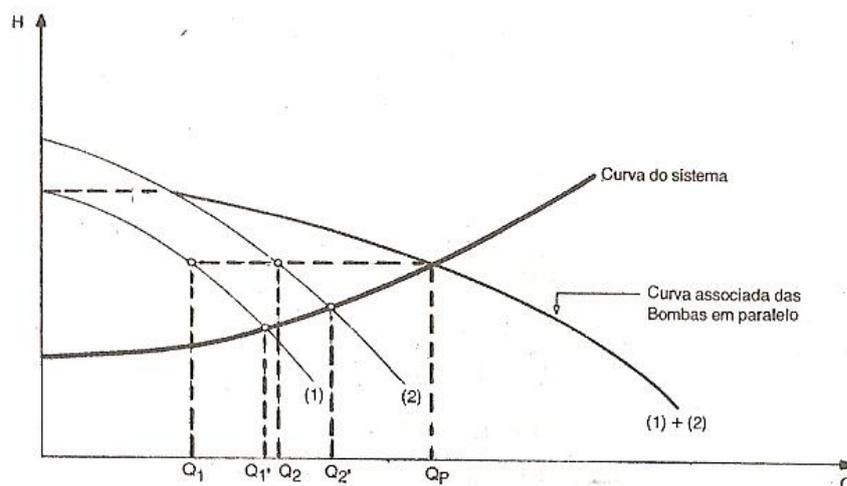


## Primeira parte da P2 de ME5330 – turma A

**1ª Questão:** o gráfico a seguir representa a associação em paralelo de duas bombas hidráulicas diferentes. Pode-se observar que a variação da CCI para o funcionamento das bombas isoladas e das bombas associadas em paralelo praticamente é a mesma, para esta situação:

- especifique o significado de cada uma das variáveis:  $Q_1$  e  $Q_1'$ ; (valor – 0,25)
- especifique o significado de cada uma das variáveis:  $Q_2$  e  $Q_2'$ ; (valor – 0,25)
- explique detalhadamente a determinação do rendimento da associação em paralelo; (valor – 0,25)
- na última experiência ocorreu um fato interessante, em uma das linhas de dados observou-se que uma das bombas não estava funcionando ( $Q < 0$ ), identifique a região do gráfico que representa essa situação. (valor – 0,25)



**2ª Questão:** A água é bombeada entre dois reservatórios em uma tubulação com as seguintes características:  $D_{int} = 300$  mm,  $L = 90$  m,  $f = 0,026$  e  $\Sigma l_{eq} = 50$  m. A curva característica da bomba centrífuga de fluxo radial é dada pela equação:

$$H_B = 24,9 + 11,7 \times Q - 116 \times Q^2$$

onde a carga manométrica é obtida em metro quando a vazão entra em  $m^3/s$ . Sabendo que existem na casa de máquina duas bombas idênticas que podem operar isoladamente, em paralelo e em série, estime a potência de cada bomba em funcionamento para as seguintes situações:

- quando a carga estática da instalação é igual a 13,5 m, a variação da carga cinética entre a seção inicial e final é desprezível e a instalação opera com uma única bomba; (valor – 1,0)
- quando a carga estática da instalação é igual a 13,5 m, a variação da carga cinética entre a seção inicial e final é desprezível e a instalação opera com a associação em paralelo de duas bombas idênticas; (valor 1,5)
- quando a carga estática da instalação é igual a 27,5 m, a variação da carga cinética entre a seção inicial e final é desprezível e você deve viabilizar esta situação. (valor – 1,5)

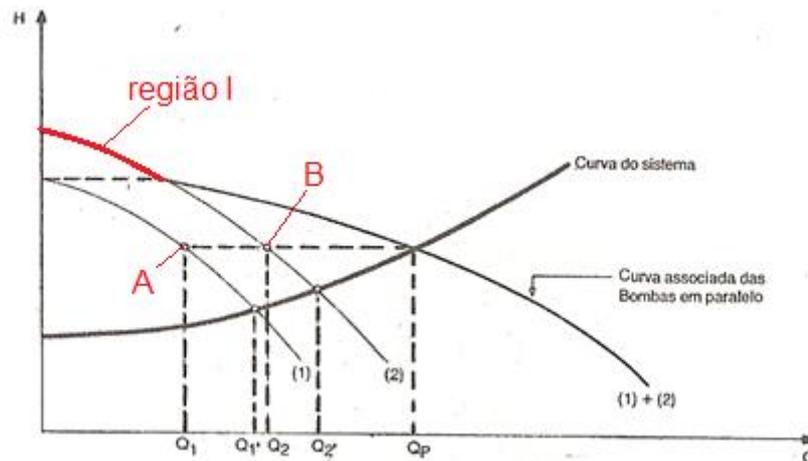
Dados:  $\eta_B = 59,642 + 60,52 \times Q - 39,3 \times Q^2$  com  $\eta_B$  em % e a  $Q$  em  $m^3/s$ ;

$\rho_{\text{água}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  e que a CCI permanece praticamente a mesma para todas

as possibilidades de funcionamento das bombas com exceção da carga estática.

