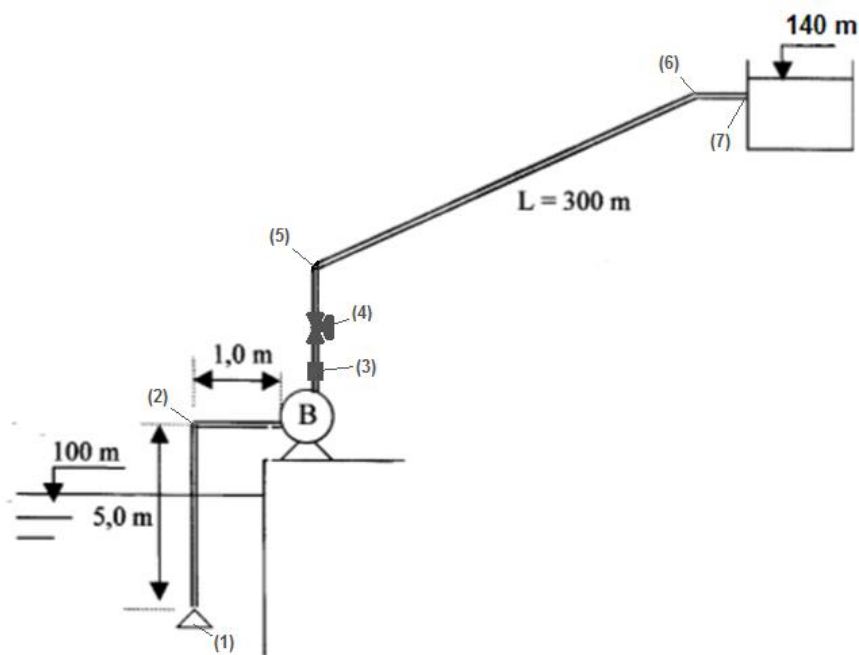


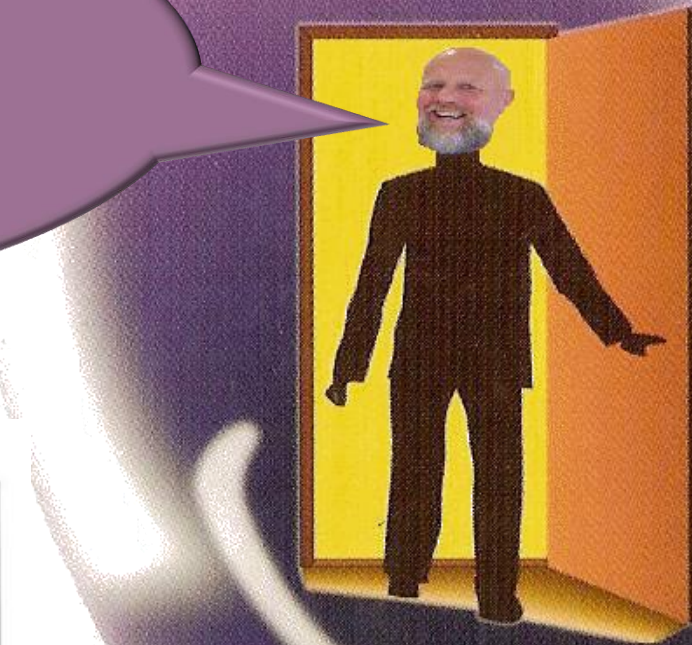
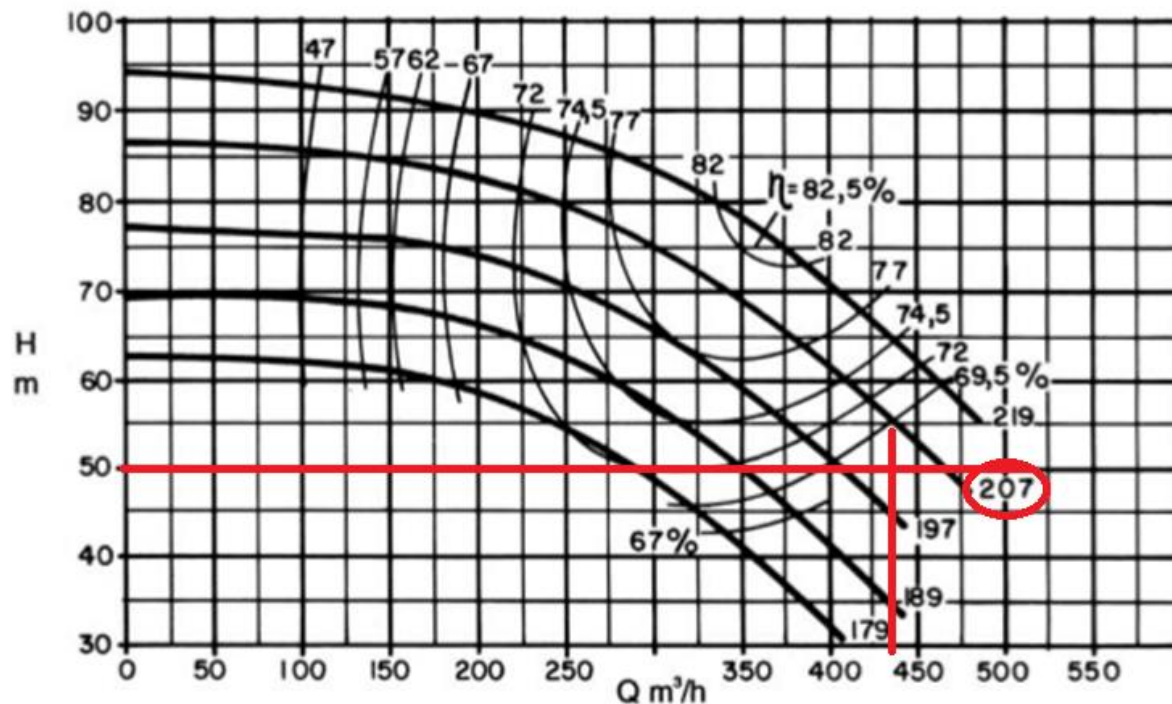
# Amplie *seu* mundo, *evolua* a partir de novos questionamentos ...



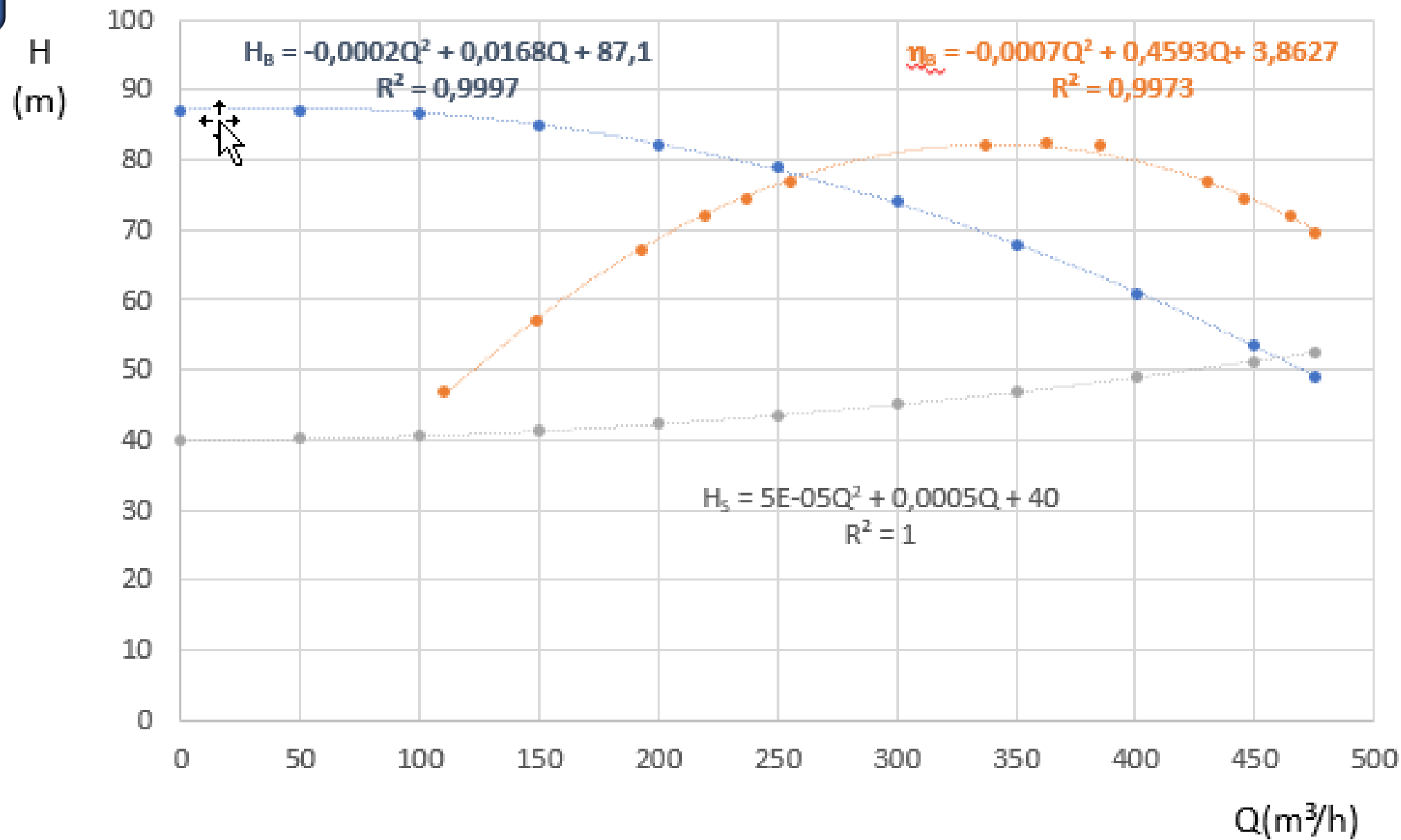
A instalação de recalque esquematizada acima deve operar com uma vazão de escoamento igual a  $430 \text{ m}^3/\text{h}$ .



AO RESOLVER O PROBLEMA  
PROPOSTO NO PRIMEIRO ENCONTRO  
FOI ESCOLHIDA A BOMBA DE  $D_R = 207$   
mm, PORÉM AO DESEJAR A VAZÃO DE  
 $430 \text{ m}^3/\text{h}$ , COMO IREMOS OBTÊ-LA?

