

Resolução do exercício proposto na experiência da associação em paralelo das bombas
hidráulicas

- a. a equação da CCI para a associação em paralelo, onde tudo o que for considerado deve ser devidamente justificado.

$$\sum (\gamma \times Q \times H)_{\text{entram}} + \sum \gamma \times Q_m \times H_m = \sum (\gamma \times Q \times H)_{\text{saem}} + \sum \gamma \times Q_i \times H_{pi}$$

H_{entram} - serão obtidas em relação ao nível d'água no tanque 1

$H_{\text{saí}}$ - será obtida em relação a seção final que encontra-se no tanque 2, onde se tem duas possibilidades:

1. **tanque 2 vazio** e aí a seção final é a saída da canalização 18 e neste caso se tem que $Z_{\text{final}} - Z_{\text{inicial}} = 0,02 \text{ m} \cong 0$ (vide enunciado do exercício).
2. **tanque 2 cheio** e aí a seção final é o nível d'água no tanque 2, onde se tem $Z_{\text{final}} - Z_{\text{inicial}} = 1,84 \text{ m}$ (vide enunciado do exercício).

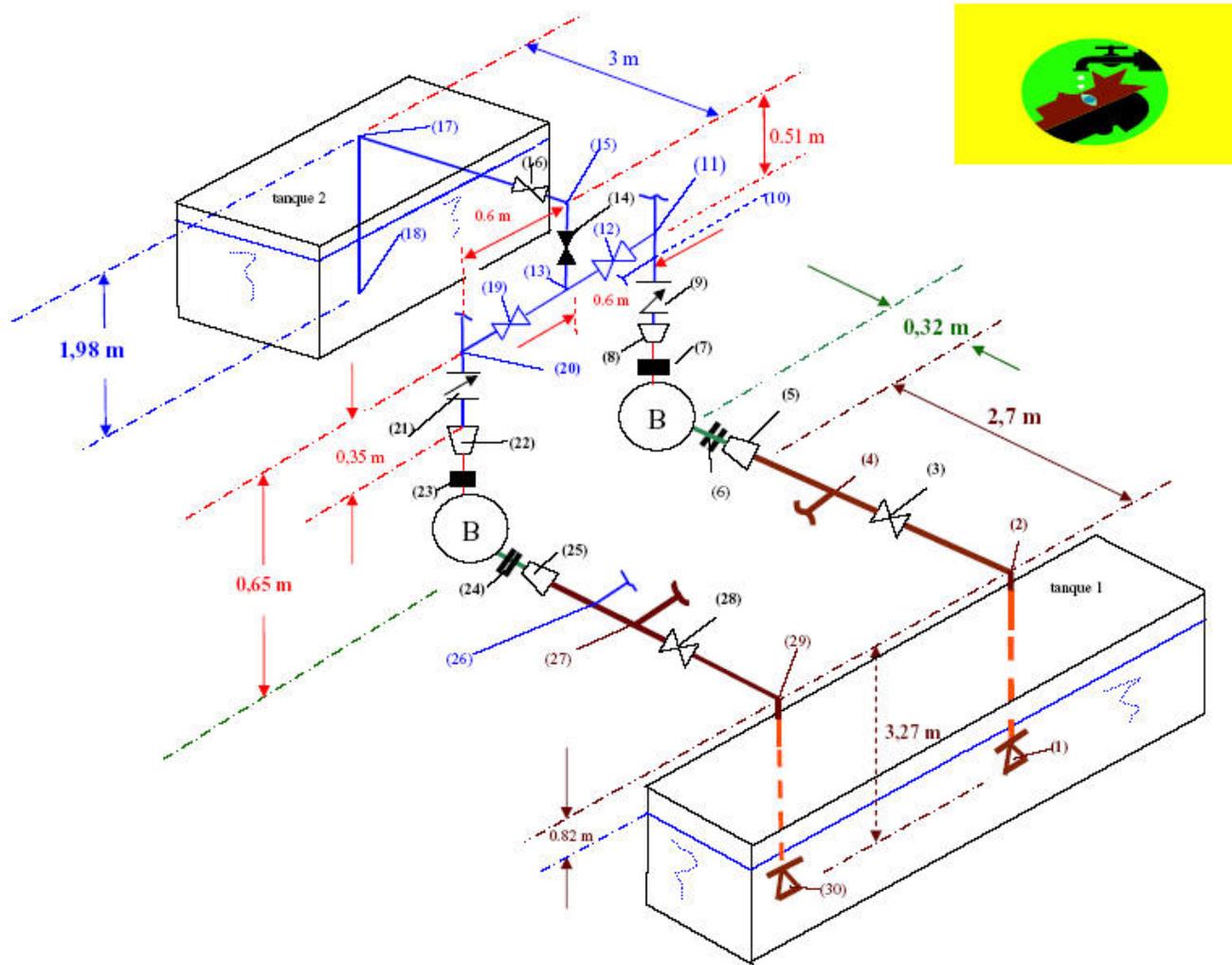
Pela consideração anterior, tem-se duas equações da CCI, uma obtida para o **tanque 2 vazio** e a outra obtida para o **tanque 2 cheio** e com elas obtem-se a faixa de trabalho da associação em paralelo de bombas.

Para se obter ambas equações da CCI mencionadas anteriormente, adota-se o PHR no nível de captação, ou seja, no nível d'água no tanque 1, aí para ambas as situações se tem: $H_{\text{entram}} = 0$, já a carga final ($H_{\text{saí}}$) vai mudar em função da situação do tanque 2.

1ª situação: tanque 2 vazio

$$H_{\text{saí}} = 0 + 0 + \frac{Q^2}{2 \times 9,8 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} \cong 10834,9 Q_a^2$$

$$\gamma \times Q_a \times H_{B_a} = \gamma \times Q_a \times (10834,9 Q_a^2) + \sum N_{\text{dissipadas}}$$



3

Considerando as instalação anterior, pode-se calcular a somatória das potências dissipadas

$$\sum N_{\text{dissipadas}} = \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{P1-13} + \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{P30-13} + \gamma \times Q_a \times H_{P13-18}$$

Portanto, resta calcular a perda para cada trecho, ou seja:

$$H_{P1-13} = H_{P_{\text{PVC}3''}} + H_{P_{\text{aço}3''}} + H_{P_{\text{aço}2,5''}} + H_{P_{\text{aço}1,5''}} + H_{P_{\text{aço}2'' \text{ até } 13}}$$

$$H_{PPVC3''} = f_{PVC3''} \times \frac{(L + L_{\text{eqválvula pé crivo}})}{D_H} \times \frac{(\frac{Q_a}{2})^2}{2g \times A_{3''PVC}^2}$$

Para a instalação - **PVC - 3''** - se tem que:

Dint = 75,6 mm – fonte de consulta: INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 300;

L = 3,27 m;



Leqválvula de pé com crivo = 26.8 m - fonte de consulta:

INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 29.

$$H_{PPVC3''} = f_{PVC3''} \times \frac{(3,27 + 26,8)}{0,0756} \times \frac{(\frac{Q_a}{2})^2}{2 \times 9,8 \times (\frac{\pi \times 0,0756^2}{4})^2} = f_{PVC3''} \times 1007137,2 \times (\frac{Q_a}{2})^2$$

$$H_{PPVC3''} = f_{PVC3''} \times 251784,3 \times Q_a^2$$

$$H_{Paço403''} = f_{aço403''} \times \frac{(L + L_{\text{eq}2} + L_{\text{eq}3} + L_{\text{eq}4})}{D_H} \times \frac{(\frac{Q_a}{2})^2}{2g \times A_{aço403''}^2}$$



