

# Mecânica dos Fluidos para Engenharia Química

ME5330

03/11/2009

ANTES DE CONTINUAR  
ESTUDANDO O INVERSOR DE  
FREQUÊNCIA QUERO PROPOR  
UM EXERCÍCIO O QUAL DEVE  
ESTAR RELACIONADO COM O  
CONTEUDO ABORDADO NA  
P1.



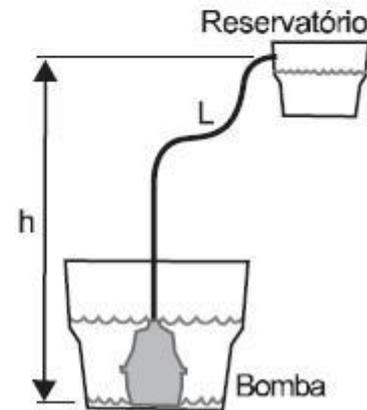
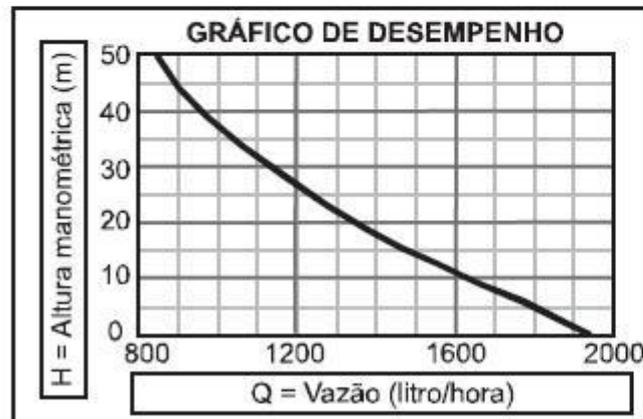
### Questão 23

O uso da água do subsolo requer o bombeamento para um reservatório elevado. A capacidade de bombeamento (litros/hora) de uma bomba hidráulica depende da pressão máxima de bombeio, conhecida como altura manométrica **H** (em metros), do comprimento **L** da tubulação que se estende da bomba até o reservatório (em metros), da altura de bombeio **h** (em metros) e do desempenho da bomba (exemplificado no gráfico). De acordo com os dados a seguir, obtidos de um fabricante de bombas, para se determinar a quantidade de litros bombeados por hora para o reservatório com uma determinada bomba, deve-se:

- 1 – Escolher a linha apropriada na tabela correspondente à altura (**h**), em metros, da entrada de água na bomba até o reservatório.
- 2 – Escolher a coluna apropriada, correspondente ao comprimento total da tubulação (**L**), em metros, da bomba até o reservatório.
- 3 – Ler a altura manométrica (**H**) correspondente ao cruzamento das respectivas linha e coluna na tabela.
- 4 – Usar a altura manométrica no gráfico de desempenho para ler a vazão correspondente.

# Dados da questão 23

		L = Comprimento total da tubulação (em metro), da bomba até o reservatório											
		10	20	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250
h = Altura (em metro) da entrada da água na bomba até o reservatório.		H = Altura manométrica total, em metro											
		5	6	7	8	10	11	13	14	16	18	20	22
10	11	12	13	15	16	18	19	21	23	25	27	29	33
15		17	18	20	21	23	24	26	28	30	32	34	38
20		22	23	25	26	28	29	31	33	35	37	39	43
25			28	30	31	33	34	36	38	40	42	44	48
30			33	35	36	38	39	41	43	45	47	50	50
35			38	40	41	43	44	46	48	50	50		
40			43	45	46	50	50	50	50				
50				50	50								



# O item a) da questão é dado abaixo

Considere que se deseja usar uma bomba, cujo desempenho é descrito pelos dados acima, para encher um reservatório de 1.200 L que se encontra 30 m acima da entrada da bomba. Para fazer a tubulação entre a bomba e o reservatório seriam usados 200 m de cano. Nessa situação, é de se esperar que a bomba consiga encher o reservatório

- (A) entre 30 e 40 minutos.
- (B) em menos de 30 minutos.
- (C) em mais de 1h e 40 minutos.
- (D) entre 40 minutos e 1h e 10 minutos.
- (E) entre 1h e 10 minutos e 1h e 40 minutos.

Para a situação descrita anteriormente pede-se:

- b) a perda de carga total;
- c) especificar o coeficiente de perda de carga distribuída;
- d) especificar a frequência de trabalho do motor

Dados: reservatório de captação mantém nível constante à 2 m do início da bomba, tubulação utilizada é de PVC onde se considera a velocidade econômica de 1,0 m/s (serviços gerais), perda localizada desprezível, aceleração da gravidade igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ , rugosidade do PVC desconhecida, motor elétrico de 2 pólos, diâmetro do rotor igual a 126 mm e coeficiente manométrico igual a 8,117.

# Resolução do item a)

Reservatório de 1200L

$h = 30\text{m}$   
 $L = 200\text{m}$

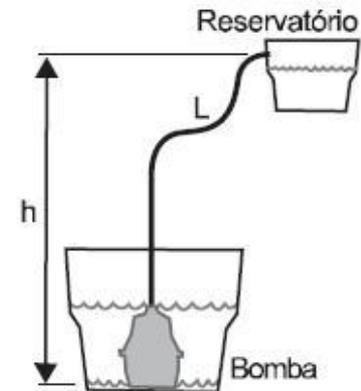
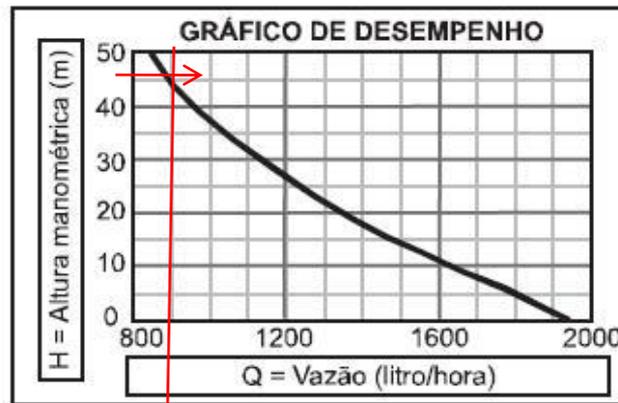
→ tabela →  $H = 45\text{m}$

