                     | 1,5                     | 4,2                                 | 6,4                                   |
| 63         | 2 1/2 | 1,3                        | 1,7                        | 2,0                        | 0,9          | 0,8                      | 1,0                  | 0,5       | 0,9               | 1,9                 | 0,4                          | 21,0                        | 10,0                         | 1,3                      | 4,3                    | 4,3                      | 17,0                     | 1,9                     | 5,2                                 | 8,1                                   |
| 75         | 3     | 1,6                        | 2,1                        | 2,5                        | 1,2          | 1,0                      | 1,3                  | 0,6       | 1,1               | 2,2                 | 0,5                          | 26,0                        | 13,0                         | 1,6                      | 5,2                    | 5,2                      | 20,0                     | 2,2                     | 6,3                                 | 9,7                                   |
| 100        | 4     | 2,1                        | 2,8                        | 3,4                        | 1,3          | 1,3                      | 1,6                  | 0,7       | 1,6               | 3,2                 | 0,7                          | 34,0                        | 17,0                         | 2,1                      | 6,7                    | 6,7                      | 23,0                     | 3,2                     | 8,4                                 | 12,9                                  |
| 125        | 5     | 2,7                        | 3,7                        | 4,2                        | 1,9          | 1,6                      | 2,1                  | 0,9       | 2,0               | 4,0                 | 0,9                          | 43,0                        | 21,0                         | 2,7                      | 8,4                    | 8,4                      | 30,0                     | 4,0                     | 10,4                                | 16,1                                  |
| 150        | 6     | 3,4                        | 4,3                        | 4,9                        | 2,3          | 1,9                      | 2,5                  | 1,1       | 2,5               | 5,0                 | 1,1                          | 51,0                        | 26,0                         | 3,4                      | 10,0                   | 10,0                     | 39,0                     | 5,0                     | 12,5                                | 19,3                                  |
| 200        | 8     | 4,3                        | 5,5                        | 6,4                        | 3,0          | 2,4                      | 3,3                  | 1,5       | 3,5               | 6,0                 | 1,4                          | 67,0                        | 34,0                         | 4,3                      | 13,0                   | 13,0                     | 52,0                     | 6,0                     | 16,0                                | 25,0                                  |
| 250        | 10    | 5,5                        | 6,7                        | 7,9                        | 3,8          | 3,0                      | 4,1                  | 1,8       | 4,5               | 7,5                 | 1,7                          | 85,0                        | 43,0                         | 5,5                      | 16,0                   | 16,0                     | 65,0                     | 7,5                     | 20,0                                | 32,0                                  |
| 300        | 12    | 6,1                        | 7,9                        | 9,5                        | 4,6          | 3,6                      | 4,8                  | 2,2       | 5,5               | 9,0                 | 2,1                          | 102,0                       | 51,0                         | 6,1                      | 19,0                   | 19,0                     | 78,0                     | 9,0                     | 24,0                                | 38,0                                  |
| 350        | 14    | 7,3                        | 9,5                        | 10,5                       | 5,3          | 4,4                      | 5,4                  | 2,5       | 6,2               | 11,0                | 2,4                          | 120,0                       | 60,0                         | 7,3                      | 22,0                   | 22,0                     | 90,0                     | 11,0                    | 28,0                                | 45,0                                  |

\* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.



Considerando o trecho de (2) a (3),  
calcule a perda de carga distribuída  
neste trecho.

**Dados:**

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Q \cong 2,77 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,77 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

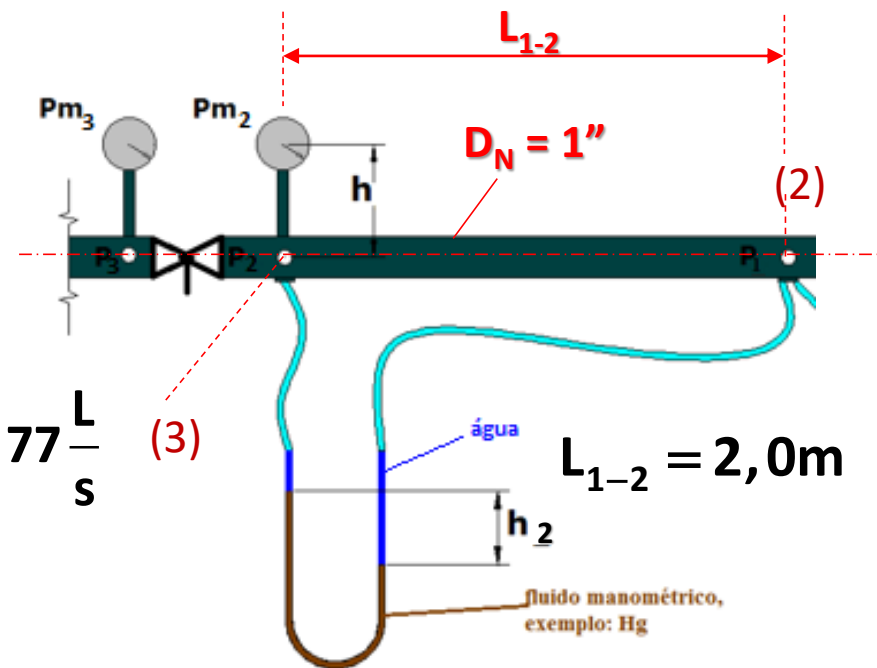
$$K_{\text{aço}} = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$D_N = 1'' \rightarrow \text{ANSI B3610} \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6 \text{ mm} \Leftrightarrow A = 5,57 \text{ cm}^2$$

Conduto de seção circular e forçado:

$$h_f = \frac{16}{2g \times \pi^2} \times f \times \frac{L}{D^5} \times Q^2$$

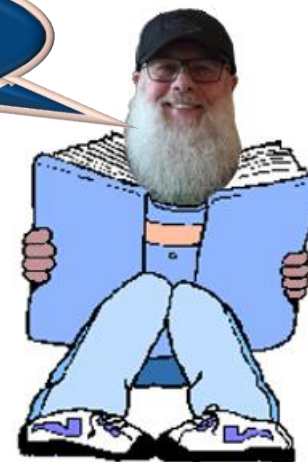
$$\therefore h_f = \frac{16}{19,6 \times \pi^2} \times f \times \frac{2}{0,0266^5} \times 0,00277^2$$



Recorremos a  
fórmula universal

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$





| Q(m³/h) | v(m/s) | Re     | f <sub>Haaland</sub> | f <sub>Swamee e Jain</sub> | f <sub>Churchill</sub> | f <sub>planilha</sub> | f <sub>experimental</sub> |
|---------|--------|--------|----------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 10,0    | 4,97   | 144889 | 0,0237               | 0,0240                     | 0,0241                 | 0,0239                |                           |

Obtivemos  $f = 0,0241$



$$\therefore h_f = \frac{16}{19,6 \times \pi^2} \times 0,0241 \times \frac{2}{0,0266^5} \times 0,00277^2$$

$$h_f \cong 2,298\text{m}$$

Com o coeficiente de perda de carga distribuída, podemos calcular a perda de carga distribuída no trecho.

**O valor obtido com os dados do laboratório foi 2,892 m, cerca de 20,5% maior e está coerente já que a tubulação da bancada não é nova, tem cerca de 20 anos, com o envelhecimento ocorre a alteração na rugosidade e em consequência um aumento da perda de carga.**