



**Resolver
problemas
facilita esta
prática**



**Para uma formação
responsável e sustentável há a
necessidade de se praticar
reflexões!**





A curva CCB de uma bomba cruza com a CCI de uma instalação em um ponto de vazão $Q = 55\text{L/s}$ e altura manométrica $H_B = 22\text{m}$. A instalação representada pela CCI tem as seguintes características: somatória dos comprimentos equivalentes: 120m ; tubulação de FoFo nova com diâmetro de $12''$; altura de bombeamento (carga estática): 18m . Pede-se: calcular o comprimento da tubulação sem os comprimentos equivalentes; passados 25 anos, desejando manter a mesma vazão, substituindo a bomba antiga por uma bomba geometricamente semelhante, calcular a rotação, o diâmetro do rotor e a altura manométrica desta nova bomba. Dados da bomba inicial: $D_{\text{rotor}} = 30\text{ cm}$ e $n = 1800\text{ rpm}$

No cruzamento da CCB pela CCI, temos o ponto de trabalho

$$Q_{\tau} = 55 \frac{\text{L}}{\text{s}} \rightarrow H_{B_{\tau}} = 22\text{m}$$

$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p \Rightarrow 22 = 18 + H_p$$

$$H_p = 4\text{m} \Rightarrow J_C = \frac{H_p}{L_{\text{Total}}}$$



Este problema irá justificar porque prefiro trabalhar com a fórmula universal, mesmo sendo necessário conhecer a fórmula de Hazen Williams



Primeira maneira de resolver:



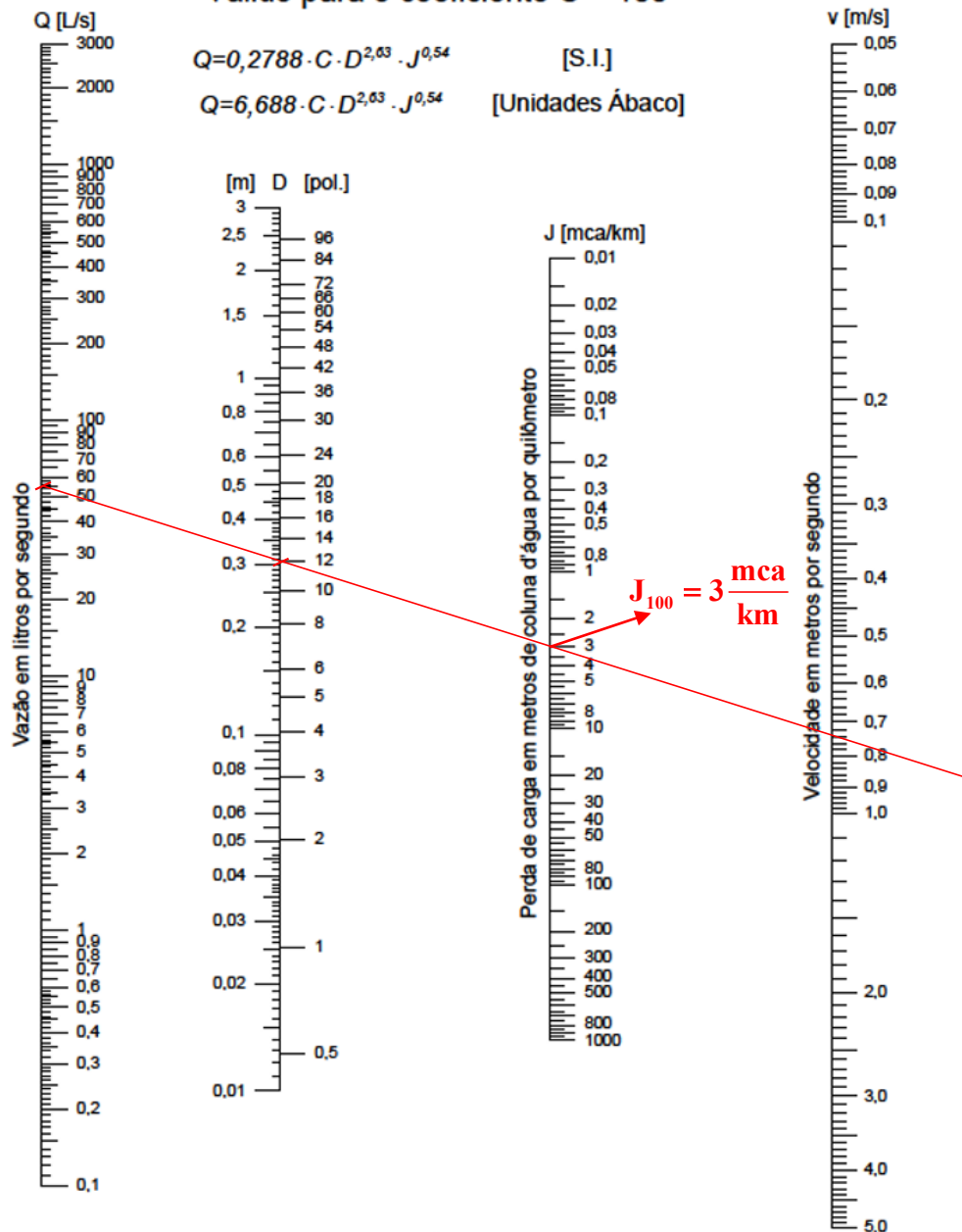
Válido para o coeficiente C = 100

$$Q = 0,2788 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad [\text{S.I.}]$$

[S.I.]

$$Q = 6,688 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad [\text{Unidades Ábaco}]$$

[Unidades Ábaco]



Através do ábaco de Hazen-Williams com a Q = 55L/s e D = 12", temos a determinação de J₁₀₀



Sabemos que:

$$J_C = k \times J_{100}$$

Para achar o K, necessitamos do C, no caso para uma tubulação de FoFo nova

| C | K | C | K | C | K | C | K |
|----|-------|----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 40 | 5,547 | 70 | 1,936 | 100 | 1,000 | 130 | 0,615 |
| 41 | 5,213 | 71 | 1,886 | 101 | 0,982 | 131 | 0,606 |
| 42 | 4,986 | 72 | 1,827 | 102 | 0,964 | 132 | 0,598 |

| Material dos tubos | Valores de C |
|--------------------|--------------|
| Aço corrugado | 60 |
| Ferro fundido novo | 130 |

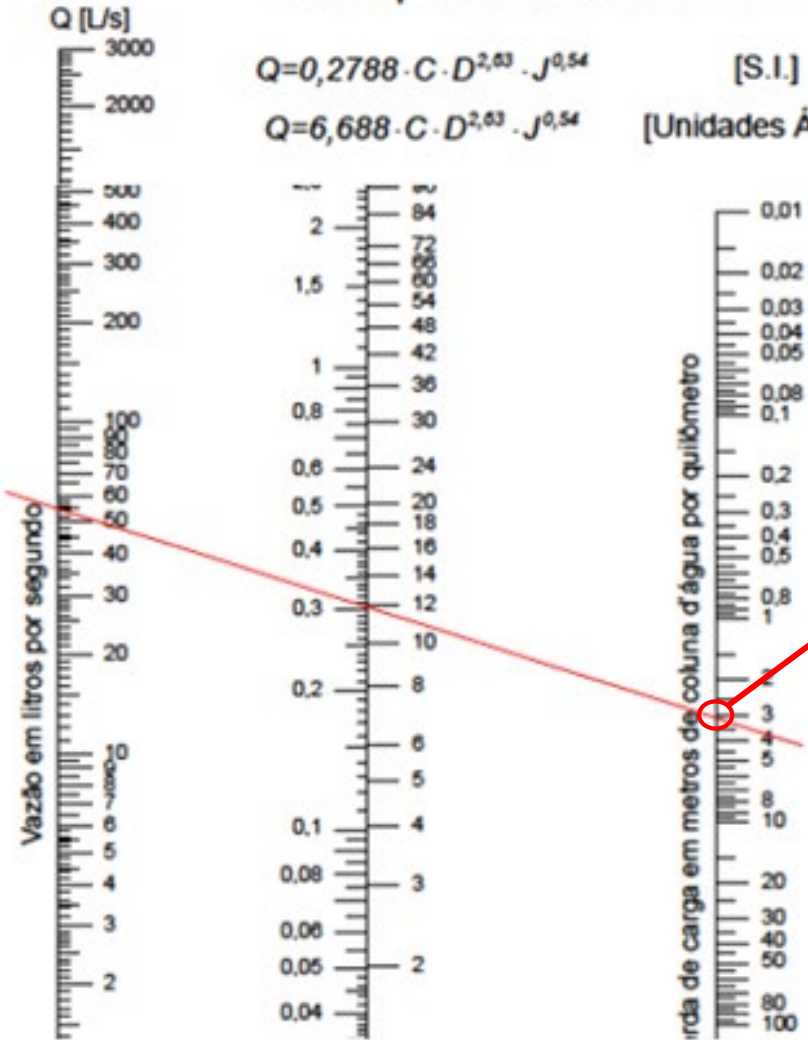


Através do ábaco de Hazen-Williams com a $Q = 55\text{L/s}$ e $D = 12''$, temos a determinação de J_{100}

