



NONA AULA DE TEORIA DA DISCIPLINA ME5330

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio

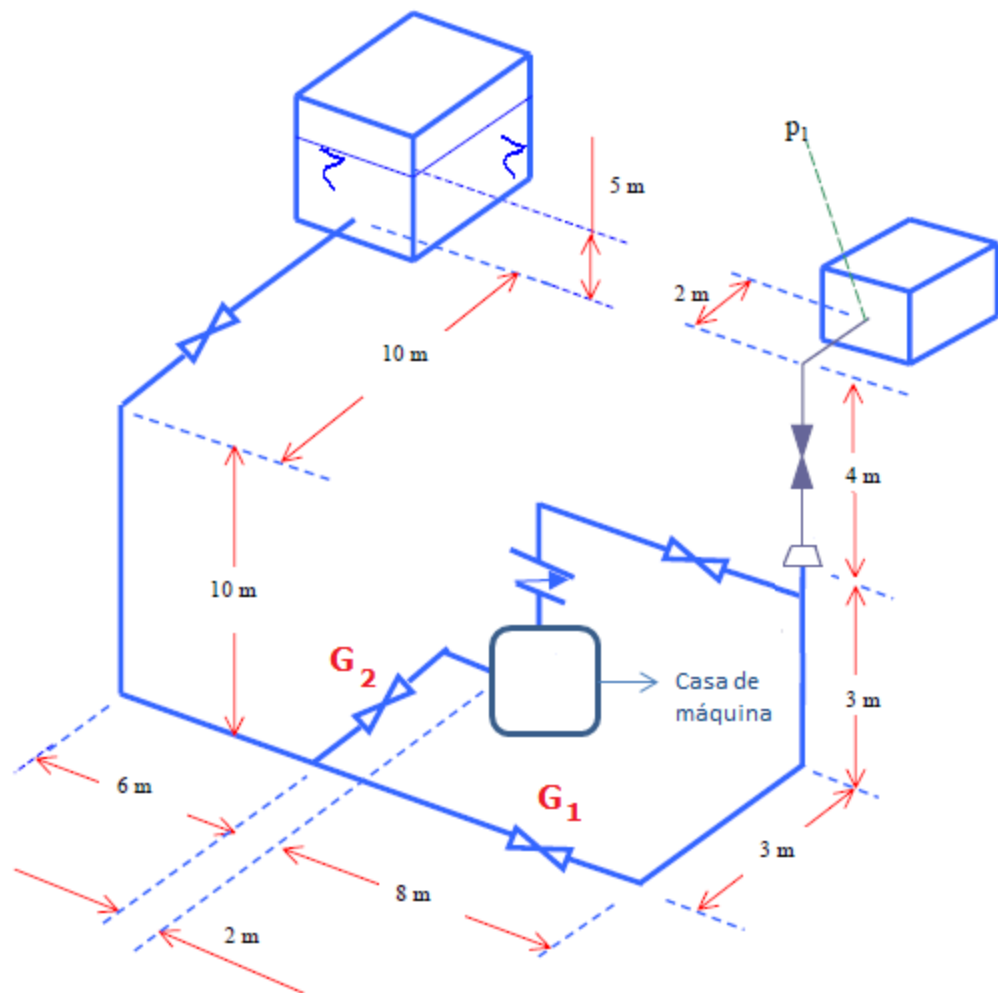
22/10/2013

No final da aula anterior eu prometi que iríamos fazer mais exercícios, então vou cumprir minha promessa.



A instalação da figura deve atender um tanque de processo e a pressão na entrada deste tanque (1) deve ser $p_1 = 1,5 \text{ kgf / cm}^2$, se o escoamento for por gravidade (G_2 - fechada). A bomba H 50 - C com diâmetro de rotor igual a 214 mm será acionada sempre que o processo exigir uma pressão $p_1 = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$ (G_1 - fechada). Pede-se:

- a equação da CCI para as duas possibilidades mencionadas acima;
- o ponto de trabalho para as possibilidades de funcionamento da instalação



Nota: — = 3" Sch 40

— = 2" Sch 40

Notas:

1ª - A tabela I fornece os valores para a construção das seguintes curvas características para o diâmetro do rotor igual a 185 mm.

$Q \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_B (m)$	24	23,5	23	22,5	22	21,5	21	20,5	19	17	15
$\eta_B (\%)$	-	-	32,5	45	55	61,25	66	69	67,5	63	57,5

Tabela I

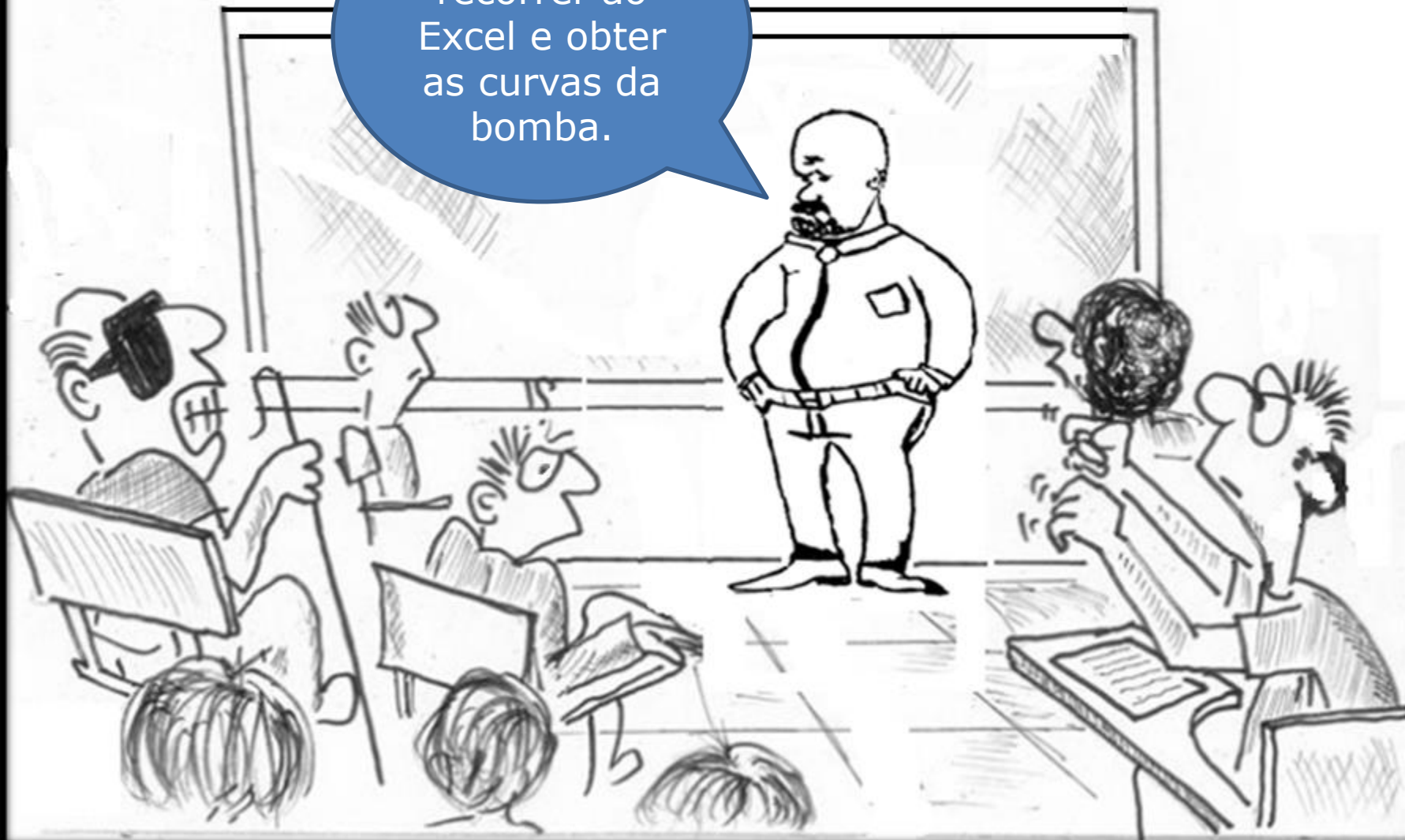
Considere a água a 22°C
e a rugosidade do aço
igual a 4,6 e-5 m

2ª - A tabela II fornece os valores para a construção das seguintes curvas características para o diâmetro do rotor igual a 214 mm.

