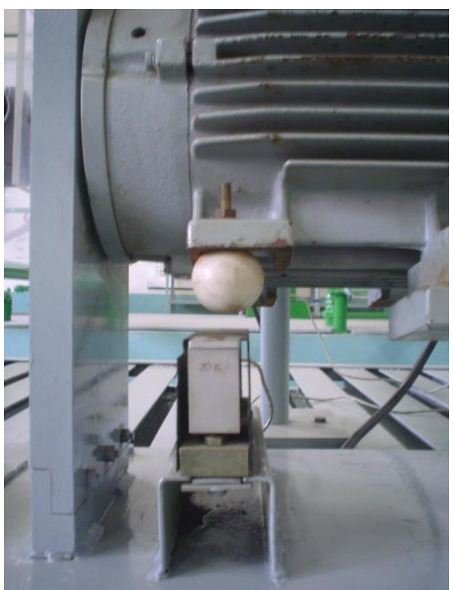
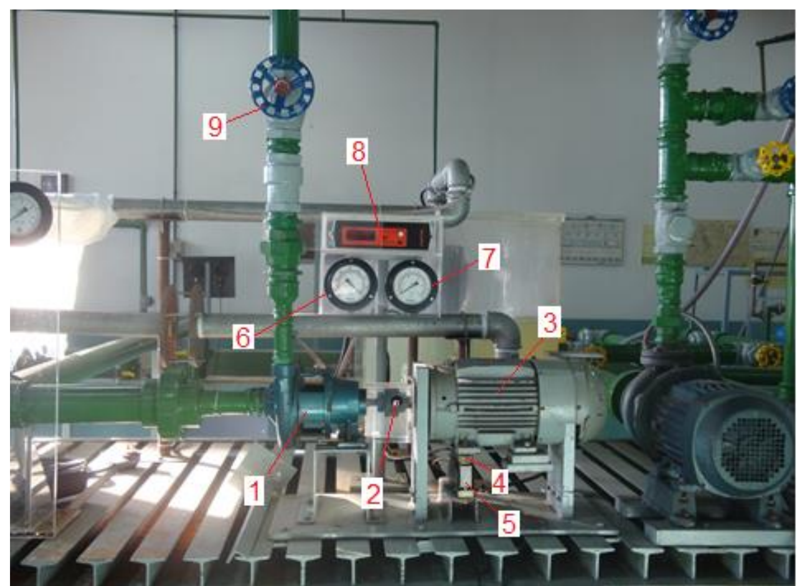