Válido para o coeficiente $C = 100$

$$Q = 0,2788 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad [\text{S.I.}]$$

$$Q = 6,688 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54} \quad [\text{Unidades Ábaco}]$$



$$J_{100} = 3 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

| C | K |
|-----|-------|
| 130 | 0,615 |

| diâmetro (m) | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
|--------------|------|------|------|------|------|
| anos | 4'' | 6'' | 8'' | 10'' | 12'' |
| 0 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| | 130 | 130 | 130 | 120 | 120 |

Tubulação nova

$$J_C = K \times J_{100} = 0,615 \times 3 = 1,845 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

$$1,845 \frac{\text{mca}}{\text{km}} = \frac{H_p}{L_{\text{total}}} \therefore L_{\text{total}} = \frac{4}{1,845} \cong 2,168\text{km}$$

$$2168\text{m} = 120 + L \therefore L \cong 2048\text{m}$$



Passado 25 anos, temos:

| diâmetro (m) | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
|--------------|------|------|------|------|------|
| anos | 4" | 6" | 8" | 10" | 12" |
| 25 | 81 | 86 | 89 | 91 | 91 |

| C | K |
|----|-------|
| 91 | 1,191 |

$$J_C = K \times J_{130} = 1,191 \times 3 = 3,573 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

$$3,573 \frac{\text{mca}}{\text{km}} = \frac{H_{p_{25}}}{L_{\text{total}}} \therefore H_{p_{25}} = 3,573 \times 2,168 \cong 7,75\text{m}$$

$$H_{B_{25}} = H_{\text{estática}} + H_p \Rightarrow H_{B_{25}} = 18 + 7,75 \therefore H_{B_{25}} = 25,75\text{m}$$

$$25,75 = \left(\frac{n_{25}}{1800} \right)^2 \times \left(\frac{D_{25}}{30} \right)^2 \times 22 \Rightarrow n_{25} = \frac{1800 \times 30}{D_{25}} \times \sqrt{\frac{25,75}{22}} \Rightarrow (I)$$



Para resolver, lembramos que a vazão é a mesma.

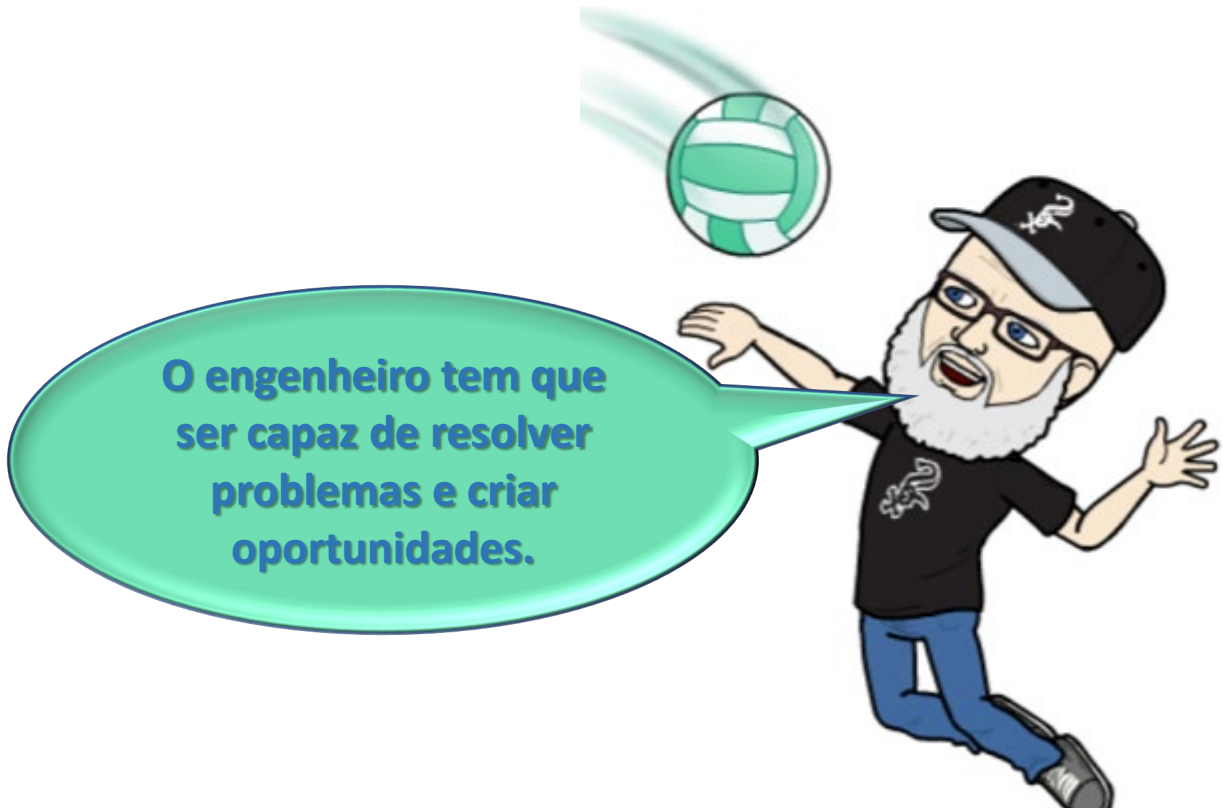
Com a segunda condição de semelhança, temos:

$$Q_p = \frac{n_p}{n_m} \times \left(\frac{D_{r_p}}{D_{r_m}} \right)^3 \times Q_m \quad 55 = \frac{n_{25}}{1800} \times \left(\frac{D_{25}}{30} \right)^3 \times 55 \Rightarrow n_{25} = 1800 \times \left(\frac{30}{D_{25}} \right)^3 \rightarrow \text{(II)}$$

$$D_{25}^2 = 30^2 \times \sqrt{\frac{22}{25,75}} \therefore D_{25} \cong 28,84\text{cm}$$

Voltando a equação (I), temos:

$$n_{25} = \frac{1800 \times 30}{28,84} \times \sqrt{\frac{25,75}{22}} \cong 2026\text{rpm}$$

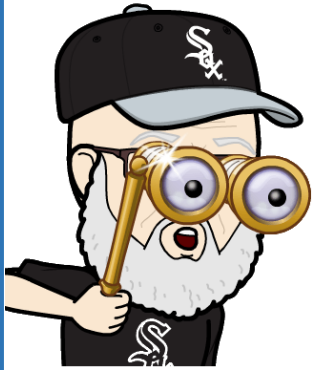


O engenheiro tem que ser capaz de resolver problemas e criar oportunidades.

Valores de C

| diâmetro (m) anos | 0,10 4" | 0,15 6" | 0,20 8" | 0,25 10" | 0,30 12" | 0,35 14" | 0,40 16" | 0,45 18" | 0,50 20" | 0,60 24" | 0,75 30" | 0,90 36" | 1,05 42" | 1,50 60" |
|----------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 5 | 117 | 118 | 119 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 121 | 122 | 122 | 122 |
| 10 | 106 | 108 | 109 | 110 | 110 | 110 | 111 | 112 | 112 | 112 | 113 | 113 | 113 | 113 |
| 15 | 96 | 100 | 102 | 103 | 103 | 103 | 104 | 104 | 105 | 105 | 106 | 106 | 106 | 106 |
| 20 | 88 | 93 | 94 | 96 | 97 | 97 | 98 | 98 | 99 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 25 | 81 | 86 | 89 | 91 | 91 | 91 | 92 | 92 | 93 | 93 | 94 | 94 | 94 | 95 |
| 30 | 75 | 80 | 83 | 85 | 86 | 86 | 87 | 87 | 88 | 89 | 90 | 90 | 90 | 91 |
| 35 | 70 | 75 | 78 | 80 | 82 | 82 | 83 | 84 | 85 | 85 | 86 | 86 | 87 | 88 |
| 40 | 64 | 71 | 74 | 76 | 78 | 78 | 79 | 80 | 81 | 81 | 82 | 83 | 83 | 84 |
| 45 | 60 | 67 | 71 | 73 | 75 | 76 | 76 | 77 | 77 | 78 | 78 | 78 | 80 | 81 |
| 50 | 56 | 63 | 67 | 70 | 71 | 72 | 73 | 73 | 74 | 75 | 76 | 76 | 77 | 78 |

