

# Mecânica dos Fluidos para Engenharia Química

ME5330 - complemento

17/11/2009

## Procedimentos para correção das curvas em uma instalação que está sendo projetada.

Após a determinação da equação da CCI (Curva Característica da Instalação) com a vazão de projeto ( $Q_{\text{projeto}} = (\text{fator de seg.}) * Q_{\text{desejada}}$ ) na equação da CCI determina-se o  $H_{\text{Bprojeto}}$  ambos para o fluido viscoso.

Entra-se no gráfico para obtenção dos coeficientes de correção com a vazão do líquido viscoso ( $Q_v = Q_{\text{projeto}}$ ) e sobe-se com uma reta vertical até encontrar a reta inclinada correspondente a carga manométrica viscosa ( $H_{Bv} = H_{B\text{projeto}}$ ), puxa-se deste ponto uma reta horizontal até encontrar a reta inclinada correspondente a viscosidade do fluido, puxa-se então uma reta vertical para se obter os coeficientes de correção:

$$K_{\eta} = \frac{\eta_{B_v}}{\eta_{B_a}}$$

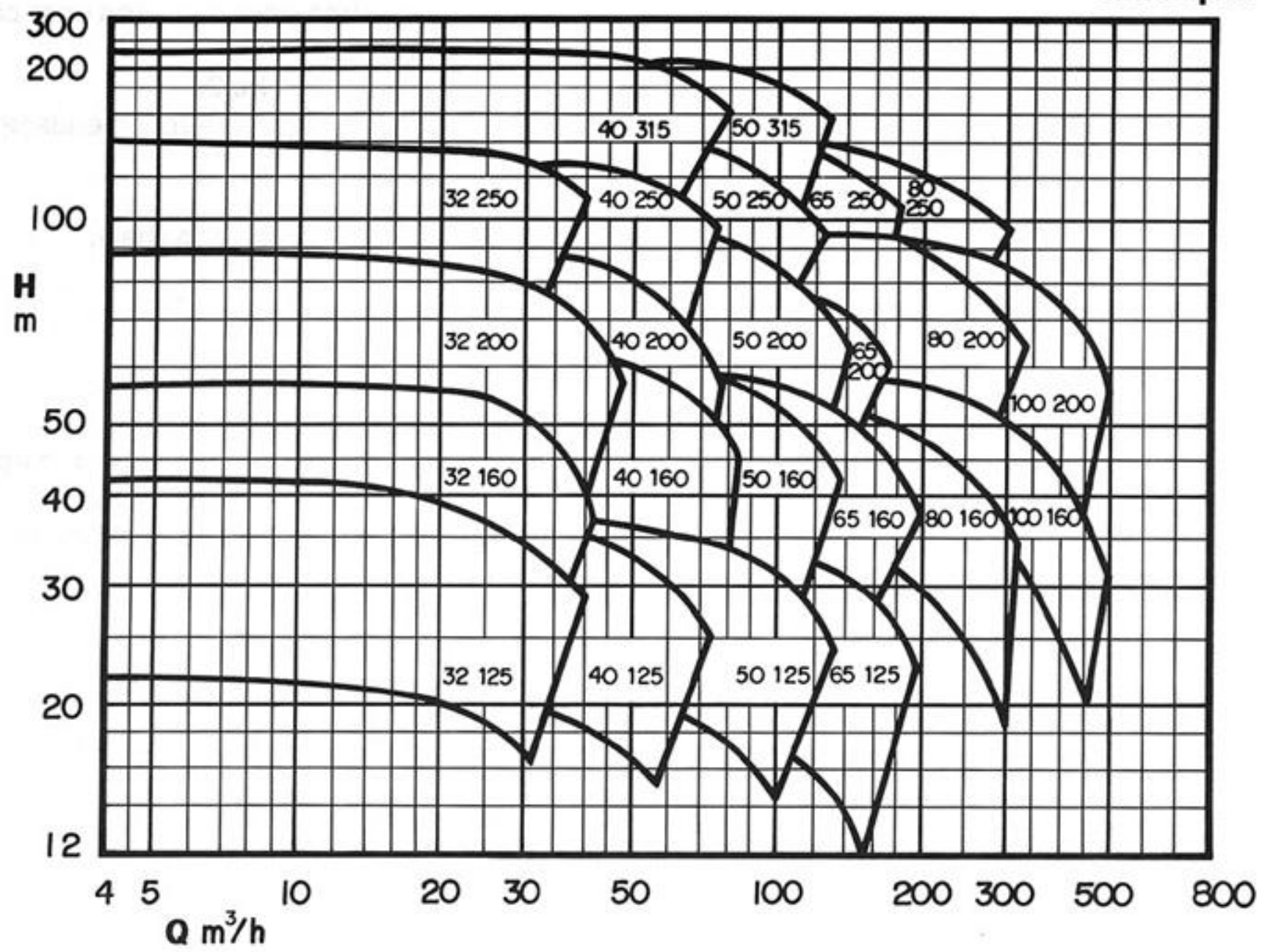
$$K_Q = \frac{Q_v}{Q_a}$$