Com  $H = 45\text{m}$  no gráfico →  $Q = 900\text{L/h}$

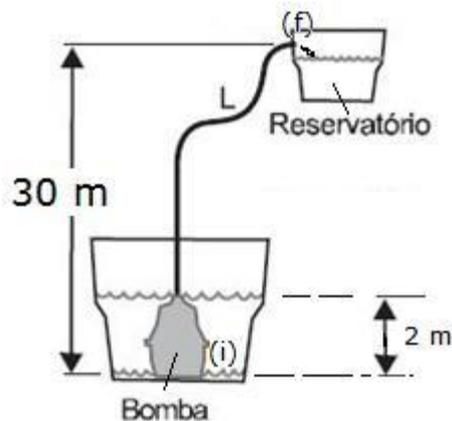
$$900 = \frac{V}{t} = \frac{1200}{t} \therefore t = \frac{4}{3} \text{ h}$$

$t = 80\text{ minutos} = 1\text{h e } 20\text{ minutos}$

		L = Comprimento total da tubulação (em metro), da bomba até o reservatório												
		10	20	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250	300
		H = Altura manométrica total, em metro												
h = Altura (em metro) da entrada da água na bomba até o reservatório.	5	6	7	8	10	11	13	14	16	18	20	22	24	28
	10	11	12	13	15	16	18	19	21	23	25	27	29	33
	15		17	18	20	21	23	24	26	28	30	32	34	38
	20		22	23	25	26	28	29	31	33	35	37	39	43
	25			28	30	31	33	34	36	38	40	42	44	48
	30			33	35	36	38	39	41	43	45	47	50	50
	35			38	40	41	43	44	46	48	50	50		
	40			43	45	46	50	50	50	50				
	50				50	50								



# Resolução do item b)



$$H_i + H_B = H_f + H_{p_{total}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} + H_B = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + H_{p_{total}}$$

PHR no início da bomba

$$0 + \frac{2 \times \gamma}{\gamma} + 0 + 45 = 30 + 0 + \frac{v^2}{2 \times 9,8} + H_{p_{total}}$$

$$Q = v \times A = v \times \frac{\pi \times D_{ref}^2}{4} \therefore D_{ref} = \left( \sqrt{\frac{4 \times \left( \frac{900}{1000 \times 3600} \right)}{1}} \right) \times 1000$$

$$D_{ref} = 17,8 \text{ mm}$$

Para tubos com juntas rosqueáveis tem-se:

$$D_{ext} = 21,2 \text{ mm} \rightarrow \text{espessura}_{mínima} = 2,5 \text{ mm} \therefore D_{int} = 16,2 \text{ mm}$$

Comprovando:

$$v = \frac{\left( \frac{900}{1000 \times 3600} \right)}{\frac{\pi \times 0,0162^2}{4}} \cong 1,21 \text{ m/s} \therefore 0,9 \leq v \leq 2,0 \text{ m/s} \Rightarrow \text{ok}$$

$$47 = 30 + \frac{1,21^2}{19,6} + H_{p_{total}} \therefore H_{p_{total}} \cong 16,92 \cong 17 \text{ m}$$

# Resolução dos itens c) e d)

c)

Como a perda de carga singular é desprezível, tem-se:

$$H_p = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} \therefore 17 = f \times \frac{200}{0,0162} \times \frac{1,21^2}{19,6}$$

$$f \cong 0,0185$$

d)

$$\psi = \frac{g \times H_B}{n^2 \times D_r^2} \Rightarrow 8,117 = \frac{9,8 \times 45}{n^2 \times 0,126^2} \therefore n \cong 58,5 \text{ rps (ou Hz)} = f$$

Gostaria de retomar neste ponto as atividades relacionadas ao inversor de frequência e perguntar: pelo que vocês fizeram é vantagem a sua utilização?