para FoFo

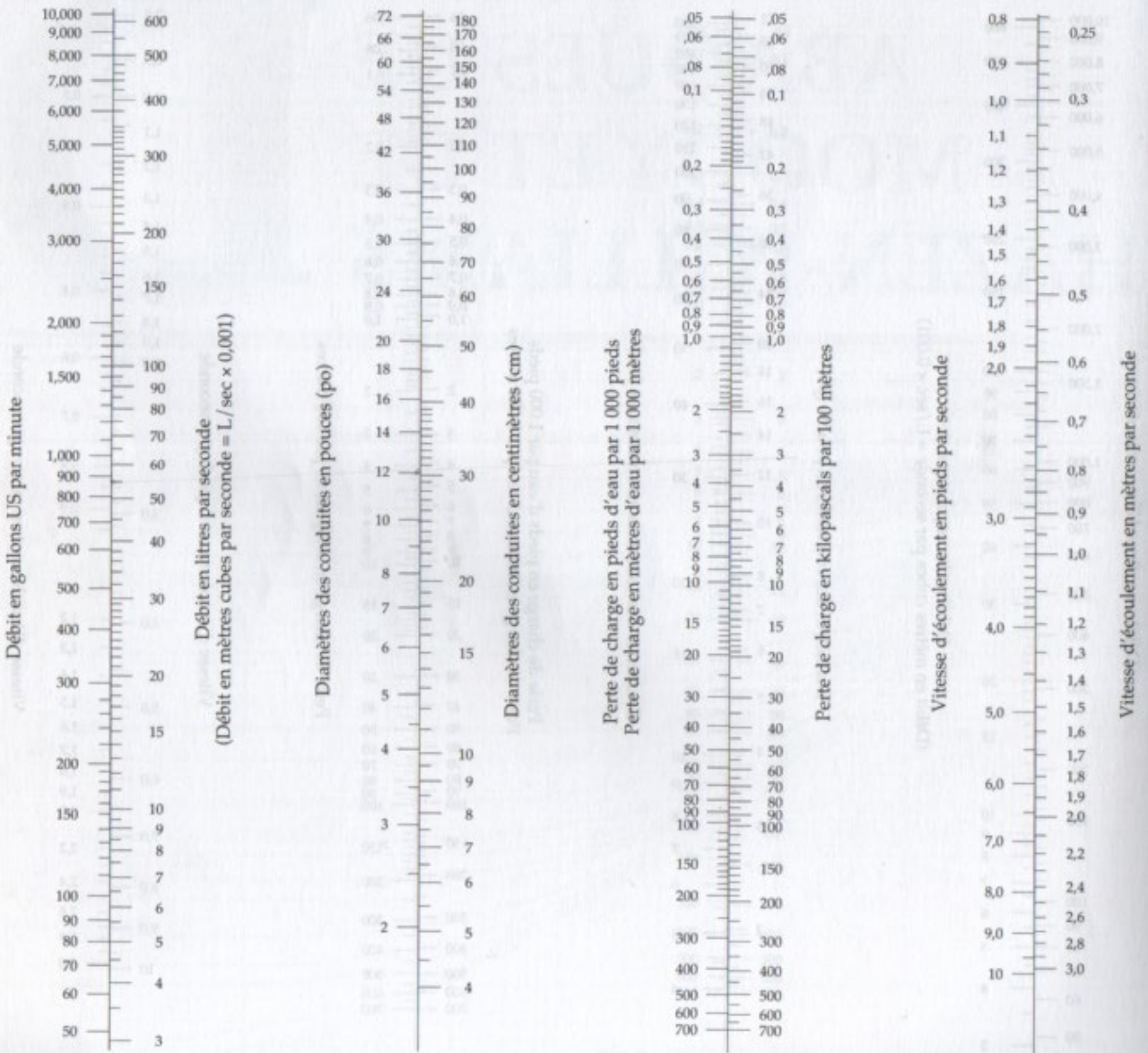


Fatores de correção K para diferentes valores do
coeficiente C da fórmula de Hazen-Williams



| C | K | C | K | C | K | C | K |
|----|-------|----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 40 | 5,547 | 70 | 1,936 | 100 | 1,000 | 130 | 0,615 |
| 41 | 5,213 | 71 | 1,886 | 101 | 0,982 | 131 | 0,606 |
| 42 | 4,986 | 72 | 1,827 | 102 | 0,964 | 132 | 0,598 |
| 43 | 4,772 | 73 | 1,791 | 103 | 0,947 | 133 | 0,590 |
| 44 | 4,574 | 74 | 1,747 | 104 | 0,930 | 134 | 0,852 |
| 45 | 4,388 | 75 | 1,704 | 105 | 0,914 | 135 | 0,574 |
| 46 | 4,213 | 76 | 1,662 | 106 | 0,898 | 136 | 0,566 |
| 47 | 4,048 | 77 | 1,623 | 107 | 0,882 | 137 | 0,558 |
| 48 | 3,893 | 78 | 1,584 | 108 | 0,867 | 138 | 0,551 |
| 49 | 3,748 | 79 | 1,547 | 109 | 0,852 | 139 | 0,543 |
| 50 | 3,610 | 80 | 1,512 | 110 | 0,838 | 140 | 0,536 |
| 51 | 3,480 | 81 | 1,477 | 111 | 0,824 | 141 | 0,529 |
| 52 | 3,370 | 82 | 1,444 | 112 | 0,811 | 142 | 0,522 |
| 53 | 3,241 | 83 | 1,412 | 113 | 0,797 | 143 | 0,516 |
| 54 | 3,131 | 84 | 1,381 | 114 | 0,785 | 144 | 0,509 |
| 55 | 3,026 | 85 | 1,351 | 115 | 0,772 | 145 | 0,503 |
| 56 | 3,927 | 86 | 1,322 | 116 | 0,760 | 146 | 0,496 |
| 57 | 2,832 | 87 | 1,294 | 117 | 0,748 | 147 | 0,490 |
| 58 | 2,742 | 88 | 1,267 | 118 | 0,736 | 148 | 0,484 |
| 59 | 2,657 | 89 | 1,241 | 119 | 0,725 | 149 | 0,478 |
| 60 | 2,576 | 90 | 1,215 | 120 | 0,713 | 150 | 0,472 |
| 61 | 2,498 | 91 | 1,191 | 121 | 0,703 | 151 | 0,466 |
| 62 | 2,424 | 92 | 1,167 | 122 | 0,692 | 152 | 0,461 |
| 63 | 2,353 | 93 | 1,144 | 123 | 0,682 | 153 | 0,455 |
| 64 | 2,285 | 94 | 1,121 | 124 | 0,671 | 154 | 0,449 |
| 65 | 2,221 | 95 | 1,100 | 125 | 0,661 | 155 | 0,444 |
| 66 | 2,159 | 96 | 1,079 | 126 | 0,652 | 156 | 0,439 |
| 67 | 2,099 | 97 | 1,058 | 127 | 0,642 | 157 | 0,434 |
| 68 | 2,043 | 98 | 1,038 | 128 | 0,633 | 158 | 0,429 |
| 69 | 1,988 | 99 | 1,019 | 129 | 0,624 | 159 | 0,424 |

ÉCOULEMENT EN CONDUITE
(Formule de HAZEN-WILLIAMS)
Tiré de Water and Sewage Works Journal



C = 100

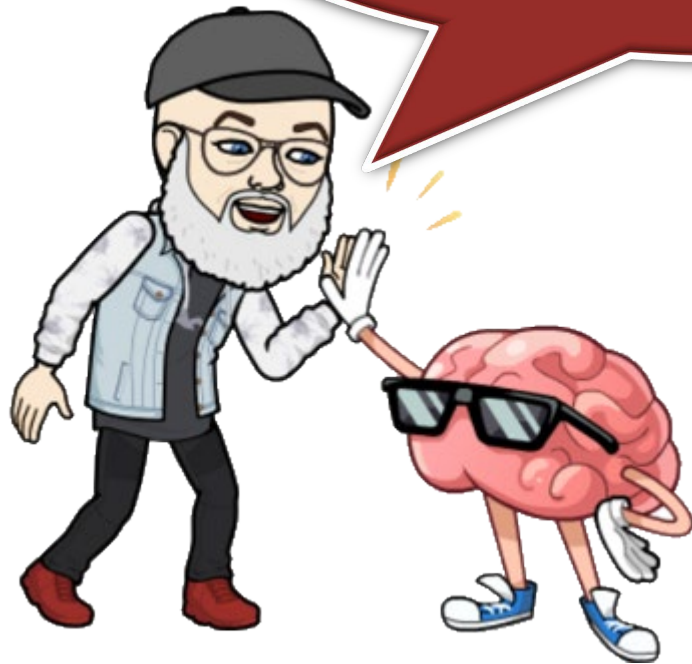
MÉCANIQUE DES FLUIDES APPLIQUÉE

JEAN-PAUL BEAUDRY
JEAN-CLAUDE ROLLAND



BERGER

Refaça o mesmo problema,
porém sem recorrer a
nenhum ábaco.