$L_{eq2} = 0,01 + 0,01 + 2,82 = \mathbf{2,84\ m}$ - fonte de consulta:

INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 26;



$L_{eq3} = \mathbf{0,5\ m}$ - fonte de consulta: INSTALAÇÕES

HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 27 – ou - http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/cont_sexta_aula.htm ;



$L_{eq4} = \mathbf{0,5\ m}$ - - fonte de consulta: INSTALAÇÕES

HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 26;

$L = 2,7\ m$

Tubulação de aço 40 de 3" – **Dint = 77.9 mm** e **A = 47,7 cm²** - norma ANSI B36.10 e B 36.19

$$H_{P_{aço403''}} = f_{aço403''} \times \frac{(2,7 + 2,84 + 0,5 + 0,5)}{0,0779} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{P_{aço403''}} = f_{aço403''} \times 188255,41 \left(\frac{Q_a}{2}\right)^2 = f_{aço403''} \times 47063,9 \times Q_a^2$$

$$H_{P_{aço402,5''}} = f_{aço402,5''} \times \frac{(L + L_{eq5} + L_{eq6})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aço402,5''}^2}$$



$$L_{eq5} = 0,71 + 0,01 + 0,01 + 0,01 = 0,74 \text{ m}$$

EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



$L_{eq6} = 0$ – já que se encontra após a entrada da bomba e entre a entrada e a saída da bomba a perda é considerada no rendimento da mesma.

L = 0,32 m

Tubulação de aço 40 de 2,5" – Dint = 62.7 mm e A = 30.9 cm² - norma ANSI B36.10 e B 36.19

$$H_{P_{\text{aço}40,2,5''}} = f_{\text{aço}40,2,5''} \times \frac{(0,32 + 0,74 + 0)}{0,0627} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times (30,9 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{P_{\text{aço}40,2,5''}} = f_{\text{aço}40,2,5''} \times 90336,93 \left(\frac{Q_a}{2}\right)^2 = f_{\text{aço}40,2,5''} \times 22584,24 Q_a^2$$

$$H_{P_{\text{aço}40,1,5''}} = f_{\text{aço}40,1,5''} \times \frac{(L + L_{\text{eq}7} + L_{\text{eq}8})}{D_H} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2g \times A_{\text{aço}40,1,5''}^2}$$



$L_{\text{eq}7} = 0$ – já que se encontra na saída da bomba e entre a entrada e a saída da bomba a perda é considerada no rendimento da mesma.



$L_{\text{eq}8} = 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,38 = \mathbf{0,41 \text{ m}}$ –

EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;

L = 0,3 m

Tubulação de aço 40 de 1,5" – Dint = 40,8 mm e A = 13,1 cm² - norma ANSI B36.10 e B 36.19

$$H_{P_{aço401,5''}} = f_{aço401,5''} \times \frac{(0,3 + 0,41)}{0,0408} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times (13,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{P_{aço401,5''}} = f_{aço401,5''} \times 517367,96 \left(\frac{Q_a}{2}\right)^2 = f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2$$

$$H_{P_{aço402'' \text{ até } 13}} = f_{aço402'' \text{ até } 13} \times \frac{(L + \sum L_{eq2''})}{D_H} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2g \times A_{aço402,5''}^2}$$

$$\sum L_{eq2''} = L_{eq9} + L_{eq10} + L_{eq11} + L_{eq12}$$



L_{eq9} - = 0,01 + 6.4 = **6,41 m** - fonte de consulta:

INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 27;



L_{eq10} - = 0,01 + 2,74 + 0.01 = **2,76 m** - fonte de consulta:

INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA – página 26;



L_{eq11} - $= 2.74 + 0.01 + 0.01 + 0.01 = \mathbf{2.77 \text{ m}}$ -
 EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM
 METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



L_{eq12} - $= 0.4 = \mathbf{0,40 \text{ m}}$ - fonte de consulta:
 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS – Hélio Creder – Livros Técnicos e
 Científicos Editora LTDA – página 27;

L = 0,95 m

Tubulação de aço 40 de 2" – **Dint = 52.5 mm** e **A = 21,7 cm²** - norma ANSI B36.10 e B
 36.19

$$\therefore H_{Paço402'' \text{ até } 13} = f_{aço402'' \text{ até } 13} \times \frac{(0,95 + 12,34)}{0,0525} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{Paço402'' \text{ até } 13} = f_{aço402'' \text{ até } 13} \times 2742774,73 \left(\frac{Q_a}{2}\right)^2 = f_{aço402'' \text{ até } 13} \times 685693,7 \times Q_a^2$$

$$H_{p1-13} = f_{PVC3''} \times 251784,3 \times Q_a^2 + f_{aço403''} \times 47063,9 \times Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24 Q_a^2$$

$$+ f_{aço402'' \text{ até } 13} \times 685693,7 \times Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2$$

$$H_{p30-13} = H_{p_{pvc3''}} + H_{p_{aço3''}} + H_{p_{aço2,5''}} + H_{p_{aço1,5''}} + H_{p_{aço2'' \text{ até } 13}}$$

O trecho de PVC de 3'' é igual ao calculado de 1 – 13, portanto:

$$H_{p_{pvc3''}} = f_{pvc3''} \times 251784,3 \times Q_a^2$$

O trecho de aço de 3'' tem um acréscimo do comprimento equivalente do tê de redução de 2 x 3'' de passagem direta, portanto:



$L_{eq26} = 0,34 \text{ m}$ - EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76.

Acrescentando o referido comprimento equivalente, tem-se que:

$$H_{p_{aço403''}} = f_{aço403''} \times \frac{(2,7 + 2,84 + 0,5 + 0,5 + 0,34)}{0,0779} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p_{aço403''}} = f_{aço403''} \times 198042,4 \left(\frac{Q_a}{2}\right)^2 = f_{aço403''} \times 49510,6 \times Q_a^2$$

O trecho de aço de 2,5'' é igual ao calculado de 1 – 13, portanto:

$$H_{p_{aço402,5''}} = f_{aço402,5''} \times 22584,24 Q_a^2$$

O trecho de aço de 1,5'' é igual ao calculado de 1 – 13, portanto:

$$H_{p_{aço401,5''}} = f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2$$

Já o trecho de 2" de aço no trecho de 30 – 13 tem uma redução do comprimento equivalente referente a um tê de passagem direta e dois niples, ou seja:

$$\therefore H_{P_{\text{aço}402''\text{até}13}} = f_{\text{aço}402''\text{até}13} \times \frac{(0,95 + 12,34 - 2,76)}{0,0525} \times \frac{\left(\frac{Q_a}{2}\right)^2}{2 \times 9,8 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{P_{\text{aço}402''\text{até}13}} = f_{\text{aço}402''\text{até}13} \times 2173169,14 \left(\frac{Q_a}{2}\right)^2 = f_{\text{aço}402''\text{até}13} \times 543292,3 \times Q_a^2$$

A partir deste ponto, passa-se a calcular a H_{p13-18} , ou seja:

$$H_{p13-18} = H_{p2''13-18}$$

$$H_{p2''13-18} = f_{\text{aço}402''13-18} \times \frac{(L + \sum L_{eq2''})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{\text{aço}402,5''}^2}$$

$$\sum L_{eq2''} = L_{eq13} + L_{eq14} + L_{eq15} + L_{eq16} + L_{eq17} + L_{eq18}$$



L_{eq13} -  = **2,74 m** - fonte de consulta: EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



L_{eq14} -  = $0,01 + 17,4 =$ **17,41 m** - EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



L_{eq15} - = **1,88 m** - EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



L_{eq16} - = **0,40 m** - EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



L_{eq17} - = **1,88 m** - fonte de consulta: EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76;



L_{eq18} - = **1,5 m** - fonte de consulta: EQUIVALÊNCIA DA PERDA DE CARGA DAS CONEXÕES TUPY BSP EM METROS DE TUBOS DE AÇO GALVANIZADO – página 76.

