

# Mecânica dos Fluidos para Engenharia Química

ME5330

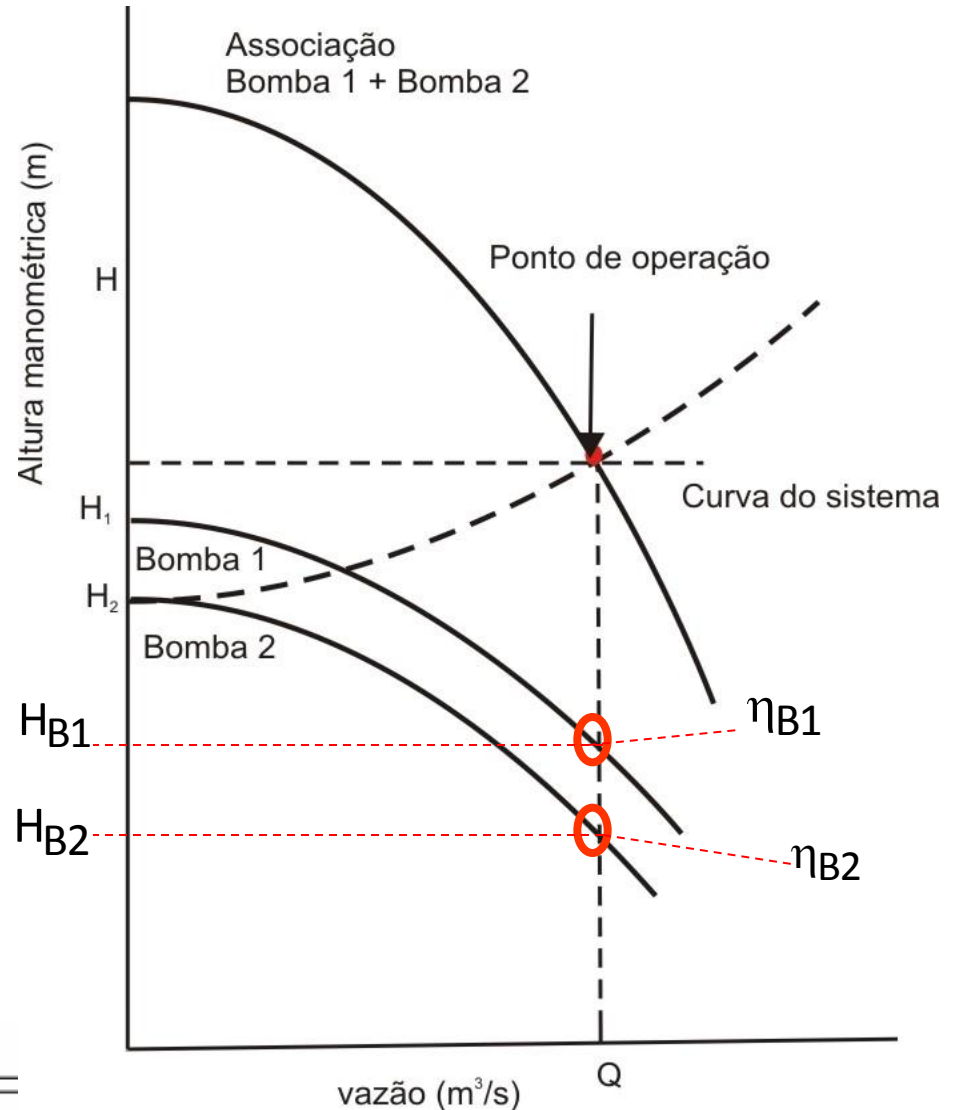
24/04/2012



O ENGENHEIRO PRECISA  
ESTIMAR O CUSTO DE  
OPERAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO  
EM SÉRIE E PARA ISTO HÁ A  
NECESSIDADE DE SE  
CALCULAR O RENDIMENTO DA  
ASSOCIAÇÃO.