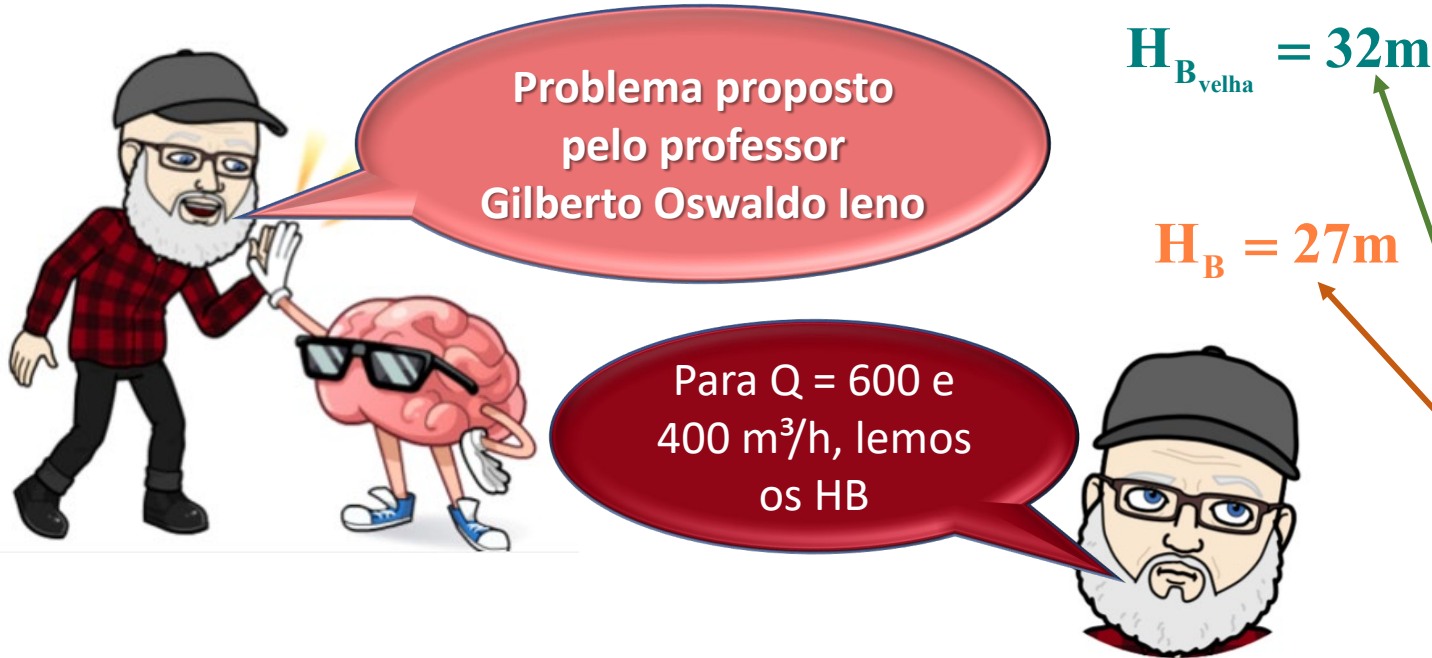
$$J = \frac{H_p}{L} = 10,643 \times \frac{1}{D_H^{4,87}} \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} \rightarrow SI$$

1. Considerando $D_H = 0,30$ m

2. Considerando $D_H = D_{int}$ obtido na norma

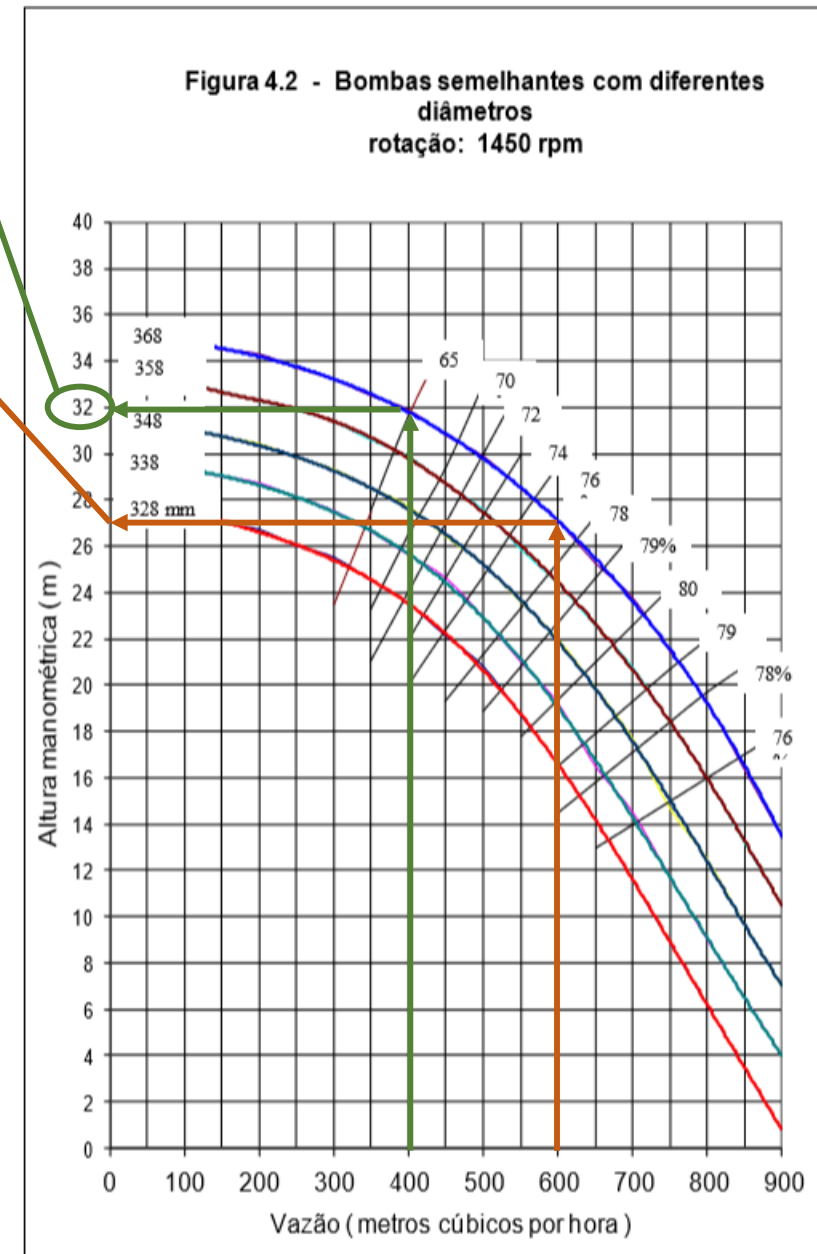
Tubos de ferro fundido

| nominal | externo | diâmetros em milímetro | | | |
|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|
| | | internos típicos | | | |
| | | classes de pressão (mCA) | | | |
| | | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 75 | 100,58 | 87,88 | 87,88 | 87,88 | 87,88 |
| 100 | 121,92 | 108,71 | 108,71 | 108,71 | 108,71 |
| 150 | 176,26 | 162,56 | 162,56 | 162,56 | 162,56 |
| 200 | 229,87 | 216,15 | 216,15 | 216,15 | 216,15 |
| 250 | 281,94 | 267,21 | 267,21 | 267,21 | 267,21 |
| 300 | 335,28 | 319,53 | 319,53 | 319,53 | 319,53 |
| 350 | 388,62 | 371,86 | 371,86 | 371,86 | 371,83 |
| 400 | 441,96 | 424,69 | 424,69 | 424,69 | 424,69 |
| 450 | 495,30 | 477,52 | 477,52 | 477,52 | 477,52 |
| 500 | 548,64 | 530,35 | 530,35 | 530,35 | 528,83 |
| 600 | 655,32 | 636,02 | 636,02 | 634,49 | 632,97 |
| 750 | 812,80 | 792,99 | 792,99 | 788,92 | 786,89 |
| 900 | 972,82 | 950,98 | 950,98 | 945,90 | 943,36 |
| 1000 | 1130,30 | 1106,42 | 1106,42 | 1100,33 | 1097,28 |



A bomba de diâmetro 368 mm da Figura 4.2 funciona em uma instalação que eleva a água até 18 m de altura em uma tubulação de 1800 m, incluindo os comprimentos equivalentes. Calcular o diâmetro desta instalação, sabendo que a vazão é de $600 \text{ m}^3/\text{h}$ no início de seu funcionamento (instalação nova de FoFo). Calcular, aproximadamente, a idade da instalação, funcionando com a mesma bomba, sabendo que sua vazão ficou reduzida para $400 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p \Rightarrow 27 = 18 + H_p \therefore H_p = 9\text{m}$$



$$H_p = \frac{10,643 \times L_{total}}{C^{1,85} \times D_H^{4,87}} \times Q^{1,85} \Rightarrow J = \frac{H_p}{L_{total}} \Rightarrow Q = 0,279 \times C \times D_H^{2,63} \times J^{0,54}$$

$$\frac{600}{3600} = 0,279 \times C \times D_H^{2,63} \times \left(\frac{9}{1800}\right)^{0,54}$$

| Material dos tubos | Valores de C |
|--------------------|--------------|
| Ferro fundido novo | 130 |

$$\left(\frac{600 \times 1800^{0,54}}{3600 \times 0,279 \times 130 \times 9^{0,54}}\right)^{\frac{1}{2,63}} = D_H$$

$$D_H = D_{int} \cong 0,3834m = 383,4mm$$



Pela tabela normalizada para tubo de FoFo, podemos considerar:

$$D_N = 350mm \Rightarrow D_N = 14''$$

Tubos de ferro fundido

| diâmetros em milímetro | | | | | |
|------------------------|---------|--|---------|---------|---------|
| nominal | externo | internos típicos classes de pressão (mCA) | | | |
| | | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 75 | 100,58 | 87,88 | 87,88 | 87,88 | 87,88 |
| 100 | 121,92 | 108,71 | 108,71 | 108,71 | 108,71 |
| 150 | 176,26 | 162,56 | 162,56 | 162,56 | 162,56 |
| 200 | 229,87 | 216,15 | 216,15 | 216,15 | 216,15 |
| 250 | 281,94 | 267,21 | 267,21 | 267,21 | 267,21 |
| 300 | 335,28 | 319,53 | 319,53 | 319,53 | 319,53 |
| 350 | 388,62 | 371,86 | 371,86 | 371,86 | 371,83 |
| 400 | 441,96 | 424,69 | 424,69 | 424,69 | 424,69 |
| 450 | 495,30 | 477,52 | 477,52 | 477,52 | 477,52 |
| 500 | 548,64 | 530,35 | 530,35 | 530,35 | 528,83 |
| 600 | 655,32 | 636,02 | 636,02 | 634,49 | 632,97 |
| 750 | 812,80 | 792,99 | 792,99 | 788,92 | 786,89 |
| 900 | 972,82 | 950,98 | 950,98 | 945,90 | 943,36 |
| 1000 | 1130,30 | 1106,42 | 1106,42 | 1100,33 | 1097,28 |