Como $L = 5,49 \text{ m}$, tem-se que:

$$\therefore H_{P2''_{13-18}} = f_{aço402''_{13-18}} \times \frac{(5,49 + 25,81)}{0,0525} \times \frac{Q_a^2}{2 \times 9,8 \times (21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{P2''_{13-18}} = f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6 Q_a^2$$

Finalmente pode-se escrever a equação da CCI para a **1ª situação** em função dos coeficientes de perda de carga distribuída e em função da vazão:

$$\begin{aligned} \gamma \times Q_a \times H_{B_a} &= \gamma \times Q_a \times (10834,9 Q_a^2) + \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{P1-13} + \gamma \times \frac{Q_a}{2} \times H_{P30-13} \\ &+ \gamma \times Q_a \times H_{P13-18} \end{aligned}$$

Dividindo-se todos os membros por $\gamma \times Q_a$ resulta:

$$\begin{aligned} H_{B_a} &= 10834,9 Q_a^2 + \frac{1}{2} \times (f_{PVC3''} \times 251784,3 \times Q_a^2 + f_{aço403''} \times 47063,9 \times Q_a^2 + \\ &f_{aço402,5''} \times 22584,24 Q_a^2 + f_{aço402''_{1-até13}} \times 685693,7 \times Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2) + \\ &\frac{1}{2} \times (f_{PVC3''} \times 251784,3 \times Q_a^2 + f_{aço403''} \times 49510,6 \times Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24 Q_a^2 + \\ &f_{aço402''_{30-até13}} \times 543292,3 \times Q_a^2 + 2 \times f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2) + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6 Q_a^2 \end{aligned}$$

Portanto a equação da CCI para o primeiro caso, tanque 2 vazio, pode ser assim representada:

$$\begin{aligned} H_{B_a} &= 10834,9 Q_a^2 + f_{PVC3''} \times 251784,3 Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25 Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24 Q_a^2 + \\ &f_{aço402''_{1-até13}} \times 614493 Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6 Q_a^2 \end{aligned}$$

Já para o segundo caso, tanque 2 cheio, tem-se:

$$\begin{aligned} H_{B_a} &= 1,84 + f_{PVC3''} \times 251784,3 Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25 Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24 Q_a^2 + \\ &f_{aço402''_{1-até13}} \times 614493 Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99 Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6 Q_a^2 \end{aligned}$$

b. o ponto de trabalho para as seguintes situações:

b1. considerando a CCB fornecida pelo fabricante:

- **na primeira situação (tanque 2 vazio):**

Neste caso tem-se que:

Q (l/s)	HB (m)
0	28,1
4,2	27,1
6	26,1
6,9	24,9
8	23,8
8,7	22,4
9,7	21,2
10,1	20,5

Como na associação em paralelo de bombas hidráulicas iguais mantém-se as cargas manométricas e dobra-se as vazões, resulta:

Qa (l/s)	HBa (m)
0	28,1
8,4	27,1
12	26,1
13,8	24,9
16	23,8
17,4	22,4
19,4	21,2
20,2	20,5

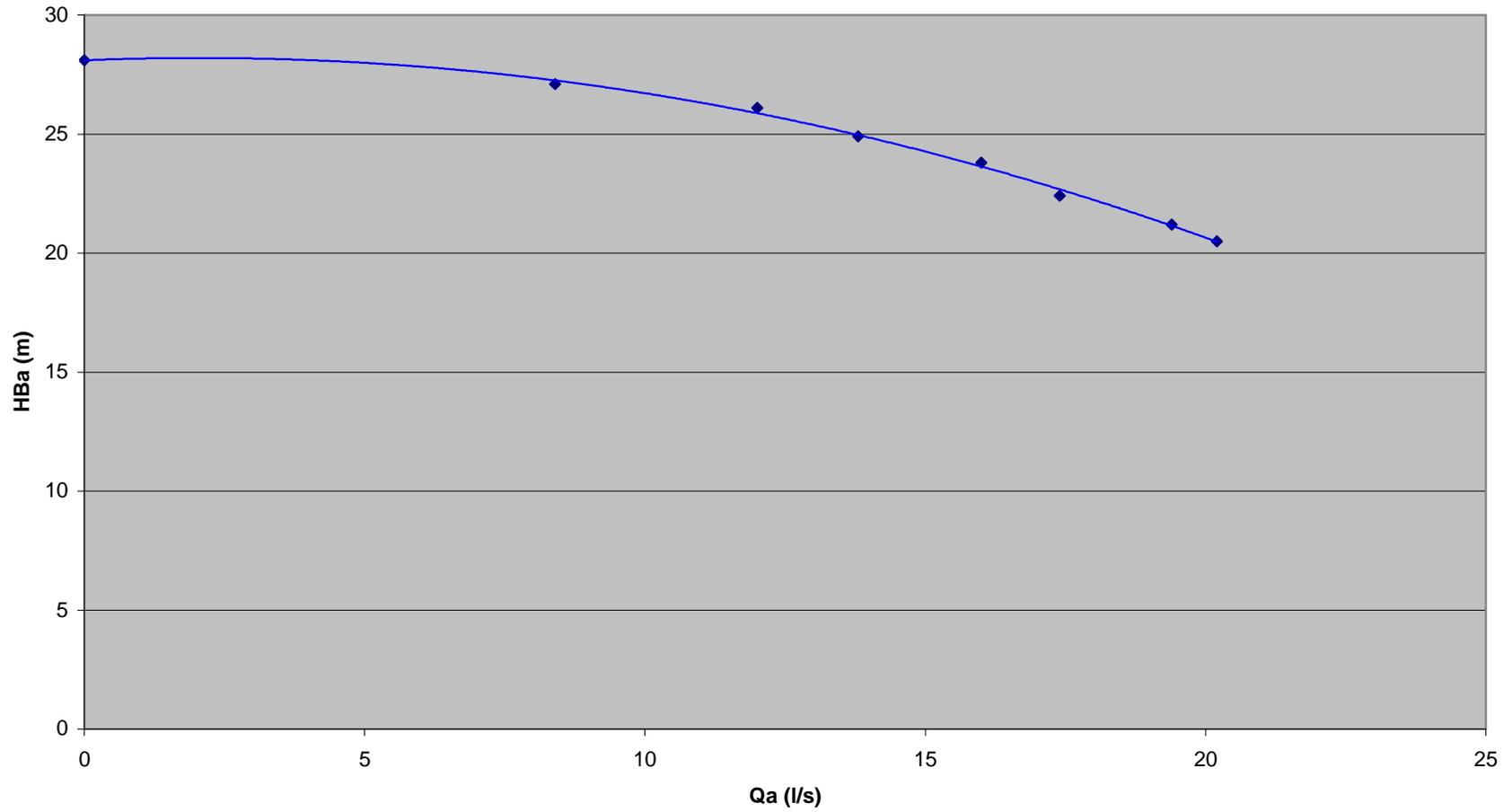
Nota: os coeficientes de perda de carga distribuída devem ser calculados em função da vazão que passa no trecho considerado, ou seja, para