# Operação de bombas em série

- O sistema é empregado quando a elevatória deve atender a reservatórios em níveis ou distâncias diferentes ou alturas manométricas muito elevadas (neste caso geralmente é mais econômico)
- A mesma vazão passa pelas duas bombas
- Cada bomba é responsável por uma parcela da  $H_{B\_total}$ 
  - A curva  $H_B \times Q$  das duas bombas associadas é obtida pela soma dos valores de  $H_B$  de cada uma para uma mesma vazão de bombeamento
- Se as bombas forem iguais, cada uma vai fornecer metade da carga manométrica total do sistema



# Cálculo do rendimento da associação em série de duas bombas

$$N_{B_{\text{associação}}} = N_{B1} + N_{B2}$$

$$\frac{\gamma \times Q_a \times H_{B_a}}{\eta_{B_a}} = \frac{\gamma \times Q_1 \times H_{B1}}{\eta_{B1}} + \frac{\gamma \times Q_2 \times H_{B2}}{\eta_{B2}}$$

Para a associação em série, tem-se:  $Q_a = Q_1 = Q_2$

$$\therefore \frac{H_{B_a}}{\eta_{B_a}} = \frac{H_{B1}}{\eta_{B1}} + \frac{H_{B2}}{\eta_{B2}}$$

$$\eta_{B_a} = \frac{H_{B_a}}{\frac{H_{B1}}{\eta_{B1}} + \frac{H_{B2}}{\eta_{B2}}}$$