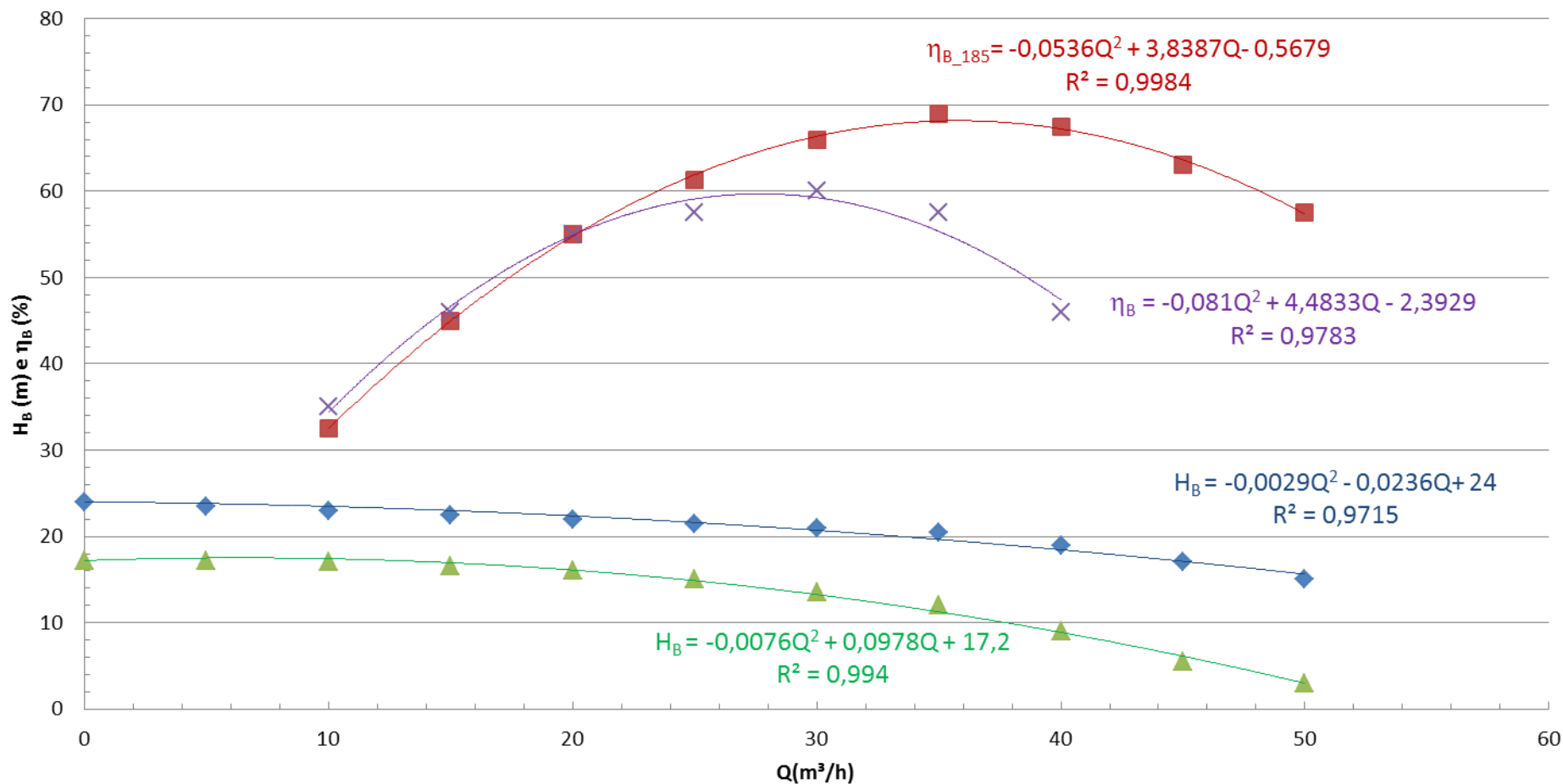
$Q \left(\frac{m^3}{h} \right)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$H_B (m)$	17,2	17,2	17	16,5	16	15	13,5	12	9	5,5	3
$\eta_B (\%)$	-	-	35	46	55	57,5	60	57,5	46	-	-

Tabela II


Vamos
recorrer ao
Excel e obter
as curvas da
bomba.