$$f_{\text{PVC}_3''} \rightarrow f_{\text{aço}40_3''} \rightarrow f_{\text{aço}40_{2,5}''} \rightarrow f_{\text{aço}40_{2''}1.\text{até}13} \rightarrow f_{\text{aço}40_{1,5}''} \Rightarrow \frac{Q_a}{2} = Q$$

$$f_{\text{aço}40_{2''}13-18} \Rightarrow Q_a$$

Associação em paralelo a partir da CCB do fabricante

$$y = -0,0234x^2 + 0,0959x + 28,1$$
$$R^2 = 0,9966$$



Para que se possa determinar o ponto de trabalho deve-se traçar a CCI sobre a CCB, para tal, na primeira situação, tem-se:

$$H_{B_a} = 10834,9Q_a^2 + f_{PVC3''} \times 251784,3Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24Q_a^2 + f_{aço402''_{1,até13}} \times 614493Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6Q_a^2$$

Para o PVC de 3'' com vazão Q do fabricante:

f	Q (l/s)
0	0
0,019254	4,2
0,017846	6
0,017336	6,9
0,01682	8
0,016538	8,7
0,016182	9,7
0,016052	10,1

Para o aço de 3'' com vazão Q do fabricante:

f	Q (l/s)
0	0
0,021752	4,2
0,020736	6
0,020392	6,9
0,020059	8
0,019884	8,7
0,019671	9,7
0,019595	10,1

Para o aço de 2,5'' com vazão Q do fabricante:

f	Q (l/s)
0	0
0,021626	4,2
0,020794	6
0,020517	6,9
0,020252	8
0,020114	8,7
0,019947	9,7
0,019889	10,1

Para o aço de 2" com vazão Q do fabricante:

f	Q (l/s)
0	0
0,021704	4,2
0,021014	6
0,020789	6,9
0,020574	8
0,020463	8,7
0,02033	9,7
0,020283	10,1

Para o aço de 1,5" com vazão Q do fabricante:

f	Q (l/s)
0	0
0,0221	4,2
0,021591	6
0,021428	6,9
0,021275	8
0,021197	8,7
0,021103	9,7
0,02107	10,1

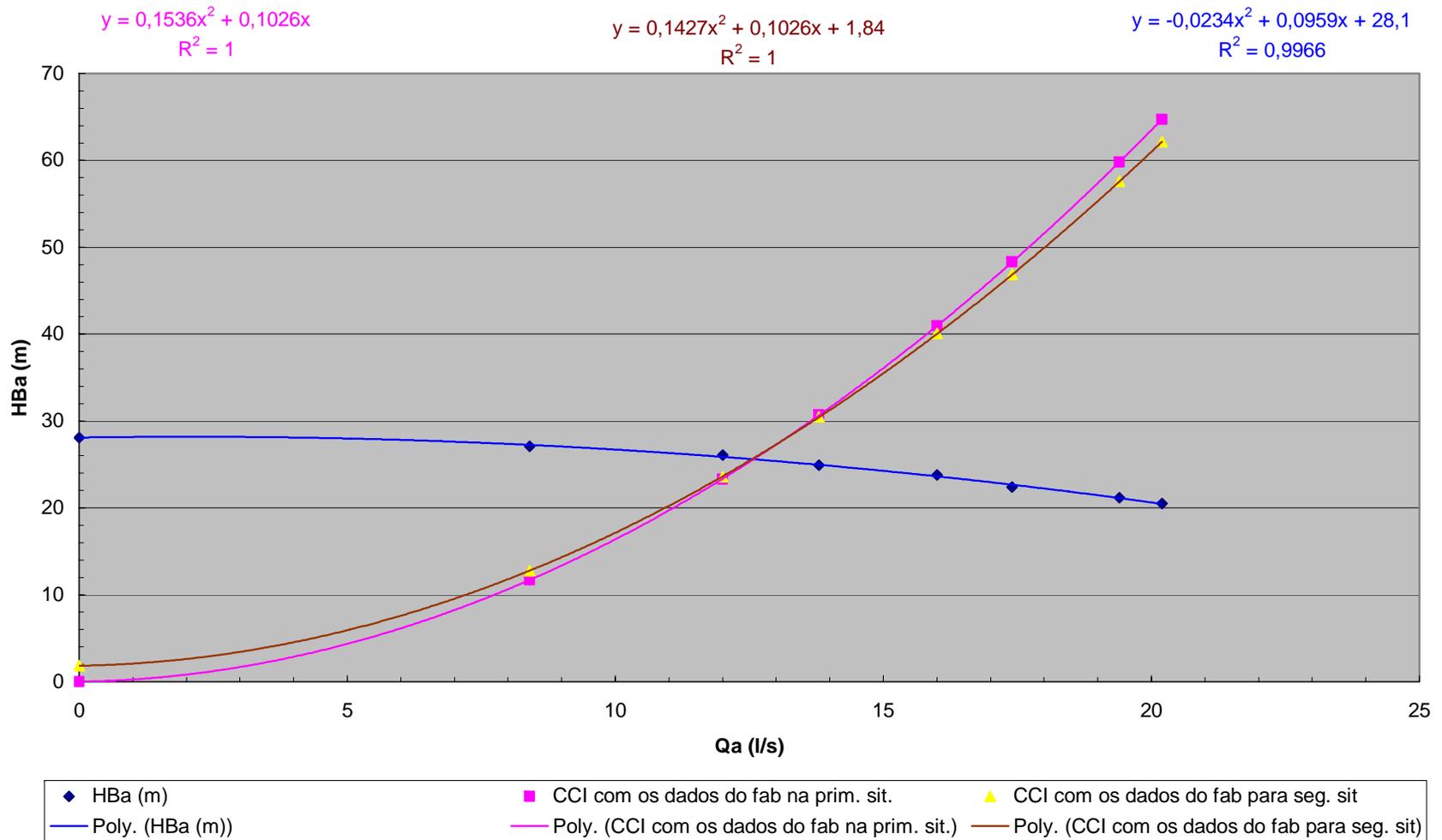
Para o aço de 2" com vazão Qa obtida a partir do fabricante:

f	Q (l/s)	Qa (l/s)
0	0	0
0,020509	4,2	8,4
0,020	6	12
0,01997	6,9	13,8
0,019848	8	16
0,019785	8,7	17,4
0,019711	9,7	19,4
0,019685	10,1	20,2

Com os dados anteriores obtem-se os dados para traçar a CCI na prim.e seg situação