Vamos fazer um  
exemplo

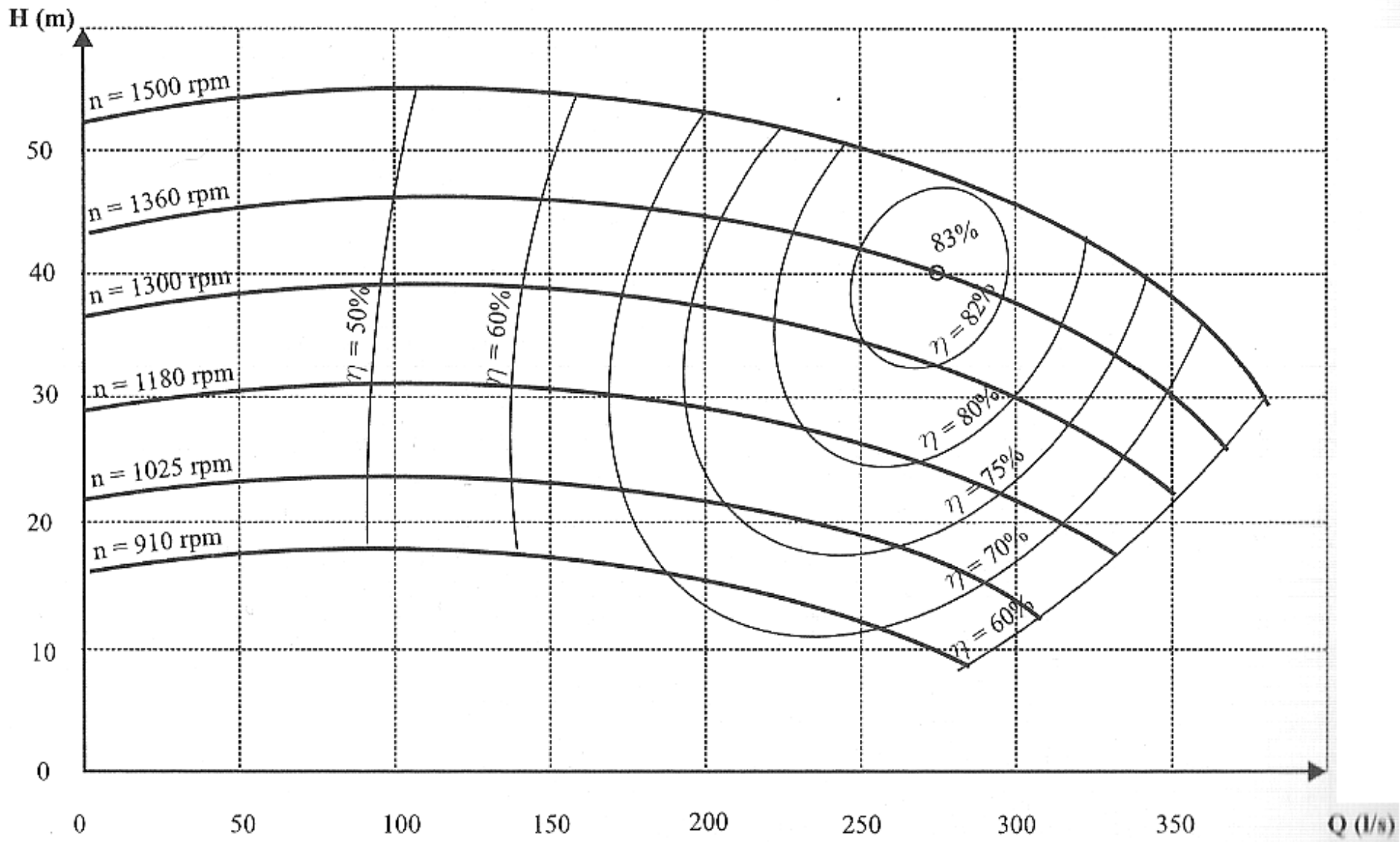


# Exercício de associação em série

Uma lavoura de arroz distante do manancial de captação d'água necessita de 315 L/s ( $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$ ) para atender toda a área irrigada. O ponto de captação encontra-se na cota de 90 m acima do nível do mar e a lavoura está na cota de 80 m. A tubulação que conduz a água possui diâmetro interno de 303,2 mm, área de seção livre igual a 722 cm<sup>2</sup> e coeficiente de atrito obtido com rugosidade equivalente ( $k$ ) igual a  $4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ . O sistema de bombeamento é constituído pela associação em série de duas bombas iguais, operando com 1360 rpm, cujas curvas características encontram-se representadas a seguir. Desprezando o comprimento equivalente dos acessórios, considerando iguais as velocidades de escoamento na admissão e descarga das bombas, pressão na admissão da primeira bomba da associação  $p_{a1} = 0$ , manômetros nivelados, e que a perda entre as duas bombas associadas é desprezível e calculando a perda de carga pela equação de Darcy\_Weisbach, determinar:

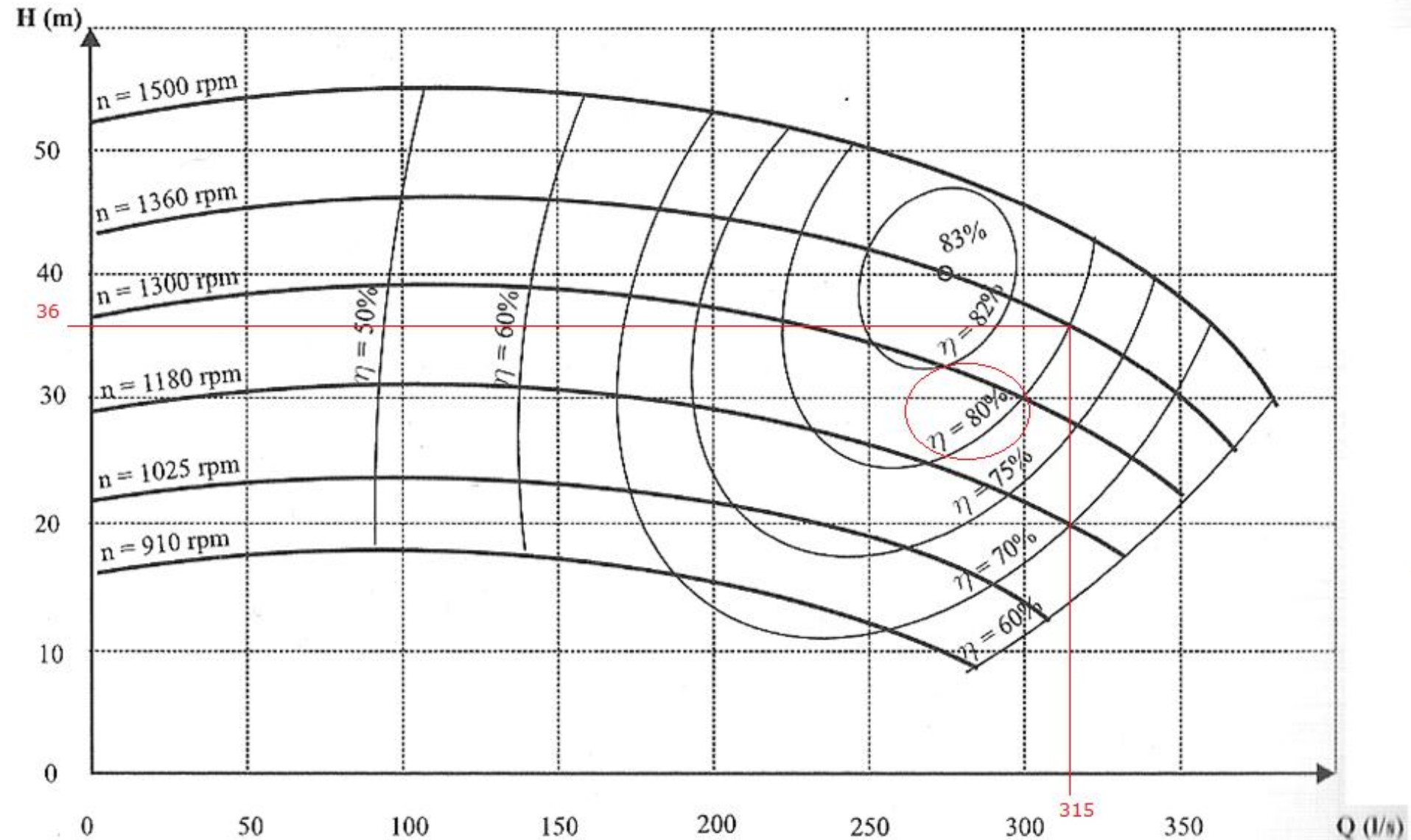
- a. a potência consumida pela associação;
- b. a perda de carga na tubulação em J/kg;
- c. a máxima pressão a que se encontra submetida a tubulação;
- d. o comprimento da canalização (distância entre o manancial e a lavoura);
- e. a vazão fornecida à lavoura quando uma das bombas é retirada da instalação através de um by-pass;
- f. a potência útil do motor elétrico neste caso;
- g. a vazão que chega à lavoura, considerando escoamento por ação da gravidade, quando as duas bombas são retiradas do circuito.





Solução

a) Considerando as curvas da bomba que foram dadas para a vazão de 315 L/s, tem-se:



Portanto, como trata-se da associação em série de duas bombas iguais tem-se:

$$H_{B_{AS}} = 2 \times H_B = 2 \times 36 = 72\text{m}$$

$$\eta_{B_{AS}} = \eta_B = 80\%$$

$$N_{B_{AS}} = \frac{\gamma \times H_{B_{AS}} \times Q_{AS}}{\eta_{B_{AS}}} = \frac{998,2 \times 9,8 \times 72 \times 315 \times 10^{-3}}{0,80}$$

$$N_{B_{AS}} \cong 277329,9\text{W}$$

b) escrevendo a equação da CCI, tem-se:

$$H_{\text{inicial}} + H_S = H_{\text{final}} + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$90 + H_S = 80 + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$\therefore H_S = -10 + H_{p_{\text{totais}}}$$