$H_B = f(Q)$ e $\eta_B = f(Q)$



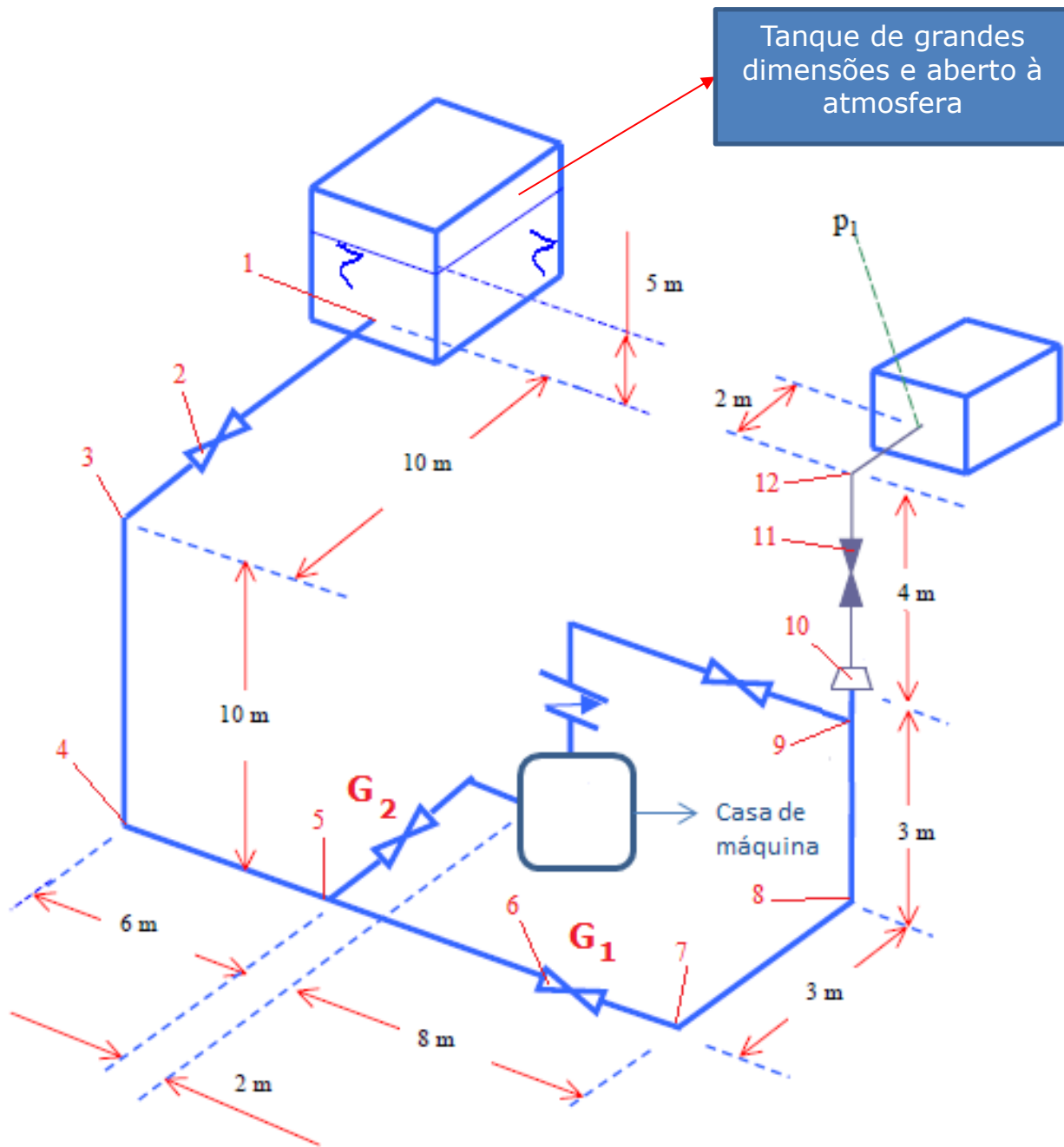
- ◆ HB185 (m)
- rend_185
- ▲ CCB_214
- × rend_214
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rend_185)
- Polinômio (CCB_214)
- Polinômio (rend_214)



Vamos
começar a
resolver.


Primeiro na
instalação
sem
bomba!

E para isto
devemos
localizar as
singularidades



Número	Singularidade
1	Saída normal de reservatório
2	Válvula gaveta
3	Joelho fêmea de 90°
4	Joelho fêmea de 90°
5	Tê de passagem direta
6	Válvula gaveta
7	Joelho fêmea de 90°
8	Joelho fêmea de 90°
9	Tê de passagem direta
10	Redução de 3 para 2"
11	Válvula globo reta sem guia
12	Joelho fêmea de 90°

Número	Singularidade	Leq (m)	Referência	D _N	Dint (mm)	A (cm ²)
1	Saída normal de reservatório	1,1	Tupy	3"	77,9	47,7
2	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
3	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
4	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
5	Tê de passagem direta	0,50	Tupy	3"	77,9	47,7
6	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
7	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
8	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
9	Tê de passagem direta	0,50	Tupy	3"	77,9	47,7
10	Redução de 3 para 2"	0,70	Tupy	2"	52,5	21,7
11	Válvula globo reta sem guia	17,68	Mipel	2"	52,5	21,7
12	Joelho fêmea de 90 ⁰	1,88	Tupy	2"	52,5	21,7

A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a mustache stands at the front, looking thoughtful. He is wearing a sweater and trousers. Several students are seated at desks, some holding books or papers. One student on the right is wearing sunglasses. The scene is set in a classroom with a chalkboard in the background.

Como as uniões tem comprimentos equivalentes muito pequenos ($0,01\text{ m}$), poderíamos até desprezá-las, mas vamos considerar a existência de 1 apenas.

Eta
precisão!

Situação 1 = válvula 2 fechada e a 1 aberta

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - 0}{997,8 \times 9,8} \right)$$

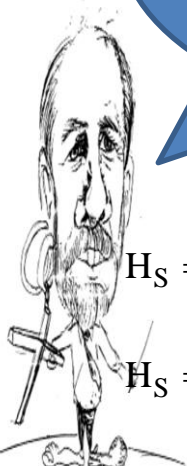
$$H_{\text{estática}} \cong 7,1\text{m}$$

Como a carga estática deu positiva, podemos afirmar que não existe o escoamento em queda livre.

A equação abaixo mostra a equação da CCI supondo instalação sem bomba (válvula G₂ fechada).

$$H_S = 7,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(42 + 15,45)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 20,26)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_S = 7,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$





Supondo que seja viável fechar o reservatório de captação e sobre o nível d'água impor uma pressão inicial (p_i) através da injeção de um ar comprimido, pede-se determinar o valor da pressão inicial para se ter uma vazão de queda livre igual a $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Neste caso, teremos alteração da carga estática.

Exatamente.

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - p_i}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 7,1 - \frac{p_i}{997,8 \times 9,8}$$

$$H_S = 7,1 - \frac{p_i}{9778,44} + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$



No caso de existir a vazão de queda livre temos $H_s = 0$

$$0 = 7,1 - \frac{P_i}{9778,44} + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$

$$\frac{P_i}{9778,44} = 7,1 + 10834,9 \times \left(\frac{25}{3600}\right)^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times \left(\frac{25}{3600}\right)^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times \left(\frac{25}{3600}\right)^2$$

$$\frac{P_i}{9778,44} = 7,622516397 + f_{3''} \times 79,75074749 + f_{2''} \times 261,3574605$$

Portanto, devemos calcular $f_{2''}$ e $f_{3''}$



propriedades do fluido transportado

temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)	v (m ² /s)
22		9,55E-04	997,8		9,570E-07

propriedades do local

g = m/s²
 patm = Pa

mat. tubo			
aço			
espessura	Dint (mm)	A (cm ²)	
 	52,5	21,7	
K(m)	DH/k		
4,60E-05	1141		

Legenda

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



Este é o f₂"

Q Q(m³/s) Q(L/s) Q(L/min)
 deve transformar para
 m³/h m³/h
 25,0

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f _{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}
25,0	3,20	175560	0,0205	0,0209	0,0209	0,0207

propriedades do fluido transportado

temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	pv (Pa)	v (m ² /s)
22		9,55E-04	997,8		9,570E-07

propriedades do local

g = m/s²
 patm = Pa

mat. tubo
aço

espessura	Dint (mm)	A (cm ²)
	77,9	47,7

K(m)	DH/k
4,60E-05	1693

Legenda

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



E este é o f_{3''}

Q (L/min)
 Q (m³/s) Q (L/s))
 deve transformar para
 m³/h
 25,0

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	f _{Haaland}	f _{Swamee e Jain}	f _{Churchill}	f _{planilha}
25,0	1,46	118507	0,0200	0,0204	0,0204	0,0203

Tendo os coeficientes de perda de carga distribuída, temos



$$\frac{P_i}{9778,44} = 7,622516397 + 0,0204 \times 79,75074749 + 0,0209 \times 261,3574605$$

$$\therefore p_i \cong 143858,5\text{Pa} \approx 143,9\text{kPa}$$

Com esta pressão a carga estática fica negativa?