Qa (l/s)	Hba (m)	primeira situação	Q'a (l/s)	Hb'a (m)	segunda situação
0	0		0	1,84	
8,4	11,7		8,4	12,78	
12	23,3		12	23,56	
13,8	30,7		13,8	30,47	
16	41,0		16	40,05	
17,4	48,3		17,4	46,86	
19,4	59,8		19,4	57,55	
20,2	64,7		20,2	62,14	

Associação em paralelo a partir da CCB do fabricante



Obtenção do ponto de trabalho na primeira situação (**tanque 2 vazio**):

$$0,1536Q^2 + 0,1026Q = -0,0234Q^2 + 0,0959Q + 28,1$$

$$0,177Q^2 + 0,0067Q - 28,1 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{-0,0067 + \sqrt{(0,0067)^2 + 4 \times 0,177 \times 28,1}}{2 \times 0,177} \cong 12,6 \frac{1}{s}$$

Para o cálculo da carga manométrica no ponto de trabalho basta substituir a vazão anterior na sua equação, ou seja:

$$H_{B_{\tau}} = 0,1536 \times (12,6)^2 + 0,1026 \times 12,6 \cong 25,7 \text{ m}$$

- **na segunda situação (tanque 2 cheio):**

$$H_{B_a} = 1,84 + f_{PVC3''} \times 251784,3Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24Q_a^2 + f_{aço402''_{1-até13}} \times 614493Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6Q_a^2$$

onde todos os coeficientes de perda de carga são iguais aos obtidos para a primeira situação, ou seja, tanque 2 vazio, portanto basta obter o ponto que representa o cruzamento da CCI com a CCB, como mostrada no diagrama anterior e que resulta:

$$0,1427Q^2 + 0,1026Q + 1,84 = -0,0234Q^2 + 0,0959Q + 28,1$$

$$0,1661Q^2 + 0,0067Q - 26,26 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{-0,0067 + \sqrt{(0,0067)^2 + 4 \times 0,1661 \times 26,26}}{2 \times 0,1661} \cong 12,6 \frac{1}{s}$$

O que implica que a carga manométrica também será a mesma, portanto:

$$H_{B_{\tau}} = 0,1536 \times (12,6)^2 + 0,1026 \times 12,6 \cong 25,7 \text{ m}$$

b2. considerando a CCB corrigida através da primeira experiência

- na primeira situação (tanque 2 vazio):

Neste novo caso tem-se que:

Q _{corrig} (l/s)	H _{bcorrig} (m)
0	27
4,1	26,2
6	25,4
6,8	24,3
7,9	23,3
8,6	21,9
9,6	20,8
10	20,1

Como na associação em paralelo de bombas hidráulicas iguais mantém-se as cargas manométricas e dobra-se as vazões, resulta:

Q _{acorrig} (l/s)	H _{bacorrig} (m)
0	27
8,2	26,2
12	25,4
13,6	24,3
15,8	23,3
17,2	21,9
19,2	20,8
20	20,1

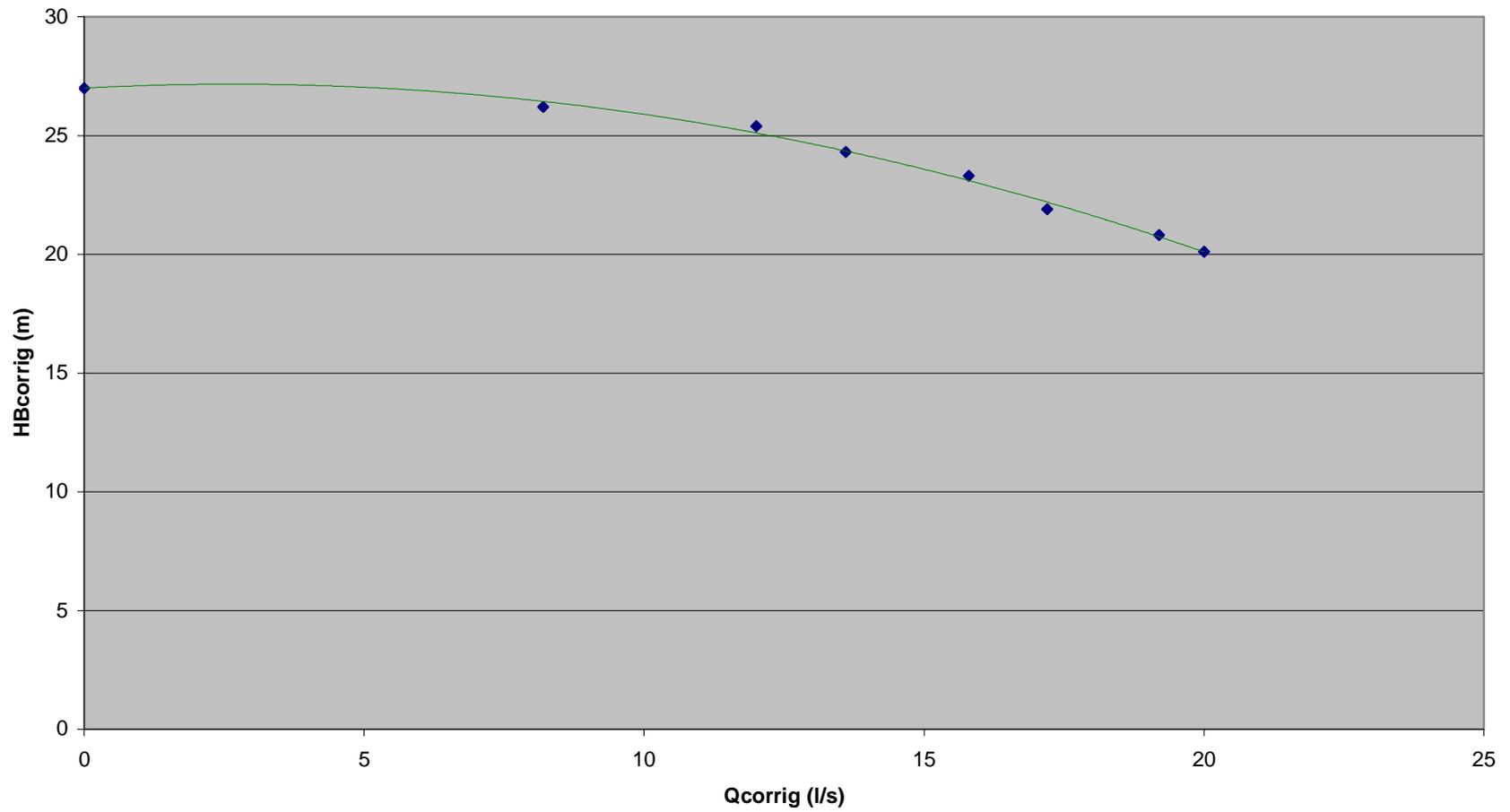
Nota: os coeficientes de perda de carga distribuída devem ser calculados em função da vazão que passa no trecho considerado, ou seja, para

$$f_{\text{PVC}3''} \rightarrow f_{\text{aço}403''} \rightarrow f_{\text{aço}402,5''} \rightarrow f_{\text{aço}402''_{1.\text{até}13}} \rightarrow f_{\text{aço}401,5''} \Rightarrow \frac{Q_{\text{acorrig}}}{2} = Q_{\text{corrig}}$$

$$f_{\text{aço}402''_{13-18}} \Rightarrow Q_{\text{acorrig}}$$

Associação paralelo a partir da CCB corrigida na primeira experiência

$$y = -0,0234x^2 + 0,1238x + 27$$
$$R^2 = 0,994$$



Para que se possa determinar o ponto de trabalho deve-se traçar a CCI sobre a CCB, para tal, na primeira situação, tem-se:

$$H_{B_a} = 10834,9Q_a^2 + f_{PVC3''} \times 251784,3Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24Q_a^2 + f_{aço402''_{1-até13}} \times 614493Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6Q_a^2$$