## Solução

### 1ª Questão:



- $Q_1$  = a vazão da bomba (1) quando opera associada em paralelo com a bomba (2) e  $Q_{1'}$  = a vazão da bomba (1) quando opera só. (0,25)
- $Q_2$  = a vazão da bomba (2) quando opera associada em paralelo com a bomba (2) e  $Q_{2'}$  = a vazão da bomba (2) quando opera só. (0,25)
- $N_{Bap} = N_{B1} + N_{B2} \therefore \frac{Q_{ap}}{\eta_{Bp}} = \frac{Q_1}{\eta_{B1}} + \frac{Q_2}{\eta_{B2}} \Rightarrow \eta_{Bp} = \frac{Q_{ap}}{\frac{Q_1}{\eta_{B1}} + \frac{Q_2}{\eta_{B2}}}$ , onde  $\eta_{B1}$  e  $\eta_{B2}$  são lidos nos pontos A e B respectivamente. (0,25)
- seria na região I especificada, isto porque na mesma só existe a atuação da bomba (2). (0,25)

### 2ª Questão:

- para as condições impostas, obtemos a equação da CCI:

$$H_S = H_{estática} + H_{p_{total}} = 13,5 + 0,026 \times \frac{(90 + 50)}{0,3} \times \frac{Q^2}{19,6 \times \left( \frac{\pi \times 0,3^2}{4} \right)^2} \quad (0,25)$$

$$H_S = 13,5 + 123,9 \times Q^2$$

Como nas equações da CCI e CCB temos as grandezas definidas no mesmo sistema de unidade, temos no ponto de trabalho que:

$$\begin{aligned}
 H_B = H_S \therefore 24,9 + 11,7 \times Q - 116 \times Q^2 &= 13,5 + 123,9 \times Q^2 \\
 239,9 \times Q^2 - 11,7 \times Q - 11,4 &= 0 \quad (0,25) \\
 Q_\tau &= \frac{11,7 + \sqrt{11,7^2 + 4 \times 239,9 \times 11,4}}{2 \times 239,9} \cong 0,244 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Com a vazão do ponto de trabalho definida, podemos calcular para o mesmo a carga manométrica e o rendimento:

$$\begin{aligned}
 \eta_B &= 59,642 + 60,52 \times 0,244 - 39,3 \times 0,244^2 \cong 72,1\% \\
 H_B &= 24,9 + 11,7 \times 0,244 - 116 \times 0,244^2 \cong 20,9\text{m} \\
 \therefore N_B &= \frac{998 \times 9,8 \times 0,244 \times 20,9}{0,721} \cong 69176,3\text{W} \approx 69,2\text{kW} \quad (0,50)
 \end{aligned}$$

b. para a associação em paralelo das bombas, temos a alteração da equação da

$$\text{CCB: } H_{B_{ap}} = 24,9 + 11,7 \times \frac{Q}{2} - 116 \times \left(\frac{Q}{2}\right)^2 = 24,9 + 5,85 \times Q - 29 \times Q^2$$

Como não há alteração na CCI, no ponto de trabalho temos:

$$\begin{aligned}
 H_{B_{ap}} = H_S \therefore 24,9 + 5,85 \times Q - 29 \times Q^2 &= 13,5 + 123,9 \times Q^2 \\
 152,9 \times Q^2 - 5,85 \times Q - 11,4 &= 0 \quad (0,75) \\
 Q_{ap\tau} &= \frac{5,85 + \sqrt{5,85^2 + 4 \times 152,9 \times 11,4}}{2 \times 152,9} \cong 0,293 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Como as bombas são iguais cada uma irá contribuir com uma vazão de  $\frac{0,293}{2} = 0,1465 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  e é com esta vazão que iremos ler o rendimento, ou seja:

$$\eta_B = 59,642 + 60,52 \times 0,1465 - 39,3 \times 0,1465^2 \cong 67,7\% \quad (0,25)$$

Já a carga manométrica será:

$$\begin{aligned}
 H_{B_\tau} &= 24,9 + 5,85 \times 0,293 - 29 \times 0,293^2 \cong 24,2\text{m} \\
 \therefore N_B &= \frac{998 \times 9,8 \times 0,1465 \times 24,2}{0,677} \cong 51217,8\text{W} \quad (0,50)
 \end{aligned}$$

- c. Como a carga estática (27,5 m) é maior que a carga manométrica para a vazão nula (ponto de shut-off = 24,9m) já concluímos que uma bomba só não conseguirá bombear o fluido, portanto para tentar viabilizar este escoamento propomos a associação em série das bombas e isto origina:

$$H_{B_{as}} = 2 \times (24,9 + 11,7 \times Q - 116 \times Q^2) = 49,8 + 23,4 \times Q - 232 \times Q^2 \quad (0,25)$$

Já a CCI para esta situação será:  $H_S = 27,5 + 123,9 \times Q^2$  (0,25), portanto no ponto de trabalho temos:

$$H_{B_{as}} = H_S \therefore 49,8 + 23,4 \times Q - 232 \times Q^2 = 27,5 + 123,9 \times Q^2$$

$$355,9 \times Q^2 - 23,4 \times Q - 22,3 = 0 \Rightarrow Q_{as_\tau} = \frac{23,4 + \sqrt{23,4^2 + 4 \times 355,9 \times 22,3}}{2 \times 355,9}$$

$$\therefore Q_{as_\tau} \cong 0,286 \frac{m^3}{s}$$

(0,25)

Para a associação em série nós sabemos que a vazão é constante, portanto:

$$H_{B_{as}} = 49,8 + 23,4 \times 0,286 - 232 \times 0,286^2 \cong 37,6m, \text{ portanto cada bomba contribuirá com } H_B = \frac{37,6}{2} = 18,8m \Rightarrow N_B = \frac{998 \times 9,8 \times 0,286 \times 18,8}{\eta_B}, \text{ onde}$$

podemos determinar o rendimento:

$$\eta_B = 59,642 + 60,52 \times 0,286 - 39,3 \times 0,286^2 \cong 73,7\%$$

$$\therefore N_B = \frac{998 \times 9,8 \times 0,286 \times 18,8}{0,737} \cong 71353,1W \approx 71,4kW \quad (0,75)$$