Exatamente

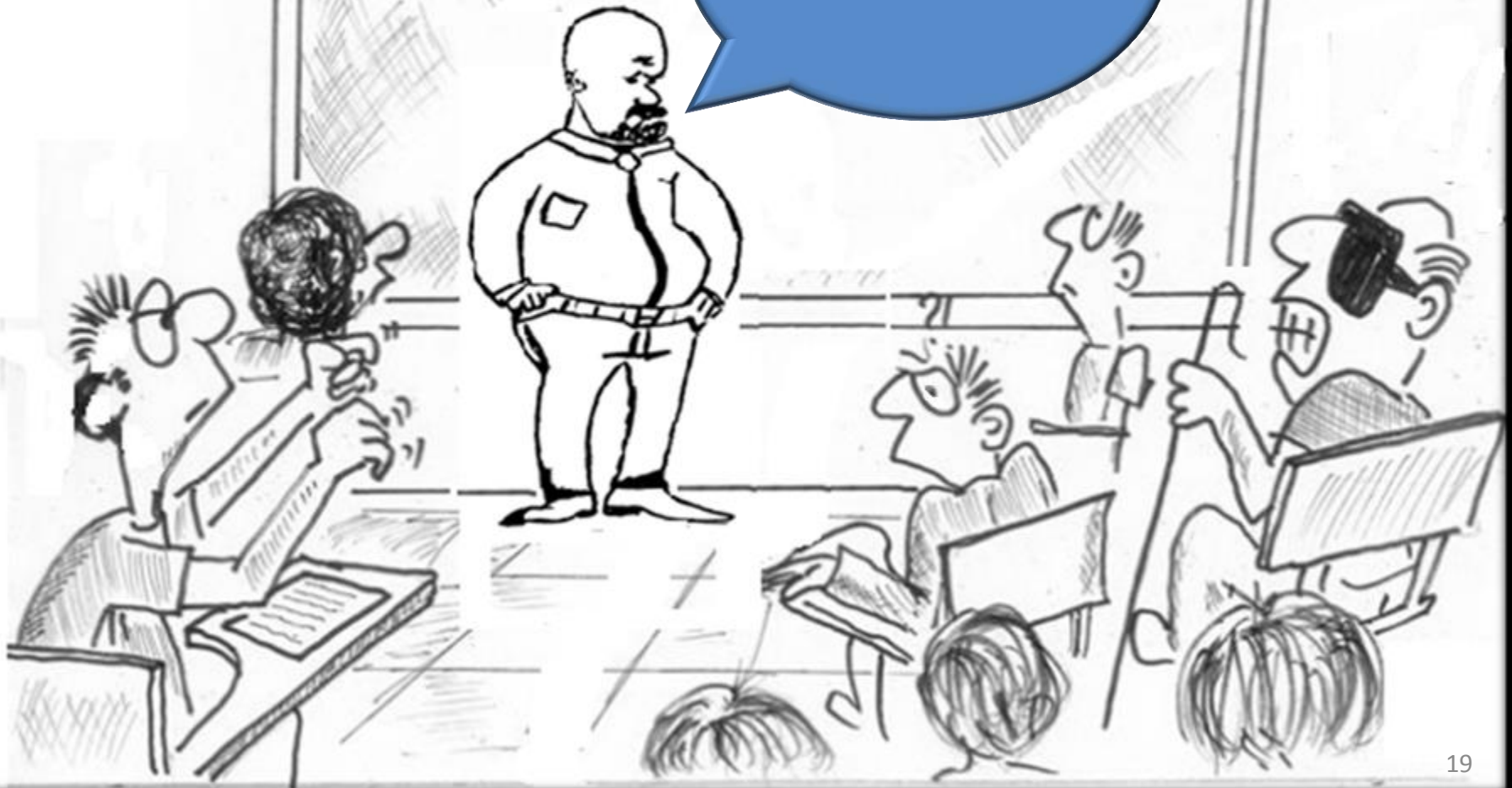


$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{1,5 \times 10^4 \times 9,8 - 143858,5}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong -7,7\text{m}$$

E com a carga
estática negativa,
temos a vazão de
queda livre

Exercício extra!



Para a situação da pressão inicial ser igual a 143,9 kPa, obtivemos a carga estática igual a - 7,7 m, portanto a CCI seria escrita da seguinte forma:

$$H_S = -7,7 + 10834,9 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2 + f_{3''} \times 1653711,5 \times Q^2$$

Determine a vazão de queda livre.

Este ficará por nossa conta!

Vamos agora
resolver o problema
com o
funcionamento da
bomba.

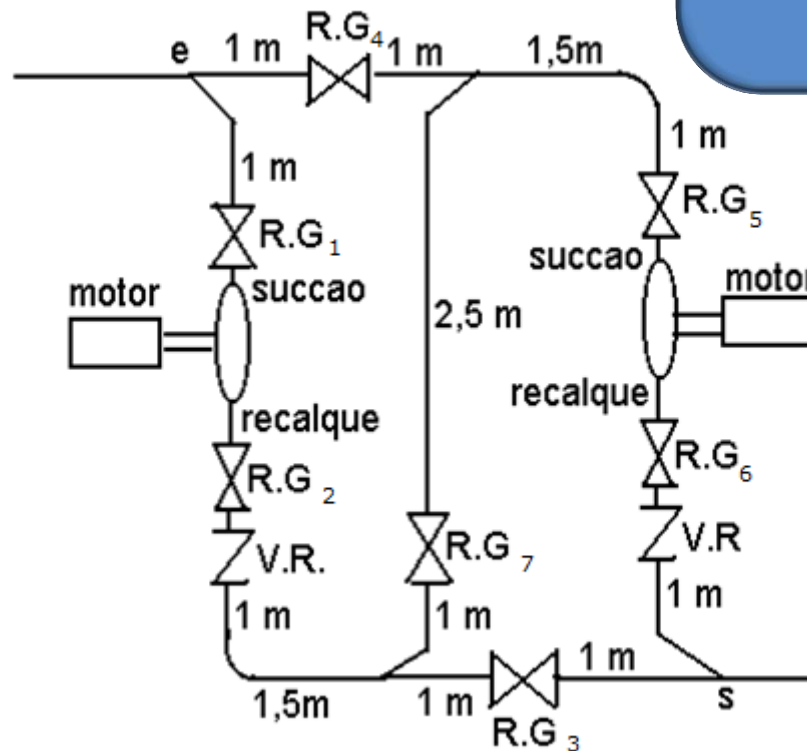


Mas para resolvê-lo
devemos refletir
sobre a instalação
das bombas e as
eventuais
alterações na CCI.



É dado o detalhe da casa de máquina, onde as ligações possíveis das bombas encontram-se representadas na figura a seguir.

Pelo que eu percebi nós deveremos corrigir a equação da CCI, isto porque nós tivemos alteração tanto no L, como na Σl_{eq} , certo?



Isso mesmo e sabendo que a instalação na casa de máquina trabalha com um único diâmetro e que os tubos são de aço 40 com diâmetro nominal de 3", vamos obter o ponto de trabalho operando com a bomba H50-C com o diâmetro de rotor igual a 214 mm e 185 mm para a situação 2, ou seja, para a pressão na seção final igual a 3,5 kgf/cm². Explique as operações com as válvulas gaveta para viabilizar o funcionamento da bomba.



Isto na casa de máquina, certo?