Como no ponto de trabalho a carga do sistema é igual a carga manométrica, tem-se que:

$$72 = -10 + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$\therefore H_{p_{\text{totais}}} = 82\text{m}$$

$$E_{p_{\text{totais}}} = 82 \times 9,8 = 803,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

c) A máxima pressão que está submetida a tubulação será na saída da bomba, no caso da segunda bomba, portanto:

$$H_{B_{B1}} = \frac{p_{sI} - p_{aI}}{\gamma} \Rightarrow 36 = \frac{p_{sI} - 0}{998,2 \times 9,8}$$

$$p_{sI} \cong 352165 \text{ Pa}$$

$$H_{B_{B2}} = \frac{p_{sII} - p_{aII}}{\gamma} \Rightarrow 36 = \frac{p_{sII} - 352165}{998,2 \times 9,8}$$

$$p_{sII} = 704330 \text{ Pa}$$

Pela equação de Darcy Weisbach, tem-se:

$$h_f = f \times \frac{L_{\text{total}}}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{(L_t + \sum L_{\text{eq}})}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Com os dados:

$$Q = 315 \frac{\text{L}}{\text{s}} \rightarrow \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ o que nos permite concluir}$$

que a mesma encontra-se a  $20^0\text{C}$  e portanto  $\nu_{\text{H}_2\text{O}} = 1,004 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

$D_{\text{int}} = 303,2\text{mm}$ ;  $A = 722 \text{ mm}$  e  $K = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$ , pode-se determinar  $f \cong 0,014$

No item b) determinou-se a perda de carga total de 82 m e como a  $\Sigma l_{eq}=0$ , tem-se:

$$82 = 0,014 \times \frac{L_t}{303,2 \times 10^{-3}} \times \frac{(315 \times 10^{-3})^2}{2 \times 9,8 \times (722 \times 10^{-4})^2}$$

$$\therefore L = 1828,7 \text{ m}$$

e) Para a determinação da vazão de trabalho só com uma bomba deve-se traçar a sua CCI

$$H_S = H_{\text{estático}} + f \times \frac{L_t}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$H_S = -10 + f \times \frac{1828,7}{0,3032} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (722 \times 10^{-4})^2}$$