Para responder este equacionamento, pode-se considerar a tabela a seguir

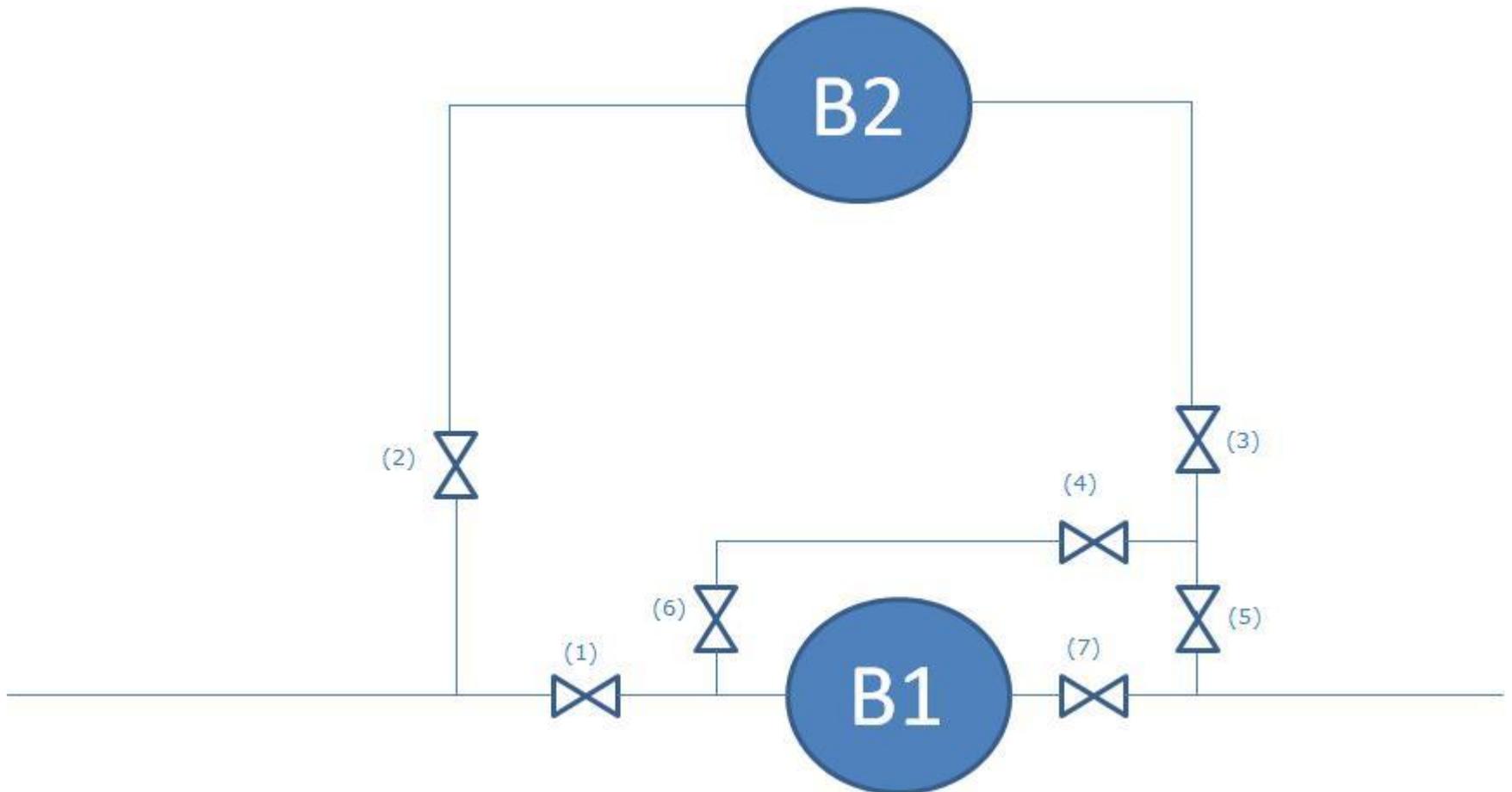
Equipe	Frequência (Hz)	Q <sub>máx</sub> (L/min)	Nm (kw)	Frequência (Hz)	Nm (kw) para 60 Hz	% Economia
1	55	186,3	1,52	60	1,92	20,8
2	50			60		
3	45	152,5	0,85	60	1,96	56,6
4	40	131,3	0,66	60	1,9	65,3
5	35	123,3	0,46	60	1,67	72,5
6	30	106,3	0,325	60	1,55	79,0
7	25	81,5	0,225	60	1,425	84,2
8	20	65,4	0,16	60	1,5	89,3



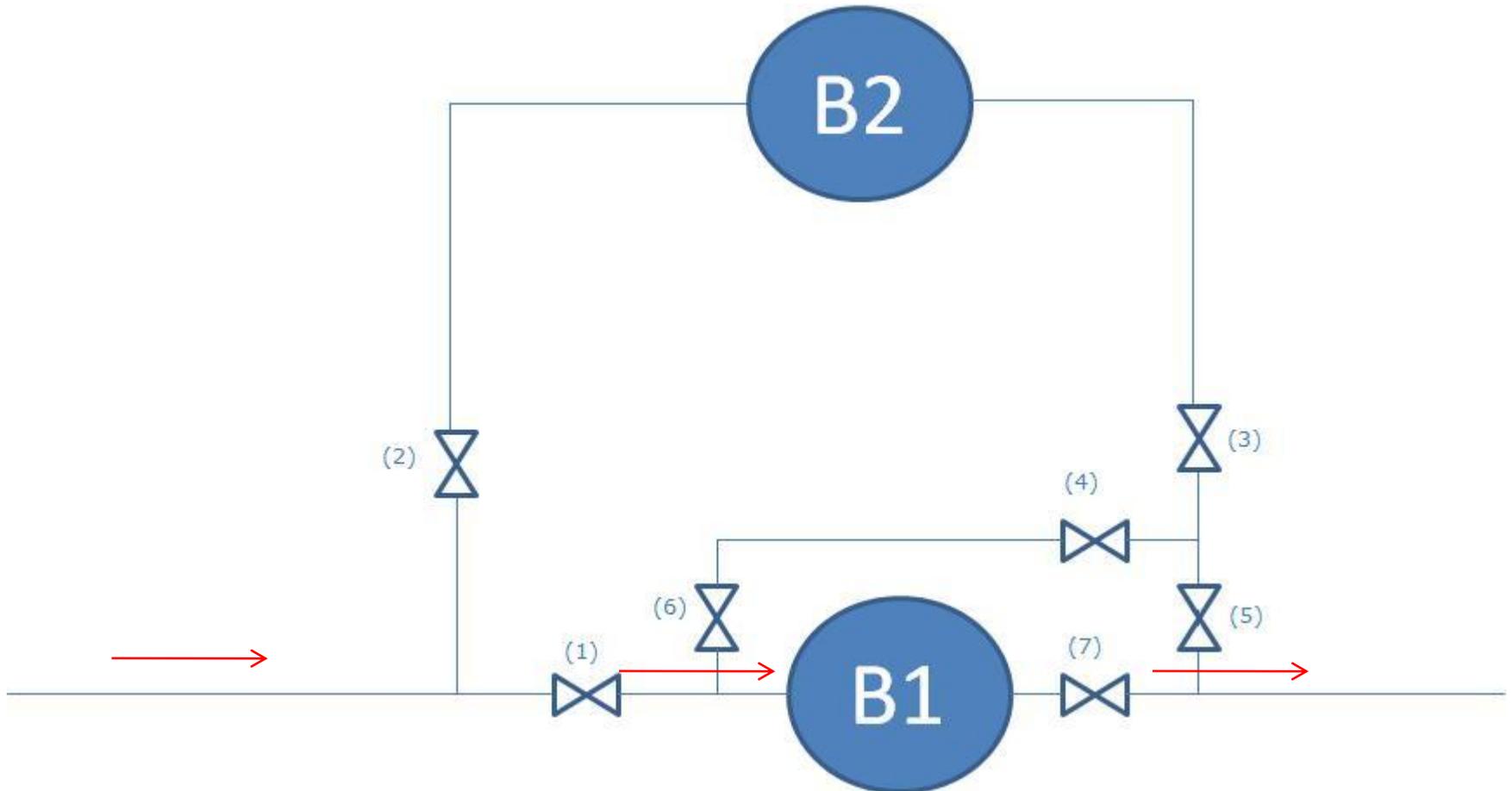
NOTA-SE FACILMENTE ATRAVÉS  
DA PORCENTAGEM DE  
ECONOMIA (ÚLTIMA COLUNA)  
QUE É VANTAJOSO A  
UTILIZAÇÃO DO INVERSOR DE  
FREQUÊNCIA.