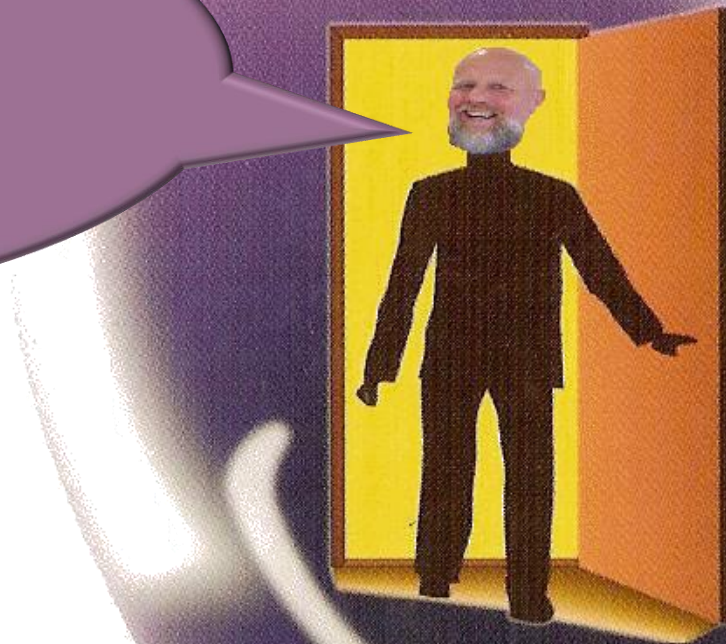


Dados:

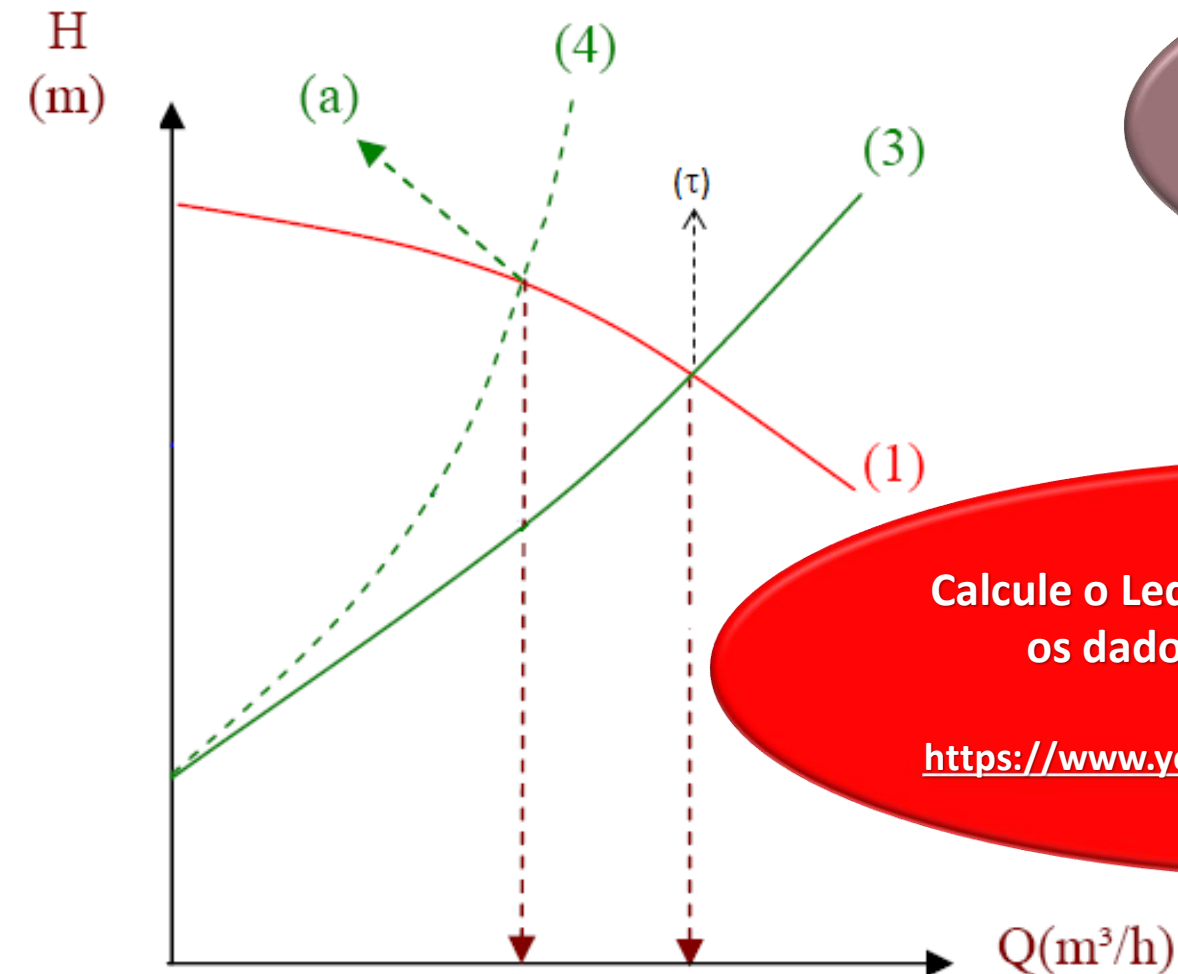


CONSEGUIMOS A VAZÃO DE 430  
 $\text{m}^3/\text{h}$  DE DUAS MANEIRAS  
DIFERENTES:

- FECHANDO PARCIALMENTE A VÁLVULA GLOBO;
- UTILIZANDO UM INVERSOR DE FREQUÊNCIA, OU SEJA, ALTERANDO A ROTAÇÃO DA BOMBA.



Azevedo Netto & Alvarez (1991) citam o controle de vazão através do fechamento de registro na saída das motobombas, como sendo uma das práticas mais comuns; neste caso, há introdução de perda de carga acidental na curva do sistema, proporcionando desperdício de energia.



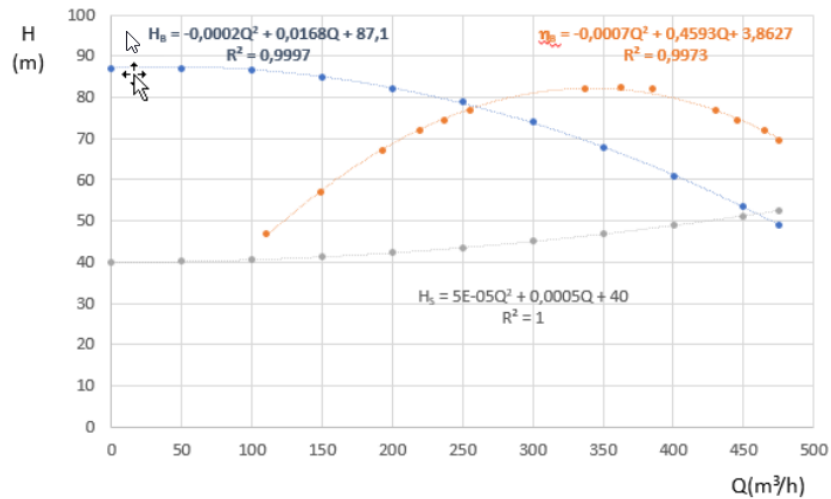
Regular a vazão pela válvula é o mesmo que dirigir o carro com o freio de mão puxado, onde ocorre um grande aumento do seu comprimento equivalente!



**EXTRA:**

Calcule o  $Leq$  da válvula globo de 1,5" com os dados apresentados no vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=12DXWjgZIUU>



No ponto de trabalho inicial ( $\tau$ ) onde a vazão era 467,9 m³/h, carga manométrica igual a 51,2 m e rendimento igual a 65,52%, mostro o cálculo da potência nominal da bomba.

YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=-BYbrj5FEtA>

$$2,5 \times 10^{-4} \times Q^2 - 0,0163 \times Q - 47,1 = 0$$

$$Q_{\tau} = \frac{0,0163 + \sqrt{0,0163^2 + 4 \times 2,5 \times 10^{-4} \times 47,1}}{2 \times 2,5 \times 10^{-4}} \cong 467,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_s = 5 \times 10^{-5} \times 467,9^2 + 0,0005 \times 467,9 + 40 \Rightarrow H_s \cong 51,2 \text{ m}$$

$$\eta_B = -0,0007 \times 467,9^2 + 0,4593 \times 467,9 + 3,8627 \Rightarrow \eta_B \cong 65,52\%$$

$$N_{B_{\tau}} = \frac{\gamma \times Q_{\tau} \times H_{B_{\tau}}}{\eta_{B_{\tau}}} \Rightarrow N_B = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left( \frac{467,9}{3600} \right) \times 51,2}{0,6552}$$

$$N_{B_{\tau}} \cong 99355,2 \text{ W} \approx 99,4 \text{ kW}$$



Fechando parcialmente a válvula, mantemos as CCB fixas e alteramos a CCI, nesta situação observamos uma diminuição da potência nominal, que ocorreu pelo fato de ter um aumento do rendimento da bomba, isto porque o ponto de trabalho ficou a direita do rendimento máximo.



$$Q_a = 430 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{\text{Ba}} = -0,0002 \times 430^2 + 0,0168 \times 430 + 87,1 \cong 57,344\text{m}$$

$$\eta_{\text{Ba}} = -0,0007 \times 430^2 + 0,4593 \times 430 + 3,8627 \cong 71,9446\%$$

$$N_{\text{Ba}} = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left( \frac{430}{3600} \right) \times 57,344}{0,719446} \cong 93132,1\text{W} \approx 93,2\text{kW}$$

**“Segundo Brown (2.001), estima-se que de toda energia elétrica utilizada pela indústria, 65% seja destinada a motores elétricos e que, do montante relativo a esse percentual, 20% seja desperdiçado por mecanismos de controle (ex.: válvula)”. [Wladimir Rodrigues em seu artigo relacionado ao uso dos inversores de frequência]**