$$K_H = \frac{H_{B_v}}{H_{B_a}}$$

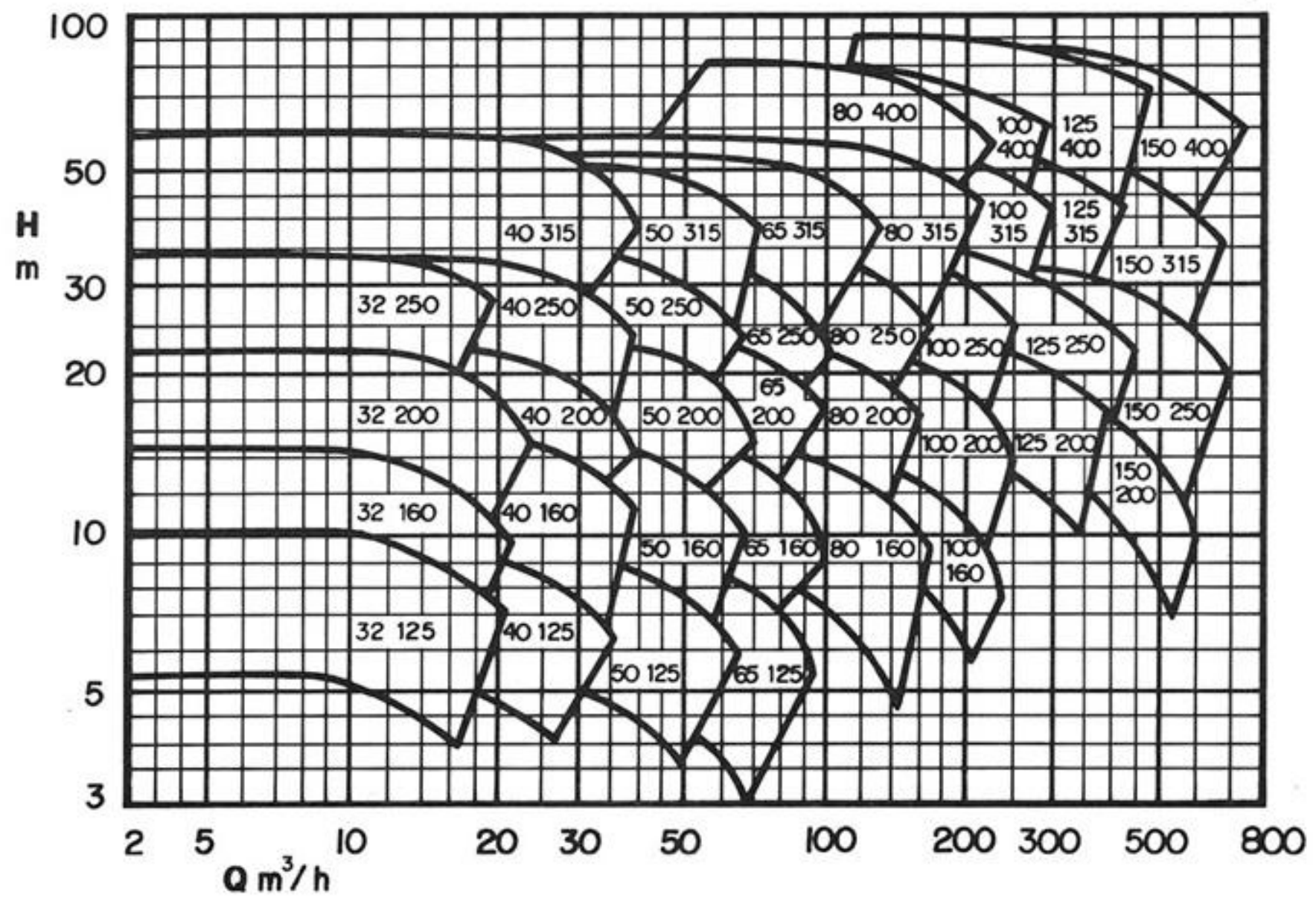
sendo que o  $K_H$  é obtido para  $1.0 \cdot Q$ .

Com os coeficientes anteriores se obtém a vazão para água ( $Q_a$ ) e a carga manométrica para a água ( $H_{B_a}$ ) e é com estes par de pontos que se escolhe preliminarmente a bomba, por exemplo, com os diagramas de tijolos mostrados a seguir.

3500 rpm



1750 rpm



Escolhida a bomba, no catálogo do fabricante, se obtém as suas CCBs só que para a água, portanto deve-se repetir o procedimento descrito na aula anterior, ou seja: ler na curva de  $H_B = f(Q)$  a vazão, a carga manométrica e o rendimento correspondente ao ponto de máxima eficiência (máximo rendimento) e aí iniciar o preenchimento da tabela a seguir:

	0,6*Q	0,8*Q	1,0*Q	1,2*Q
Q(m <sup>3</sup> /h)				
H <sub>B</sub> (m)				
η <sub>B</sub> (%)				
K <sub>η</sub>				
K <sub>Q</sub>				
K <sub>H</sub>				
Q*K <sub>Q</sub>				
H <sub>B</sub> *K <sub>H</sub>				
η <sub>B</sub> *K <sub>η</sub>				