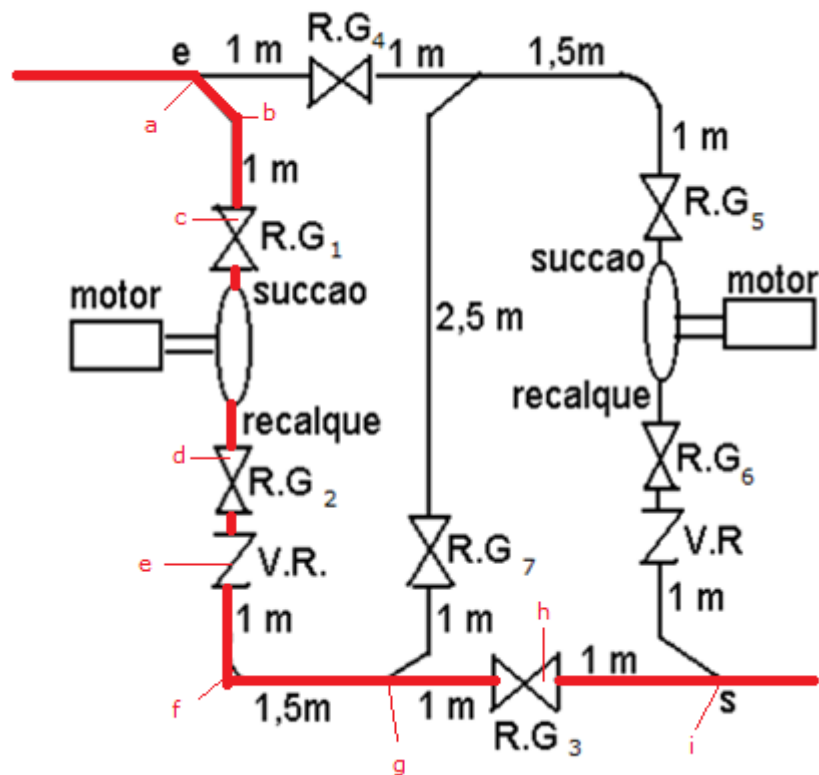


Exatamente!



PRIMEIRA POSSIBILIDADE DE FUNCIONAMENTO: REGISTROS GAVETAS FECHADOS: 4, 5, 6 E 7 E REGISTROS GAVETAS ABERTOS: 1, 2 E 3. Nesse caso opera-se com uma só bomba.

LEGENDA



- a = tê de saída de lado (Tupy)
- b = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)
- c, d, h = registros ou válvulas gaveta (Mipel)
- e = válvula de retenção com portinhola (Mipel)
- f = curva (fêmea) de 90° (Tupy)
- g, i = tê de passagem direta (Tupy)

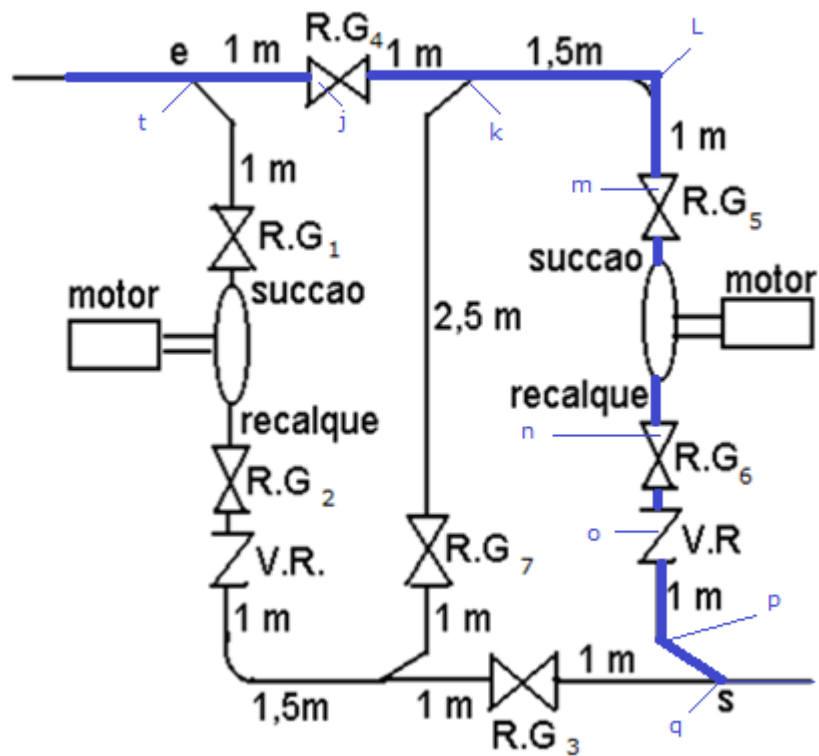
Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
a	3"	4,11
b	3"	2,82
c, d, h	3"	1,03
e	3"	3,95
f	3"	1,64
g, i	3"	0,50

$$L_{CM} = 5,5 \text{ m e a}$$

$$\Sigma leq = 16,61 \text{ m}$$

SEGUNDA POSSIBILIDADE DE FUNCIONAMENTO: REGISTROS GAVETAS FECHADOS: 1, 2, 3 E 7 E REGISTROS GAVETAS ABERTOS: 4, 5 E 6. Nesse caso opera-se com uma só bomba.

LEGENDA



t, k = tê de passagem direta (Tupy)

p = joelho (fêmea) de 90° (Tupy)

j, m, n = registros ou válvulas gaveta (Mipel)

o = válvula de retenção com portinhola (Mipel)

L = curva (fêmea) de 90° (Tupy)

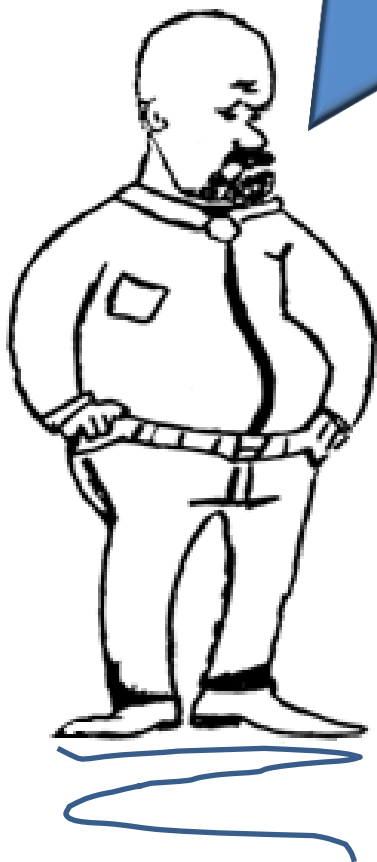
q = tê de passagem de lado (Tupy)

Singularidades	Diâmetro nominal	Leq (m)
q	3"	4,11
p	3"	2,82
j, m, n	3"	1,03
o	3"	3,95
L	3"	1,64
t, k	3"	0,50

