



## Sabesp retira mais de 5 mil toneladas de lixo das estações de tratamento de esgotos

Precisamos mudar isso!



SOS



Cerca de 915 elefantes africanos. Esse é o peso de todo o lixo que a Sabesp retirou das suas principais estações de tratamento de esgotos (ETEs) na Grande São Paulo no ano de 2017.

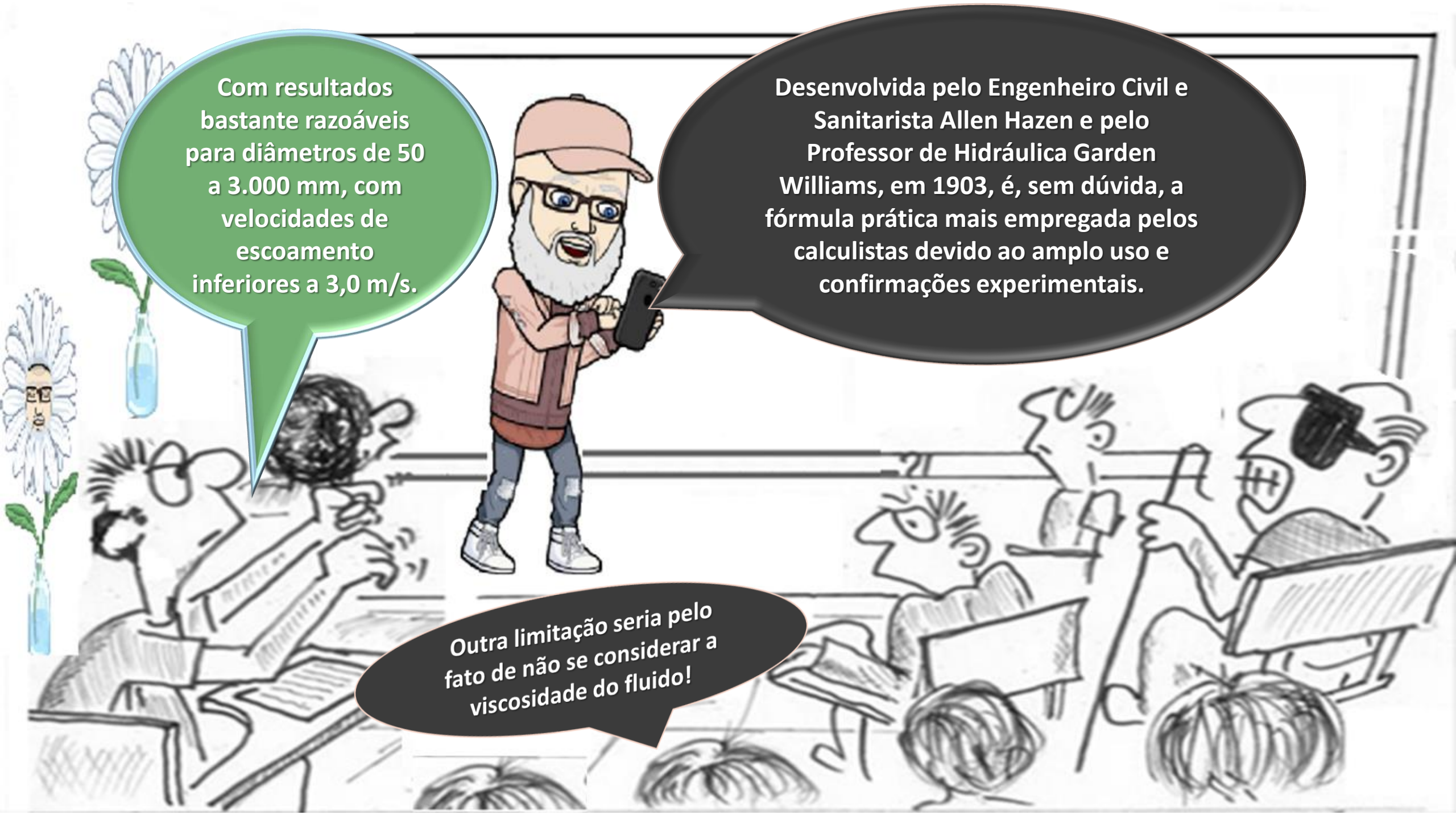


# Fórmula de



**Hazen - Williams**

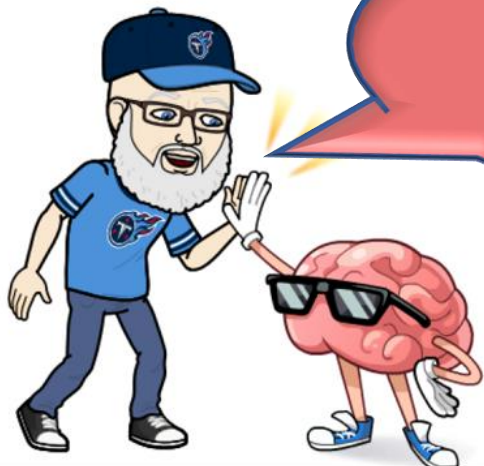




Com resultados bastante razoáveis para diâmetros de 50 a 3.000 mm, com velocidades de escoamento inferiores a 3,0 m/s.