Ref.: Adaptado de ANSI A21.51 (1976)

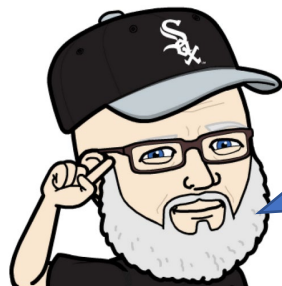
$$H_{B_{\text{velho}}} = H_{\text{estática}} + H_p \Rightarrow 32 = 18 + H_{p_{\text{inst}_{\text{velha}}}} \therefore H_{p_{\text{inst}_{\text{velha}}}} = 14\text{m}$$

$$Q = 0,279 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54} \quad \therefore \frac{400}{3600} = 0,279 \times C_{\text{velho}} \times 0,37186^{2,63} \times \left(\frac{14}{1800}\right)^{0,54}$$

$$\frac{400 \times 1800^{0,54}}{3600 \times 0,279 \times 0,37186^{2,63} \times 14^{0,54}} = C_{\text{velho}} \Rightarrow C_{\text{velho}} \cong 74$$

| diâmetro (m) | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| anos | 4" | 6" | 8" | 10" | 12" | 14" |
| 0 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 5 | 117 | 118 | 119 | 120 | 120 | 120 |
| 10 | 106 | 108 | 109 | 110 | 110 | 110 |
| 15 | 96 | 100 | 102 | 103 | 103 | 103 |
| 20 | 88 | 93 | 94 | 96 | 97 | 97 |
| 25 | 81 | 86 | 89 | 91 | 91 | 91 |
| 30 | 75 | 80 | 83 | 85 | 86 | 86 |
| 35 | 70 | 75 | 78 | 80 | 82 | 82 |
| 40 | 64 | 71 | 74 | 76 | 78 | 78 |
| 45 | 60 | 67 | 71 | 73 | 75 | 76 |
| 50 | 56 | 63 | 67 | 70 | 71 | 72 |

Valores de C para o FoFo



Com os dados obtidos, interpolamos:

$$45 \leftrightarrow 75$$

$$x \leftrightarrow 74$$

$$50 \leftrightarrow 72$$

$$\frac{x - 50}{45 - 50} = \frac{74 - 72}{76 - 72} \therefore x = 47,5\text{anos}$$

Valores de C

| diâmetro (m) anos | 0,10 4" | 0,15 6" | 0,20 8" | 0,25 10" | 0,30 12" | 0,35 14" | 0,40 16" | 0,45 18" | 0,50 20" | 0,60 24" | 0,75 30" | 0,90 36" | 1,05 42" | 1,50 60" |
|----------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 5 | 117 | 118 | 119 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 121 | 122 | 122 | 122 |
| 10 | 106 | 108 | 109 | 110 | 110 | 110 | 111 | 112 | 112 | 112 | 113 | 113 | 113 | 113 |
| 15 | 96 | 100 | 102 | 103 | 103 | 103 | 104 | 104 | 105 | 105 | 106 | 106 | 106 | 106 |
| 20 | 88 | 93 | 94 | 96 | 97 | 97 | 98 | 98 | 99 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 25 | 81 | 86 | 89 | 91 | 91 | 91 | 92 | 92 | 93 | 93 | 94 | 94 | 94 | 95 |
| 30 | 75 | 80 | 83 | 85 | 86 | 86 | 87 | 87 | 88 | 89 | 90 | 90 | 90 | 91 |
| 35 | 70 | 75 | 78 | 80 | 82 | 82 | 83 | 84 | 85 | 85 | 86 | 86 | 87 | 88 |
| 40 | 64 | 71 | 74 | 76 | 78 | 78 | 79 | 80 | 81 | 81 | 82 | 83 | 83 | 84 |
| 45 | 60 | 67 | 71 | 73 | 75 | 76 | 76 | 77 | 77 | 78 | 78 | 78 | 80 | 81 |
| 50 | 56 | 63 | 67 | 70 | 71 | 72 | 73 | 73 | 74 | 75 | 76 | 76 | 77 | 78 |

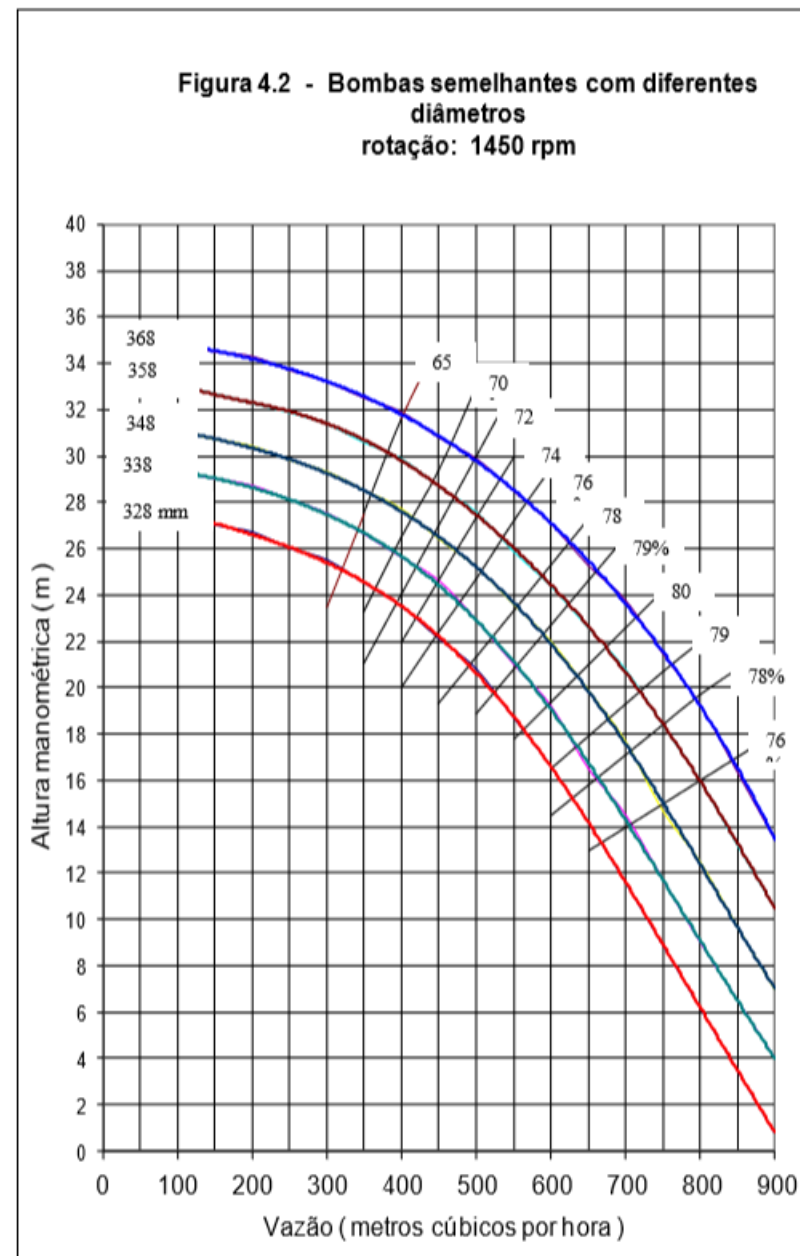
para FoFo



Problema proposto
pelo professor
Gilberto Oswaldo Ieno

Uma instalação de bombeamento tem 2250m de comprimento, apresenta perdas singulares cujos comprimentos equivalentes somam 450 m. A instalação tem diâmetro de 14" de FoFo e a distância vertical entre os dois reservatórios é de 16 m. Pede-se: **1** - Traçar a curva da instalação na situação do início de seu funcionamento. **2** - Verificar a potência no eixo da bomba de diâmetro $D = 328\text{mm}$ da Figura 4.2, funcionando na instalação do item **1** deste problema. **3** - Desejando-se reduzir a vazão para $150\text{ m}^3/\text{h}$, verificar qual o novo comprimento equivalente da válvula, funcionando com a mesma bomba, sabendo que o seu comprimento equivalente original é de 45m. **4** - Verificar qual a idade da instalação, funcionando com a válvula na situação inicial, para que a vazão seja reduzida para $150\text{ m}^3/\text{h}$.

Resolver utilizando a fórmula de Hazen-Williams.