Para o PVC de 3'' com vazão Q corrigida:

f	Q (l/s)
0	0
0,019355	4,1
0,017846	6
0,017388	6,8
0,016863	7,9
0,016576	8,6
0,016215	9,6
0,016084	10

Para o aço de 3'' com vazão Q corrigida:

f	Q (l/s)
0	0
0,021828	4,1
0,020736	6
0,020426	6,8
0,020086	7,9
0,019907	8,6
0,01969	9,6
0,019614	10

Para o aço de 2,5'' com vazão Q corrigida:

f	Q (l/s)
0	0
0,02169	4,1
0,020794	6
0,020545	6,8
0,020274	7,9
0,020133	8,6
0,019963	9,6
0,019903	10

Para o aço de 2" com vazão Q corrigida:

f	Q (l/s)
0	0
0,021757	4,1
0,021014	6
0,020811	6,8
0,020592	7,9
0,020478	8,6
0,020342	9,6
0,020295	10

Para o aço de 1,5" com vazão Q corrigida:

f	Q (l/s)
0	0
0,02214	4,1
0,021591	6
0,021445	6,8
0,021288	7,9
0,021207	8,6
0,021111	9,6
0,021078	10

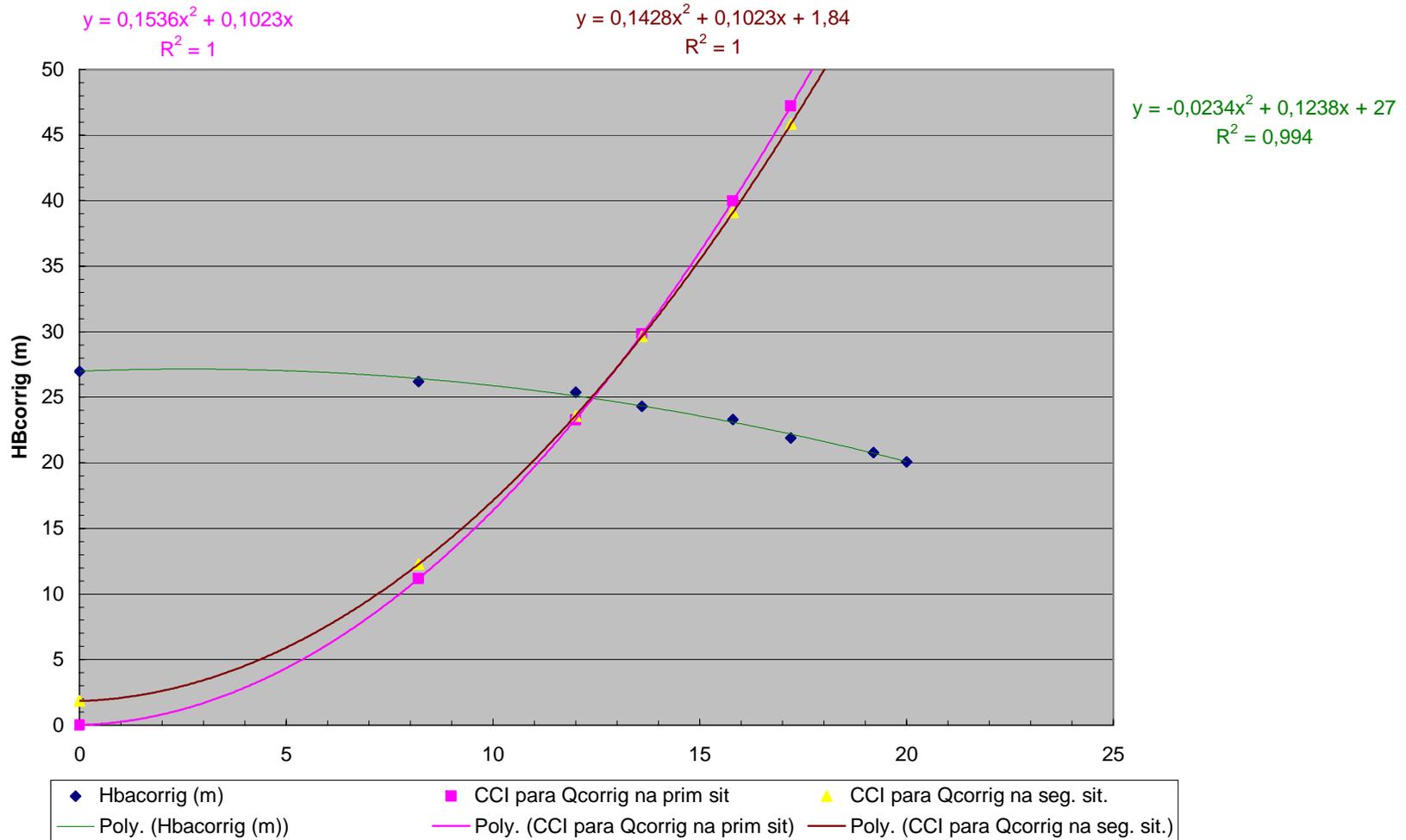
Para o aço de 2" com vazão Qa obtida a partir Q corrigida:

f	Q (l/s)	Qa (l/s)
0	0	0
0,020541	4,1	8,2
0,02	6	12
0,019983	6,8	13,6
0,019858	7,9	15,8
0,019794	8,6	17,2
0,019718	9,6	19,2
0,019691	10	20

Com os dados anteriores obtem-se os dados para traçar a CCI na prim.e seg situação

Qa (l/s)	Hba (m)	primeira situação	Q'a (l/s)	Hb'a (m)	segunda situação
0	0		0	1,84	
8,2	11,2		8,2	12,28	
12	23,3		12	23,56	
13,6	29,8		13,6	29,67	
15,8	40,0		15,8	39,13	
17,2	47,2		17,2	45,85	
19,2	58,6		19,2	56,43	
20	63,5		20	60,98	

Associação paralelo a partir da CCB corrigida na primeira experiência



Obtenção do ponto de trabalho na primeira situação (**tanque 2 vazio**):

$$0,1536Q^2 + 0,1023Q = -0,0234Q^2 + 0,1238Q + 27$$

$$0,177Q^2 - 0,0215Q - 27 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,0215 + \sqrt{(-0,0215)^2 + 4 \times 0,177 \times 27}}{2 \times 0,177} \cong 12,4 \frac{1}{s}$$

Para o cálculo da carga manométrica no ponto de trabalho basta substituir a vazão anterior na sua equação, ou seja:

$$H_{B_{\tau}} = 0,1536 \times (12,4)^2 + 0,1023 \times 12,4 \cong 24,9 \text{ m}$$

- **na segunda situação (tanque 2 cheio):**

$$H_{B_a} = 1,84 + f_{PVC3''} \times 251784,3Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24Q_a^2 + f_{aço402''_{1-até13}} \times 614493Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6Q_a^2$$

onde todos os coeficientes de perda de carga são iguais aos obtidos para a primeira situação, ou seja, tanque 2 vazio, portanto basta obter o ponto que representa o cruzamento da CCI com a CCB, como mostrada no diagrama anterior e que resulta:

$$0,1428Q^2 + 0,1023Q + 1,84 = -0,0234Q^2 + 0,1238Q + 27$$

$$0,1662Q^2 - 0,0215Q - 25,16 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,0215 + \sqrt{(-0,0215)^2 + 4 \times 0,1662 \times 25,16}}{2 \times 0,1662} \cong 12,4 \frac{1}{s}$$

O que implica que a carga manométrica também será a mesma, portanto:

$$H_{B_{\tau}} = 0,1536 \times (12,4)^2 + 0,1023 \times 12,4 \cong 24,9 \text{ m}$$

b3. considerando a CCB obtida na experiência da associação em paralelo das bombas.