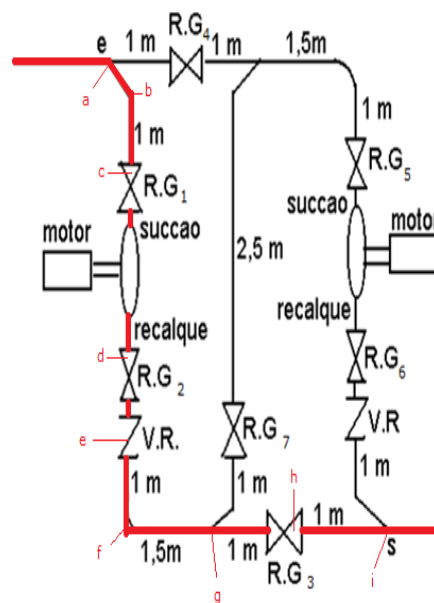
$$L_{CM} = 5,5 \text{ m e a}$$

$$\Sigma leq = 16,61 \text{ m}$$

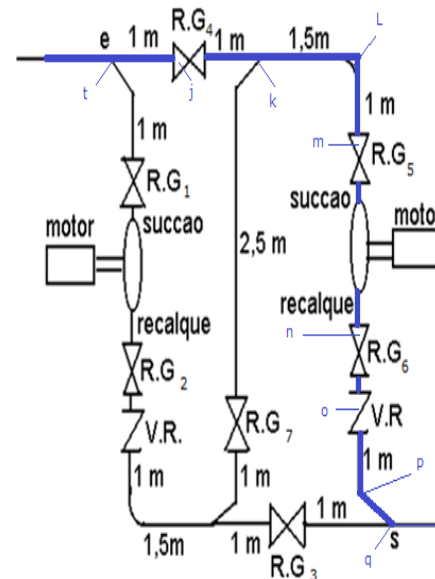
EM RELAÇÃO A CASA DE MÁQUINA AS
DUAS POSSIBILIDADES SÃO IDÊNTICAS,
POIS EM AMBAS SE TEM O MESMO
COMPRIMENTO TOTAL DE TUBULAÇÃO E
A MESMA SOMATÓRIA DE
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES.