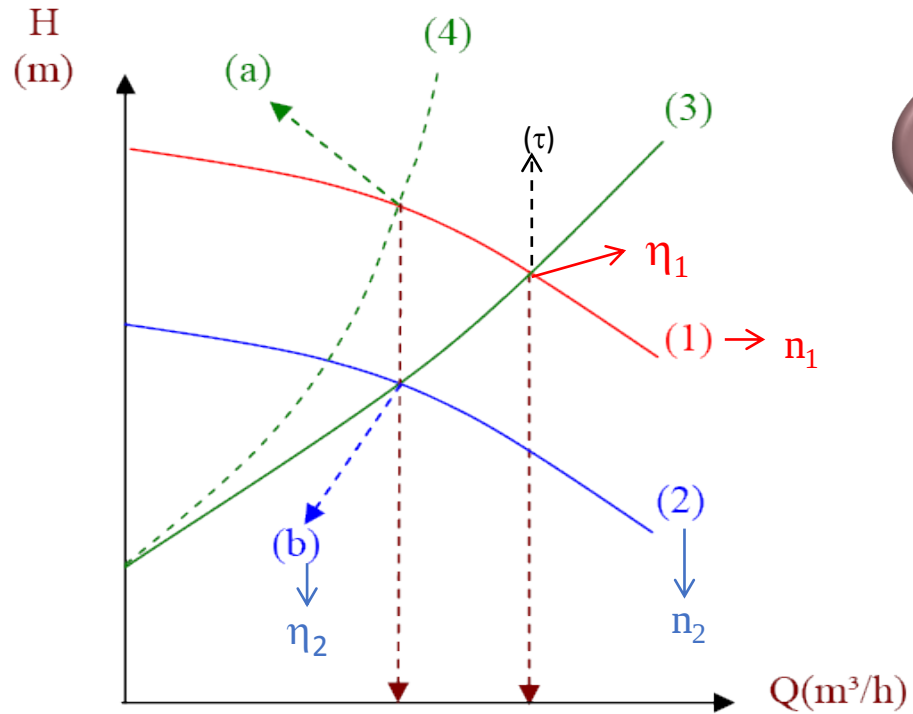


**E isso é um problema bastante sério!**



**E o inversor de frequência soluciona este problema?**

**Na utilização do inversor de frequência mantemos a CCI fixa e alteramos a curva da carga manométrica em função da vazão, isto porque alteramos a rotação da bomba.**



Já com o inversor a potência consumida diminui, porque ocorre tanto uma redução da vazão como a redução da carga manométrica, o rendimento  $\eta_2$  terá que ser calculado pela teoria da semelhança, pois apesar de ser próximo de  $\eta_1$  é diferente!

$n \rightarrow$  rotação síncrona

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

$f \rightarrow$  frequência

$p \rightarrow$  número de pólos

Pela análise dimensional e semelhança completa, temos:

$$H_2 = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \times H_1 \text{ e } Q_2 = \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \times Q_1$$



Portanto o uso do inversor  
de frequência é  
aconselhável



hidráulica

HD



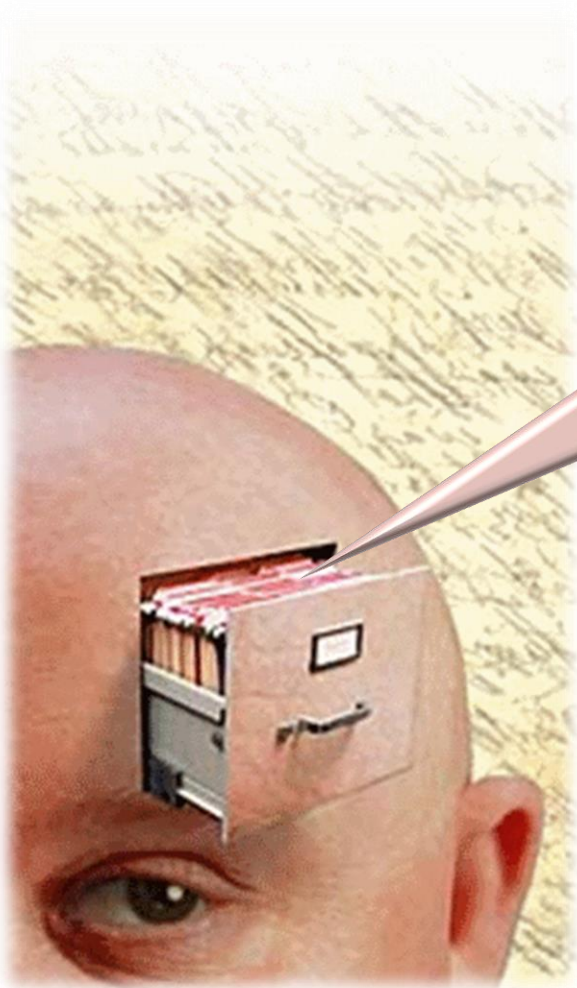
Vamos  
compreender o  
porque ..



mecânica dos fluidos

MF

**REFLEXÕES SOBRE O  
CONCEITO DE BOMBA  
HIDRÁULICA E SEUS  
ADIMENSIONAIS TÍPICOS!**



**POR QUE MUITAS DAS LITERATURAS  
QUE ESTUDAM AS BOMBAS  
HIDRÁULICAS AFIRMAM QUE ELA É  
UM DISPOSITIVO PROJETADO PARA  
FORNECER PRESSÃO PARA O  
FLUIDO?**



**A BOMBA HIDRÁULICA  
CERTAMENTE É UM  
DISPOSITIVO PROJETADO  
PARA FORNECER CARGA  
(ENERGIA POR UNIDADE DE  
PESO) PARA O FLUIDO.**



**Pela equação da energia aplicada entre a seção de entrada e saída da bomba, compreendemos isto:**

$$H_B = (z_s - z_e) + \left( \frac{p_s - p_e}{\gamma} \right) + \left( \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g} \right)$$

$$\left( \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g} \right) \geq 0 \Leftrightarrow (z_s - z_e) \geq 0 \Rightarrow \text{se diferente de zero são valores}$$

pequenos comparados com o valor de  $H_B$ , e isto garante que a bomba é feita

para fornecer pressão e neste caso temos que  $H_B \approx \frac{\Delta p}{\gamma}$

$$\left( \frac{v_s^2 - v_e^2}{2g} \right) = ?$$

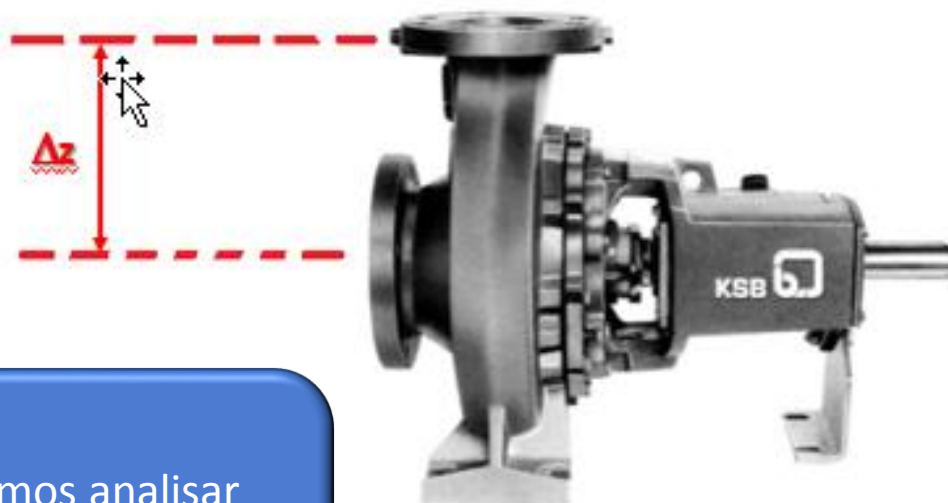
PARA DEMONSTRAR QUE  $H_B = \Delta p / \gamma$ , VOLTAMOS AO PROBLEMA  
<https://www.youtube.com/watch?v=DAkxlGmb6bE>

$$H_B = 50\text{m} \Rightarrow Q = 430 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$D_{\text{sução}} = D_N = 300\text{mm} \Rightarrow D_{\text{int}} = 319,53\text{mm} \therefore v_{\text{suc}} = \frac{4 \times \left( \frac{430}{3600} \right)}{\pi \times 0,31953^2} \cong 1,49 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

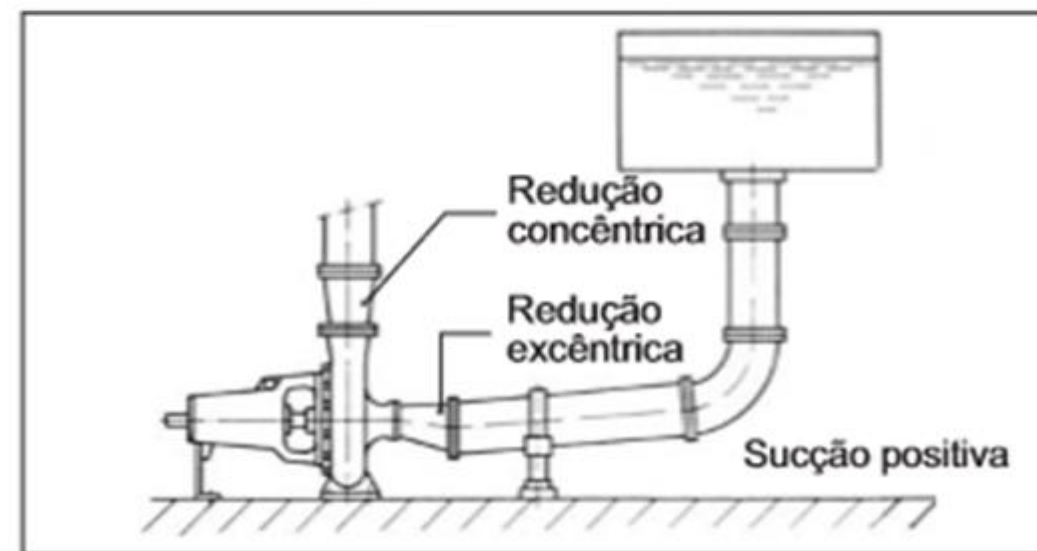
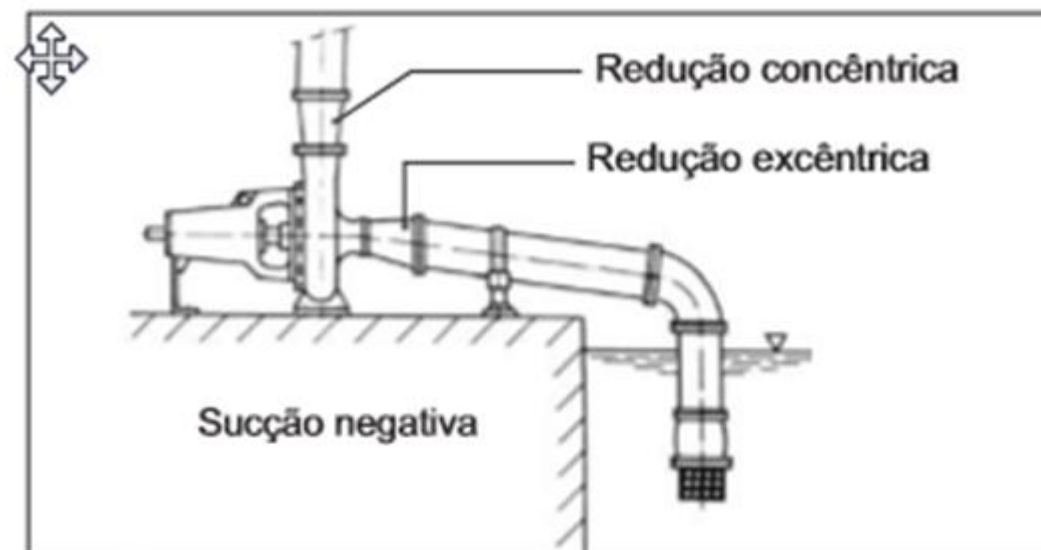
$$D_{\text{recalque}} = D_N = 250\text{mm} \Rightarrow D_{\text{int}} = 267,21\text{mm} \therefore v_{\text{rec}} = \frac{4 \times \left( \frac{430}{3600} \right)}{\pi \times 0,26721^2} \cong 2,13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