- para a primeira situação (**tanque 2 vazio**)

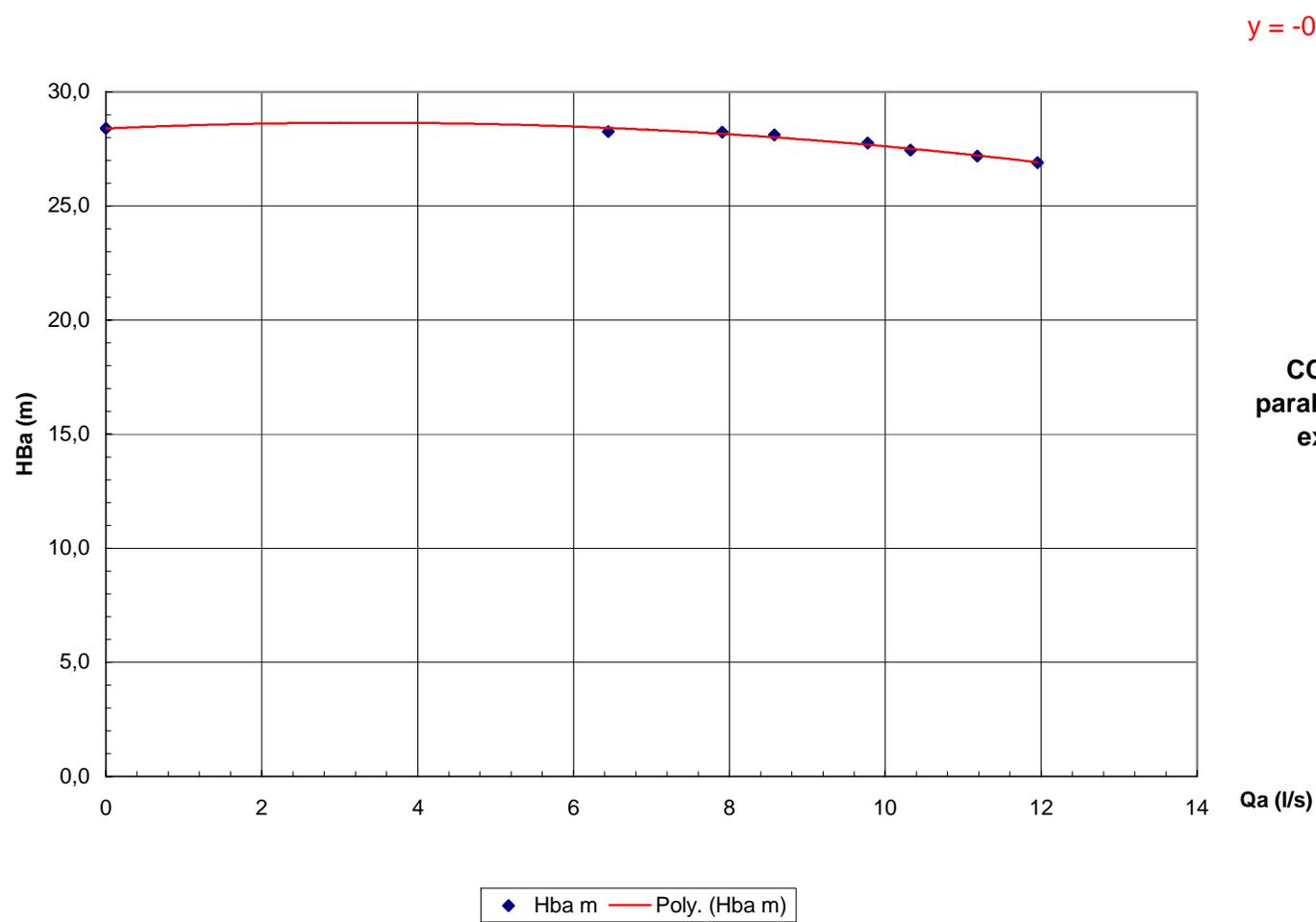
Para esta situação já estamos com a vazão e a carga manométrica para a associação em paralelo, portanto a tabela que dará origem a CCI está representada a seguir:

Ensaio	Qass.	Hba
Unidades	L/s	m
1	0	28,4
2	6,4	28,3
3	7,9	28,2
4	8,6	28,1
5	9,8	27,8
6	10,3	27,5
7	11,2	27,2
8	12,0	26,9

Importante: para a resolução deste item deve-se lembrar que em alguns trechos para se

determinar o coeficiente de perda de carga distribuída opera-se com $\frac{Qa}{2}$

Feita a consideração anterior, pode-se representa a CCB obtida através dos ensaios no laboratório para a experiência da associação paralelo de bombas:



$$y = -0,0232x^2 + 0,1533x + 28,4$$

$$R^2 = 0,974$$

**CCB para associação
paralelo de bombas obtida
experimentalmente**

Para que se possa determinar o ponto de trabalho deve-se traçar a CCI sobre a CCB, para tal, na primeira situação, tem-se:

$$H_{B_a} = 10834,9Q_a^2 + f_{PVC3''} \times 251784,3Q_a^2 + f_{aço403''} \times 48287,25Q_a^2 + f_{aço402,5''} \times 22584,24Q_a^2 + f_{aço402''_{1-até13}} \times 614493Q_a^2 + f_{aço401,5''} \times 129341,99Q_a^2 + f_{aço402''_{13-18}} \times 6459657,6Q_a^2$$

Para o PVC de 3'' com metade da vazão Q obtida no laboratório:

f	Q (l/s)
0	0
0,020411	3,2
0,01951	4,0
0,019167	4,3
0,018637	4,9
0,01842	5,2
0,018114	5,6
0,017861	6,0

Para o aço de 3'' com metade da vazão Q obtida no laboratório:

f	Q (l/s)
0	0
0,022649	3,2
0,021946	4,0
0,021687	4,3
0,021295	4,9
0,021139	5,2
0,020922	5,6
0,020746	6,0

Para o aço de 2,5'' com metade da vazão Q obtida no laboratório:

f	Q (l/s)
0	0
0,022376	3,2
0,021788	4,0
0,021572	4,3
0,02125	4,9
0,021122	5,2
0,020944	5,6
0,020802	6,0