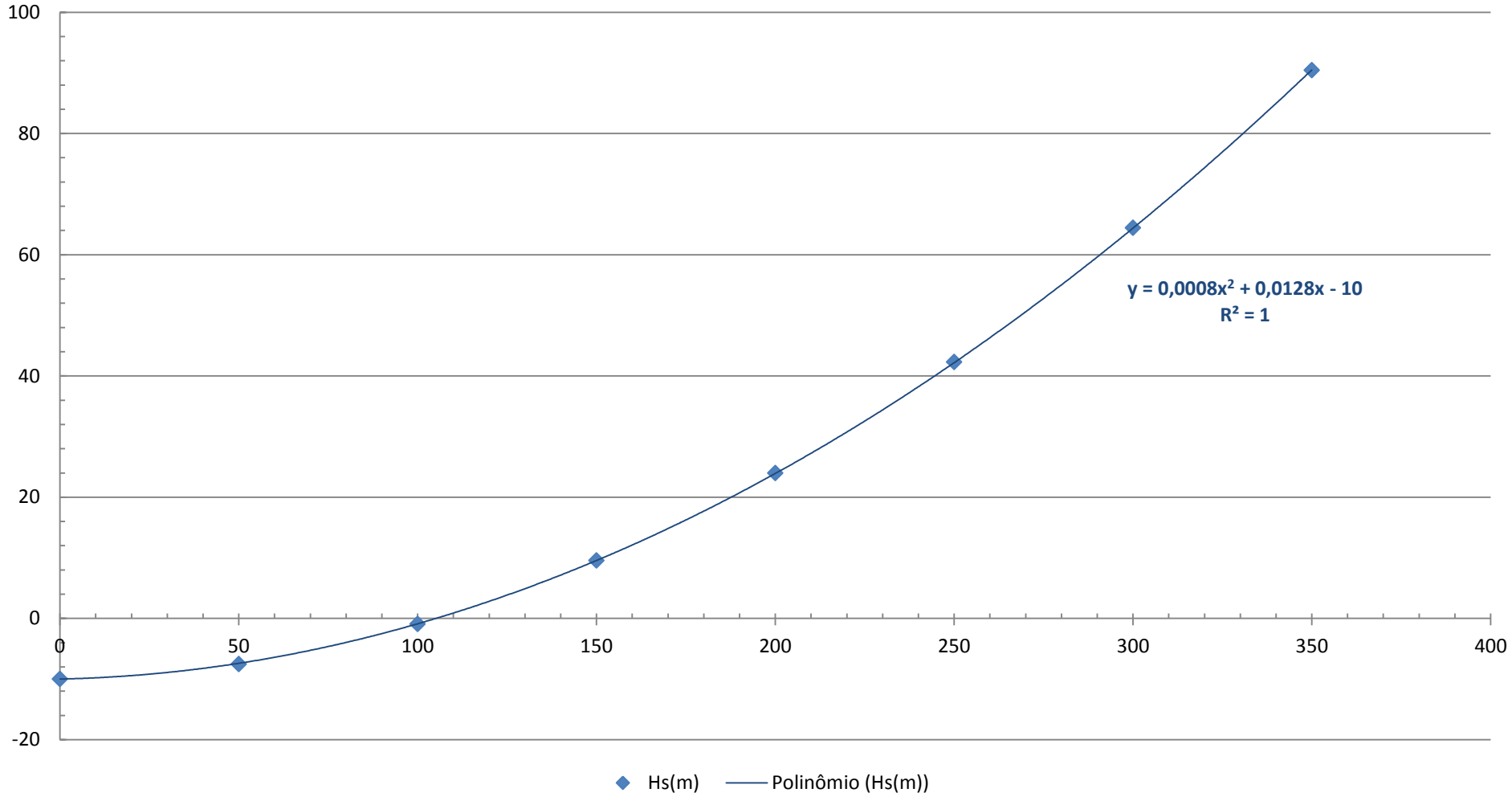
$$H_S = -10 + f \times 59031,4 \times Q^2$$