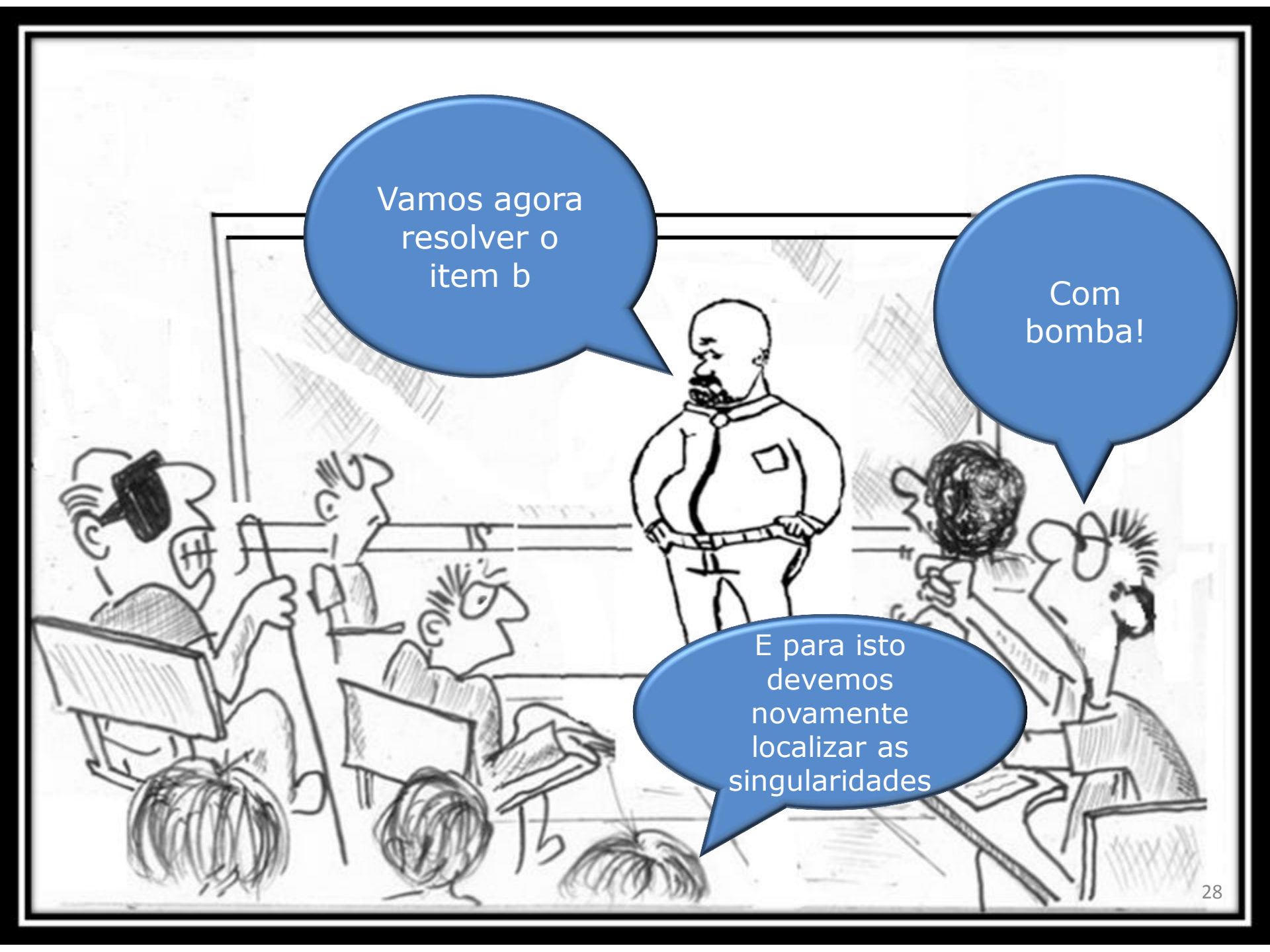


Primeira
possibilidade



Segunda
possibilidade

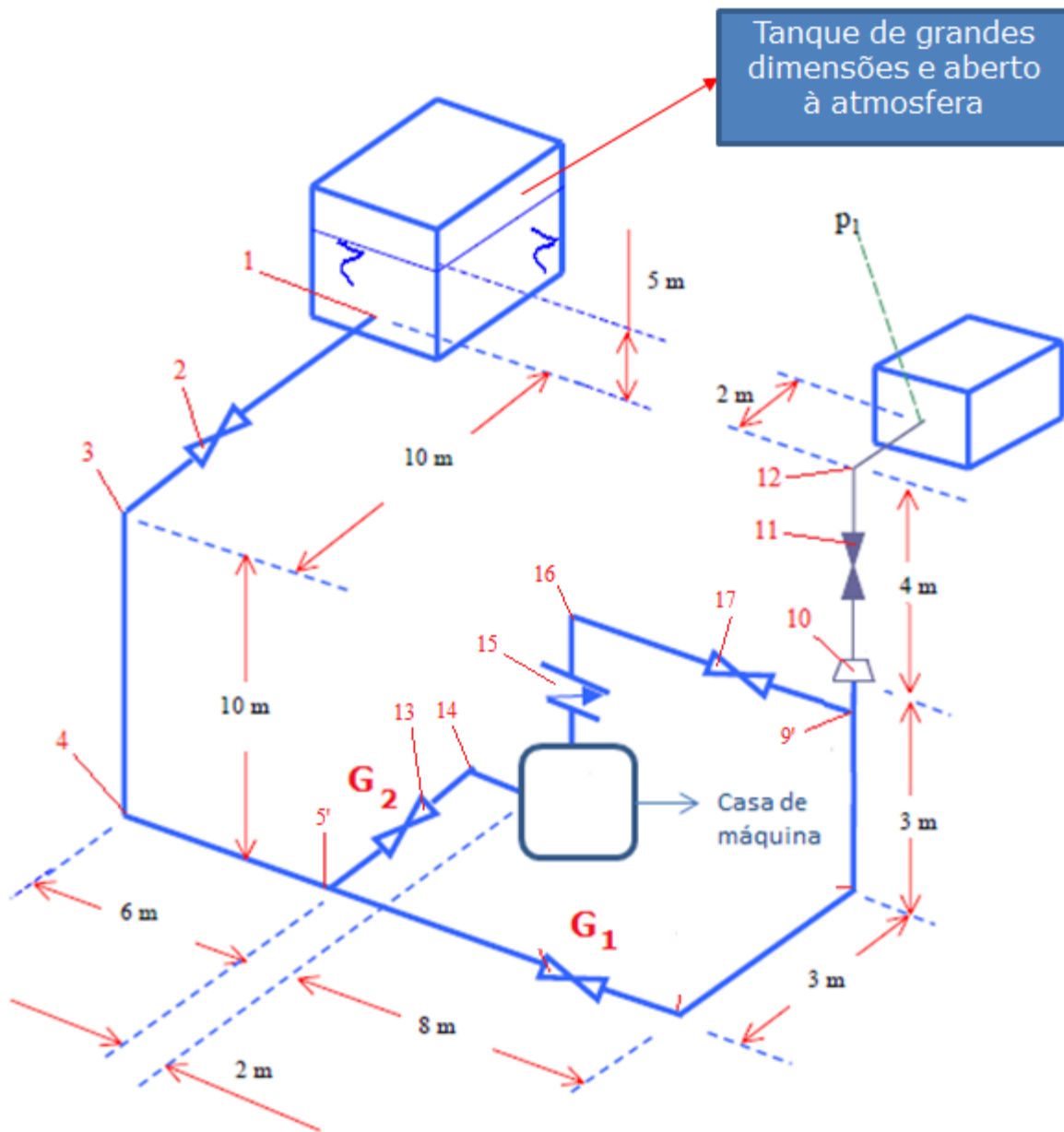


A black and white cartoon illustration of a classroom. A teacher with a beard and a white shirt stands at the front with hands on hips. Several students are seated at desks, some holding papers. The scene is overlaid with three blue speech bubbles containing text.

Vamos agora
resolver o
item b

Com
bomba!

E para isto
devemos
novamente
localizar as
singularidades



Número	Singularidade
1	Saída normal de reservatório
2	Válvula gaveta
3	Joelho fêmea de 90°
4	Joelho fêmea de 90°
5'	Tê de passagem lateral
13	Válvula gaveta
14	Joelho fêmea de 90°
15	Válvula de retenção com portinhola
16	Joelho fêmea de 90°
17	Válvula gaveta
9'	Tê de passagem lateral
10	Redução de 3 para 2"
11	Válvula globo reta sem guia
12	Joelho fêmea de 90°

Número	Singularidade	Leq (m)	Referência	D _N	Dint (mm)	A (cm ²)
1	Saída normal de reservatório	1,1	Tupy	3"	77,9	47,7
2	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
3	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
4	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
5'	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3"	77,9	47,7
13	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
14	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
15	Válvula de retenção com portinhola	3,95	Tupy	3"	77,9	47,7
16	Joelho fêmea de 90 ⁰	2,82	Tupy	3"	77,9	47,7
17	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3"	77,9	47,7
9'	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3"	77,9	47,7
10	Redução de 3 para 2"	0,70	Tupy	2"	52,5	21,7
11	Válvula globo reta sem guia	17,68	Mipel	2"	52,5	21,7
12	Joelho fêmea de 90 ⁰	1,88	Tupy	2"	52,5	21,7

Situação 2 = válvula 1 fechada e a 2 aberta

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{3,5 \times 10^4 \times 9,8 - 0}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 27,1\text{m}$$

Q(m ³ /h)	H _{B185} (m)	η _{B185} (%)	H _{B214} (m)	η _{B214} (%)
0	24		17,2	



Dados da bomba

Como a carga estática é maior que a carga no shut off, podemos afirmar que não existe o ponto de trabalho para a bomba escolhida.



$$H_S = 27,1 + \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} + f_{3''} \times \frac{(47,5 + 44,25)}{0,0779} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2} + f_{2''} \times \frac{(6 + 20,26)}{0,0525} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

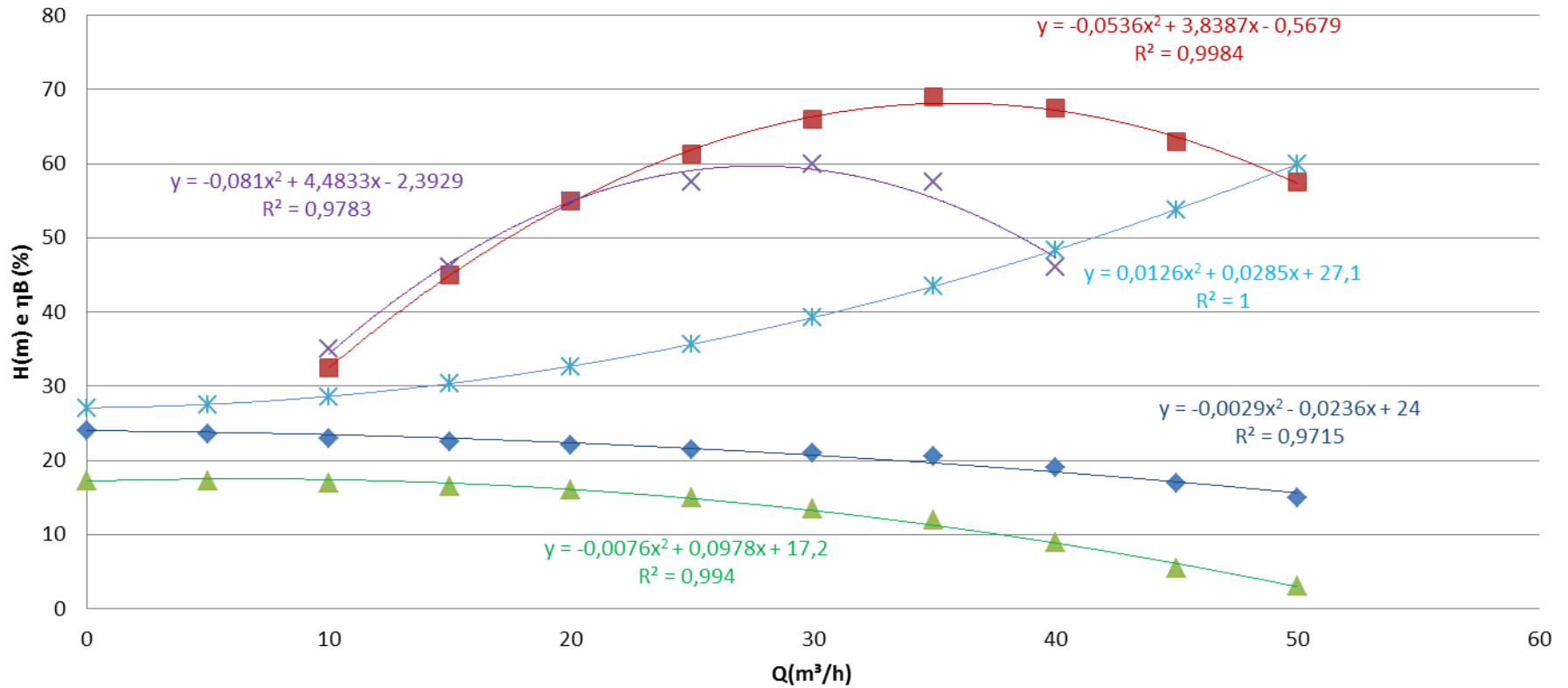
$$H_S = 27,1 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2641045,0 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$