VAMOS INICIAR OS  
ESTUDOS  
RELACIONADOS A  
ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE  
DE BOMBAS.

# Uma possibilidade de uma bomba reserva atuar em uma associação em série



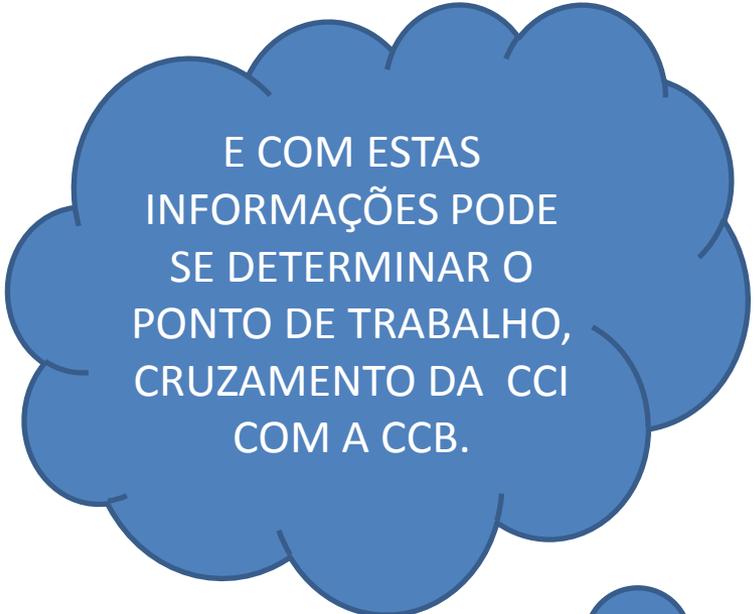
Somente a bomba 1 (B1) operando. Nesta situação tem-se as válvulas gavetas (bloqueio) (2), (3), (4), (5) e (6) fechadas e as (1) e (7) abertas.





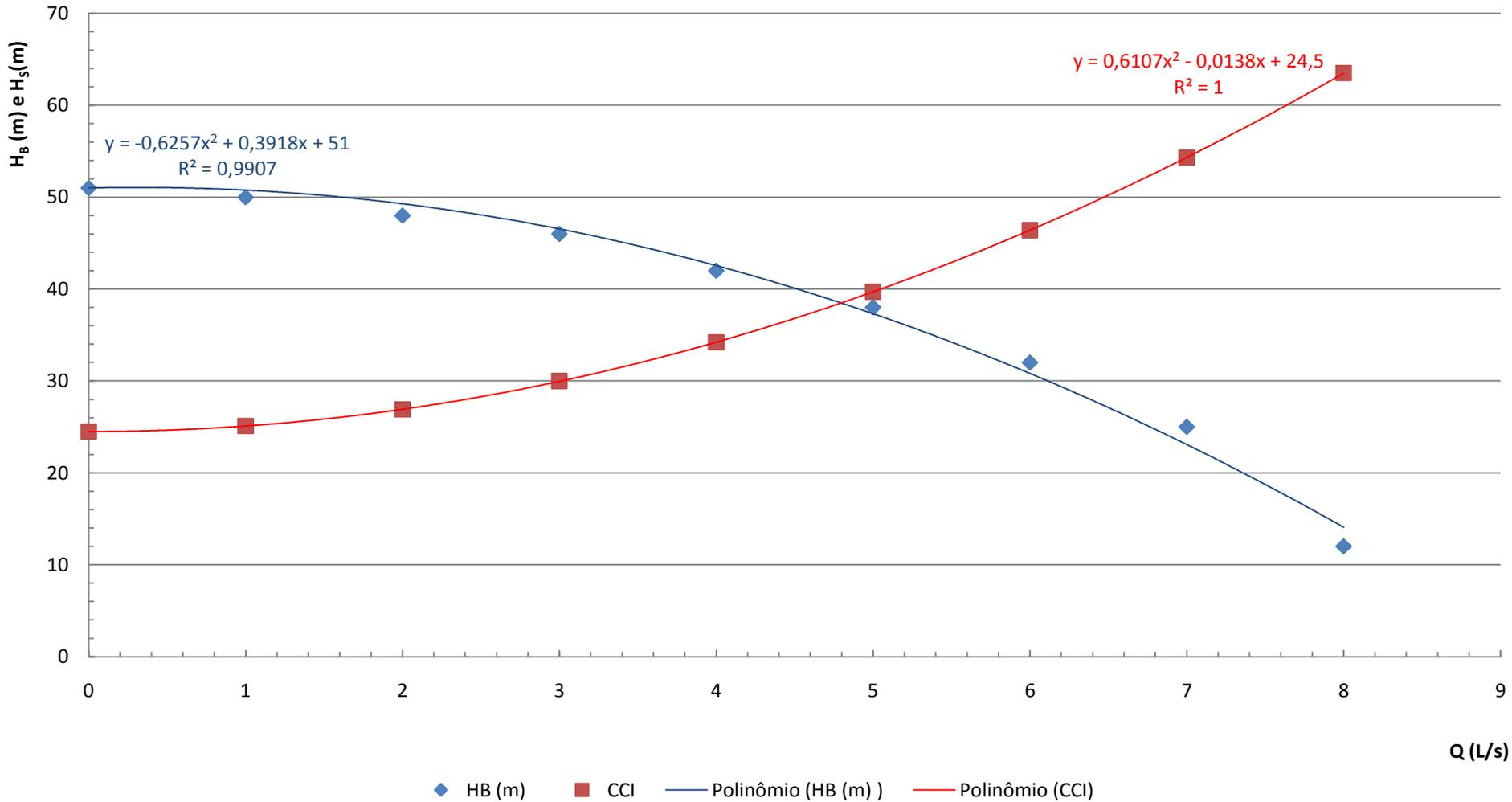
# Para a situação de só a B1, ou só a B2 funcionando tem-se:

Q (L/s)	H <sub>B</sub> (m)	H <sub>S velho</sub> (m)
0	51	24,5
1	50	25,1
2	48	26,9
3	46	30,0
4	42	34,2
5	38	39,7
6	32	46,4
7	25	54,3
8	12	63,5



E COM ESTAS  
INFORMAÇÕES PODE  
SE DETERMINAR O  
PONTO DE TRABALHO,  
CRUZAMENTO DA CCI  
COM A CCB.

# Ponto de trabalho



# Determinação do ponto de trabalho

$$H_B = -0,6257 \times Q^2 + 0,3918 \times Q + 51 \Rightarrow \text{CCB}$$

$$H_S = 0,6107 \times Q^2 - 0,0138 \times Q + 24,5 \Rightarrow \text{CCI}$$

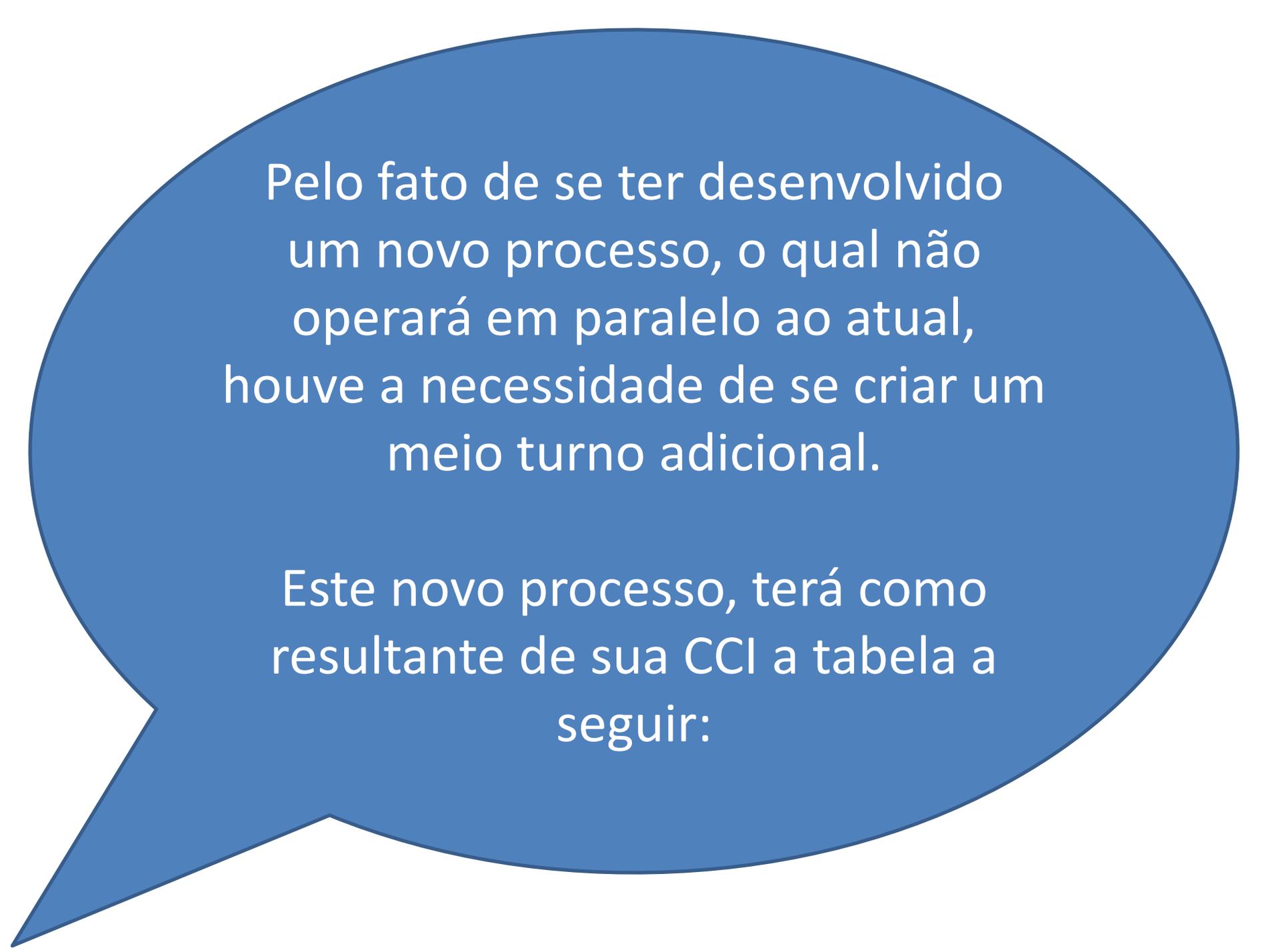
$$\text{Pontode trabalho} \Rightarrow H_B = H_S$$