Desenvolvida pelo Engenheiro Civil e Sanitarista Allen Hazen e pelo Professor de Hidráulica Garden Williams, em 1903, é, sem dúvida, a fórmula prática mais empregada pelos calculistas devido ao amplo uso e confirmações experimentais.

Outra limitação seria pelo fato de não se considerar a viscosidade do fluido!



A fórmula de Hazen – Williams é uma fórmula empírica, o que equivale a dizer, que teve sua origem em ensaios, que foram realizados com a água em escoamentos turbulentos!

$$J = 10,643 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \rightarrow J = \frac{H_p}{L}$$
$$[Q] = \frac{m^3}{s}; [C] = 1; [D] = m; [J] = \frac{m}{m}$$

“C” é o coeficiente de Hazen-Williams e depende do material do conduto e de seu estado.

Pode também ser escrita explicitando a Q e a v.



$$Q^{1,85} = \frac{1}{10,643} \times C^{1,85} \times D^{4,87} \times J$$

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

Para tubos em série ou em paralelo, ou no caso mais geral de redes de tubulações a equação de Hazen-Williams facilita a solução de problemas!

$$v \times \frac{\pi \times D^2}{4} = 0,279 \times C \times D^{2,632} \times J^{0,541}$$

$$v = \frac{4 \times 0,279}{\pi} \times C \times D^{2,632-2} \times J^{0,541}$$


$$v = 0,355 \times C \times D^{0,632} \times J^{0,541}$$

$$[v] = \frac{m}{s}$$



Aqui foi considerado conduto circular e forçado!