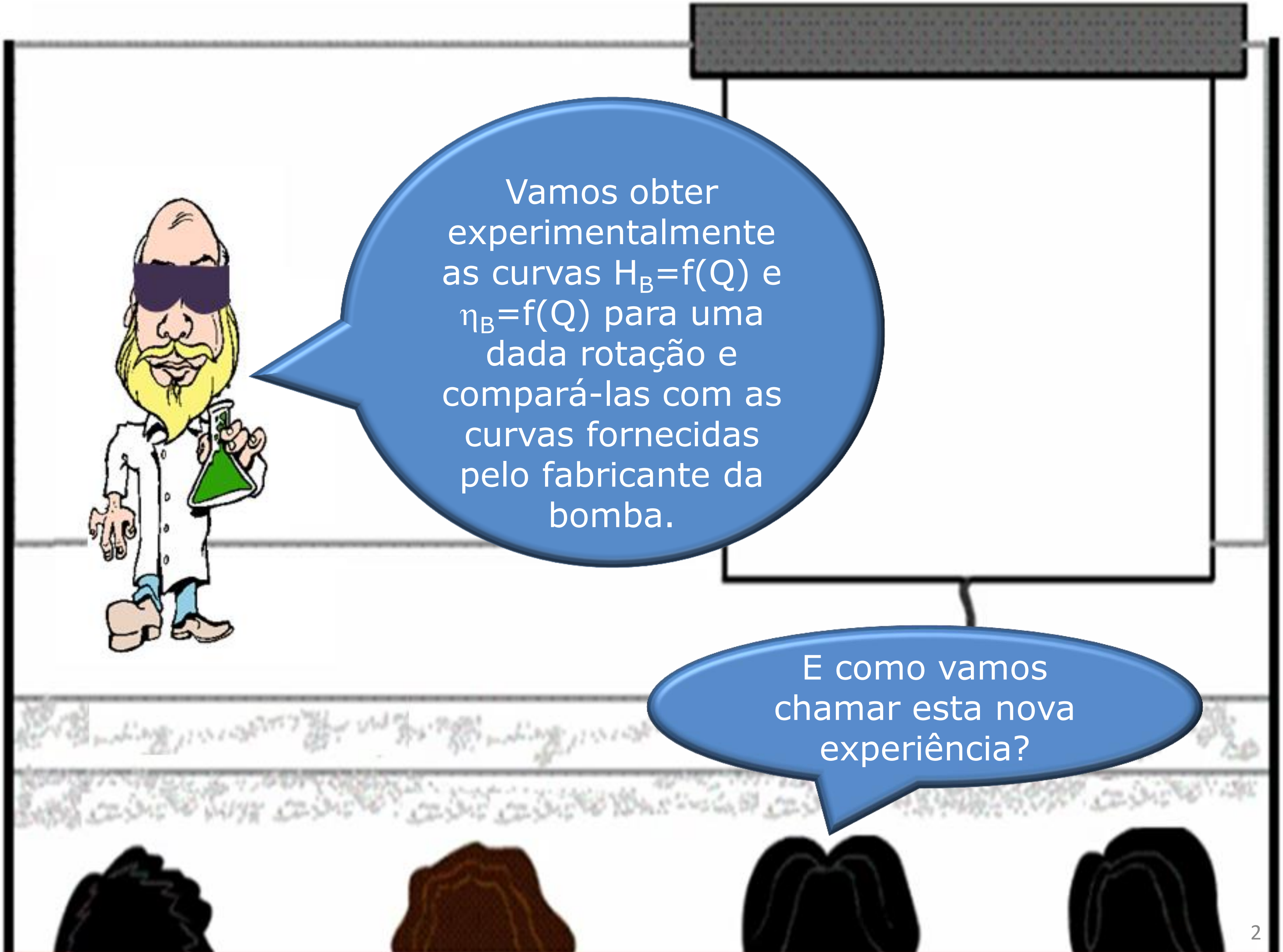
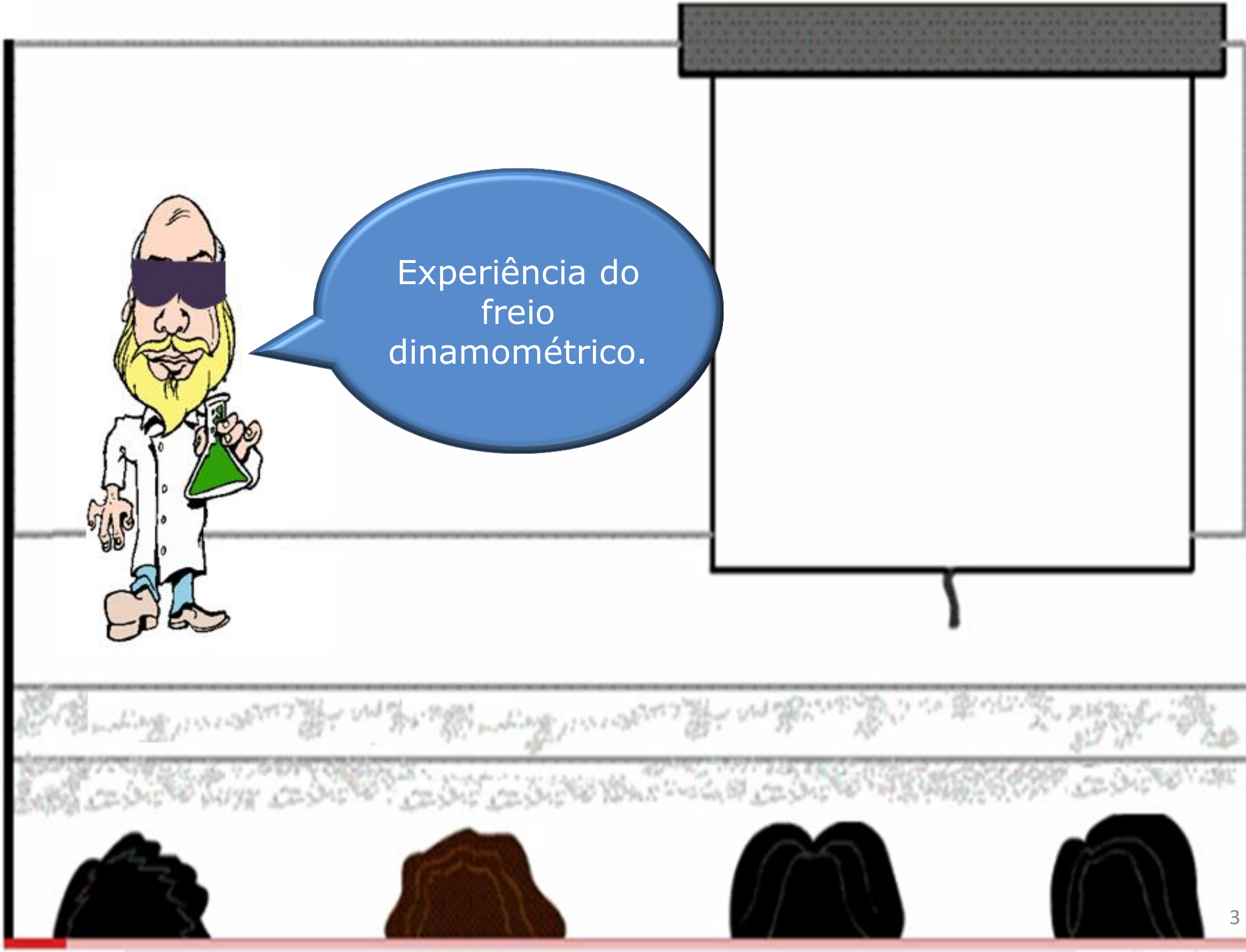
Quarta aula de laboratório de ME5330

Primeiro semestre de 2015





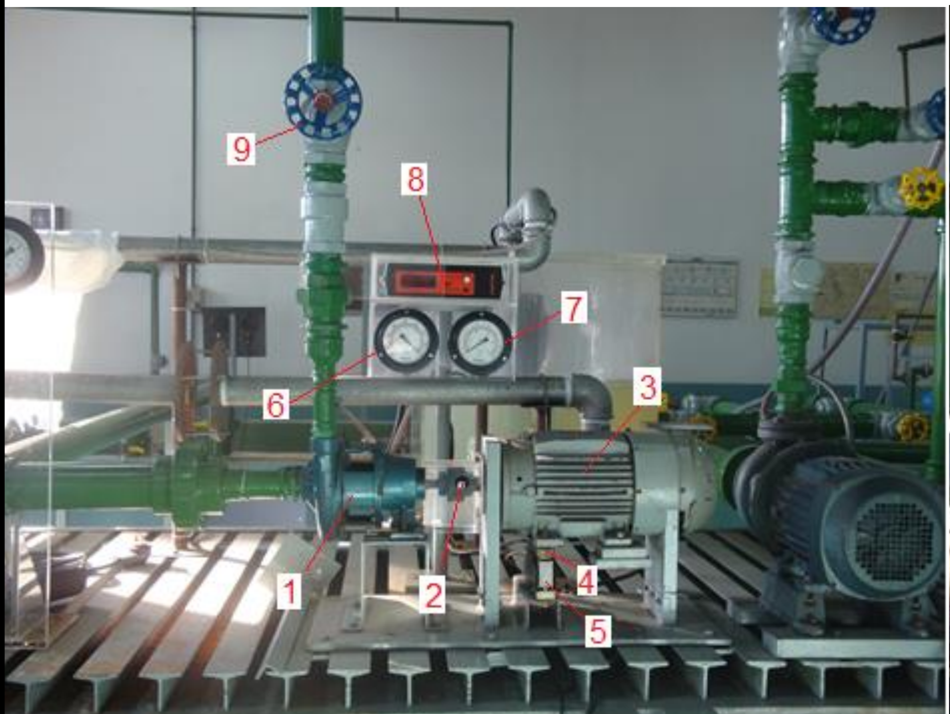

Vamos obter experimentalmente as curvas $H_B=f(Q)$ e $\eta_B=f(Q)$ para uma dada rotação e compará-las com as curvas fornecidas pelo fabricante da bomba.
E como vamos chamar esta nova experiência?


Experiência do freio dinamométrico.

Experiência do freio dinamométrico

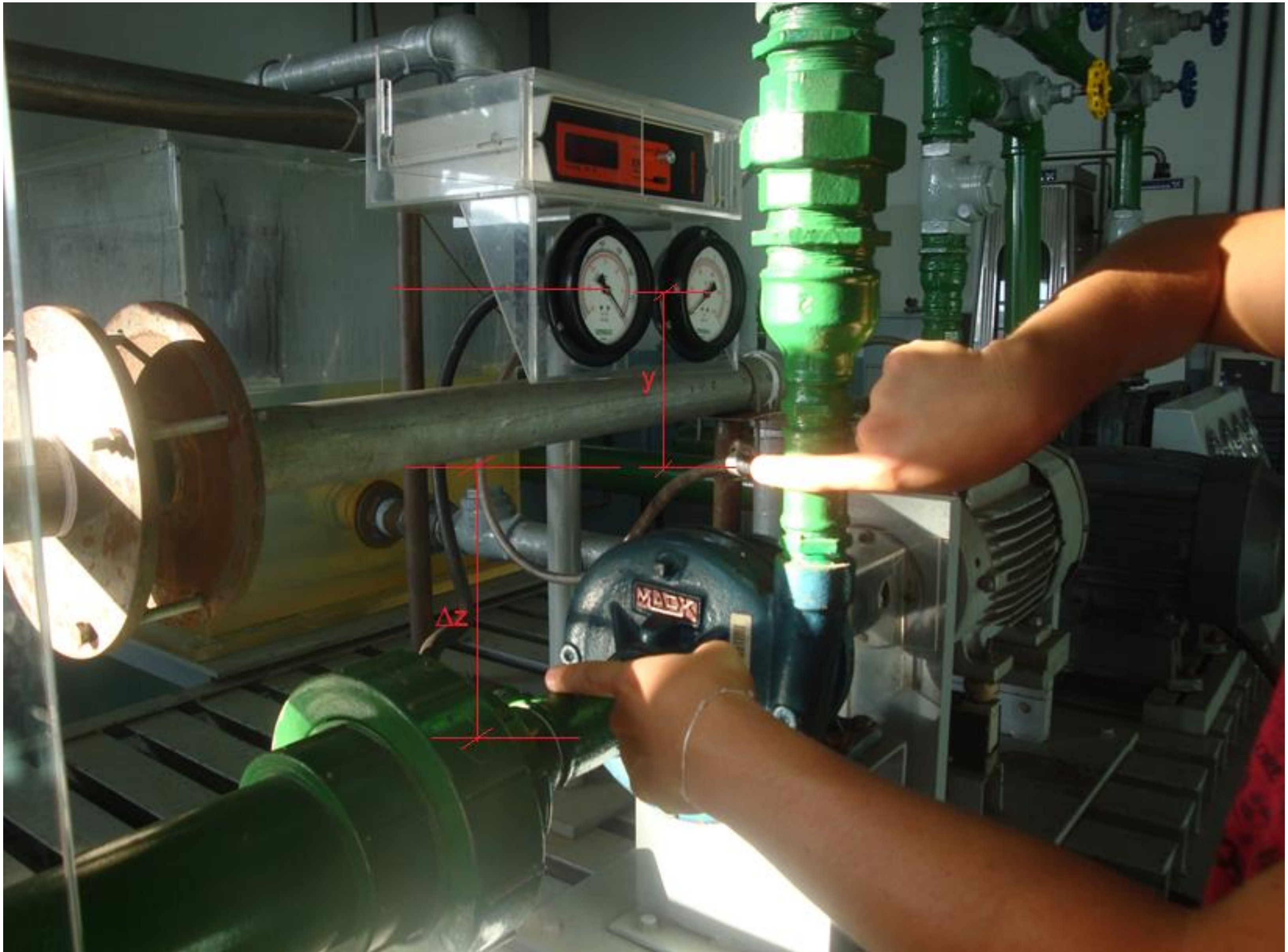
- **objetivos**
  - conhecer um freio dinamométrico
  - obter as curvas
    - HB = f(Q)
    - rendimento da bomba = f(Q)
- **aprender**
  - a calcular em uma dada rotação
    - vazão
    - carga manométrica
    - potência da bomba
    - rendimento da bomba
  - corrigir os cálculos acima para uma rotação n

Trecho da bancada utilizado nesta experiência

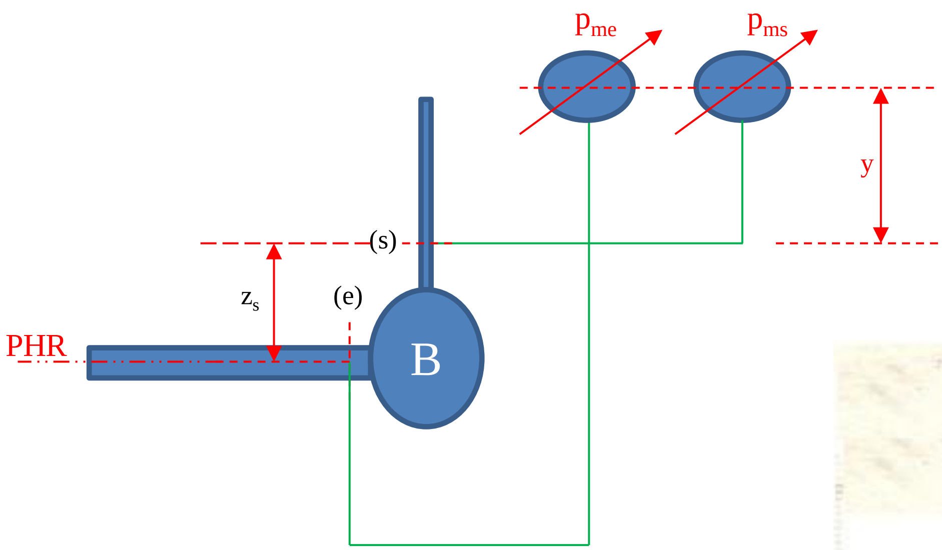


1 = bomba MARK de 4 CV	6 = manovacuômetro	10 = tubulação de sucção
2 = fita adesiva para det. n	7 = manômetro	11 = tubulação de recalque
3 = motor elétrico de 5 CV	8 = analisador Kratos	12 = tubulação de recalque
4 = esfera	9 = válv. globo para controlar a vazão (Q)	13 = tanque de distribuição
5 = célula de carga		14 = piezômetro p/ det. da Q

Visualizando a seção de entrada e saída da bomba e as cotas para corrigir as pressões manométricas para esta experiência.



Esquematicamente, temos:



Agora é só aplicar a equação da energia.

$$H_e + H_B = H_s$$

$$z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{\alpha_e \times v_e^2}{2g} + H_B = z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{\alpha_s \times v_s^2}{2g}$$

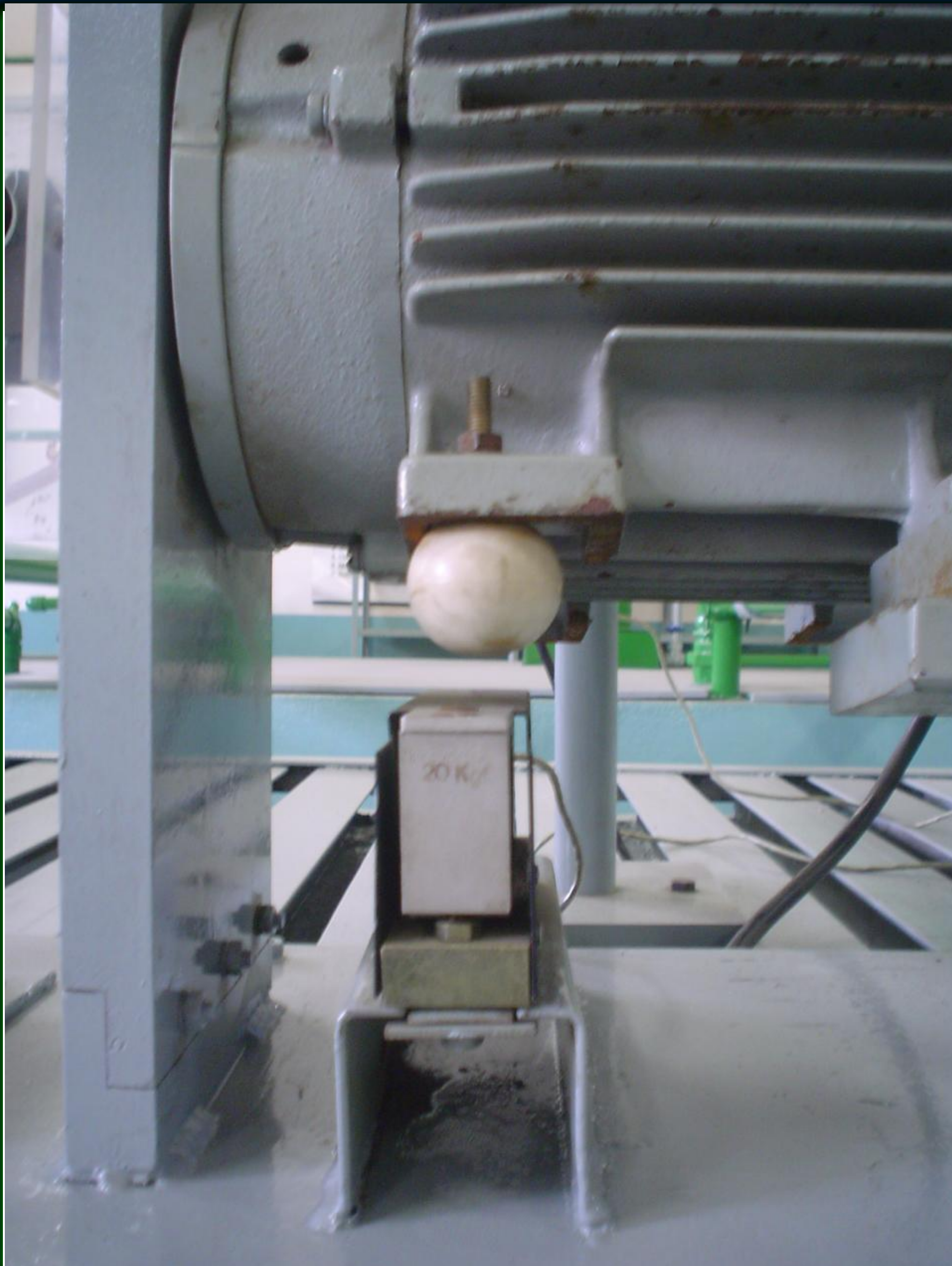
$$H_B = (z_s - z_e) + \left(\frac{p_s - p_e}{\gamma}\right) + \left(\frac{\alpha_s \times v_s^2 - \alpha_e \times v_e^2}{2g}\right)$$

$$\text{PHR no eixo da bomba} \Rightarrow z_s - z_e = z_s$$

$$p_s = p_{m_s} + y \times \gamma$$

$$p_e = p_{m_e} + y \times \gamma + z_s \times \gamma$$

$$\therefore H_B = \frac{p_{m_s} - p_{m_e}}{\gamma} + \left(\frac{\alpha_s \times v_s^2 - \alpha_e \times v_e^2}{2g}\right)$$



Ao acionar o conjunto motor bomba, olhando-o por trás, este girará no sentido horário, como a carcaça (estator) está solta, pelo princípio da ação e reação, ela tenderá a girar no sentido anti-horário e uma esfera presa em uma das “patas” do motor, pressionará uma célula de carga que irá registrar a força aplicada, já que a célula de carga está ligada a um analisador, no caso da Kratos.

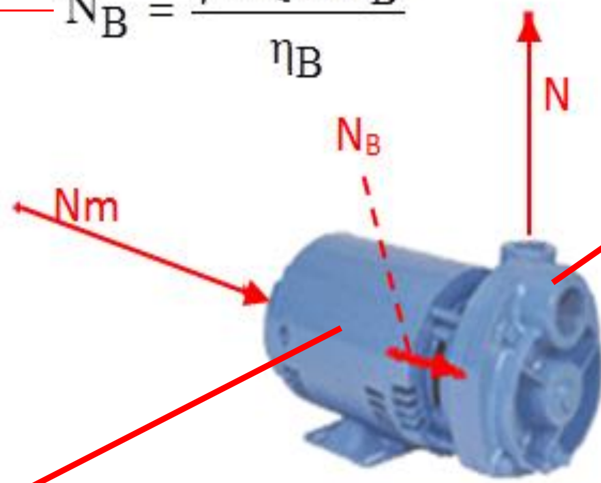
A foto a seguir mostra o registro de uma força pelo analisador da Kratos, registro feito em “**kgf**”.

hidráulica

$$N = \gamma \times Q \times H_B$$

mecânica

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

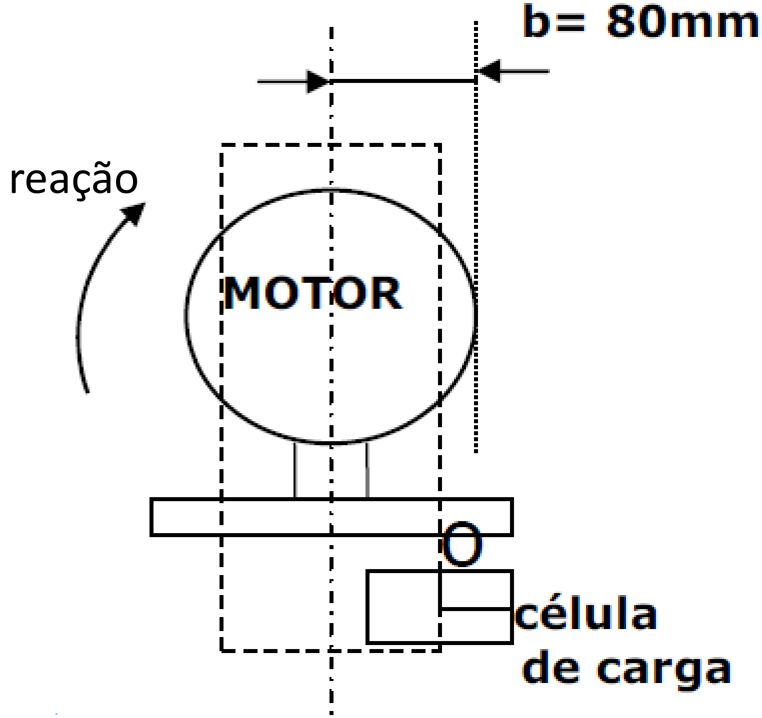


Bomba é o dispositivo que transforma potência mecânica em potência hidráulica!

Motor elétrico é o dispositivo que transforma potência elétrica em potência mecânica.

O slide a seguir mostra o cálculo da potência mecânica.

Através da força aplicada e registrada, além do torque, podemos calcular a potência da bomba (potência mecânica), já que:



Vista frontal do conjunto motor bomba

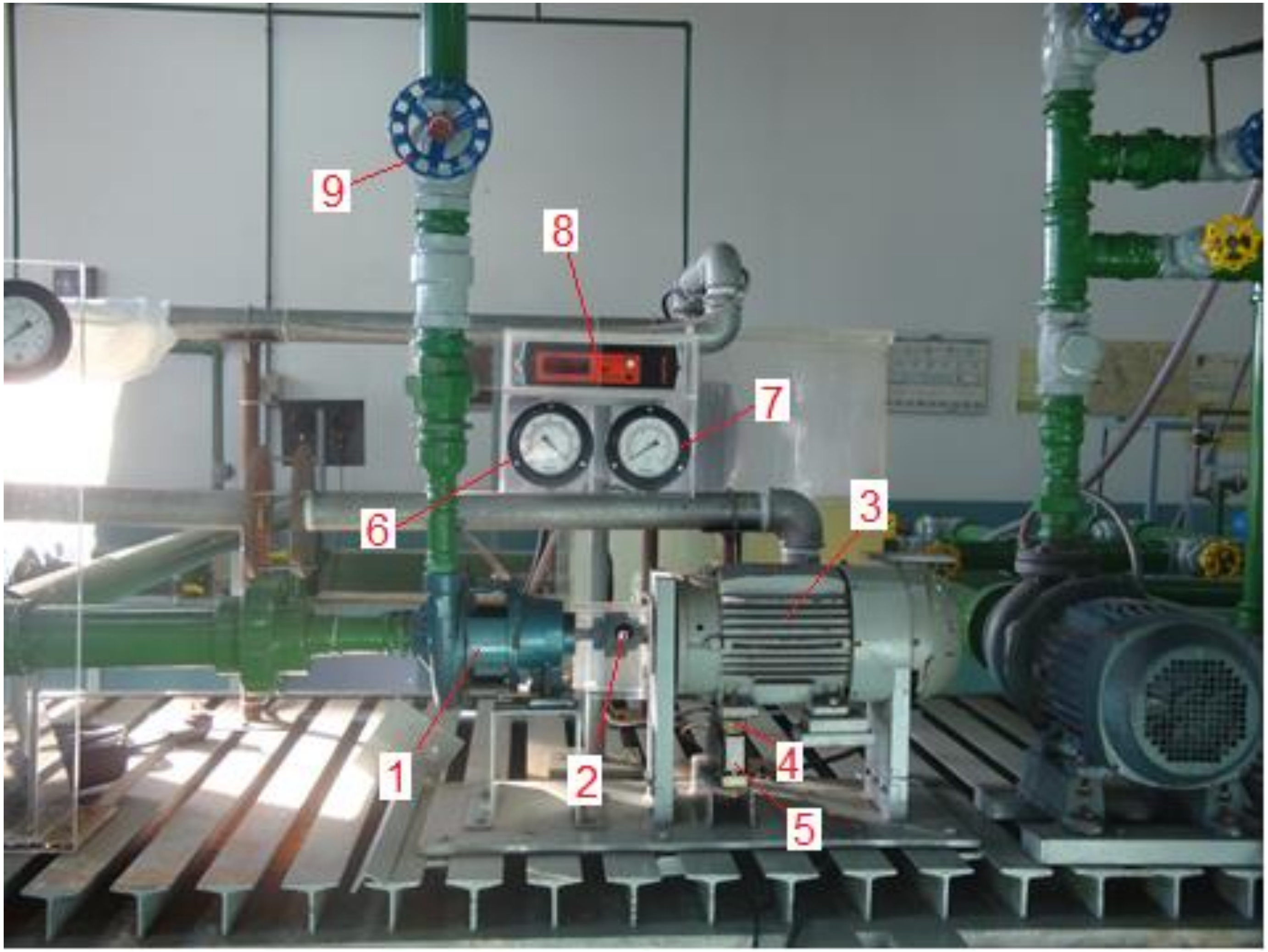
$$N_B = \text{Momento} \times \omega$$

$$N_B = F \times \text{braço} \times 2\pi \times n$$

$$[n] = \text{rps}$$

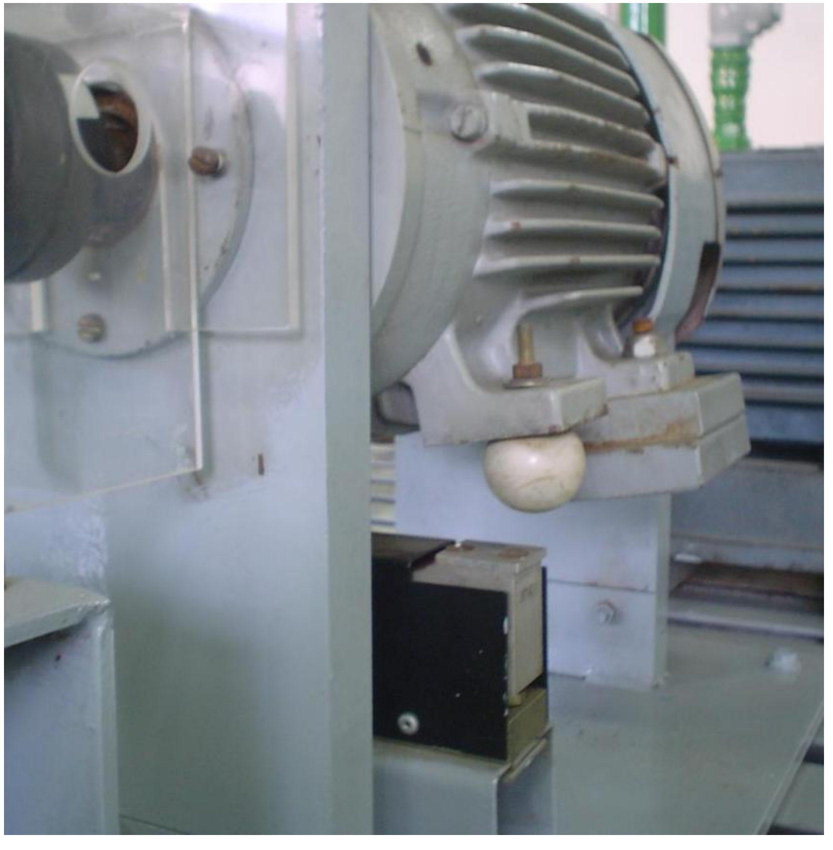
COMO ACHAR A ROTAÇÃO?

A rotação é obtida através de um tacômetro a laser, o qual é apontado para o adesivo branco = 2



Cuidado para não danificar o sistema

Se acionarmos o motor sem a esfera estar apoiada na célula de carga (analisador indicando zero), a mesma poderá ser danificada, por esse motivo, o acionamento do motor só deve ser feito após a esfera estar apoiada na célula de carga.



Não acionar o motor nessa situação

Acionar o motor só nessa situação

Desenvolvimento da experiência

Com a válvula controladora de vazão totalmente fechada se obtém as coordenadas do ponto de shut- off, para tal, deve-se anotar as pressões manométricas respectivamente na entrada e saída da bomba e a rotação do conjunto motor bomba. Observe que:

$$p_e = p_{me} + \gamma \times (y + z_s)$$

$$p_s = p_{ms} + \gamma \times y \therefore p_s - p_e = p_{ms} - p_{me} - \gamma \times z_s$$

$$\frac{p_s - p_e}{\gamma} = \frac{p_{ms} - p_{me}}{\gamma} - z_s$$

Aplica-se a equação da energia entre as seções de entrada e saída da bomba com o PHR no eixo da bomba:

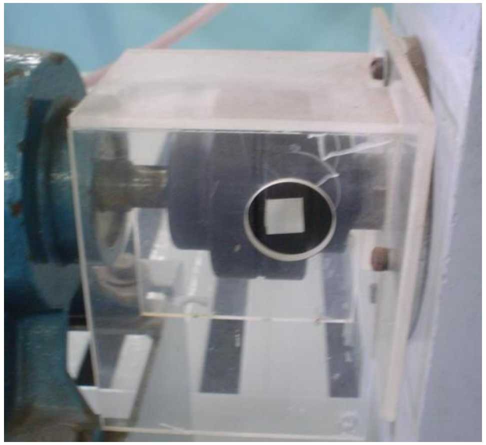
$$H_e + H_B = H_s$$

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

$$Q = 0 \rightarrow \text{shut} - \text{off} \rightarrow v_s = v_e = 0$$

$$\therefore H_B = z_s + \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma} - z_s = \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma}$$

Não esquecer de registrar a rotação.



Após as leituras de p_{ms}, p_{me} e da n para Q=0, deve-se abrir totalmente a válvula controladora da vazão (último ensaio) e para essa situação efetuar a leitura do Δh (mm), t(s), p_{me}, p_{ms} e n.

A seção de entrada e a de saída, pertencem a tubos de aço 40 com diâmetros nominais de 1,5” e 1” respectivamente.

$$H_B = \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma} + \frac{(\alpha_s v_s^2 - \alpha_e v_e^2)}{2g}$$

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tan que}}}{t} \rightarrow A_{\text{tan que}} = 0{,}681\,m^2$$

$$(e) \rightarrow D_{int} = 40{,}8mm \Rightarrow A = 13{,}1cm^2 \rightarrow (s) \rightarrow D_{int} = 26{,}6mm \Rightarrow A = 5{,}57cm^2$$

Adotando: $\alpha_s = \alpha_e = 1{,}0$

temos: $H_B = \frac{(p_{ms} - p_{me})}{\gamma} + \frac{(v_s^2 - v_e^2)}{2g}$

com: $v_s = \frac{Q}{A_s} \rightarrow v_e = \frac{Q}{A_e}$

Determina-se a potência e o rendimento da bomba para uma rotação n, que é lida no tacômetro a laser:

$$N_B = \text{Momento} \times \omega = F \times \text{braço} \times 2\pi \times n$$

$$[n] = \text{rps}$$

$$\text{braço} = 0{,}08\text{m}$$

$$\eta_B = \frac{N}{N_B} = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{F \times \text{braço} \times 2\pi \times n}$$

Fechando-se planejadamente a válvula controladora de vazão, obtemos as demais leituras que originarão a tabela de dados:

Ensaio	Δh (mm)	t(s)	p_{me} (mmHg)	p_{ms} (kPa)	F (kgf)	n (rpm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Temperatura d'água: ……………^{0}C

Tabela de dados

Não se pode esquecer de se corrigir a vazão (Q), a carga manométrica (H_B), e o rendimento da bomba (η_B) para uma rotação estabelecida, por exemplo 3500 rpm.

Correções

$$Q_{3500} = \left(\frac{3500}{n_{lida}}\right) \times Q_{exp\,erimental}$$

$$H_{B_{3500}} = \left(\frac{3500}{n_{lida}}\right)^2 \times H_{B_{exp\,erimental}}$$

$$\eta_{B_{3500}} = \eta_{B_{exp\,erimental}}$$

Considerando que a rotação altera o rendimento, podemos recorrer a equação a seguir para calculá-lo:

$$\eta_{B_{3500}} = 1 - (1 - \eta_{B_{experimental}}) \left(\frac{n_{lido}}{3500} \right)^{0,1}$$

Equação obtida no livro: Bombas e Instalações de Bombeamento - Archibald Joseph Macintyre - Livros Téc. e Cient. Editora 2008- segunda edição revisada - ISBN 978-85-216-1086-1 – página 126

CCB fornecida pelo fabricante da bomba utilizada nesta experiência!

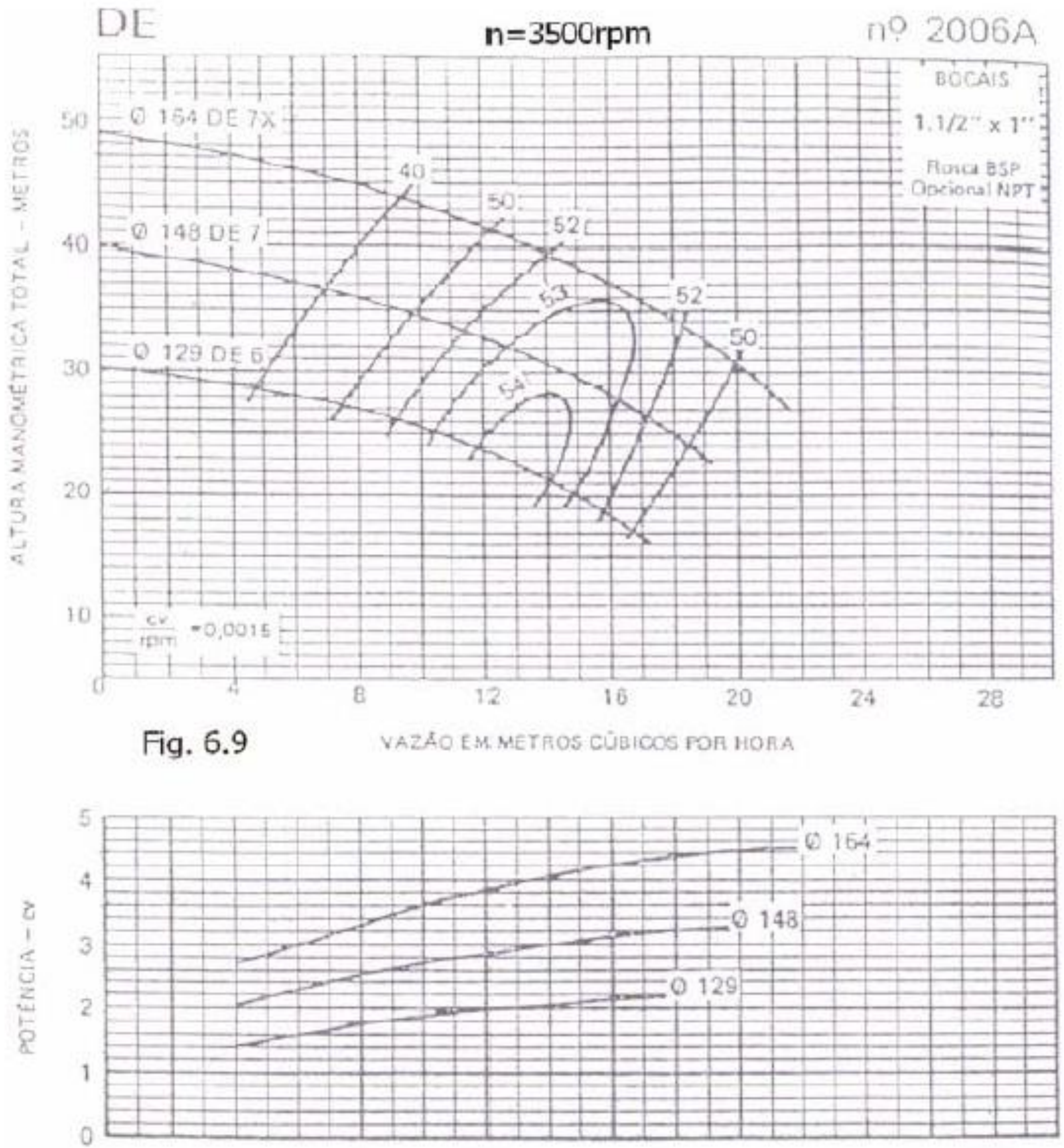


Fig. 6.9

Exemplo de dados obtidos na bancada:

Equipe	Δh (mm)	t(s)	p_{me} (mmHg)	p_{ms} (kgf/cm²)	F (kgf)	n (rpm)
1			-80	5,1	3,64	3571
2	100	27,13	-135	4,5	7,09	3539
3	100	18,35	-205	3,8	8,42	3525
4	100	14,41	-245	3,1	9,24	3515
5	100	13,75	-295	2,4	9,69	3510
6	100	12,57	-340	1,7	10,17	3505
7	100	11,53	-350	1	11,18	3513

Temperatura d'água: 20 ^{0}C

Exemplo de tabela de dados