$$-0,6257 \times Q^2 + 0,3918 \times Q + 51 = 0,6107 \times Q^2 - 0,0138 \times Q + 24,5$$

$$1,2364 \times Q^2 - 0,4056 \times Q - 26,5 = 0$$

$$Q = \frac{0,4056 + \sqrt{0,4056^2 + 4 \times 1,2364 \times 26,5}}{2 \times 1,2364} = \frac{0,4056 + 11,4553}{2 \times 1,2364}$$

$$Q \cong 4,8 \frac{\text{L}}{\text{s}} \Rightarrow H_B = H_S = 0,6107 \times 4,8^2 - 0,0138 \times 4,8 + 24,5 \cong 38,5 \text{ m}$$

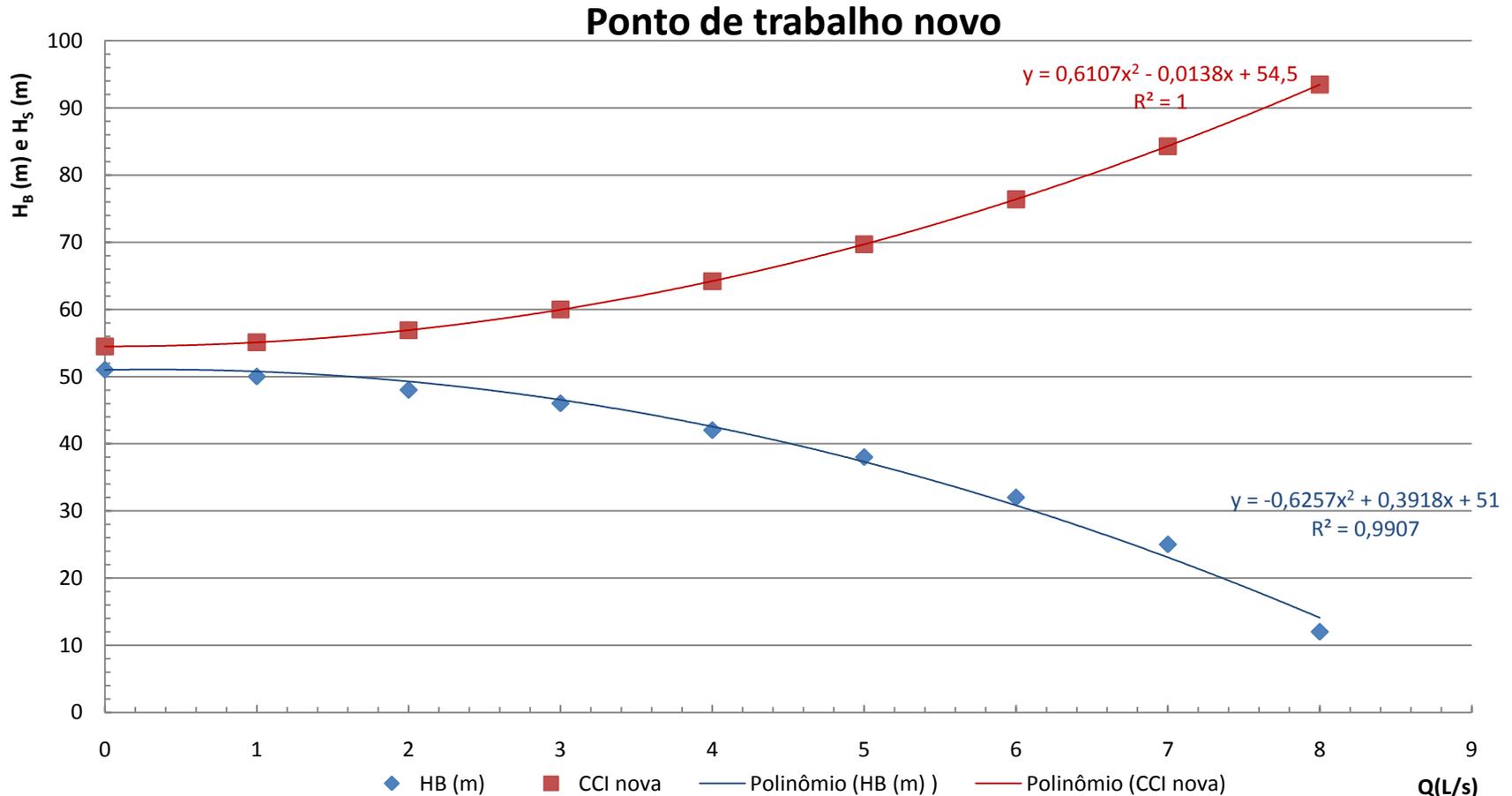
A blue speech bubble with a white outline, pointing downwards and to the left. It contains two paragraphs of white text.

Pelo fato de se ter desenvolvido um novo processo, o qual não operará em paralelo ao atual, houve a necessidade de se criar um meio turno adicional.