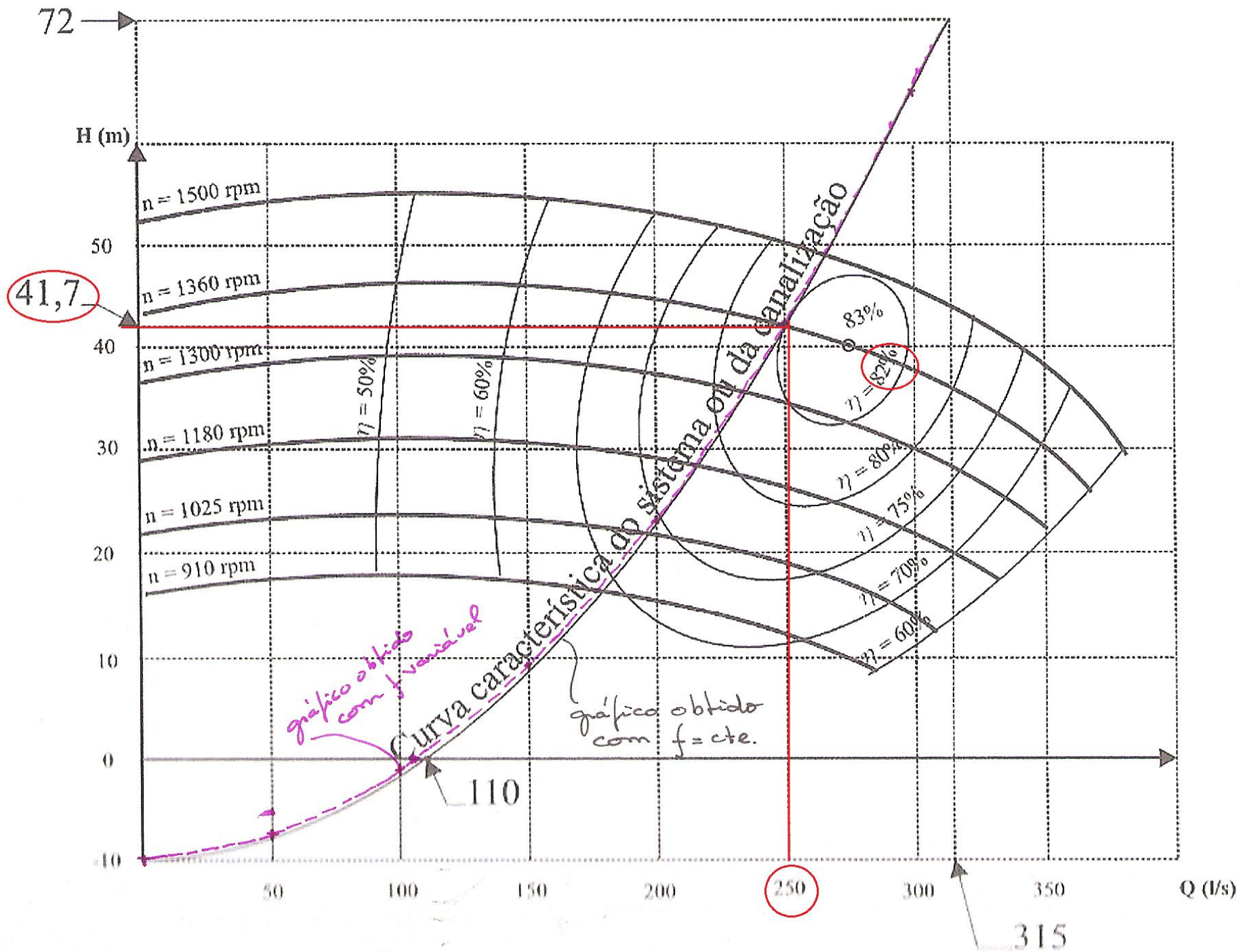


## Pelo Excel, tem-se:

Q (L/s)	f	Hs(m)
0	0	-10
50	0,0167	-7,5
100	0,0153	-1,0
150	0,0147	9,6
200	0,0144	24,0
250	0,0142	42,3
300	0,0140	64,4
350	0,0139	90,4

# CCI





PORTANTO PARA UMA BOMBA SE TEM O PONTO DE  
TRABALHO:

$$Q_{\tau} \cong 250 \frac{\text{L}}{\text{s}} \rightarrow H_{B_{\tau}} \cong 41,7\text{m} \rightarrow \eta_{B_{\tau}} \cong 82\%$$

e)

$$N_{B_{\tau}} = \frac{\gamma \times Q_{\tau} \times H_{B_{\tau}}}{\eta_{B_{\tau}}} = \frac{998,2 \times 9,8 \times 0,250 \times 41,7}{0,82}$$

$$N_{B_{\tau}} \cong 124367,2 \text{ W} \cong 124,4 \text{ kW}$$

f) Para se determinar a vazão de queda livre basta ler a vazão para carga do sistema igual a zero, ou colocar na equação da linha de tendência que  $H_s = 0$ , portanto:

$$0 = 0,0008 \times Q^2 + 0,0128 \times Q - 10$$

$$Q_{qL} = \frac{-0,0128 + \sqrt{0,0128^2 + 4 \times 0,0008 \times 10}}{2 \times 0,0008}$$

$$Q_{qL} \cong 104,1 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$