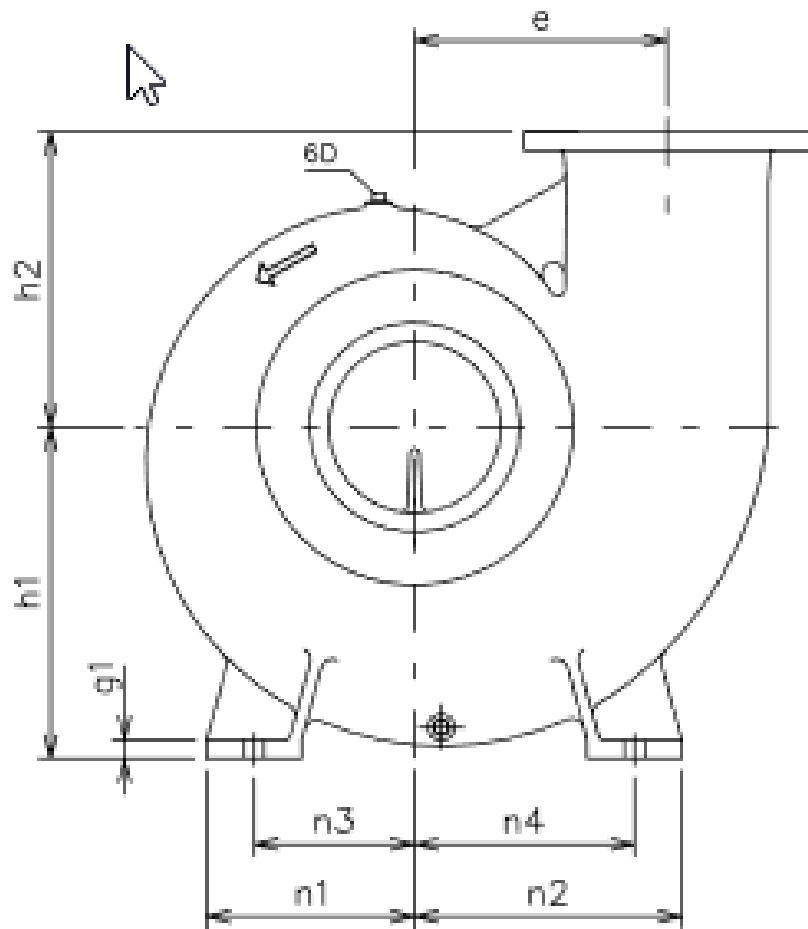
$$\frac{v_{\text{rec}}^2 - v_{\text{suc}}^2}{2g} = \frac{2,13^2 - 1,49^2}{19,6} \cong 0,1182\text{m} \therefore \cong 0,231\% \text{ de } 51,2\text{m}$$



Vamos analisar  
agora a variação da  
carga potencial

|                                             | <u>KSB</u> | <u>Meganorm</u> | <u>100 - 200</u> |
|---------------------------------------------|------------|-----------------|------------------|
| Marca                                       |            |                 |                  |
| Modelo                                      |            |                 |                  |
| Diâmetro Nominal do flange de Recalque (mm) |            |                 |                  |
| Diâmetro nominal do rotor (mm)              |            |                 |                  |





$0,25 \leq h_2 \leq 0,30\text{m} \therefore 0,49\% \leq \text{em relação ao } H_B = 51,2\text{m} \leq 0,586\%$



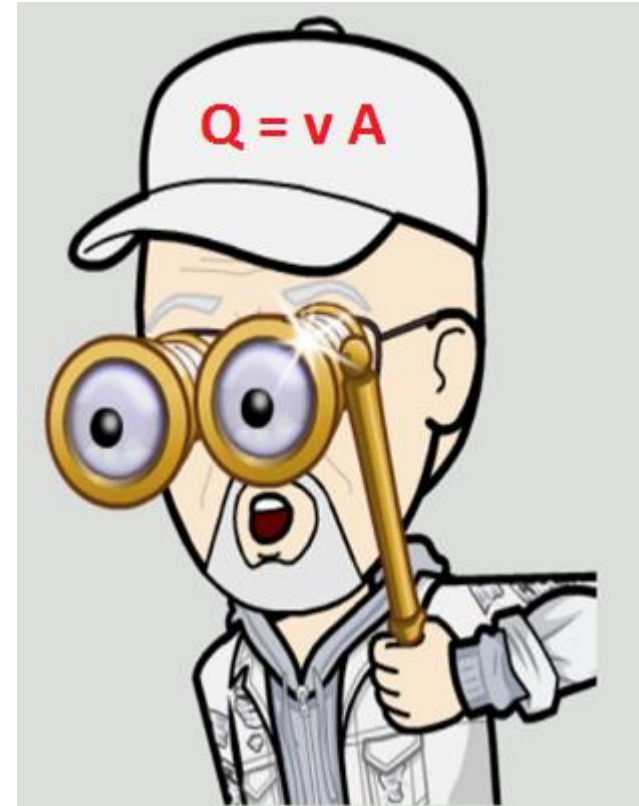
**PORTANTO NESTE CASO A SOMA DA  
VARIAÇÃO DA CARGA POTENCIAL  
MAIS A CARGA CINÉTICA FICA NA  
ORDEM DE 1% DA CARGA  
MANOMÉTRICA, PORTANTO FICA  
COMPROVADO QUE O  $H_B = 51,2\text{m}$  É  
PRATICAMENTE SÓ FORMADO POR  
 $\Delta p/\gamma$**

$$H_B \cong \left( \frac{p_s - p_e}{\gamma} \right) = \frac{\Delta p}{\gamma} \therefore \Delta p \cong \gamma \times H_B$$

A variação de pressão propiciada pela bomba será influenciada por diversas variáveis:

- $\rho$  = massa específica do fluido;
- $\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido;
- $n$  = rotação;
- $D_R$  = diâmetro do rotor;
- $Q$  = vazão;
- $N_B$  = potência mecânica ou potência da bomba.

$$\Delta p = f(\rho, \mu, n, D_R, Q, N_B)$$



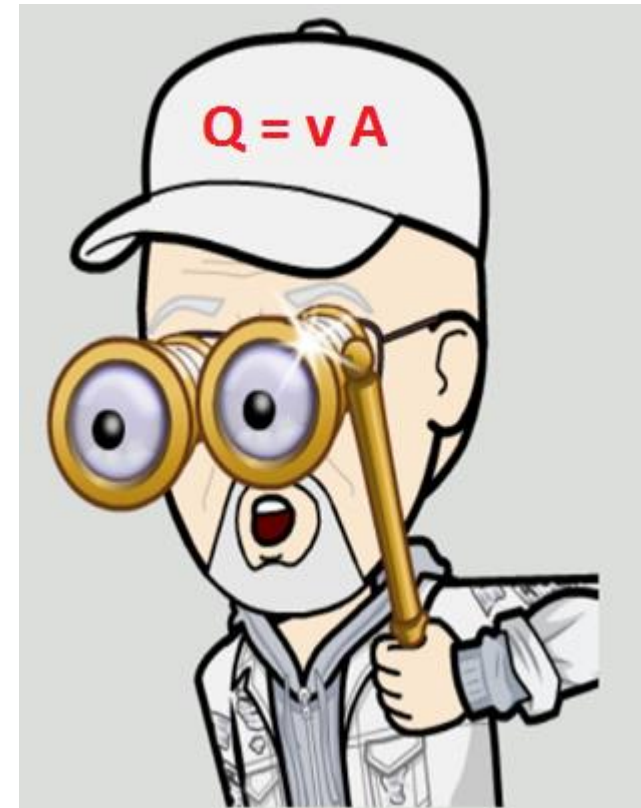
**Aplicando o teorema dos  $\pi$ , ou teorema de Buckingham, ou teorema de Vaschy-Buckingham adotando como base  $\rho n D_R$  resulta:**

$$\text{Re} \propto \frac{\rho n D_R^2}{\mu} \rightarrow \text{proporcional ao número de Reynolds}$$

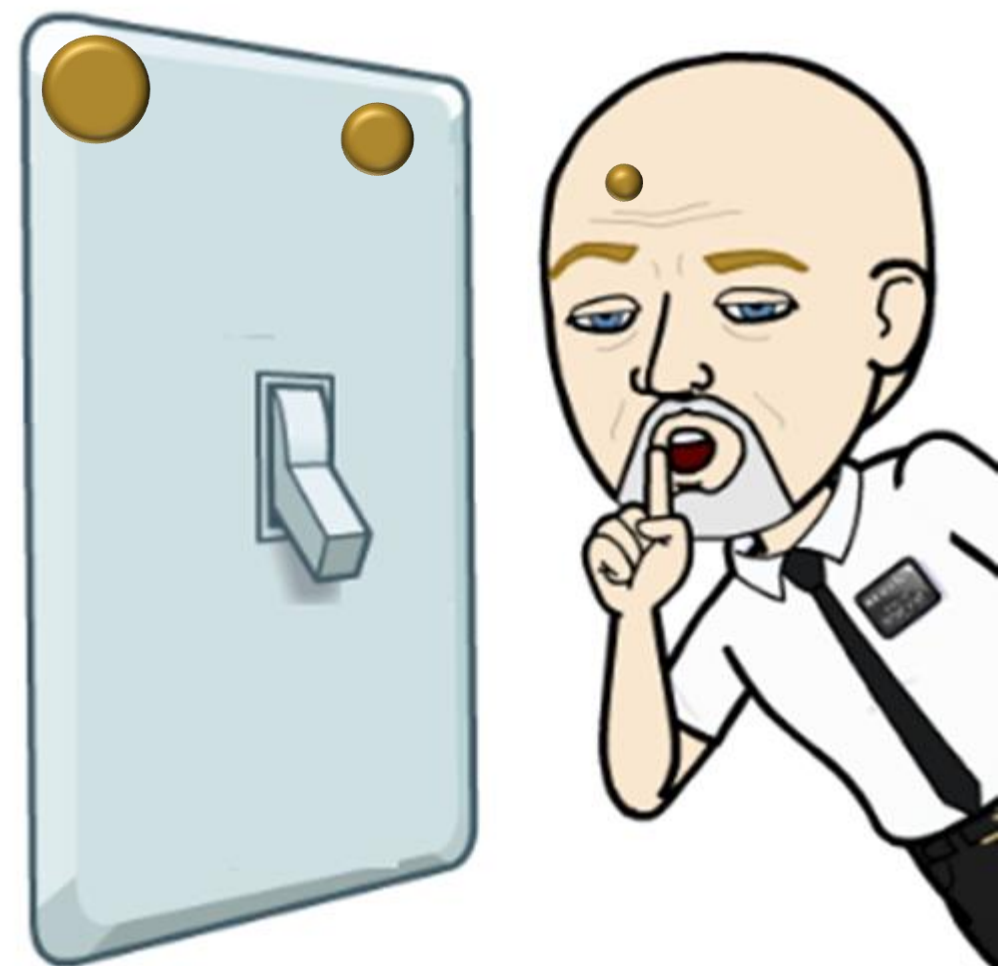
$$\Psi = \frac{g H_B}{n^2 D_R^2} \rightarrow \text{coeficiente manométrico}$$