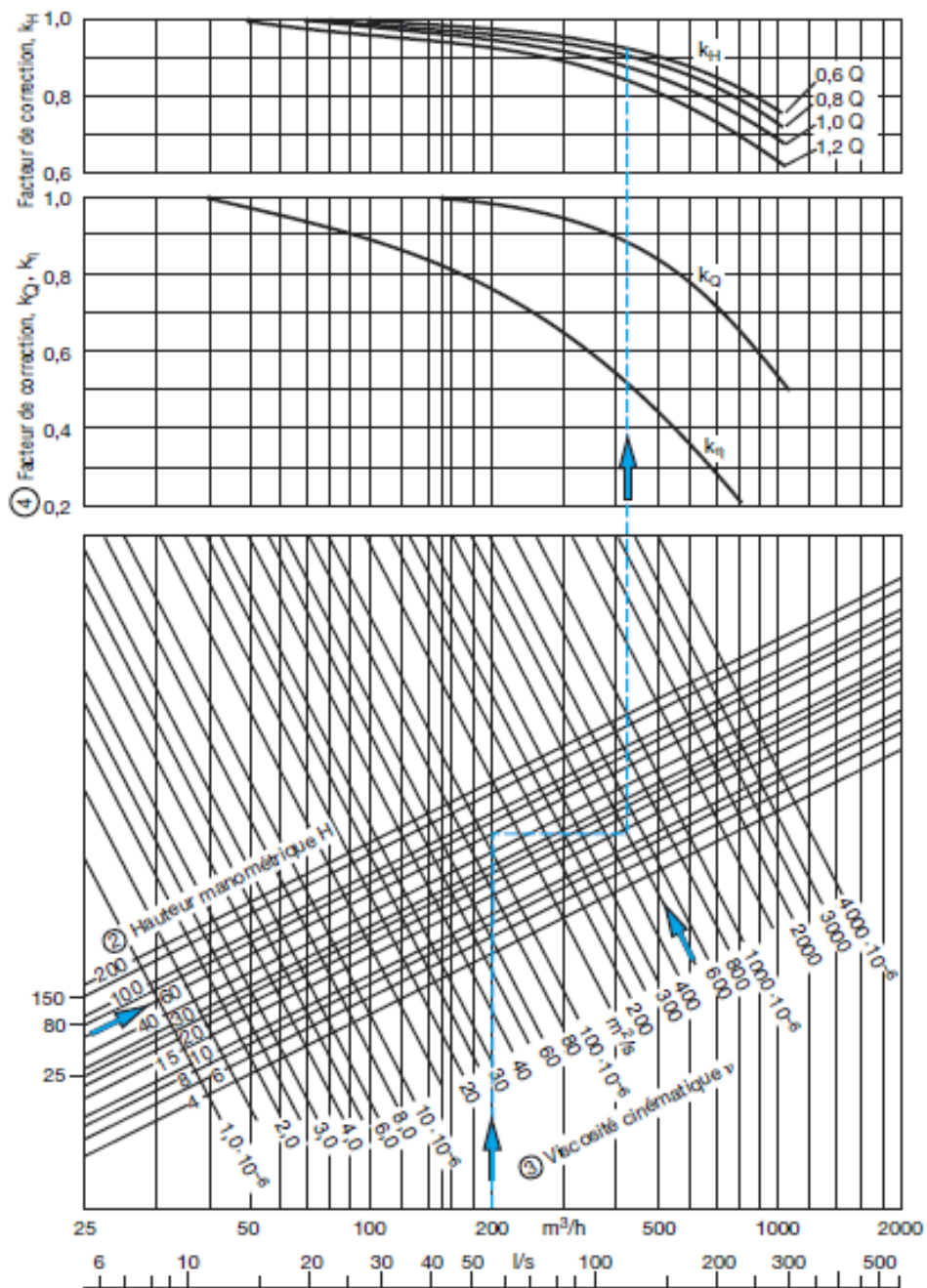
Onde os coeficientes  $K_Q$ ;  $K_H$  e  $K_\eta$  são determinados através do gráfico para obtenção dos coeficientes de correção, onde:

1º - marca-se a vazão do ponto de máximo rendimento  
( $1,0 * Q$ ) = ponto 1;

2º - sobe-se verticalmente até o ponto correspondente a carga manométrica ligada a  $1,0 * Q$  = ponto 2;

3º - daí puxa-se uma horizontal até a viscosidade desejada = ponto 3;

4º - em seguida sobe-se verticalmente até as curvas de correção para se tirar os valores dos coeficientes de correção:  $K_\eta$  ;  $K_Q$  e finalmente os quatro valores de  $K_H$



Exercício + provas antigas

**1ª Questão** – O isopropanol (IP) a 43°C será bombeado do reservatório de captação (RC) para os tanques TQ-1, TQ-2 e TQ-3, os quais suprirão as necessidades dos processos 1, 2 e 3 respectivamente. No desenvolvimento do projeto foram obtidas, para um coeficiente de perda de carga distribuída médio, as CCI:  $H_S = 20 + 6000Q^2$ ,  $H_S = 52 + 7410Q^2$  e  $H_S = 20 + 5680Q^2$ , respectivamente para o sistema que alimenta o processo 1, 2 e 3, onde a vazão (Q) é considerada em "m³/s" e a carga do sistema ( $H_S$ ) em "m". Na casa de máquina existirão três (3) bombas iguais, que podem trabalhar isoladamente, ou duas delas associadas tanto em série como em paralelo, já que pelas condições de operação o processo 1 será alimentado por apenas uma bomba, o processo 2 por duas bombas associadas em série e o processo 3 por duas associadas em paralelo.

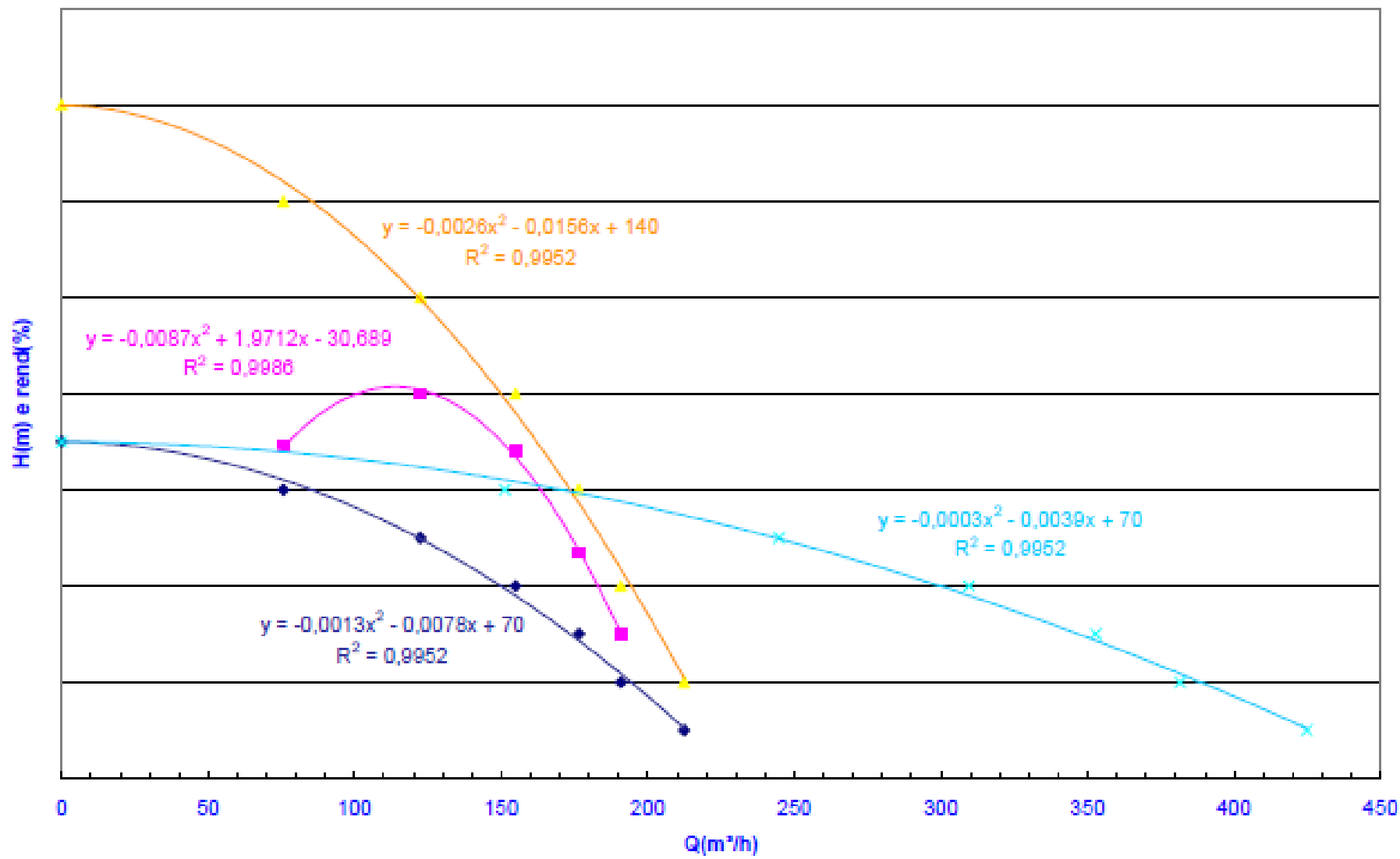
**Dados:** propriedades do isopropanol:  $\rho_{IP} = 756 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ;  $\mu_{IP} = 1,4 \times 10^{-3} \text{Pa} \times \text{s}$ ;  
 $p_{\text{vaporIP}} = 140 \text{mmHg( abs)}$

propriedades locais:  $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ;  $p_{\text{atm}} = 101,3 \text{kPa}$

dados da bomba:

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	$H_B(\text{m})$	$\eta_B(\%)$
0	70	
75,6	60	69
122,4	50	80
154,8	40	68
176,4	30	47
190,8	20	30
212,4	10	

**Pede-se** especificar a vazão, a carga manométrica e o rendimento que serão observados no ponto de trabalho da(s) bomba(s) para os processos 1, 2 e 3.



**1ª Questão** – Inicia-se verificando a necessidade, ou não, de correção da CCB, para tal deve-se determinar a viscosidade cinemática do isopropanol (IP) a 43°C.

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,4 \times 10^{-3}}{756} = 1,85 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 1,85 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \therefore \text{n\~{o} \acute{e} considerado viscoso}$$

Como o isopropanol (IP) a 43°C não é considerado um fluido viscoso não há a necessidade de correção da CCB. **(0,2)**

Em seguida passa-se a determinar o ponto de trabalho, para isto deve-se igualar a CCB com a CCI, onde o único cuidado é se ter unidades coerentes nas equações.

**Processo 1, opera-se com uma única bomba,** pelas curvas dadas tem-se:

$$\text{CCB} \rightarrow H_B = -0,0013 \times Q^2 - 0,0078 \times Q + 70 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{CCI} \rightarrow H_S = 20 + 6000 \times Q^2 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\therefore H_S = 20 + \frac{6000}{(3600)^2} \times Q^2 = 20 + 0,00046 \times Q^2 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$-0,0013 \times Q^2 - 0,0078 \times Q + 70 = 20 + 0,00046 \times Q^2$$

$$\therefore 0,00176 \times Q^2 + 0,0078 \times Q - 50 = 0 \rightarrow Q = \frac{-0,0078 + \sqrt{0,0078^2 + 4 \times 0,00176 \times 50}}{2 \times 0,00176}$$

$$Q \cong 166,35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,2)$$

$$H_B = -0,0013 \times (166,35)^2 - 0,0078 \times 166,35 + 70 \cong 32,73\text{m} \rightarrow (0,2)$$

$$\eta_B = -0,0087 \times (166,35)^2 + 1,9712 \times 166,35 - 30,689 \cong 56,47\% \rightarrow (0,2)$$

GABARITO  
DA 1ª  
QUESTÃO

**Processo 2, opera-se com duas bombas associadas em série,**  
 pelas curvas dadas tem-se:

$$CCB \rightarrow H_B = -0,0026 \times Q^2 - 0,0156 \times Q + 140 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{m^3}{h}$$

$$CCI \rightarrow H_S = 52 + 7410 \times Q^2 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{m^3}{s}$$

$$\therefore H_S = 52 + \frac{7410}{(3600)^2} \times Q^2 = 52 + 0,00057 \times Q^2 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{m^3}{h}$$

$$-0,0026 \times Q^2 - 0,0156 \times Q + 140 = 52 + 0,00057 \times Q^2$$

$$\therefore 0,00317 \times Q^2 + 0,0156 \times Q - 88 = 0 \rightarrow Q = \frac{-0,0156 + \sqrt{0,0156^2 + 4 \times 0,00317 \times 88}}{2 \times 0,00317}$$

$$Q \cong 164,17 \frac{m^3}{h} \rightarrow (0,2)$$

$$H_B = -0,0026 \times (164,17)^2 - 0,0156 \times 164,17 + 140 \cong 67,36m \rightarrow (0,2)$$

$$\eta_B = -0,0087 \times (164,17)^2 + 1,9712 \times 164,17 - 30,689 \cong 58,44\% \rightarrow (0,2)$$

**Processo 3, opera-se com duas bombas associadas em paralelo,**  
 pelas curvas dadas tem-se:

$$CCB \rightarrow H_B = -0,0003 \times Q^2 - 0,0039 \times Q + 70 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{m^3}{h}$$

$$CCI \rightarrow H_S = 20 + 5680 \times Q^2 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{m^3}{s}$$

$$\therefore H_S = 20 + \frac{5680}{(3600)^2} \times Q^2 = 20 + 0,00044 \times Q^2 \text{ com } [H_B] \text{ em "m" e } [Q] \text{ em } \frac{m^3}{h}$$

$$-0,0003 \times Q^2 - 0,0039 \times Q + 70 = 20 + 0,00044 \times Q^2$$

$$\therefore 0,00074 \times Q^2 + 0,0039 \times Q - 50 = 0 \rightarrow Q = \frac{-0,0039 + \sqrt{0,0039^2 + 4 \times 0,00074 \times 50}}{2 \times 0,00074}$$

$$Q \cong 257,32 \frac{m^3}{h} \rightarrow (0,2)$$

$$H_B = -0,0003 \times (257,32)^2 - 0,0039 \times 257,32 + 70 \cong 49,13m \rightarrow (0,2)$$

$$\eta_B = -0,0087 \times \left(\frac{257,32}{2}\right)^2 + 1,9712 \times \frac{257,32}{2} - 30,689 \cong 78,91\% \rightarrow (0,2)$$



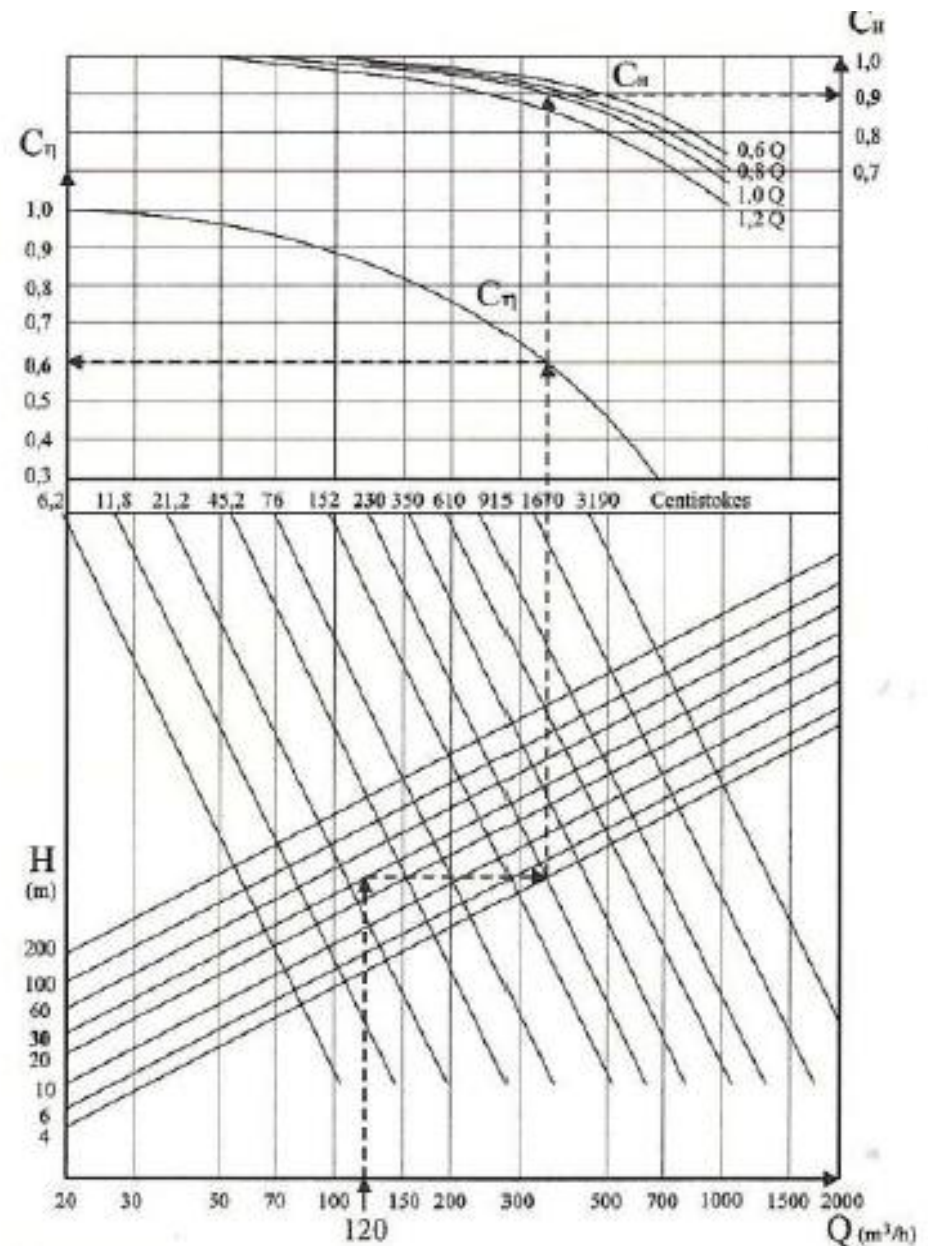
**2ª Questão:** Uma instalação de bombeamento pertencente a uma planta química foi projetada inicialmente para bombear água a 16°C e para esta situação escolheu-se uma bomba centrífuga radial que apresenta as características dadas a seguir.

Q(m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B</sub> (m)	η <sub>B</sub> (%)
0	85	
20	85,4	
30	84,7	50
40	83,5	58,7
50	82	65,3
60	80	70
70	77	72,8
80	73,2	74
90	70	73
100	65	71
110	59,3	67

Após alterações na planta química a referida instalação passou a ser utilizada para o transporte de óleo de soja a uma temperatura de 36,5°C, onde apresenta a massa específica igual a 950 kg/m<sup>3</sup> e viscosidade igual a 0,03154 Pa\*s.

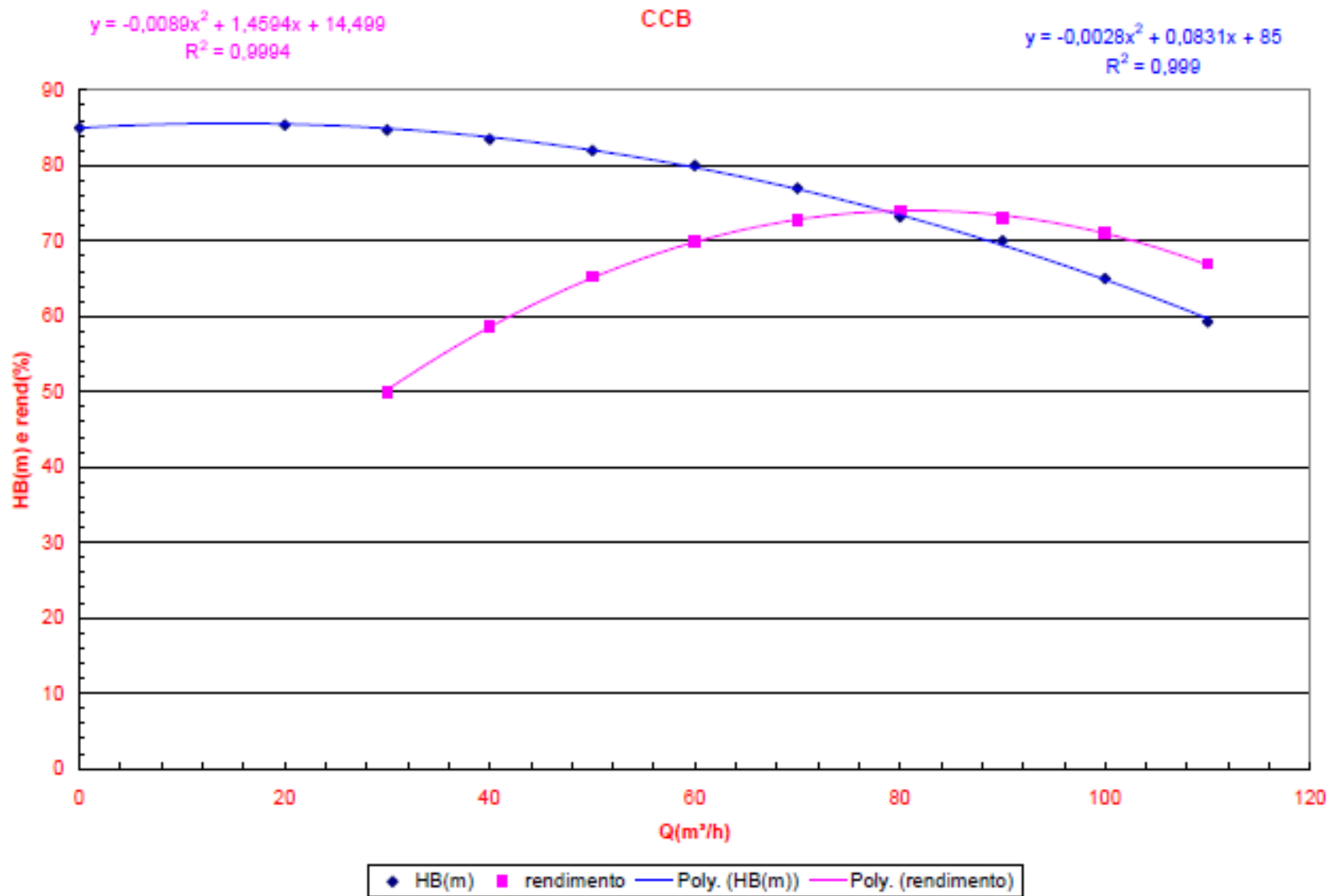
Ao se colocar a instalação em funcionamento o rotâmetro registrou um vazão de  $68 \text{ m}^3/\text{h}$  do óleo de soja, para esta situação pede-se calcular potência nominal da bomba.

Dados:  $C_Q = 0,85$



Fatores de correção da altura,  $C_H$ , e do rendimento,  $C_{\eta}$ , para fluidos de viscosidade diferentes (Fonte: Hydraulic Institute).

### CCB



**2ª Questão:** Inicia-se verificando a necessidade, ou não, de correção da CCB, para tal deve-se determinar a viscosidade cinemática do óleo de soja a uma temperatura de 36,5°C.

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,03154}{950} = 33,2 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 33,2 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \therefore \text{é considerado viscoso}$$

Como o óleo de soja a uma temperatura de 36,5°C é considerado um fluido viscoso há a necessidade de correção da CCB. **(0,2)**

	0,6*Q	0,8*Q	1,0*Q	1,2*Q
$Q_a$ (m <sup>3</sup> /h)			80 <b>(0,1)</b>	
$H_{Ba}$ (m)			73,2 <b>(0,1)</b>	
$\eta_{Ba}$ (%)			74 <b>(0,1)</b>	
$C_H$			0,96 <b>(0,1)</b>	
$C_Q$			0,85 <b>(0,1)</b>	
$C_n$			0,85 <b>(0,1)</b>	
$C_H * H_{Ba}$			70,3 <b>(0,1)</b>	
$C_Q * Q_a$			68 <b>(0,1)</b>	
$C_n * \eta_{Ba}$			62,9 <b>(0,1)</b>	

Como o produto  $C_Q * (1,0*Q)$  deu igual a vazão registrada pelo rotâmetro para o escoamento do óleo de soja, conclui-se que este é o ponto de trabalho, portanto:

$$Q_t = 68 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}; H_{B_t} = 70,3\text{m}; \eta_{B_t} = 62,9\%$$

$$\therefore N_B = \frac{\gamma \times Q_t \times H_{B_t}}{\eta_{B_t}} = \frac{950 \times 9,8 \times \left(\frac{68}{3600}\right) \times 70,3}{0,629 \times 1000} \cong 19,65\text{kW} \rightarrow (0,4)$$

GABARITO DA 2ª  
QUESTÃO

**3ª Questão:** A bomba utilizada na bancada 8 do laboratório de mecânica dos fluidos do Centro Universitário da FEI (sala IS01) tem a CCB dada pelo fabricante construída pela tabela:

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	0	2	4	6	8	10	12	14	16
$H_B(\text{m})$	39,5	39,5	39	37,5	35,5	33	30	26	21,5
$\eta_{\text{global}}(\%)$				53	60,5	64,5	66	64,5	60,5

Apesar de a vazão máxima ser 16  $\text{m}^3/\text{h}$  a observada na bancada com o inversor de frequência a 60 Hz foi de 13,8  $\text{m}^3/\text{h}$  (230 l/min). Desejando-se reduzir a vazão para 176 l/min, pede-se para esta vazão:

- a potência consumida estando o motor operando a 60 Hz;
- qual a frequência a ser fixada no inversor de frequência para se obter esta vazão com a válvula controladora de vazão totalmente aberta?
- a redução do consumo obtida com a utilização do inversor de frequência.

$$\gamma_{\text{água}} \cong 9980 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}; \quad \eta_{\text{global}} = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{N_m} \text{ e } \eta_x = 1 - (1 - \eta) \times \left(\frac{n}{n_x}\right)^{0,2}$$

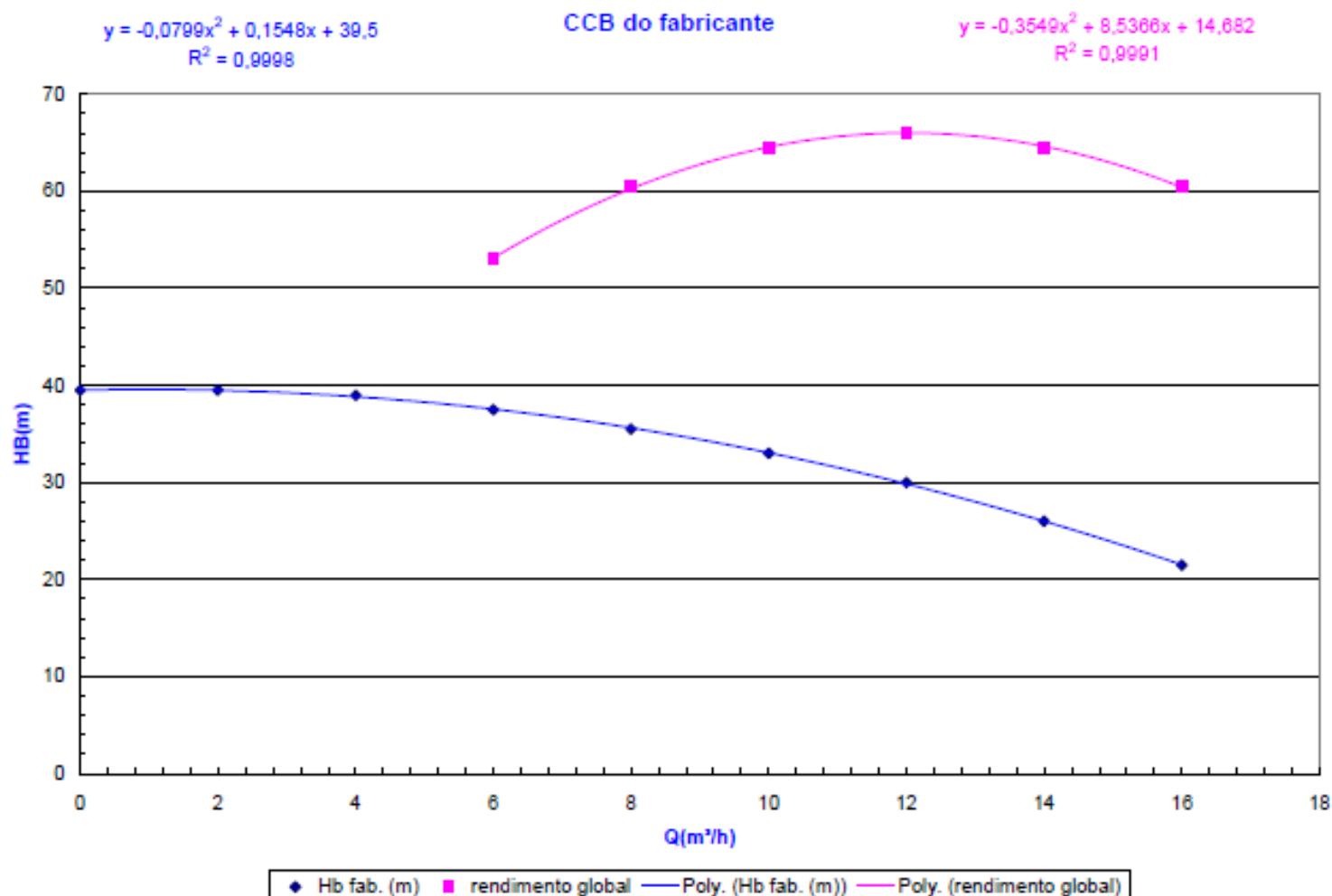
$[H_B] = \text{m} \rightarrow$  trabalhe com uma casa decimal

**Dados:**  $[Q] = \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow$  trabalhe com até duas casa decimais

$[f] = \text{Hz} \rightarrow$  trabalhe com uma casa decimal

$[N_m] = \text{kW} \rightarrow$  trabalhe com até duas casa decimais

$[\eta_{\text{global}}] = \% \rightarrow$  trabalhe com uma casa decimal



GABARITO DA  
3ª QUESTÃO

3ª Questão:

a)

$$N_{m60\text{Hz}} = \frac{\gamma \times Q_{60\text{Hz}} \times H_{B60\text{Hz}}}{\eta_{\text{global}60\text{Hz}}} \rightarrow \text{fechando - se a válvula controladora de v}$$

$$H_{B60\text{Hz}} = -0,0799 \times \left(\frac{176 \times 60}{1000}\right)^2 + 0,1548 \times \left(\frac{176 \times 60}{1000}\right) + 39,5 \cong 32,2\text{m} \rightarrow (0,1)$$

$$\eta_{\text{global}60\text{Hz}} = -0,3549 \times \left(\frac{176 \times 60}{1000}\right)^2 + 8,5366 \times \left(\frac{176 \times 60}{1000}\right) + 14,682 \cong 65,3\% \rightarrow$$

$$\therefore N_{m60\text{Hz}} = \frac{9980 \times \left(\frac{176 \times 60}{1000} \Big/ \frac{3600}{3600}\right) \times 32,2}{0,653 \times 1000} \cong 1,44\text{kW} \rightarrow (0,3)$$

b) Pela condição de semelhança, tem-se que:

$$\frac{230}{60} = \frac{176}{f^*} \therefore f^* \cong 45,9\text{Hz} \rightarrow (0,2)$$

c)

$$H_{B60\text{Hz}} = -0,0799 \times (13,8)^2 + 0,1548 \times 13,8 + 39,5 \cong 26,4\text{m} \rightarrow (0,1)$$

$$\frac{26,4}{60^2} = \frac{H_{B45,9}}{45,9^2} \therefore H_{B45,9} \cong 15,5\text{m} \rightarrow (0,1)$$

$$\eta_{\text{global}60\text{Hz}} = -0,3549 \times (13,8)^2 + 8,5366 \times 13,8 + 14,682 \cong 64,9\% \rightarrow (0,1)$$

$$\eta_{\text{global}45,9\text{Hz}} = 1 - (1 - 0,649) \times \left(\frac{60}{45,9}\right)^{0,2} \cong 63\% \rightarrow (0,1)$$

$$\therefore N_{m49,5\text{Hz}} = \frac{9980 \times \left(\frac{176 \times 60}{1000} \Big/ \frac{3600}{3600}\right) \times 15,5}{0,63 \times 1000} \cong 0,72\text{kW} \rightarrow (0,1)$$

\therefore redução de 50% \rightarrow (0,3)