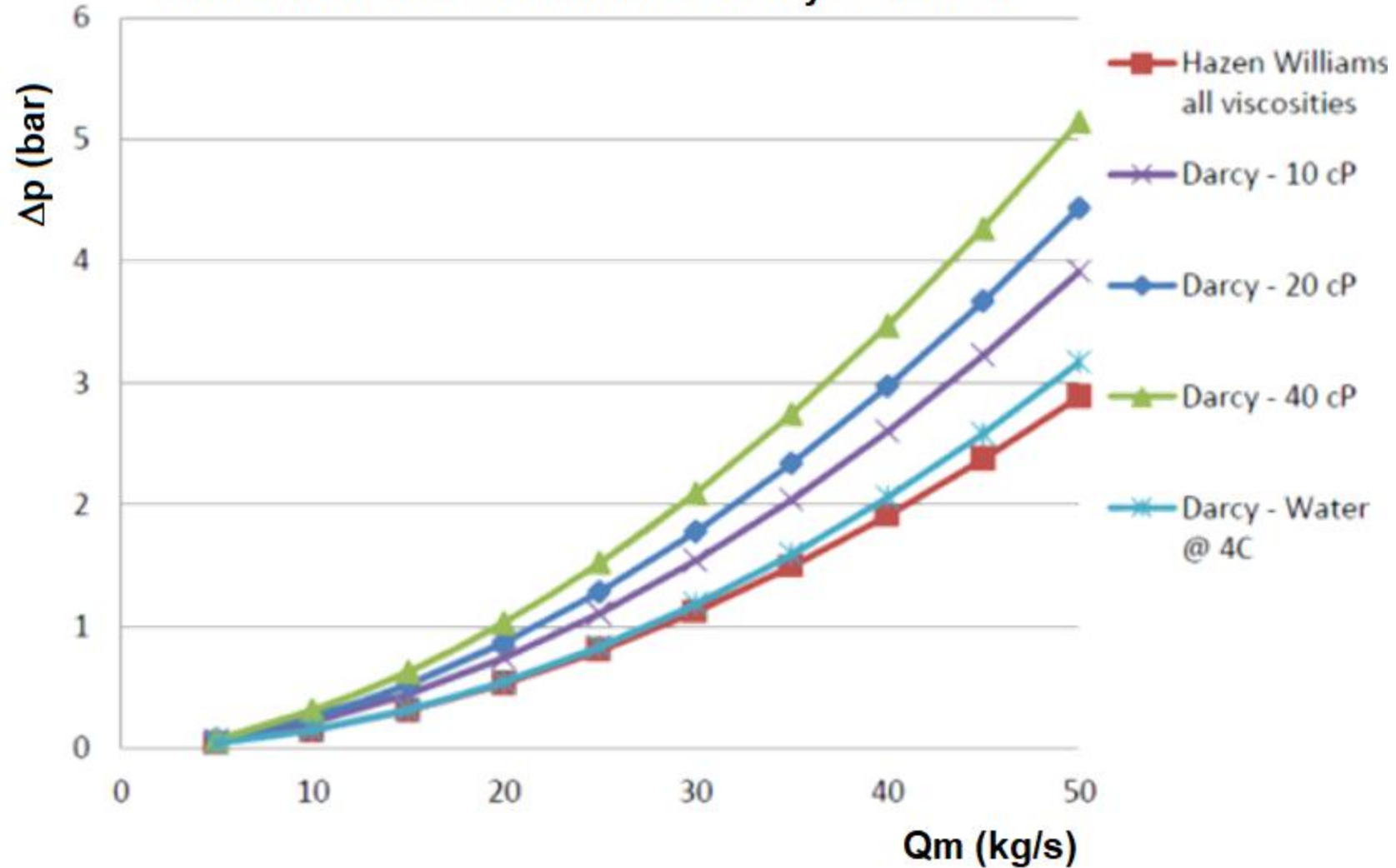


A fórmula de Hazen Williams  
pode ser aplicada a qualquer  
fluido, tipo de conduto e  
material!

Mas o gráfico a seguir  
possibilita a  
constatação, ou não,  
disso.



## Variação da pressão em função da viscosidade para a fórmula de Hazen Williams e Darcy Weisbach





Após análise do diagrama anterior, podemos afirmar que a fórmula de Hazen Williams é recomendada para água com massa específica aproximadamente  $1000 \text{ kg/m}^3$  e viscosidade cinemática aproximadamente  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  e pode ser considerada para qualquer tipo de conduto e material

$$J = 10,643 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D_H^{-4,87} \rightarrow J = \frac{H_p}{L}$$

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

Ummmm...



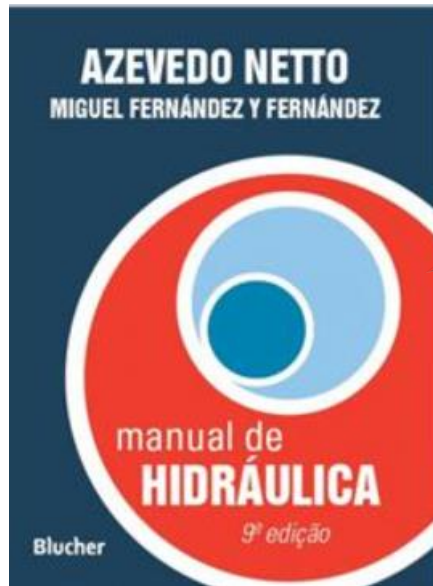
$$v = 0,355 \times C \times D^{0,63} \times J^{0,54}$$



Esta só para condutos circulares e forçados

$$[Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; [v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}; [C] = 1; [D] = \text{m}; [J] = \frac{\text{mca}}{\text{m}}$$





A fórmula de Hazen-Williams, sendo das mais perfeitas, requer, para sua aplicação criteriosa, maior cuidado na adoção do coeficiente  $C$ . A escolha negligente desse coeficiente ou a fixação de um valor médio invariável reduz muito a precisão que se pode esperar de tal fórmula. Para tubos de ferro ou aço, o coeficiente  $C$  é uma função do tempo, de modo que seu valor deve prever a vida útil que se espera da canalização. Para avaliações expeditas, pode-se usar, para tubos metálicos,  $C = 100$ . Tal valor corresponde, aproximadamente, à situação da tubulação em quinze a vinte anos. (página 151)



No nosso material, estaremos apresentando as tabelas e gráficos sugeridos pelo Professor Dr. Gilberto Oswaldo Ieno.