Este novo processo, terá como resultante de sua CCI a tabela a seguir:

Q (L/s)	H <sub>B</sub> (m)	H <sub>S velho</sub> (m)	H <sub>S novo</sub> (m)
0	51	24,5	54,5
1	50	25,1	55,1
2	48	26,9	56,9
3	46	30,0	60,0
4	42	34,2	64,2
5	38	39,7	69,7
6	32	46,4	76,4
7	25	54,3	84,3
8	12	63,5	93,5

# Pode-se observar pelos gráficos a seguir que não existe o novo ponto de trabalho



ANTES DE SE ESCOLHER UMA NOVA BOMBA, O ENGENHEIRO RESPONSÁVEL PELO NOVO PROCESSO SUGERIU A ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DAS BOMBAS B1 E B2, JÁ QUE NA MESMA SE TEM, PARA A MESMA VAZÃO, A SOMA DAS CARGAS MANOMÉTRICAS E COMO NO CASO AS BOMBAS SÃO IGUAIS, TERIA-SE QUE A CARGA MANOMÉTRICA DA ASSOCIAÇÃO SERIA IGUAL A 2 VEZES A CARGA MANOMÉTRICA DA BOMBA.

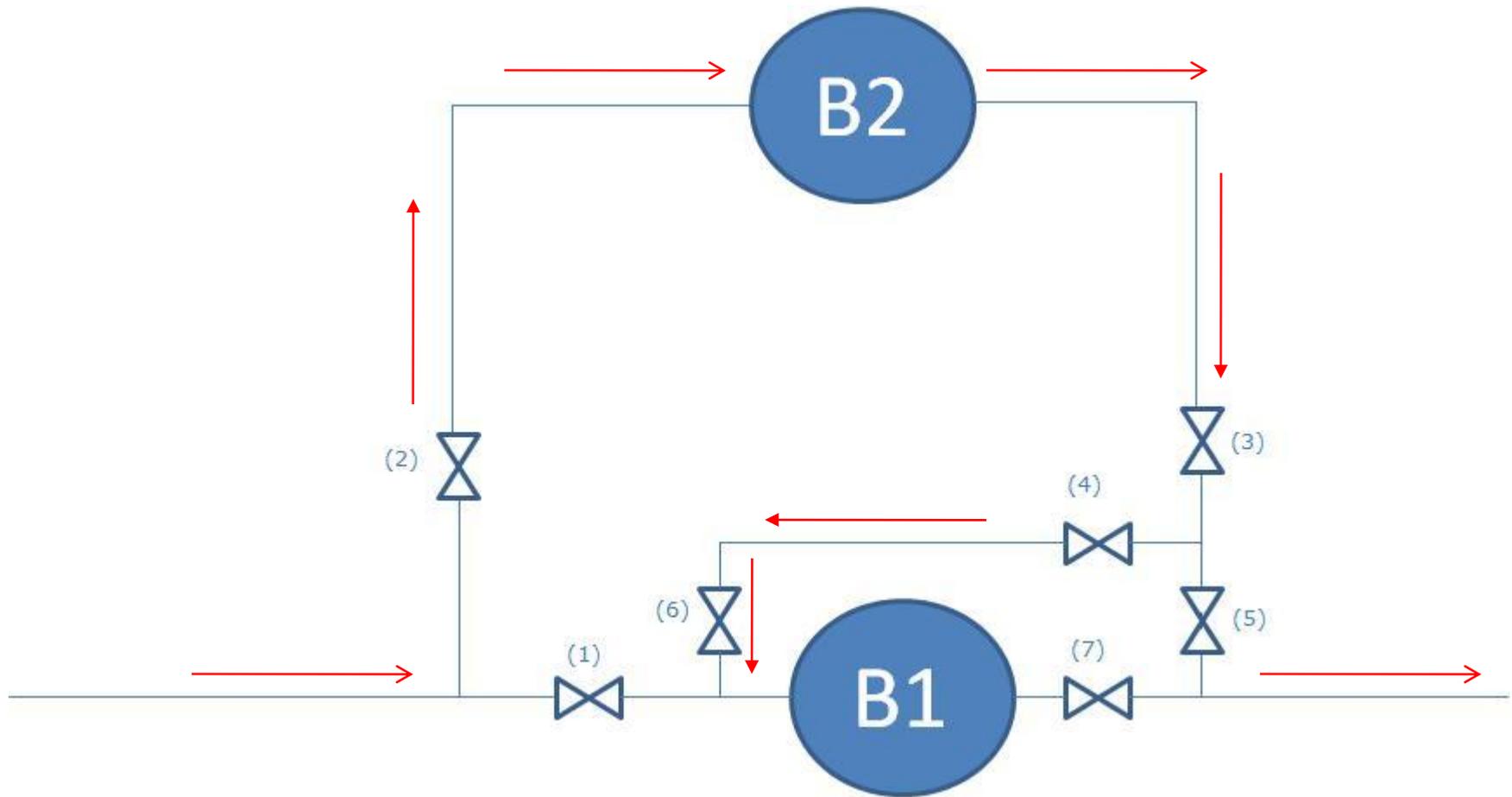
$$Q_{as.série} = Q_{B1} = Q_{B2}$$

$$H_{B_{as.série}} = H_{B1} + H_{B2}$$

$$\text{No caso: } H_{B_{as.série}} = 2 \times H_{B1}$$

}  $\Rightarrow$  associação em série de bombas iguais

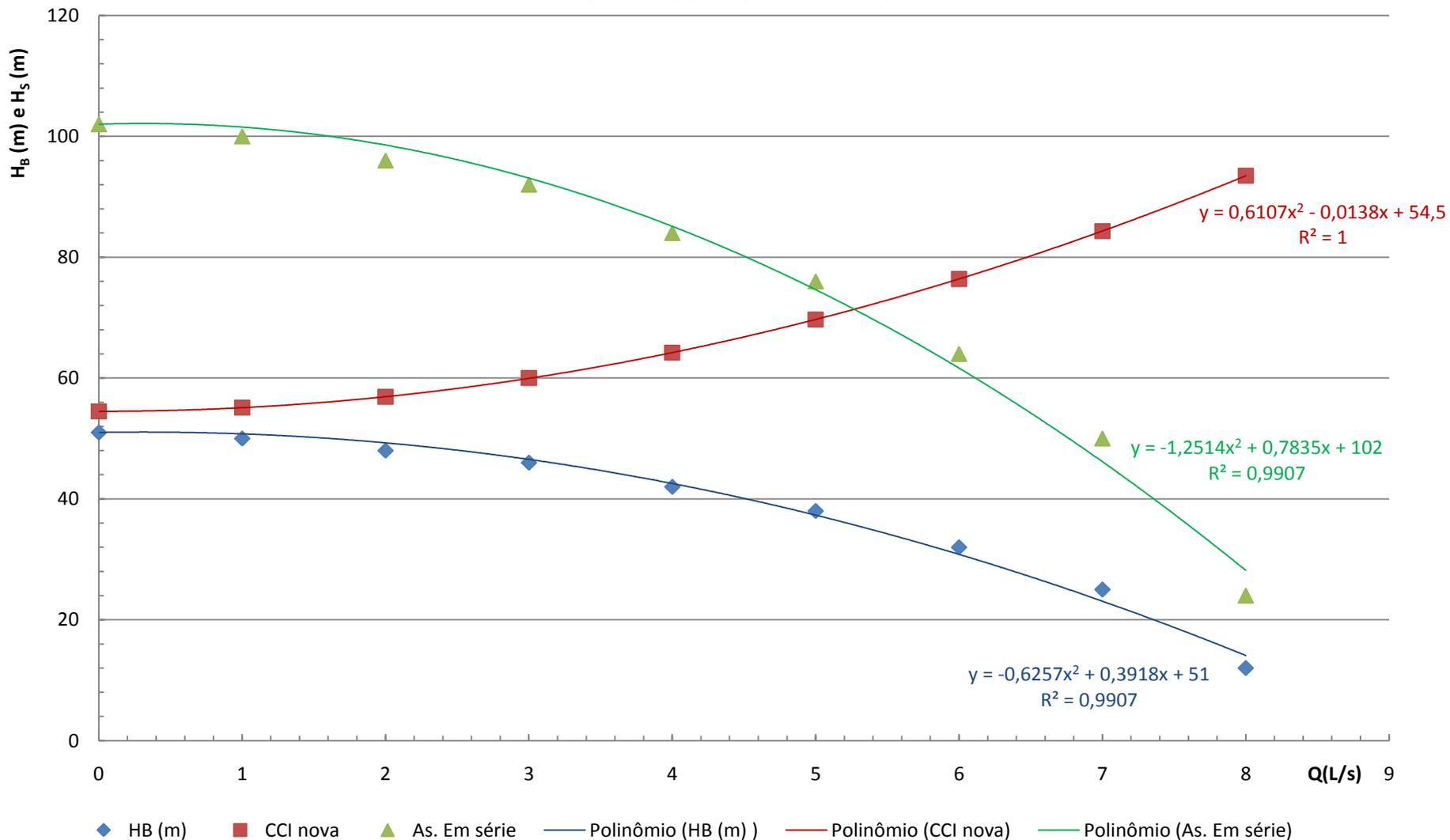
Associando as bombas: fecha-se as válvulas (1) e (5) e abre-se as demais.



# Associando as bombas:

Q (L/s)	H <sub>B</sub> (m)	H <sub>Bas</sub> . série (m)	H <sub>S velho</sub> (m)	H <sub>S novo</sub> (m)