$$\phi = \frac{Q}{n D_R^3} \rightarrow \text{coeficiente de vazão}$$

$$\chi = \frac{N_B}{\rho n^3 D_R^5} \rightarrow \text{coeficiente de potência}$$



Para o nosso caso a bomba é a mesma em ambas as possibilidades, portanto nenhuma dúvida em considerar que seja o caso de uma semelhança completa!





Para a semelhança completa, impomos as condições de semelhança:

$$\Psi_{\text{modelo}} = \Psi_{\text{protótipo}}$$

$$\phi_{\text{modelo}} = \phi_{\text{protótipo}}$$

$$\chi_{\text{modelo}} = \chi_{\text{protótipo}}$$

E o rendimento, será uma condição de semelhança?





Para responder o questionamento anterior, evoco a expressão para o cálculo do rendimento da bomba:

$$Q = \phi \times n \times D_R^3$$

$$g \times H_B = \psi \times n^2 \times D_R^2$$

$$N_B = \chi \times \rho \times n^3 \times D_R^5$$

$$\therefore \eta_B = \frac{\rho \times \phi \times n \times D_R^3 \times \psi \times n^2 \times D_R^2}{\chi \times \rho \times n^3 \times D_R^5}$$

$$\eta_B = \frac{\phi \times \psi}{\chi}$$

$$\eta_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{N_B}$$

Através dos adimensionais típicos das bombas hidráulicas, obtemos uma importante relação entre o rendimento da bomba e estes adimensionais

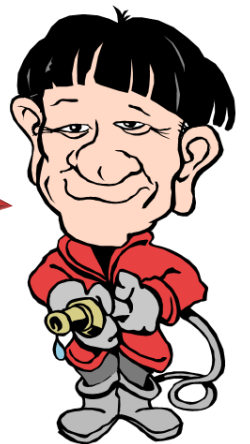




Como na condição de semelhança completa temos que:  $\Phi_m = \Phi_p$  ;  $\Psi_m = \Psi_p$  e  $\chi_m = \chi_p$  podemos concluir que também fará parte das condições de semelhança a igualdade entre os rendimentos das bombas, ou seja:  $\eta_m = \eta_p$ .

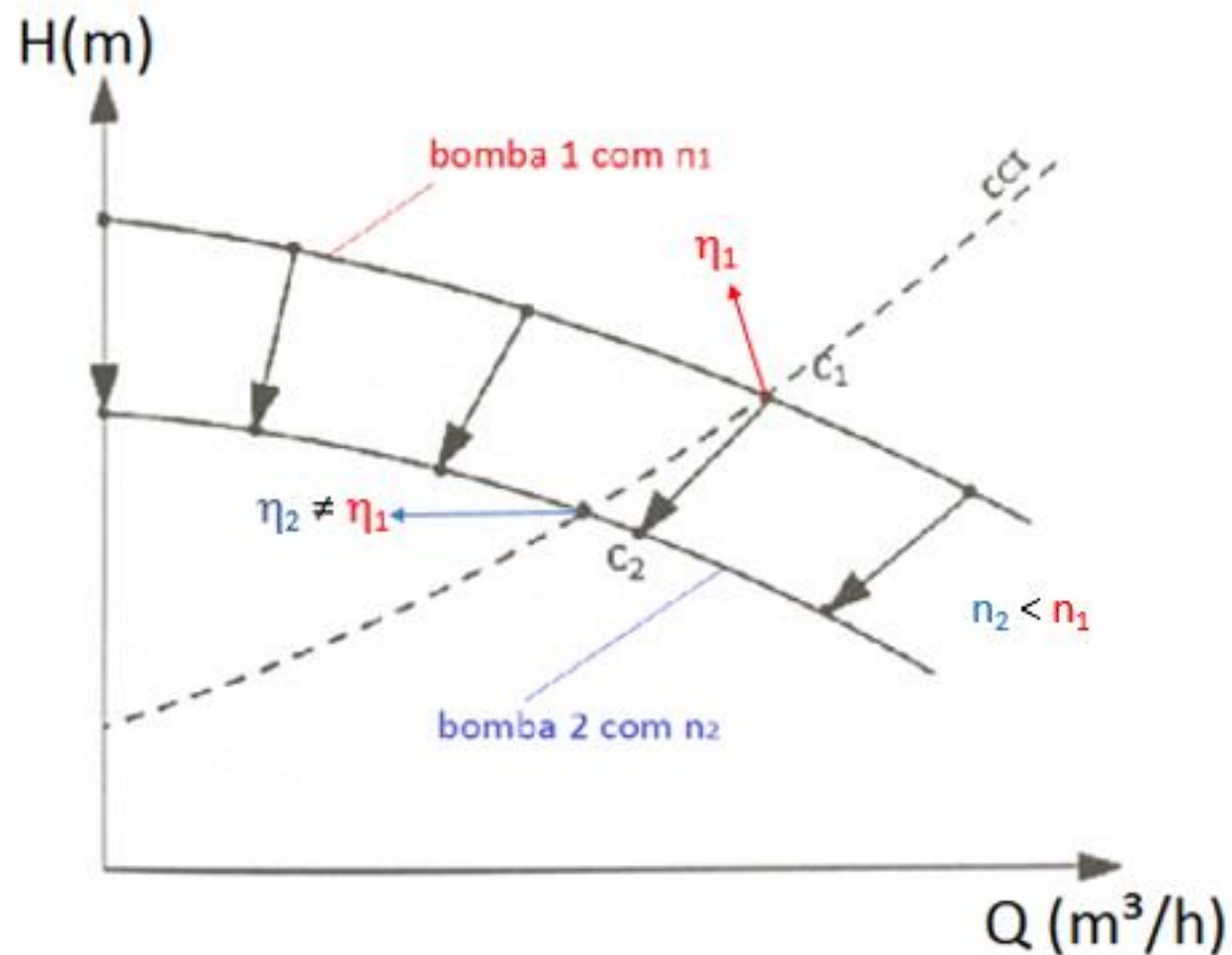
$$\eta_B = \frac{\phi \times \psi}{\chi}$$

Será que isso vale sempre?



$C_2$  seria o ponto de  
semelhança completa  
com  $C_1$ , ou seja onde os  
adimensionais,  
incluindo o rendimento,  
seriam iguais!

**NÃO!**



Na prática o rendimento pode sofrer variações tanto com a rotação como com o diâmetro do rotor. Para a variação da rotação essa correção pode ser feita introduzindo-se os rendimentos na equação de potência, considerando para isto o rendimento  $\eta_1$  em rotação nominal e o rendimento  $\eta_2$  para uma rotação qualquer, que pode ser obtido a partir da expressão empírica 1 (Macintyre, Archibald Joseph - Bombas e Instalações de Bombeamento - editado pela Guanabara Dois - segunda edição) a seguir. Comolet (1.961) também propôs uma outra expressão empírica para essa correção (equação 2) que geralmente é utilizada para água quente.

$$\eta_2 = 1 - \left[ (1 - \eta_1) \times \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^{0,1} \right] \rightarrow (1)$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1 - \eta_1) \times \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^{0,17}} \rightarrow (2)$$



GERALMENTE OS FABRICANTES DE BOMBA  
OPTAM POR MOTORES ELÉTRICOS DE  
CORRENTE ALTERNADAS, ASSÍNCRONOS, DE 2  
E 4 PÓLOS, MAIS BARATOS E DE USO COMUM  
NAS INDUSTRIAS.

PODEMOS CALCULAR A ROTAÇÃO PARA ESTAS  
DUAS OPÇÕES:

$$n = \frac{120 \times f}{p} \Rightarrow f \rightarrow \text{frequência e } p \rightarrow \text{número de pólos}$$

$$\therefore n = \frac{120 \times 60}{2} = 3600 \text{rpm} \rightarrow \text{rotação síncrona}$$

$$n = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{rpm} \rightarrow \text{rotação síncrona}$$



**Como os motores são assíncronos  
existe o escorregamento no  
acoplamento bomba motor e isto  
leva a se ter as rotações nominais, no  
caso de 3500 e 1750 rpm.**

$$n = \frac{120 \times 60}{2} = 3600 \text{rpm} \therefore \text{rotação assíncrona} \rightarrow n = 3500 \text{rpm}$$

$$n = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{rpm} \therefore \text{rotação assíncrona} \rightarrow n = 1750 \text{rpm}$$



**Antes de responder o questionamento desse encontro, vamos estudar e refletir sobre um problema similar!**

Os dados foram  
obtidos na bancada da  
sala E039 do Centro  
Universitário da FEI  
onde trabalhamos com  
o inversor de  
frequência.



Esta experiência será feita numa bancada que ficou pronta em Julho de 1999 e foi projetada e montada por um grupo de alunos que cursou a disciplina no primeiro semestre de 1998. Agradecemos aos ex-alunos: **Alexandre Martins Sousa** (*Mecânica – Automobilística*), **Fernando Augusto Callado** (*Mecânica – Produção*) e **Marcelo Dietrich Martini** (*Mecânica - Produção*), formados em Julho/2000, que deixaram esta contribuição para o curso, de grande valor didático. Agradecemos também a **Newtropic** que doou o variador de frequência e a **Mark** que fez a doação da bomba utilizada. A fábrica da **Mark** foi adquirida pela **Grundfos**, atual **Grundfos-Mark**.

O histórico deste projeto pode ser visto no site da disciplina, no endereço:

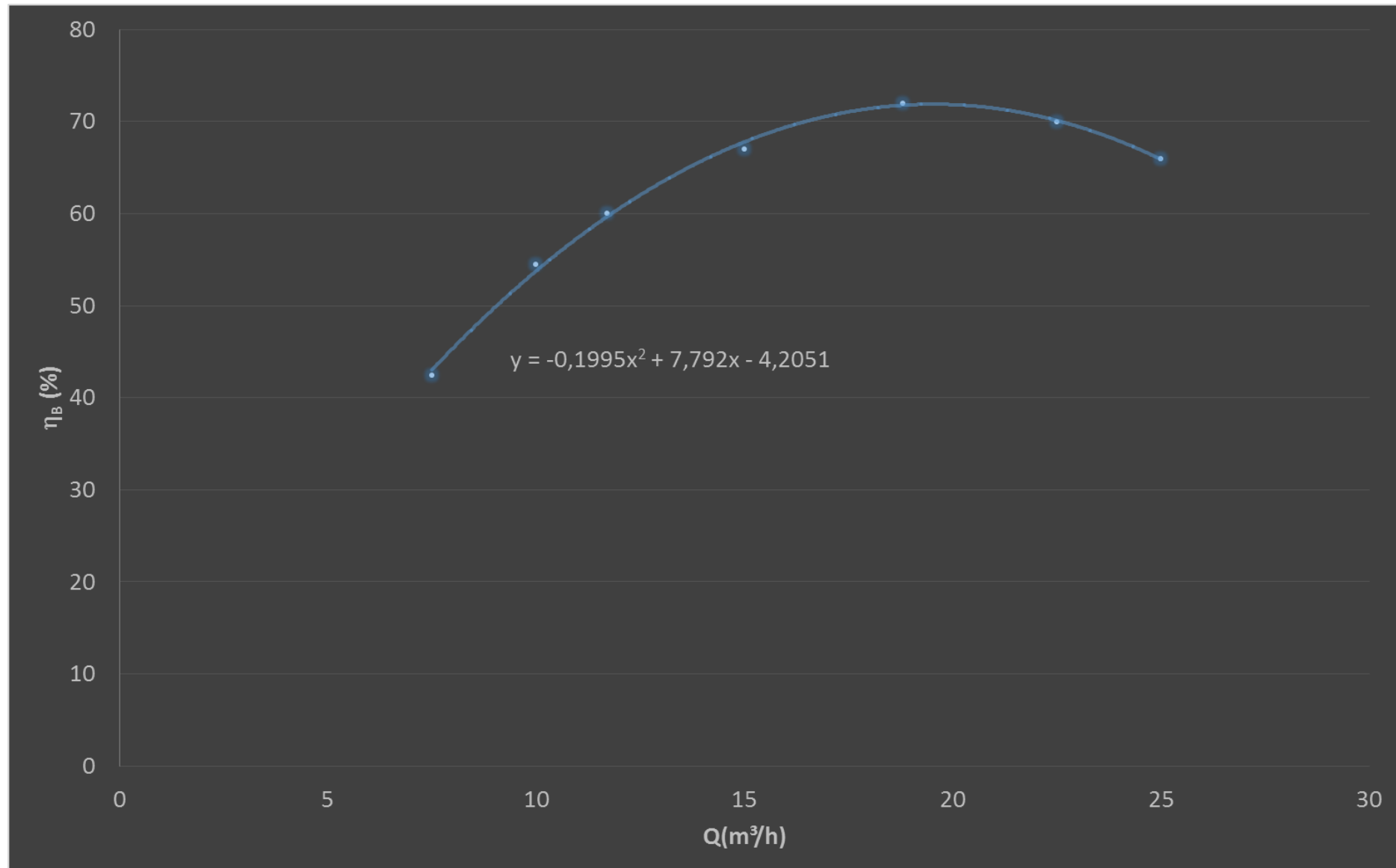
**<http://www.fei.edu.br/mecanica/SisFlu/projetoalunos.htm>**



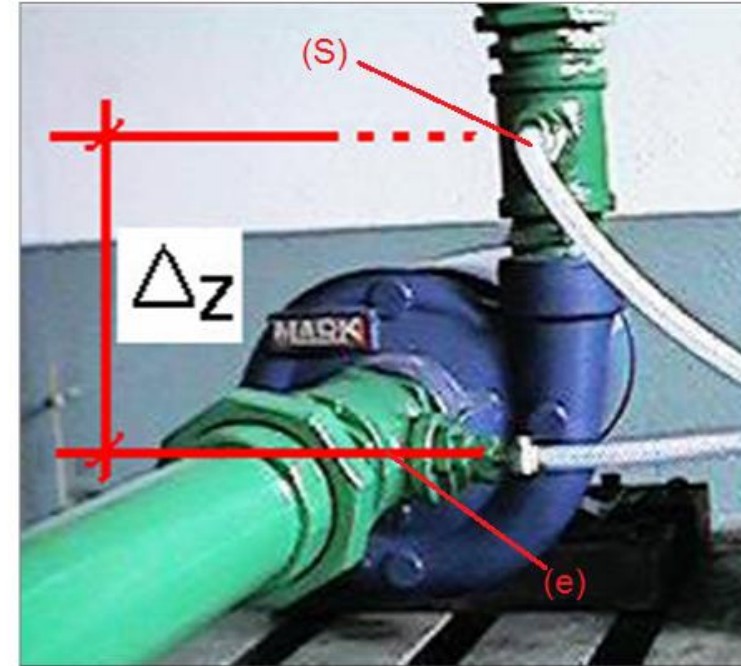
Ao construir as curvas  $H_b = f(Q)$  para 60 Hz e 50 Hz, vamos procurar comprovar que a utilização do inversor trará uma redução na potência consumida e para viabilizar isto no próximo slide é dada a curva do rendimento da bomba em função da vazão.

# Curva de Rendimento - DBC/MARK

3500rpm da MARK -  $\phi 105\text{mm}$



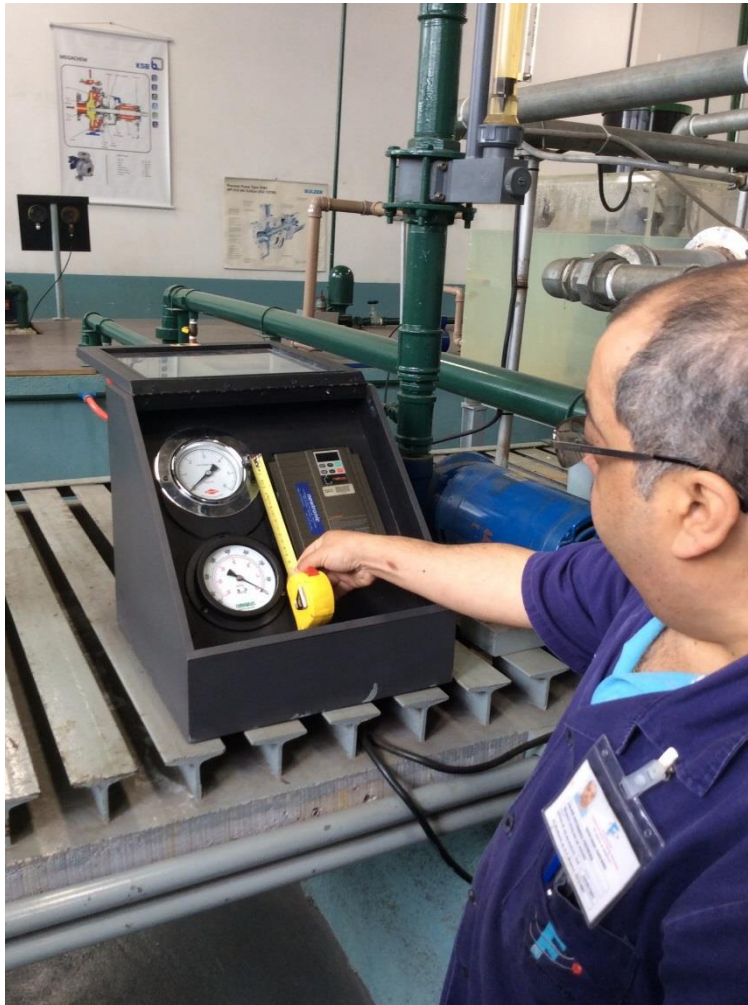
# Obtenção da carga manométrica



$$H_e + H_B = H_s \therefore H_B = (z_s - z_e) + \frac{p_s - p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2}{2g}$$

# Manômetros alinhados, portanto:

$$P_{m_e} = P_e \rightarrow P_{m_s} = P_s$$



# Calculando a $H_B$

$$H_B = (z_s - z_e) + \frac{p_{m_s} - p_{m_e}}{\gamma} + \frac{\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2}{2g} \rightarrow v = \frac{Q}{A}$$

(e)  $\rightarrow$  sucção  $\rightarrow$  2" aço 40  $\rightarrow D_{int} = 52,5\text{mm} \rightarrow A = 21,7\text{cm}^2$

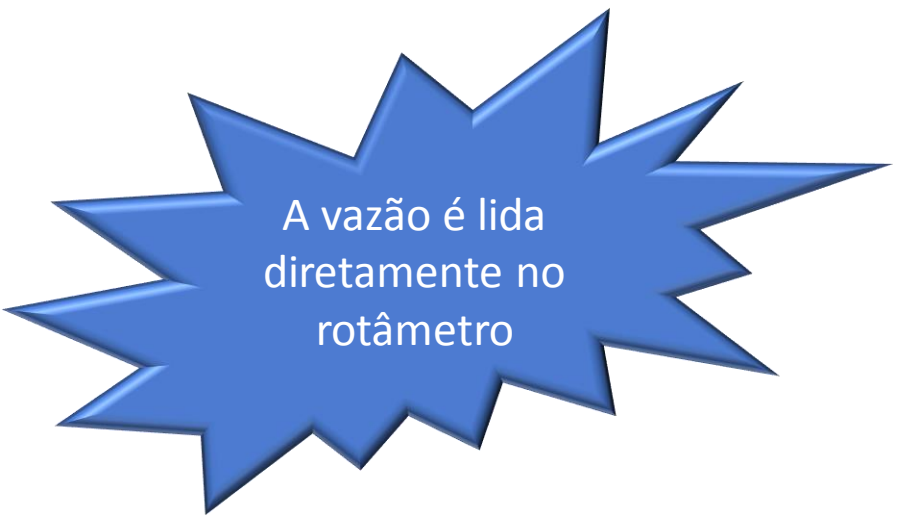
(s)  $\rightarrow$  recalque  $\rightarrow$  1,5" aço 40  $\rightarrow D_{int} = 40,8\text{mm} \rightarrow A = 13,1\text{cm}^2$

$$z_s - z_e = 15,5\text{cm}$$

$$1\text{mmHg} = 1 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 13600\text{Pa}$$

$$1\text{mmHg} = 133,28\text{Pa}$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 9,8 \times 10^4 \text{Pa}$$



A vazão é lida  
diretamente no  
rotâmetro

# Calculando a $H_B$

$$H_B = (z_s - z_e) + \frac{p_{m_s} - p_{m_e}}{\gamma} + \frac{\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2}{2g}$$

$$H_B = 0,155 + \frac{p_{m_s} \times 98000 - p_{m_e} \times 133,28}{998,2 \times 9,8} + \frac{1 \times v_s^2 - 1 \times v_e^2}{19,6}$$

| temperatura dos fluidos 20 <sup>0</sup> C |  |  |  | $\rho_{\text{água}}$  | $\rho_{\text{Hg}}$     | $g$                 | $V_{\text{água}}$     |                        |
|-------------------------------------------|--|--|--|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
|                                           |  |  |  | (kg/m <sup>3</sup> )  | (kg/m <sup>3</sup> )   | (m/s <sup>2</sup> ) | (m <sup>2</sup> /s)   |                        |
|                                           |  |  |  | 998,2                 | 13546                  | 9,8                 | 1,00E-06              |                        |
|                                           |  |  |  |                       |                        |                     |                       |                        |
|                                           |  |  |  |                       |                        |                     |                       |                        |
| dados da tubulações                       |  |  |  | Entrada               |                        |                     | Saída                 |                        |
|                                           |  |  |  | $D_{\text{int}}$ (mm) | $A$ (cm <sup>2</sup> ) |                     | $D_{\text{int}}$ (mm) | $A$ (cm <sup>2</sup> ) |
|                                           |  |  |  | 52,5                  | 21,7                   |                     | 40,8                  | 13,1                   |

# Exemplo de tabela de dados

| Experiência do inversor de frequência – primeira parte |        |                 |                 |       |                     |                 |                 |       |
|--------------------------------------------------------|--------|-----------------|-----------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Frequência de 60 Hz                                    |        |                 |                 |       | Frequência de 50 Hz |                 |                 |       |
|                                                        | Q      | p <sub>me</sub> | p <sub>ms</sub> | n     | Q                   | p <sub>me</sub> | p <sub>ms</sub> | n     |
| Ensaio                                                 | (m³/h) | (mmHg)          | (kgf/cm²)       | (rpm) | (m³/h)              | (mmHg)          | (kgf/cm²)       | (rpm) |
| 1                                                      | 0      | -30             | 2,5             | 3550  | 0                   | -30             | 1,7             | 2967  |
| 2                                                      | 5      | -90             | 2,5             | 3519  | 4,25                | -80             | 1,66            | 2946  |
| 3                                                      | 6,5    | -100            | 2,45            | 3514  | 5                   | -90             | 1,65            | 2944  |
| 4                                                      | 8      | -120            | 2,4             | 3509  | 6,5                 | -110            | 1,6             | 2941  |
| 5                                                      | 10     | -150            | 2,35            | 3504  | 8                   | -120            | 1,6             | 2937  |
| 6                                                      | 12,5   | -190            | 2,2             | 3493  | 10                  | -150            | 1,5             | 2931  |
| 7                                                      | 15,5   | -250            | 2               | 3485  | 12,5                | -200            | 1,35            | 2925  |
| 8                                                      | 17,5   | -300            | 1,8             | 3477  | 14,5                | -250            | 1,2             | 2921  |
| Frequência de 60 Hz                                    |        |                 |                 |       | Frequência de 50 Hz |                 |                 |       |

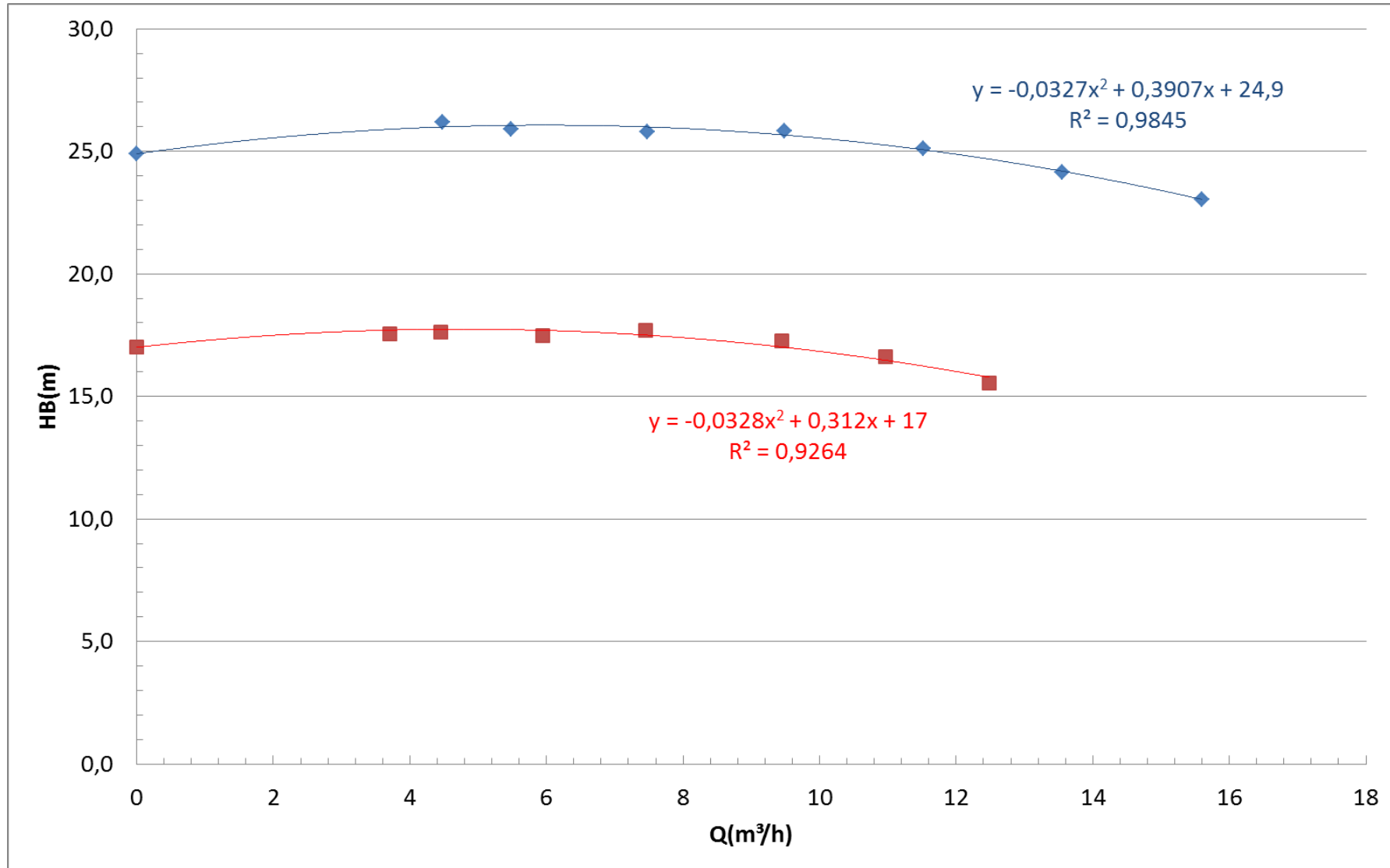
# Pelo Excel

| Frequência de 60 Hz |                  |                |                |                 | Frequência de 50 Hz |                |                |                 |
|---------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|
|                     | Q <sub>exp</sub> | v <sub>e</sub> | v <sub>s</sub> | Re <sub>e</sub> | Q <sub>exp</sub>    | v <sub>e</sub> | v <sub>s</sub> | Re <sub>e</sub> |
| Ensaio              | (m³/h)           | (m/s)          | (m/s)          |                 | (m³/h)              | (m/s)          | (m/s)          |                 |
| 1                   | 0                | 0              | 0              |                 | 0                   | 0              | 0              |                 |
| 2                   | 5                | 0,640          | 1,060          | 33468,3         | 4,25                | 0,544          | 0,901          | 28448,0         |
| 3                   | 6,5              | 0,832          | 1,4            | 43508,8         | 5                   | 0,640          | 1,060          | 33468,3         |
| 4                   | 8                | 1,024          | 1,7            | 53549,2         | 6,5                 | 0,832          | 1,4            | 43508,8         |
| 5                   | 10               | 1,3            | 2,1            | 66936,6         | 8                   | 1,024          | 1,7            | 53549,2         |
| 6                   | 12,5             | 1,6            | 2,7            | 83670,7         | 10                  | 1,3            | 2,1            | 66936,6         |
| 7                   | 15,5             | 2,0            | 3,3            | 103751,7        | 12,5                | 1,6            | 2,7            | 83670,7         |
| 8                   | 17,5             | 2,2            | 3,7            | 117139,0        | 14,5                | 1,9            | 3,1            | 97058,0         |

# Pelo Excel

| Frequência de 60 Hz |                  |                   |                   |                    | Frequência de 50 Hz |                   |                   |                    |
|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                     | Q <sub>exp</sub> | H <sub>Bexp</sub> | Q <sub>3500</sub> | H <sub>B3500</sub> | Q <sub>exp</sub>    | H <sub>Bexp</sub> | Q <sub>2916</sub> | H <sub>B2916</sub> |
| Ensaio              | (m³/h)           | (m)               | (m³/h)            | (m)                | (m³/h)              | (m)               | (m³/h)            | (m)                |
| 1                   | 0                | 25,6              | 0                 | 24,9               | 0                   | 17,6              | 0                 | 17,0               |
| 2                   | 4,5              | 26,5              | 4,5               | 26,2               | 3,75                | 17,9              | 3,7               | 17,5               |
| 3                   | 5,5              | 26,1              | 5,5               | 25,9               | 4,5                 | 18,0              | 4,5               | 17,6               |
| 4                   | 7,5              | 25,9              | 7,5               | 25,8               | 6                   | 17,8              | 5,9               | 17,5               |
| 5                   | 9,5              | 25,9              | 9,5               | 25,8               | 7,5                 | 18,0              | 7,4               | 17,7               |
| 6                   | 11,5             | 25,0              | 11,5              | 25,1               | 9,5                 | 17,5              | 9,5               | 17,3               |
| 7                   | 13,5             | 23,9              | 13,6              | 24,2               | 11                  | 16,7              | 11,0              | 16,6               |
| 8                   | 15,5             | 22,7              | 15,6              | 23,0               | 12,5                | 15,6              | 12,5              | 15,5               |

# Curvas obtidas através da experiência

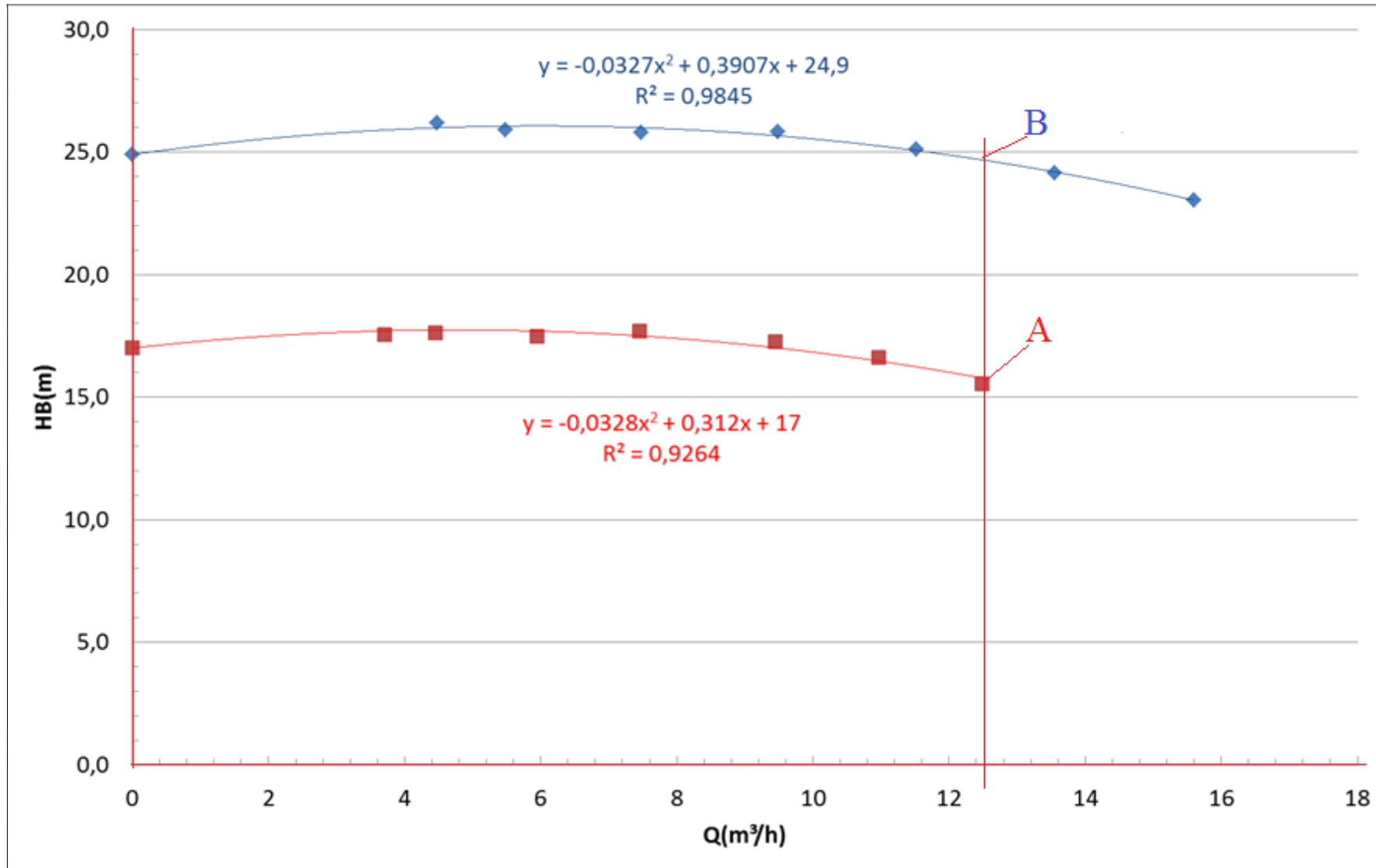




Neste ponto,  
calculamos a potência  
nominal da bomba  
tanto para 60 Hz  
(3500 rpm) como para  
50 Hz (2916 rpm), isto  
para a vazão máxima  
obtida em 50 Hz

Seriam os pontos A e  
B representados a  
seguir.

# Pontos para os cálculos das potências nominais da bomba a 60 e 50 Hz



O ponto B é obtido com a válvula controladora fechada parcialmente, já o ponto A é obtido com a válvula totalmente aberta!



$$Q_A = Q_B = 12,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_A} = 15,775 \text{m}$$

$$H_{B_B} = -0,0327 \times 12,5^2 + 0,3907 \times 12,5 + 24,9 \cong 24,7 \text{m}$$

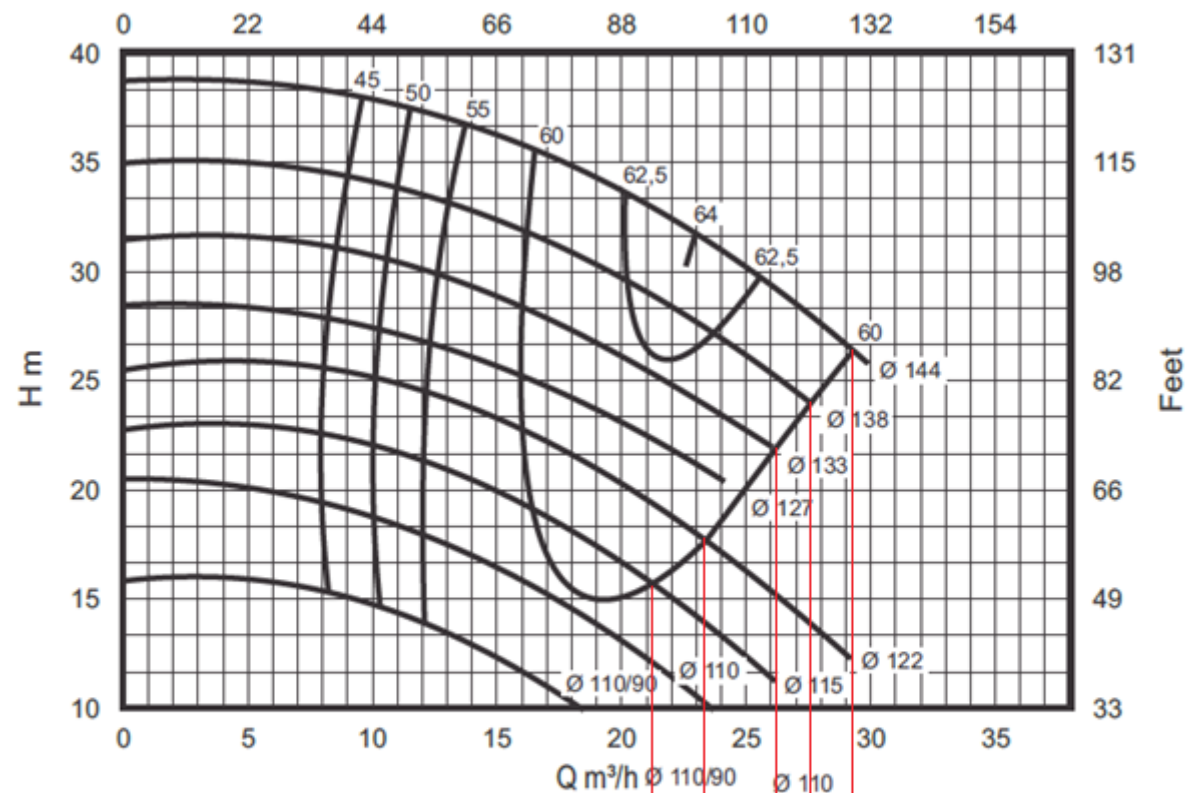
$$\eta_{B_B} = -0,1995 \times 12,5^2 + 7,792 \times 12,5 - 4,2051 \cong 62\%$$

$$N_{B_B} = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left( \frac{12,5}{3600} \right) \times 24,7}{0,62} \cong 1353,2 \text{W}$$

O rendimento do ponto B deve ser determinado com auxílio da análise dimensional



O gráfico ao lado fornecido pelo fabricante justifica o porque devemos recorrer a análise dimensional e calcular o rendimento do ponto B.



vazões diferentes para o mesmo rendimento



Recorremos ao coeficiente de vazão e obtemos a Q de 3500 rpm (60 Hz) que tem rendimento igual ao do ponto B.

$$\frac{Q_{B_{60\text{Hz}}}}{3500 \times D_R^3} = \frac{Q_{B_{50\text{Hz}}}}{2916 \times D_R^3}$$

$$Q_{B_{60\text{Hz}}} = 12,5 \times \frac{3500}{2916} \cong 15 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\eta_{B_B} = -0,1995 \times 15^2 + 7,792 \times 15 - 4,2051 \cong 67,8\% = \eta_{B_B}$$

$$N_{B_A} = \frac{998,2 \times 9,8 \times \left( \frac{12,5}{3600} \right) \times 15,775}{0,678} \cong 790,3\text{W}$$

Portanto ocorreu uma redução de cerca de 41,6% na potência nominal da bomba





A partir deste ponto deveríamos fazer uma análise financeira e ambiental, pois verificaríamos o tempo de amortização do investimento inicial na compra e instalação do inversor de frequência com a redução do custo da energia e aí entra também a parte ambiental.



Principalmente porque a geração de energia no Brasil em grande parte está alicerçada em hidroelétricas!

AGORA CALCULE A REDUÇÃO DA  
POTÊNCIA MECÂNICA DA BOMBA NA  
OBTENÇÃO DA VAZÃO DE  $430 \text{ m}^3/\text{h}$   
PELO INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM  
RELAÇÃO A SUA OBTENÇÃO COM O  
FECHAMENTO PARCIAL DA VÁLVULA  
GLOBO, ESPECIFIQUE TAMBÉM A  
FREQUÊNCIA IMPOSTA PELO  
INVERSOR NA VAZÃO DE  $430 \text{ m}^3/\text{h}$ .





**Quando não mais  
existir esperança  
nem confiança  
num mundo melhor,  
olhe para seu interior  
e verás  
que sua vida  
acabou ...  
Continue vivo...  
Este é o meu pedido  
(Raimundo Ferreira Ignácio)**