$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p$$

$$H_B = 16 + H_p$$

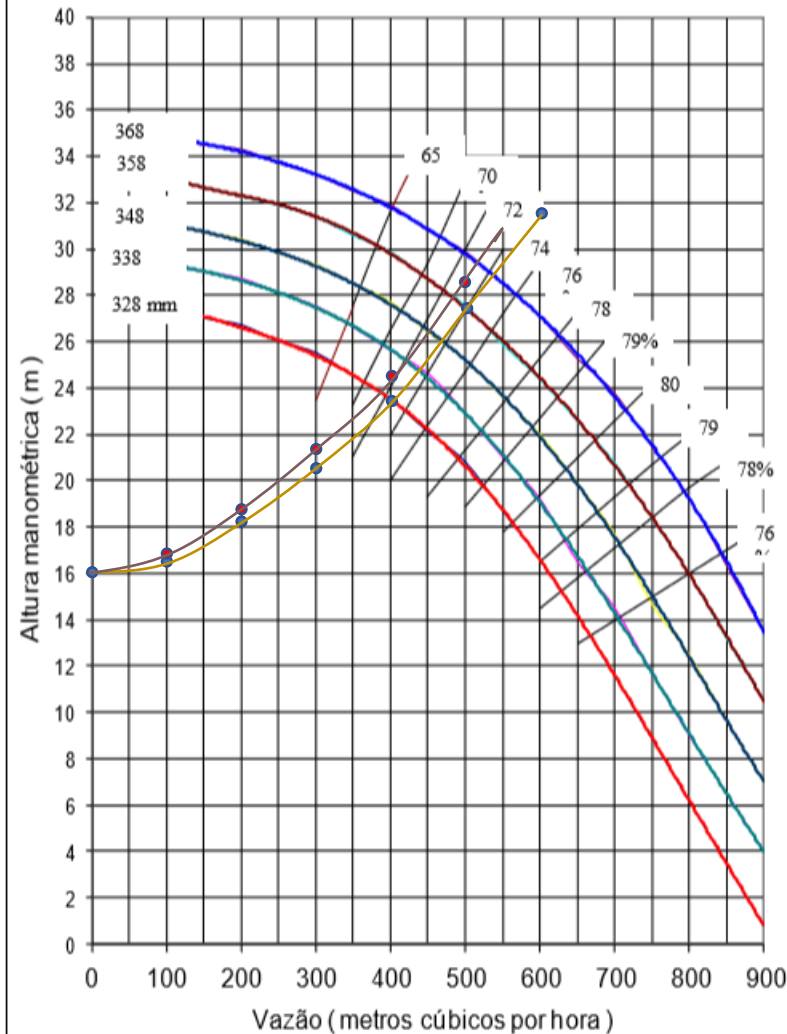
$$H_p = \frac{10,643 \times L_{\text{total}}}{C^{1,85} \times D_H^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$H_p = \frac{10,643 \times 2700}{130^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$H_B = 16 + 436,4 \times Q^{1,85}$$

| Q_m (m ³ /h) | HB_m (m) |
|---------------------------|------------|
| 0 | 16,0 |
| 100 | 16,6 |
| 200 | 18,1 |
| 300 | 20,4 |
| 400 | 23,5 |
| 500 | 27,3 |
| 600 | 31,9 |

Figura 4.2 - Bombas semelhantes com diferentes diâmetros
rotação: 1450 rpm



Resolvendo pelo
ábaco de Hazen-Williams



$$H_p = L_{\text{total}} \times J_C$$

$$J_C = K \times J_{100} = 0,615 \times J_{100}$$

$$H_p = 2,7 \times 0,615 \times J_{100}$$

$$H_p = 1,6605 \times J_{100}$$

| Q_m (m ³ /h) | J_{100} (m/km) | HB_m (m) |
|---------------------------|------------------|------------|
| 0 | 0 | 16 |
| 100 | 0,4 | 16,7 |
| 200 | 1,7 | 18,8 |
| 300 | 3,2 | 21,3 |
| 400 | 5 | 24,3 |
| 500 | 7,5 | 28,5 |

Uma das possibilidades de solução seria ler as respostas no gráfico!

Pelo Excel!



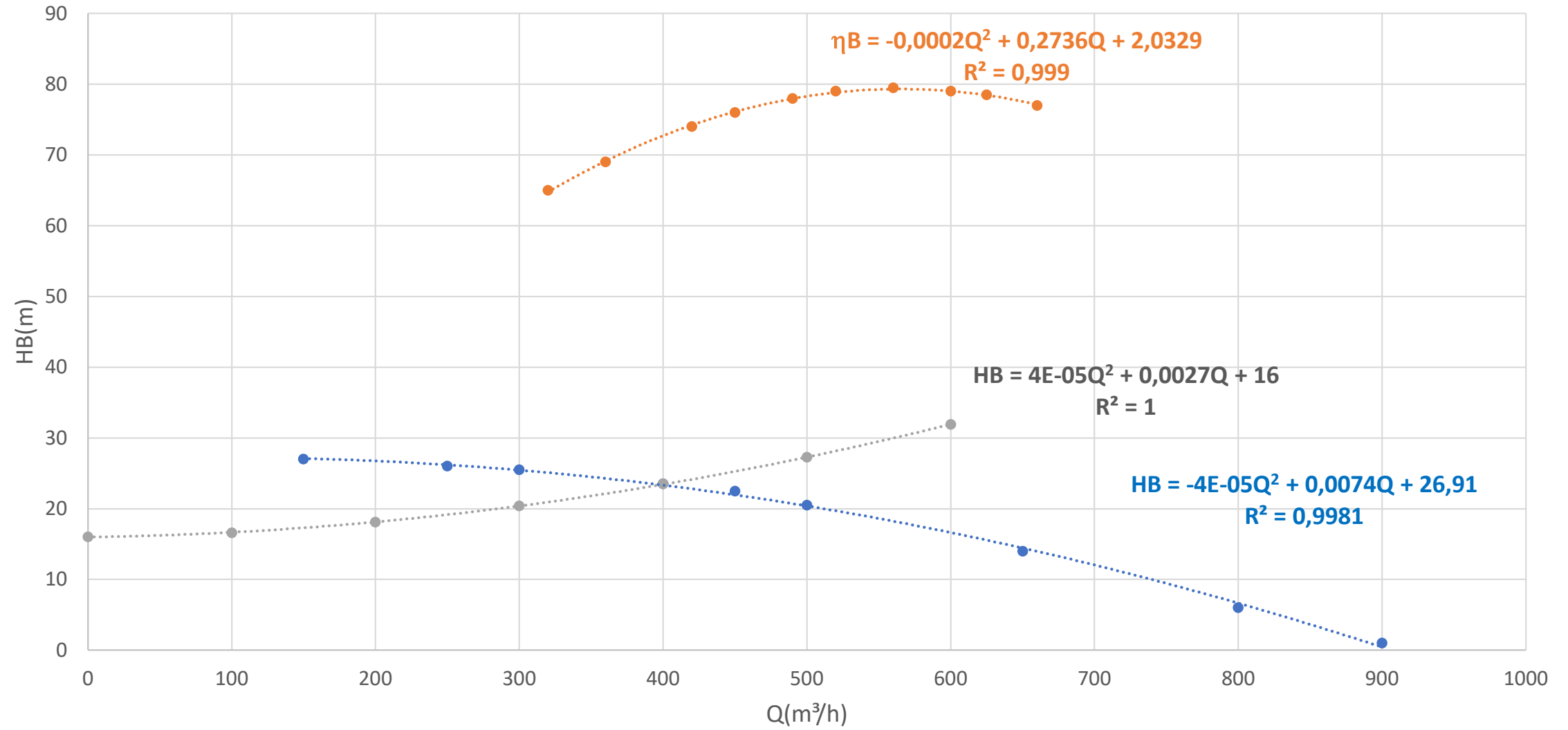
A outra seria recorrer ao Excel e aí temos que ler os valores da bomba e que resultam em tabelas para utilizar no Excel!

| Q(m ³ /h) | η_B (m) | Q(m ³ /h) | HB(m) |
|----------------------|--------------|----------------------|-------|
| 320 | 65 | 150 | 27 |
| 360 | 69 | 250 | 26 |
| 420 | 74 | 300 | 25,5 |
| 450 | 76 | 400 | 23,5 |
| 490 | 78 | 450 | 22,5 |
| 520 | 79 | 500 | 20,5 |
| 560 | 79,5 | 650 | 14 |
| 600 | 79 | 800 | 6 |
| 625 | 78,5 | 900 | 1 |
| 660 | 77 | | |

Nesse caso, vamos considerar os valores da CCI obtidos pela fórmula de Hazen-Williams.