0	51	102	24,5	54,5
1	50	100	25,1	55,1
2	48	96	26,9	56,9
3	46	92	30,0	60,0
4	42	84	34,2	64,2
5	38	76	39,7	69,7
6	32	64	46,4	76,4
7	25	50	54,3	84,3
8	12	24	63,5	93,5

## Ponto de trabalho novo



# Determinando o ponto de trabalho da associação em série das bombas.

$$H_B = -0,6257 \times Q^2 + 0,3918 \times Q + 51 \Rightarrow \text{CCB}$$

$$H_S = 0,6107 \times Q^2 - 0,0138 \times Q + 24,5 \Rightarrow \text{CCI}$$

$$\text{Pontode trabalho} \Rightarrow H_{B_{\text{as.série}}} = H_S$$

$$-1,2514 \times Q^2 + 0,7835 \times Q + 102 = 0,6107 \times Q^2 - 0,0138 \times Q + 54,5$$

$$1,8621 \times Q^2 - 0,7973 \times Q - 47,5 = 0$$

$$Q = \frac{0,7973 + \sqrt{0,7973^2 + 4 \times 1,8621 \times 47,5}}{2 \times 1,8621} = \frac{0,7973 + 18,8264}{2 \times 1,8621}$$

$$Q \cong 5,3 \frac{\text{L}}{\text{s}} \Rightarrow H_{B_{\text{as.série}}} = H_S = 0,6107 \times 5,3^2 - 0,0138 \times 5,3 + 54,5 \cong 71,6 \text{ m}$$

Observa-se que na associação em série a vazão até aumentou (cerca de 10,4%), porém a carga manométrica aumentou bem mais (cerca de 86%),

ISTO MOSTRA O OBJETIVO DA ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE DE BOMBAS, QUE É O AUMENTO DA CARGA MANOMÉTRICA.