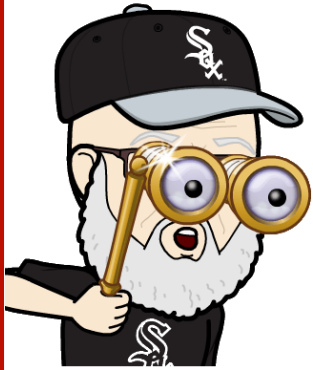


Tabela 4.1 - Valores do coeficiente C ( tubos novos )



Material dos tubos	Valores de C
Aço corrugado	60
Aço rebitado, em uso	85
Ferro fundido em uso	90
Tijolos ou condutos de cimento alisado	100
Aço rebitado novo	110
Ferro fundido ou tubos revestidos com cimento	110
Grês cerâmico vidrado ( manilhas )	110
Aço soldado novo	120
Concreto com acabamento comum	120
Madeira em aduelas	120
Aço galvanizado novo ou usado	125
Aço soldado com revestimento especial, novo ou usado	130
Chumbo	130
Cobre	130
Concreto com acabamento liso	130
Ferro fundido novo	130
Latão	130
Aço com juntas "lock-bar"	135
Cimento- amianto	135
Vidro	140

# 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



Calcular a perda de carga em uma tubulação nova de 10" de diâmetro, e 1480 m de comprimento, feita de ferro fundido de coeficiente  $C = 130$ , por onde passa uma vazão de 100 L/s.

Dados:  $D = 10'' = 0,254 \text{ m}$

$$J = 10,643 \times \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,85} \times \frac{1}{D^{4,87}} \rightarrow J = \frac{H_p}{L} \quad \frac{H_p}{1480} = 10,643 \times \left( \frac{100/1000}{130} \right)^{1,85} \times \frac{1}{0,254^{4,87}}$$

$$\therefore H_p = 1480 \times 0,014612639 \Rightarrow H_p \cong 21,63 \text{ m}$$





Calcular a perda de carga em uma tubulação de 20 anos de 10" de diâmetro, e 1480 m de comprimento, feita de ferro fundido, por onde passa uma vazão de 100 L/s.

Dados:  $D = 10'' = 0,254 \text{ m}$

**Neste caso o  $C = 96$**

$$J = 10,643 \times \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,85} \times \frac{1}{D^{4,87}} \rightarrow J = \frac{H_p}{L} \quad \frac{H_p}{1480} = 10,643 \times \left( \frac{100/1000}{96} \right)^{1,85} \times \frac{1}{0,254^{4,87}}$$