Ponto de trabalho





No cruzamento da
CCI com a CCB,
temos:

$$4 \times 10^{-5} Q^2 + 0,0027Q + 16 = -4 \times 10^{-5} Q^2 + 0,0074Q + 26,91$$
$$8 \times 10^{-5} Q^2 - 0,0047Q - 10,91 = 0$$

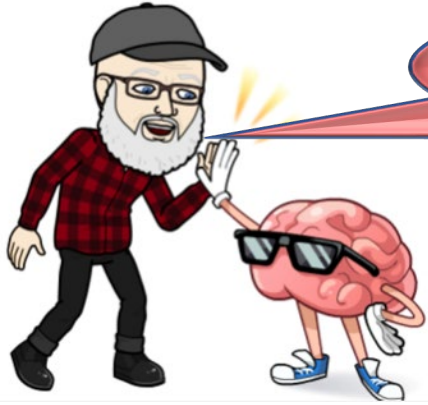
$$Q_{\tau} = \frac{0,0047 + \sqrt{(-0,0047)^2 + 4 \times 8 \times 10^{-5} \times 10,91}}{2 \times 8 \times 10^{-5}} \cong 399,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$HB_{\tau} = 4 \times 10^{-5} \times 399,8^2 + 0,0027 \times 399,8 + 16 \Rightarrow HB_{\tau} \cong 23,5\text{m}$$

$$\eta_{B_{\tau}} = -0,0002 \times 399,8^2 + 0,2736 \times 399,8 + 2,0329 \Rightarrow \eta_{B_{\tau}} \cong 79,5\%$$

$$\therefore NB_{\tau} = \frac{\gamma \times Q_{\tau} \times HB_{\tau}}{\eta_{B_{\tau}}} = \frac{1000 \times 9,8 \times \left(\frac{399,8}{3600} \right) \times 23,5}{0,795} \cong 32171,2\text{W}$$

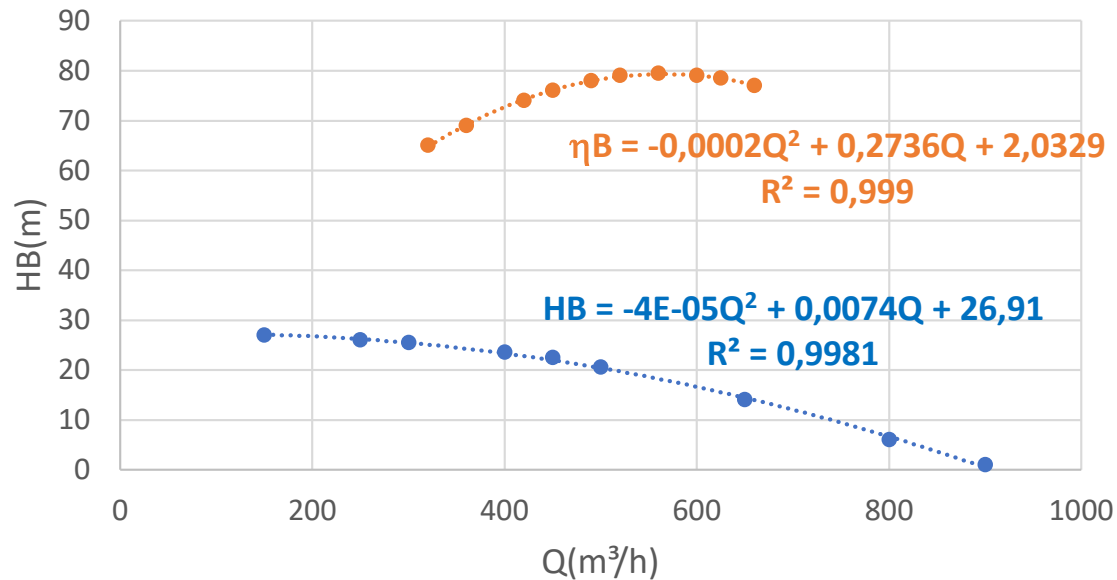




Reduzindo a vazão para 150 m³/h com fechamento parcial da válvula controladora da vazão, temos:

$$HB_{\tau} = -4 \times 10^{-5} \times 150^2 + 0,0074 \times 150 + 26,91 \Rightarrow HB_{\tau} \cong 27,12m$$

$$H_B = H_{estática} + H_p \Rightarrow 27,12 = 16 + H_p \therefore H_p \cong 11,12m$$

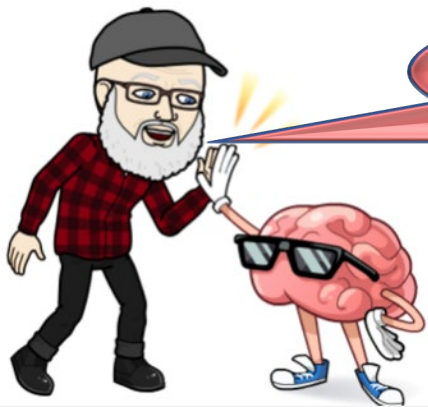


$$H_p = \frac{10,643 \times L_{total}}{130^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times Q^{1,85} \Rightarrow 11,12 = \frac{10,643 \times L_{total}}{130^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times \left(\frac{150}{3600} \right)^{1,85}$$

$$\therefore L_{total} \cong 24602,2m$$

$$\sum L_{eq} = L_{eq_{VG}} + \sum L_{eq_{svCG}} \Rightarrow 450 = 45 + \sum L_{eq_{svCG}} \therefore \sum L_{eq_{svCG}} = 405m$$

$$L_{total} \cong 24602,2m = (2250 + 405 + L_{eq_{novo,válv}}) \therefore L_{eq_{novo,válv}} \cong 21947,2m$$



Reduzindo a vazão para 150 m³/h só com o envelhecimento da instalação, supondo que a curva de HB = f(Q) da bomba não muda, temos:

$$HB_{\tau} = -4 \times 10^{-5} \times 150^2 + 0,0074 \times 150 + 26,91 \Rightarrow HB_{\tau} \cong 27,12m$$

$$H_B = H_{estática} + H_p \Rightarrow 27,12 = 16 + H_p \therefore H_p \cong 11,12m$$

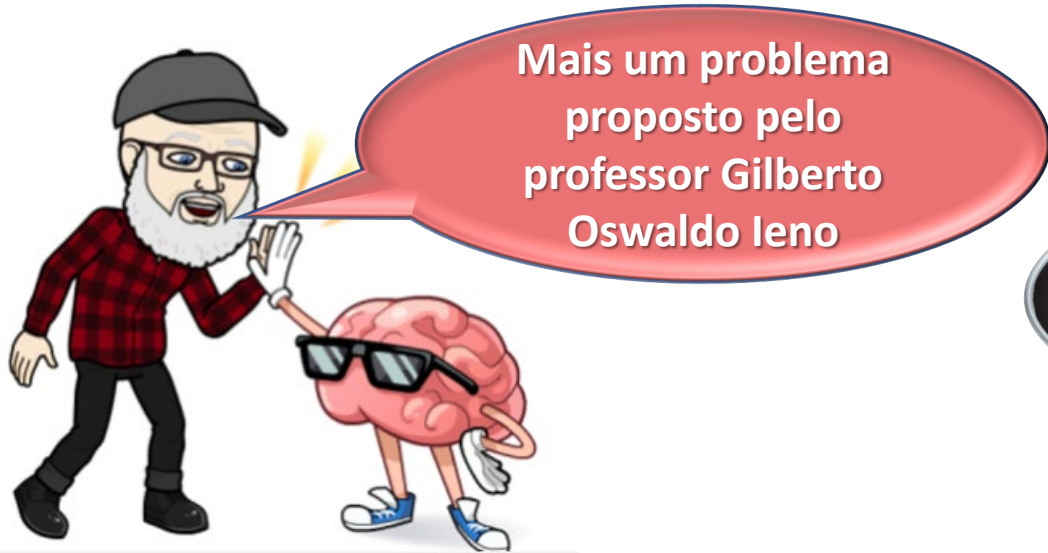
Valores de C para o FoFo

$$H_p = \frac{10,643 \times L_{total}}{C^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times Q^{1,85} \Rightarrow 11,12 = \frac{10,643 \times 2700}{C_{velho}^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times \left(\frac{150}{3600}\right)^{1,85}$$

$$\therefore C_{velho}^{1,85} = 893,6845451 \Rightarrow C_{velho} \cong 39,4$$

| diâmetro (m) | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| anos | 4" | 6" | 8" | 10" | 12" | 14" |
| 0 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 5 | 117 | 118 | 119 | 120 | 120 | 120 |
| 10 | 106 | 108 | 109 | 110 | 110 | 110 |
| 15 | 96 | 100 | 102 | 103 | 103 | 103 |
| 20 | 88 | 93 | 94 | 96 | 97 | 97 |
| 25 | 81 | 86 | 89 | 91 | 91 | 91 |
| 30 | 75 | 80 | 83 | 85 | 86 | 86 |
| 35 | 70 | 75 | 78 | 80 | 82 | 82 |
| 40 | 64 | 71 | 74 | 76 | 78 | 78 |
| 45 | 60 | 67 | 71 | 73 | 75 | 76 |
| 50 | 56 | 63 | 67 | 70 | 71 | 72 |

**PORTANTO A INSTALAÇÃO TERÁ MAIS QUE 50 ANOS
JÁ QUE COM 50 ANOS O C SERIA 72**

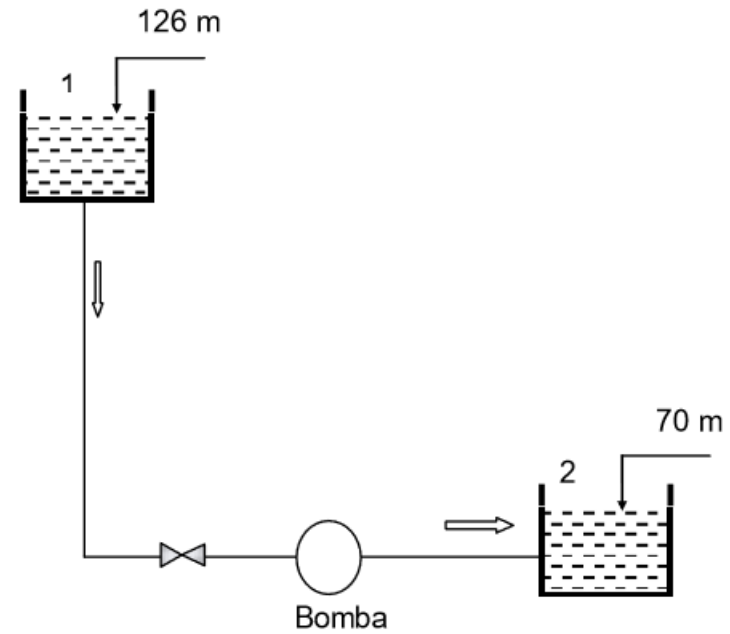


Iniciamos lembrando da equação da CCI, que é obtida aplicando a equação da energia de 1 a 2

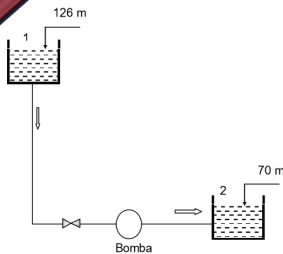


Na instalação da figura, a bomba deverá funcionar com a altura manométrica de 18 m. O comprimento da tubulação é de 1200 m e as singularidades somam 346 m. Sabendo que o diâmetro da tubulação de FoFo é de 14", pede-se: 1 - Calcular a vazão que deverá passar pela instalação no início do seu funcionamento. 2 - Passados 20 anos, para que a instalação funcione com a mesma vazão, calcular a altura manométrica da bomba e a potência no seu eixo.

Dado: Rendimento da bomba: 75%.



PHR em 2:



$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p$$

$$H_{\text{estática}} = (z_2 - z_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\gamma}$$

$$H_{\text{estática}} = (0 - (126 - 70)) + 0 = -56\text{m}$$

$$\therefore 18 = -56 + H_p \Rightarrow H_p = 74\text{m}$$

Fórmula de Hazen-Williams

$$H_p = \frac{10,643 \times L_{\text{total}}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$74 = \frac{10,643 \times (1200 + 346)}{130^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$Q \cong 0,518 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 518 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Podemos ainda calcular de
uma outra maneira:



$$Q = 0,279 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54}$$

$$J = \frac{H_p}{L}$$

$$Q = 0,279 \times 130 \times 0,37186^{2,63} \times \left(\frac{74}{1200 + 346} \right)^{0,54}$$

$$Q \cong 0,520 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 520 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$



Instalação com 20 anos:

| diâmetro (m) \ anos | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 0,90 | 1,05 | 1,50 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4" | | | | | | | | | | | | | | |
| 6" | | | | | | | | | | | | | | |
| 8" | | | | | | | | | | | | | | |
| 10" | | | | | | | | | | | | | | |
| 12" | | | | | | | | | | | | | | |
| 14" | | | | | | | | | | | | | | |
| 16" | | | | | | | | | | | | | | |
| 18" | | | | | | | | | | | | | | |
| 20" | | | | | | | | | | | | | | |
| 24" | | | | | | | | | | | | | | |
| 30" | | | | | | | | | | | | | | |
| 36" | | | | | | | | | | | | | | |
| 42" | | | | | | | | | | | | | | |
| 60" | | | | | | | | | | | | | | |

$$H_p = \frac{10,643 \times L_{\text{total}}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$H_p = \frac{10,643 \times (1200 + 346)}{97^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times 0,518^{1,85} \therefore H_p \cong 127,2\text{m}$$

$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p \rightarrow H_{\text{estática}} = (z_2 - z_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\gamma}$$

$$H_{\text{estática}} = (0 - (126 - 70)) + 0 = -56\text{m}$$

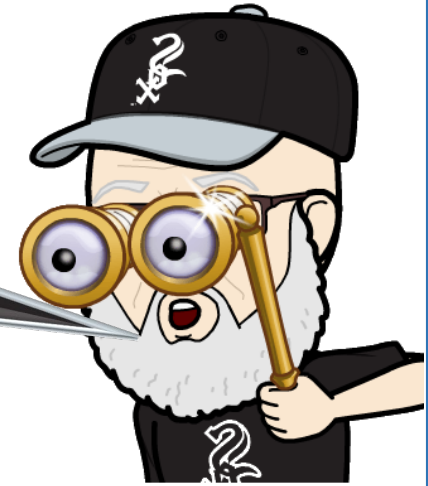
$$\therefore H_{B_{20}} = -56 + 127,2 \Rightarrow H_{B_{20}} = 71,2\text{m}$$

$$N_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{\eta_B} = \frac{1000 \times 9,8 \times 0,518 \times 72,1}{0,75} \cong 488011,3\text{W}$$

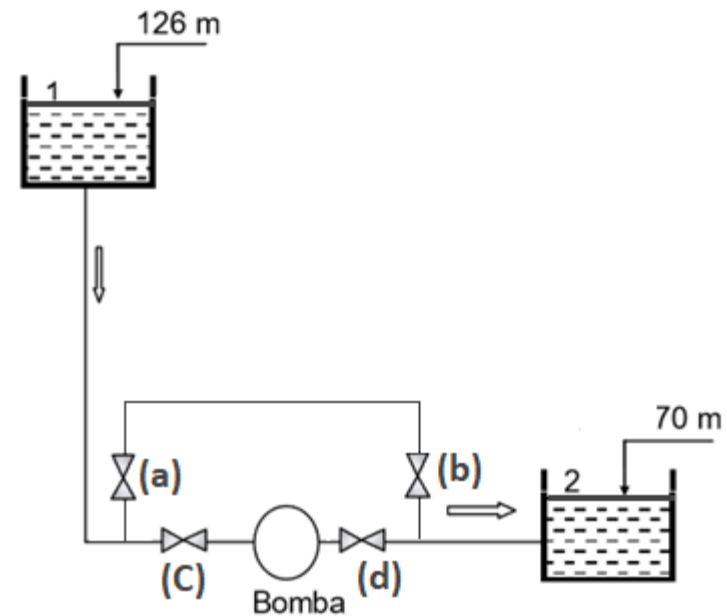


Mais um problema,
alicerçado em um
proposto pelo
professor Gilberto
Oswaldo Ieno

Iniciamos lembrando da
equação da CCI sem bomba,
que é obtida aplicando a
equação da energia de 1 a 2



A instalação da figura deverá funcionar inicialmente sem bomba. As válvulas (a) e (b) encontram-se abertas, enquanto as válvulas (c) e (d) estão fechadas, e a água escoa naturalmente. O comprimento da tubulação neste caso é de 1200 m e as singularidades somam 346 m. Sabendo que o diâmetro dos tubos de FoFo é de 14", pede-se: 1 - Calcular a vazão que deverá passar pela instalação no início do seu funcionamento. 2 - Passados 20 anos, calcular a nova vazão que deverá passar pela instalação. 3 - Qual a potência de uma bomba, necessária para restabelecer a vazão original, neste caso as válvulas (a) e (b) estão fechadas e as válvulas (c) e (d) abertas, onde o comprimento da tubulação é 1192m e as singularidades somam 340 m? Dado: Rendimento da bomba: 75%.



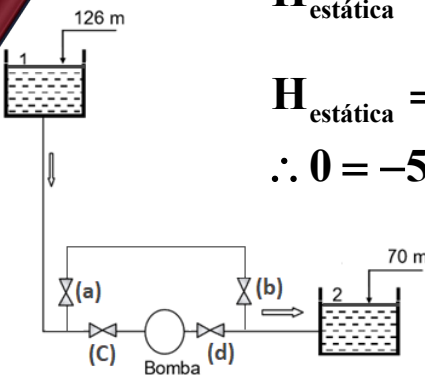
PHR em 2 e sem bomba:

$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p$$

$$H_{\text{estática}} = (z_2 - z_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\gamma}$$

$$H_{\text{estática}} = (0 - (126 - 70)) + 0 = -56\text{m}$$

$$\therefore 0 = -56 + H_p \Rightarrow H_p = 56\text{m}$$



Fórmula de Hazen-Williams

$$H_p = \frac{10,643 \times L_{\text{total}}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$56 = \frac{10,643 \times (1200 + 346)}{130^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$Q \cong 0,446 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 446 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Decorrido 20 anos, temos um novo C:

$$C = 97$$



$$H_p = \frac{10,643 \times L_{\text{total}}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$56 = \frac{10,643 \times (1200 + 346)}{97^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$Q \cong 0,3325 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 332,5 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$



Instalação com 20 anos e com a vazão inicial de 446 L/s, temos que calcular a perda de carga originada:

$$H_p = \frac{10,643 \times L_{\text{total}}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times Q^{1,85}$$

$$H_p = \frac{10,643 \times (1192 + 340)}{97^{1,85} \times 0,37186^{4,87}} \times 0,446^{1,85} \therefore H_p \cong 95,6\text{m}$$

$$H_B = H_{\text{estática}} + H_p \Rightarrow H_{\text{estática}} = (z_2 - z_1) + \frac{(p_2 - p_1)}{\gamma}$$

$$H_{\text{estática}} = (0 - (126 - 70)) + 0 = -56\text{m} \therefore H_B = -56 + 95,6 = 39,6\text{m}$$

$$N_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{\eta_B} = \frac{1000 \times 9,8 \times 0,446 \times 39,6}{0,75} \cong 230778,2\text{W}$$