Vamos ver isto graficamente



$Q(\text{m}^3/\text{h})$	H_{B185} (m)	η_{B185} (%)	H_{B214} (m)	η_{B214} (%)	f_3''	f_2''	H_{S_sit2} (m)
0	24		17,2		0	0	27,1
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	27,5
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	28,6
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	30,3
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	32,7
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	35,7
30	21	66	13,5	60	0,0200	0,0206	39,3
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	43,5
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	48,4
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	53,8
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	59,9

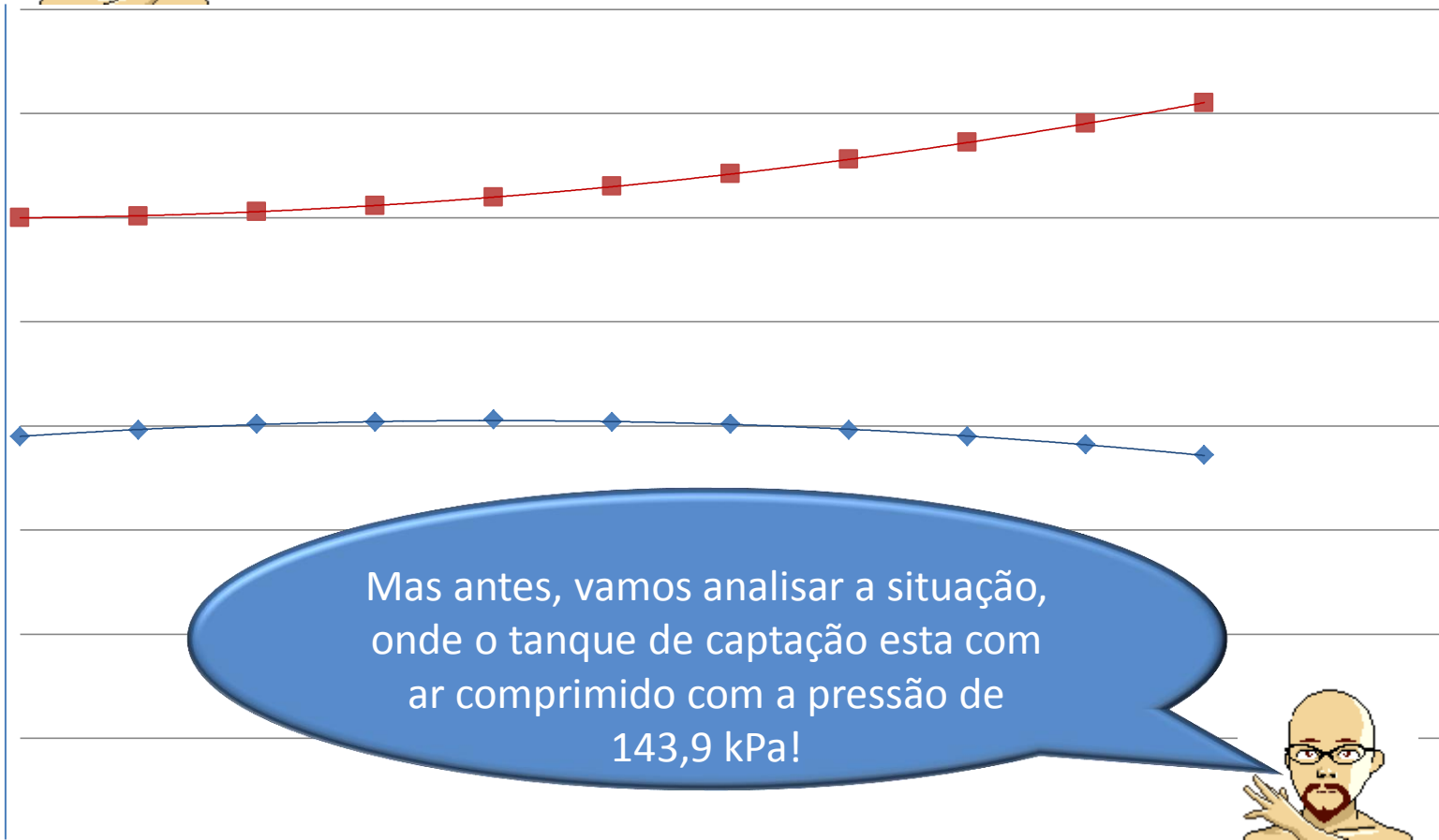
Ponto de trabalho




- ◆ HB185 (m)
- ◆ rendimento 185
- ▲ HB214
- × rendimento 214
- × CCI
- Polinômio (HB185 (m))
- Polinômio (rendimento 185)
- Polinômio (HB214)
- Polinômio (rendimento 214)
- Polinômio (CCI)




Como não existe o ponto de trabalho, ou seja, a bomba escolhida não consegue recalcar a água para a situação onde a pressão na seção final é $3,5 \text{ kgf/cm}^2$ e como já existe uma bomba igual como reserva, vamos verificar se a associação em série das bombas resolve o problema.





E para esta situação vamos supor que desejamos uma vazão de $32 \text{ m}^3/\text{h}$.



E vamos utilizar o fator de segurança mínimo, ou seja, 1,1.

$$Q_{\text{projeto}} = 1,1 \times 32 = 35,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{\text{estática}} = (7 - 15) + \left(\frac{3,5 \times 10^4 \times 9,8 - 143900}{997,8 \times 9,8} \right)$$

$$H_{\text{estática}} \cong 12,4\text{m}$$

$$H_S = 12,4 + 10834,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2641045,0 \times Q^2 + f_{2''} \times 5419508,3 \times Q^2$$



Agora e só traçar as curvas CCB e CCI e achar o ponto de trabalho.

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	H_{B185} (m)	η_{B185} (%)	H_{B214} (m)	η_{B214} (%)	f_3''	f_2''	H_{S_sit2} (m)
0	24		17,2		0	0	12,4
5	23,5		17,2		0,0263	0,0252	12,8
10	23	32,5	17	35	0,0231	0,0228	13,9
15	22,5	45	16,5	46	0,0217	0,0218	15,6
20	22	55	16	55	0,0209	0,0212	18,0
25	21,5	61,25	15	57,5	0,0204	0,0209	21,0
30	21	66	13,5	60	0,0200	0,0206	24,6
35	20,5	69	12	57,5	0,0197	0,0204	28,8
40	19	67,5	9	46	0,0195	0,0203	33,7
45	17	63	5,5		0,0193	0,0202	39,1
50	15	57,5	3		0,0191	0,0201	45,2



Vamos analisar as curvas!

Não há a necessidade de se calcular o ponto de trabalho, já que é visível que as vazões são menores que a vazão de projeto, portanto vamos analisar a possibilidade de associação em série das bombas.



Ponto de trabalho