$$\therefore H_p = 1480 \times 0,02560484 \Rightarrow H_p \cong 37,9 \text{ m}$$

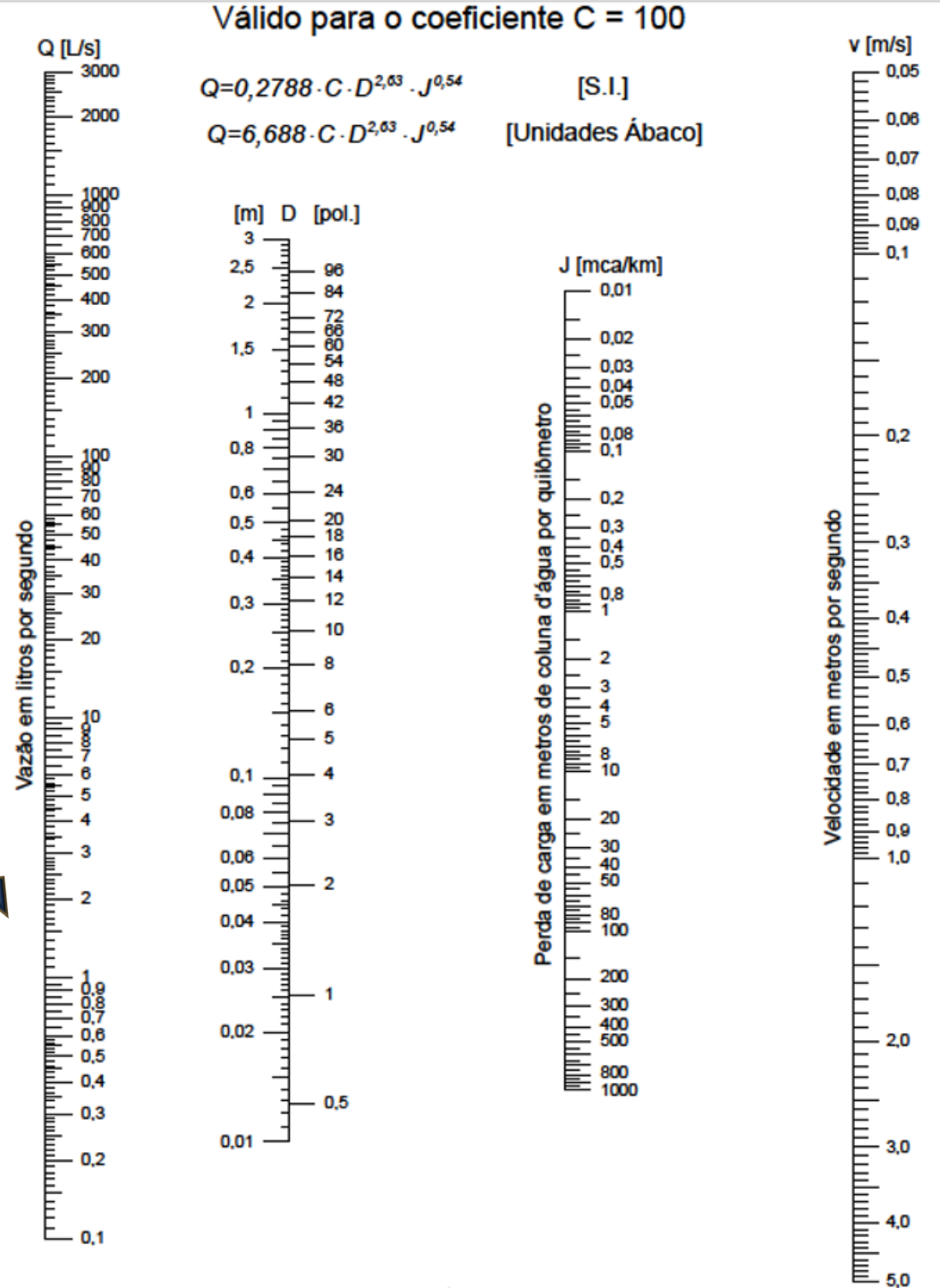


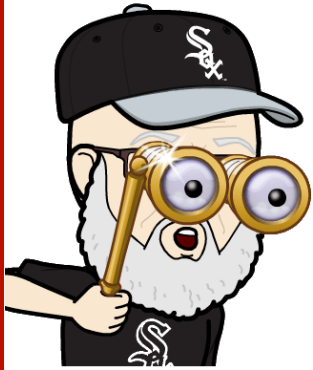


Para tubulações de FoFo, podemos recorrer ao ábaco de Hazen-Williams, que é um procedimento mais simples

Através dele calculamos o  $J_{100}$ , que deve ser corrigido por K

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





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





Utilizando o Ábaco de Hazen-Williams, calcular a perda de carga em uma tubulação nova de 10" com 1480 m de comprimento, de ferro fundido, por onde passa uma vazão de água de 100 L/s.

Pela fórmula tinha dado 21,63 m

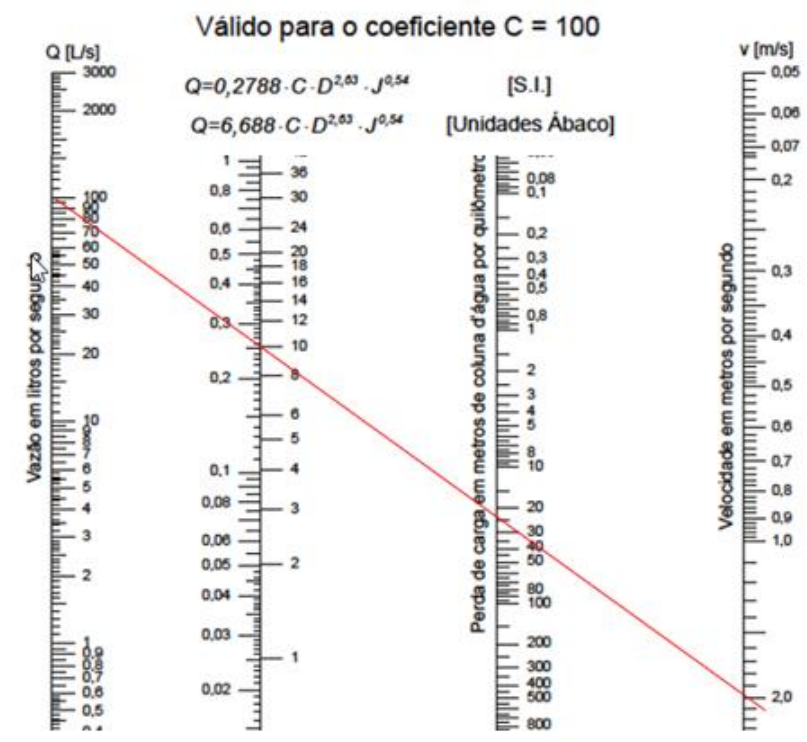
$$J_{100} \cong 24 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

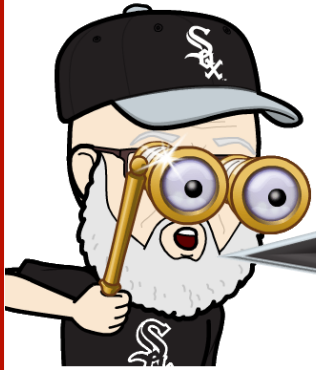
C	K
130	0,615



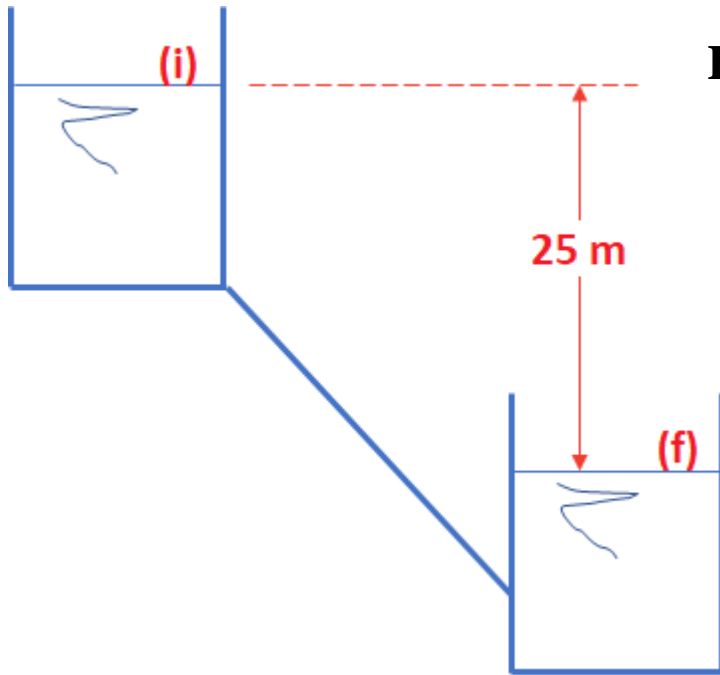
$$J_C = K \times J_{100} \therefore J_C = 0,615 \times 24 = 14,76 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

$$H_p = 14,76 \times 1,48 \cong 21,9\text{m}$$





Admitindo-se que a tubulação da questão anterior esteja interligando dois reservatórios com diferença de nível de 25 m e que o comprimento total, incluindo ao comprimento equivalentes seja 1480 m, pede-se determinar a vazão para a instalação nova e para a instalação com 20 anos.



$$H_i = H_f + H_{p_{i-f}} \Rightarrow z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + H_{p_{i-f}} \rightarrow \text{PHR em (f)} \therefore H_{p_{i-f}} = 25\text{m}$$

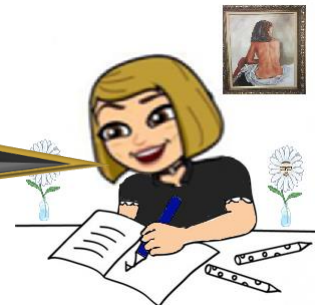
$$J_c = \frac{H_{p_{i-f}}}{L} = \frac{25}{1,48} \cong 16,9 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

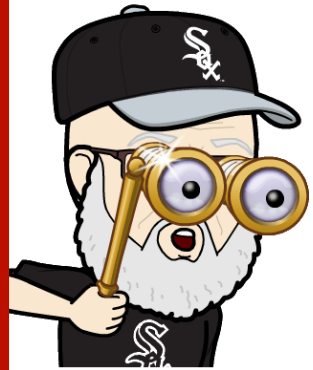
Tubulação nova

C	K
130	0,615

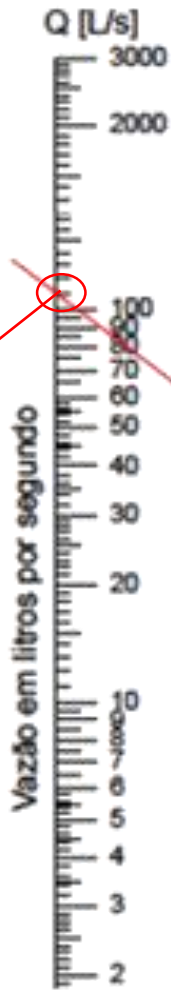
$$J_c \cong 16,9 \frac{\text{mca}}{\text{km}} = 0,615 \times J_{100} \therefore J_{100} \cong 27,5 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

Agora é trabalhar no ábaco de Hazen-Williams





$$Q \approx 110 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$



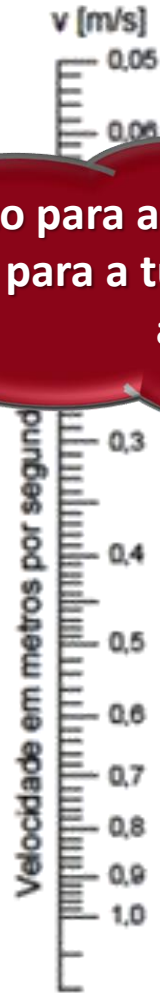
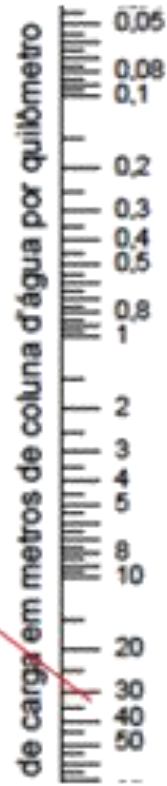
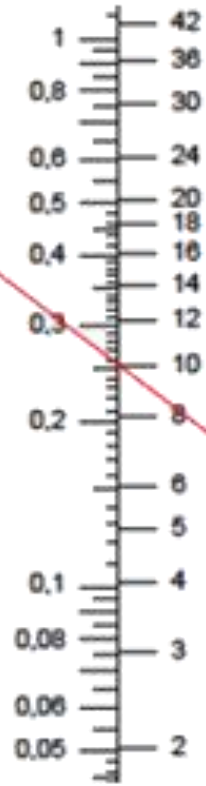
Valido para o coeficiente  $C = 100$

$$Q = 0,2788 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

[S.I.]

$$Q = 6,688 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

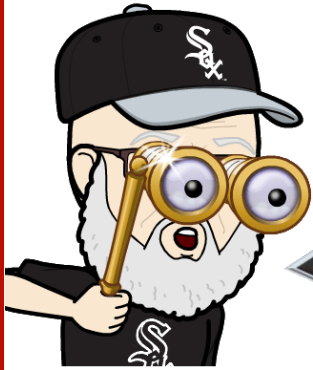
[Unidades Ábaco]



Isto para a tubulação nova e para a tubulação de 20 anos?



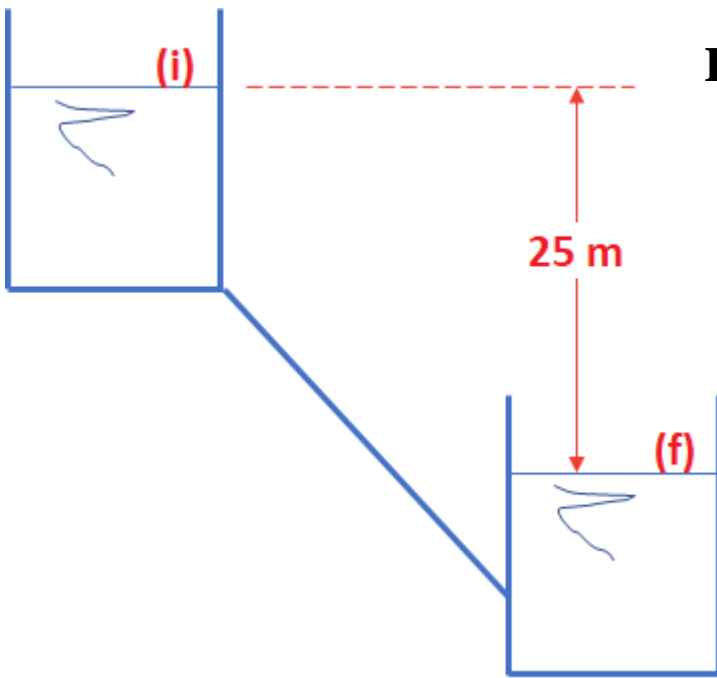




Para a instalação depois de 20 anos, muda o valor do C e em consequência do K

diâmetro	0,10	0,15	0,20	0,25
anos	4"	6"	8"	10"
0	130	130	130	130
5	117	118	119	120
10	106	108	109	110
15	96	100	102	103
20	88	93	94	96

∴ C = 96



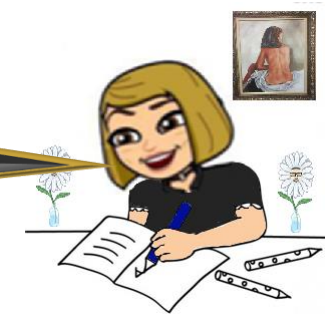
$$H_i = H_f + H_{p_{i-f}} \Rightarrow z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + H_{p_{i-f}} \rightarrow \text{PHR em (f)} \therefore H_{p_{i-f}} = 25\text{m}$$

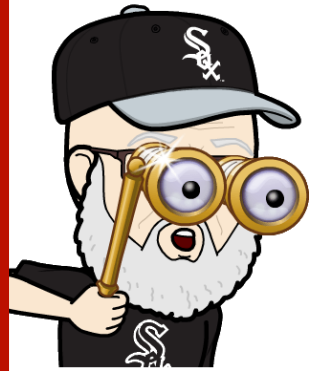
$$J_C = \frac{H_{p_{i-f}}}{L} = \frac{25}{1,48} \cong 16,9 \frac{\text{mca}}{\text{km}} \quad \text{Tubulação com 20 anos}$$

C	K
96	1,079

$$J_C \cong 16,9 \frac{\text{mca}}{\text{km}} = 1,079 \times J_{100} \therefore J_{100} \cong 15,7 \frac{\text{mca}}{\text{km}}$$

Novamente, recorreremos ao ábaco de Hazen-Williams





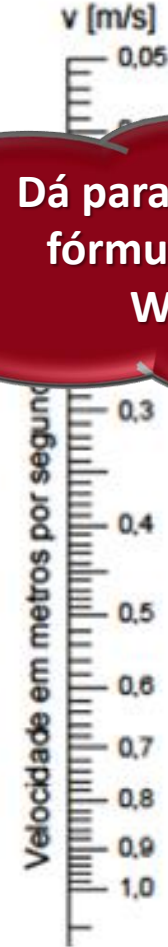
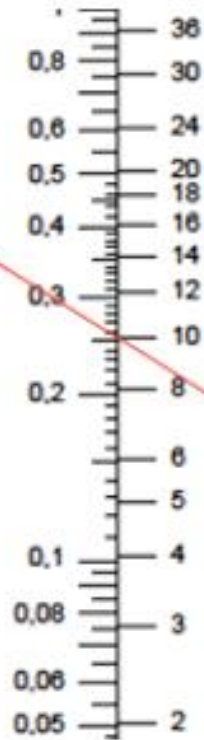
Válido para o coeficiente  $C = 100$

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

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

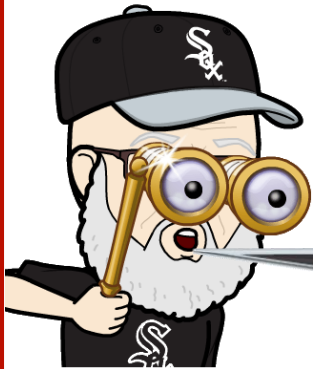


$$Q \approx 80 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$



Dá para resolver pela fórmula de Hazen-Williams?





Claro

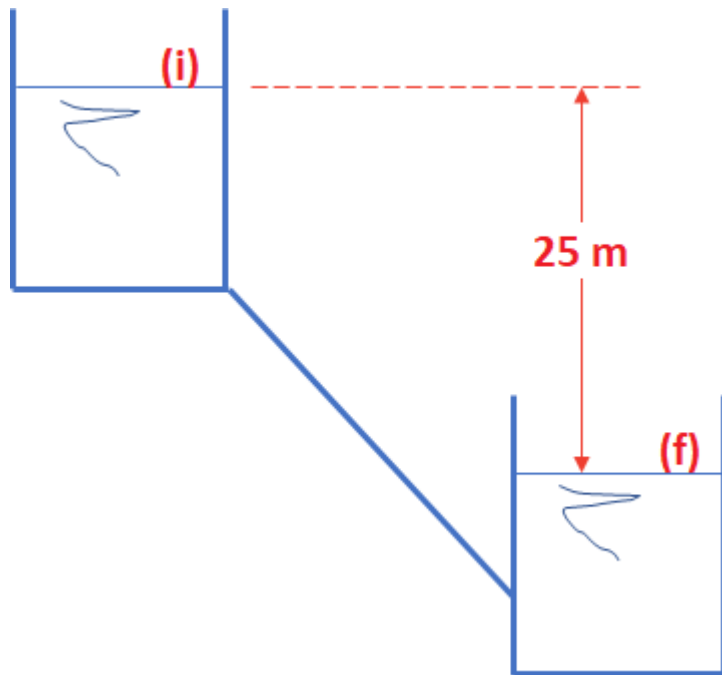
$$H_i = H_f + H_{p_{i-f}} \Rightarrow z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + H_{p_{i-f}} \rightarrow \text{PHR em (f)} \therefore H_{p_{i-f}} = 25\text{m}$$

$$J_c = \frac{H_{p_{i-f}}}{L} = \frac{25}{1,48} \cong 16,9 \frac{\text{mca}}{\text{km}} = \frac{16,9}{1000} \frac{\text{mca}}{\text{m}}$$

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

$$\therefore Q = 0,279 \times 96 \times 0,254^{2,63} \times \left( \frac{16,9}{1000} \right)^{0,54}$$

$$Q \cong 0,0805 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 80,5 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$



Refaça o exercício  
para uma tubulação  
de 8"