Para o aço de 2" com metade da vazão Q obtida no laboratório:

f	Q (l/s)
0	0
0,022338	3,2
0,02184	4,0
0,021659	4,3
0,02139	4,9
0,021284	5,2
0,021138	5,6
0,021021	6,0

Para o aço de 1,5" com metade da vazão Q obtida no laboratório:

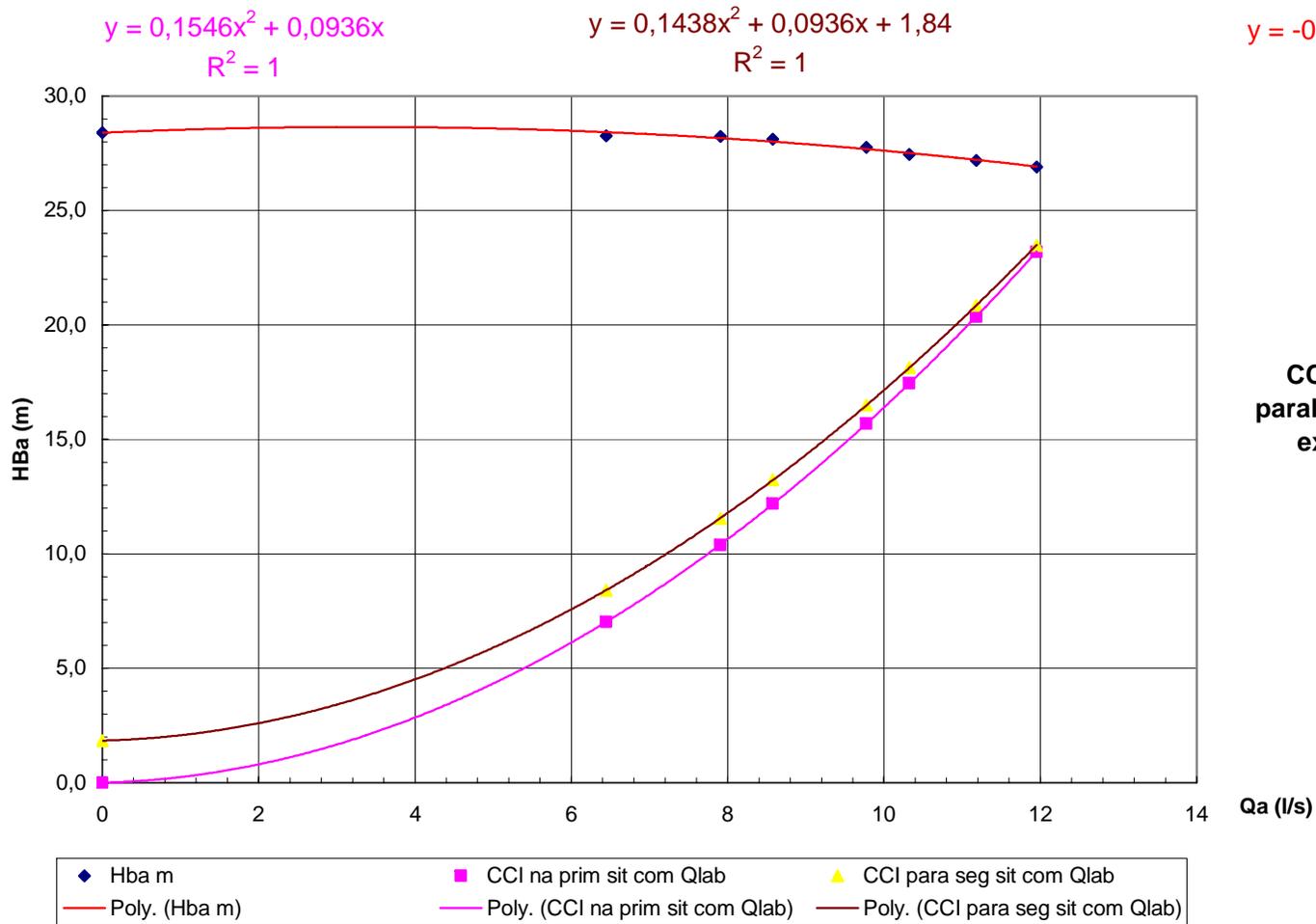
f	Q (l/s)
0	0
0,022579	3,2
0,022202	4,0
0,022067	4,3
0,021867	4,9
0,021789	5,2
0,021682	5,6
0,021596	6,0

Para o aço de 2" com vazão Qa obtida no laboratório:

f	Qa (l/s)
0	0
0,020896	6,4
0,0205	7,9
0,020482	8,6
0,020321	9,8
0,020259	10,3
0,020173	11,2
0,0201	12,0

Com os dados anteriores obtem-se os dados para traçar a CCI na prim.e seg situação

Qa (l/s)	Hba (m)	primeira situação	Q'a (l/s)	Hb'a (m)	segunda situação
0	0		0	1,84	
6,4	7,0		6,4	8,41	
7,9	10,4		7,9	11,54	
8,6	12,2		8,6	13,23	
9,8	15,7		9,8	16,49	
10,3	17,4		10,3	18,13	
11,2	20,4		11,2	20,85	
12,0	23,2		12,0	23,49	



CCB para associação paralelo de bombas obtida experimentalmente

Obtenção do ponto de trabalho na primeira situação (**tanque 2 vazio**):

$$0,1546Q^2 + 0,0936Q = -0,0232Q^2 + 0,1533Q + 28,4$$

$$0,1778Q^2 - 0,0597Q - 28,4 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,0597 + \sqrt{(-0,0597)^2 + 4 \times 0,1778 \times 28,4}}{2 \times 0,1778} \cong 12,8 \frac{1}{s}$$

Para o cálculo da carga manométrica no ponto de trabalho basta substituir a vazão anterior na sua equação, ou seja:

$$H_{B_{\tau}} = 0,1546 \times (12,8)^2 + 0,0936 \times 12,8 \cong 26,5 \text{ m}$$

- **na segunda situação (tanque 2 cheio):**

$$H_{B_a} = 1,84 + f_{PVC_3''} \times 251784,3Q_a^2 + f_{aço40_3''} \times 48287,25Q_a^2 + f_{aço40_2,5''} \times 22584,24Q_a^2 + f_{aço40_2'' \text{ até } 13} \times 614493Q_a^2 + f_{aço40_1,5''} \times 129341,99Q_a^2 + f_{aço40_2'' \text{ 13-18}} \times 6459657,6Q_a^2$$

onde todos os coeficientes de perda de carga são iguais aos obtidos para a primeira situação, ou seja, tanque 2 vazio, portanto basta obter o ponto que representa o cruzamento da CCI com a CCB, como mostrada no diagrama anterior e que resulta:

$$0,1438Q^2 + 0,0936Q + 1,84 = -0,0232Q^2 + 0,1533Q + 28,4$$

$$0,167Q^2 - 0,0597Q - 26,56 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,0597 + \sqrt{(-0,0597)^2 + 4 \times 0,167 \times 26,56}}{2 \times 0,167} \cong 12,8 \frac{1}{s}$$

O que implica que a carga manométrica também será a mesma, portanto:

$$H_{B_{\tau}} = 0,1546 \times (12,8)^2 + 0,0936 \times 12,8 \cong 26,5 \text{ m}$$

Conclusões: