



Após a obtenção da curva $H_S=f(Q)$, vamos procurar também obter as curvas $H_B=f(Q)$ e $\eta_B=f(Q)$ em uma outra bancada de laboratório!

E como vamos chamar esta nova experiência?

Experiência do freio dinamométrico

objetivos

conhecer um freio dinamométrico

$$HB = f(Q)$$

obter as curvas

$$\text{rendimento da bomba} = f(Q)$$



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

2 = fita adesiva para det. n

3 = motor elétrico de 5 CV

4 = esfera

5 = célula de carga

6 = manovacuômetro

7 = manômetro

8 = analisador Kratos

9 = válv. globo para controlar a vazão (Q)

10 = tubulação de sucção

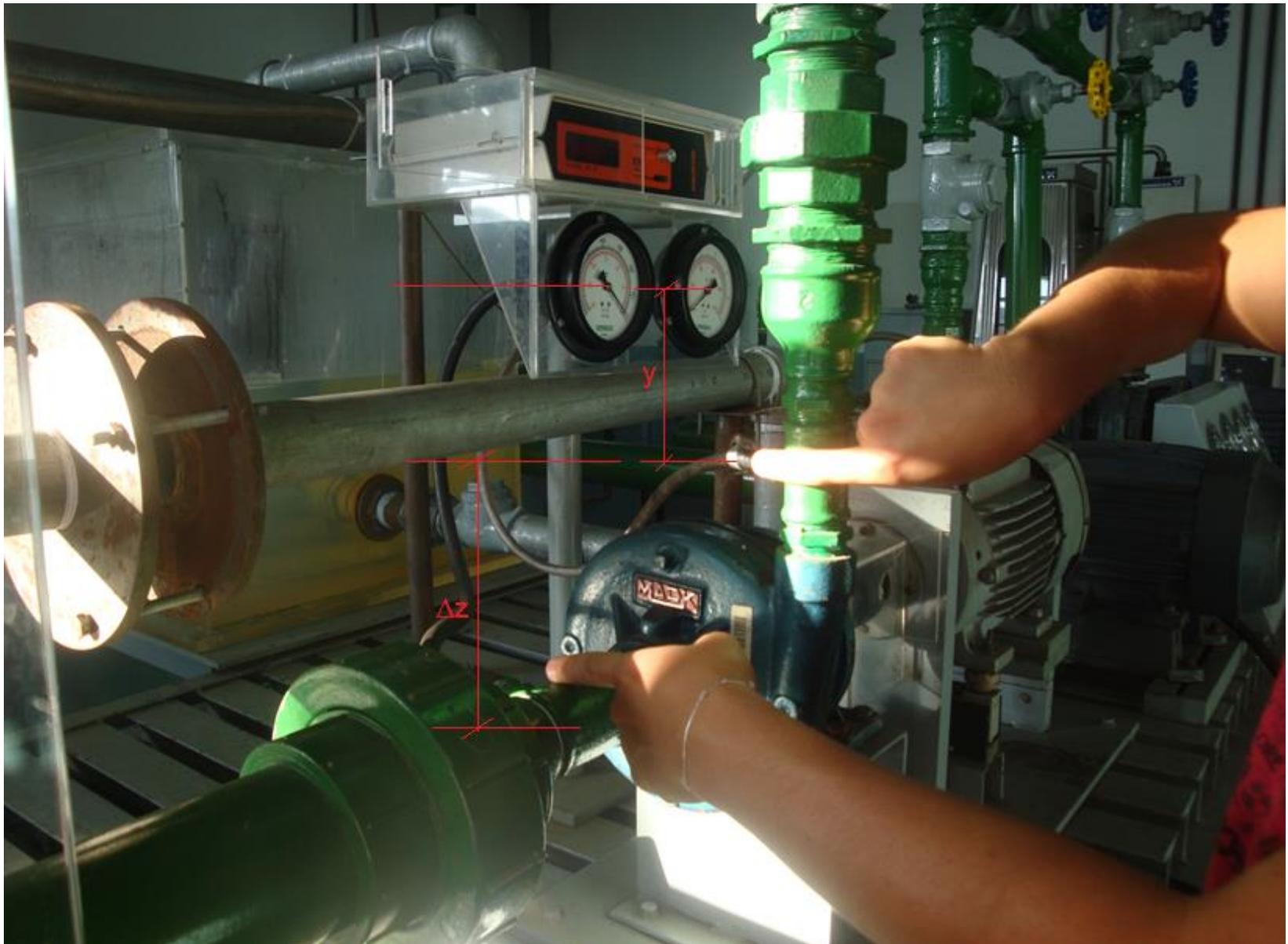
11 = tubulação de recalque

12 = tubulação de recalque

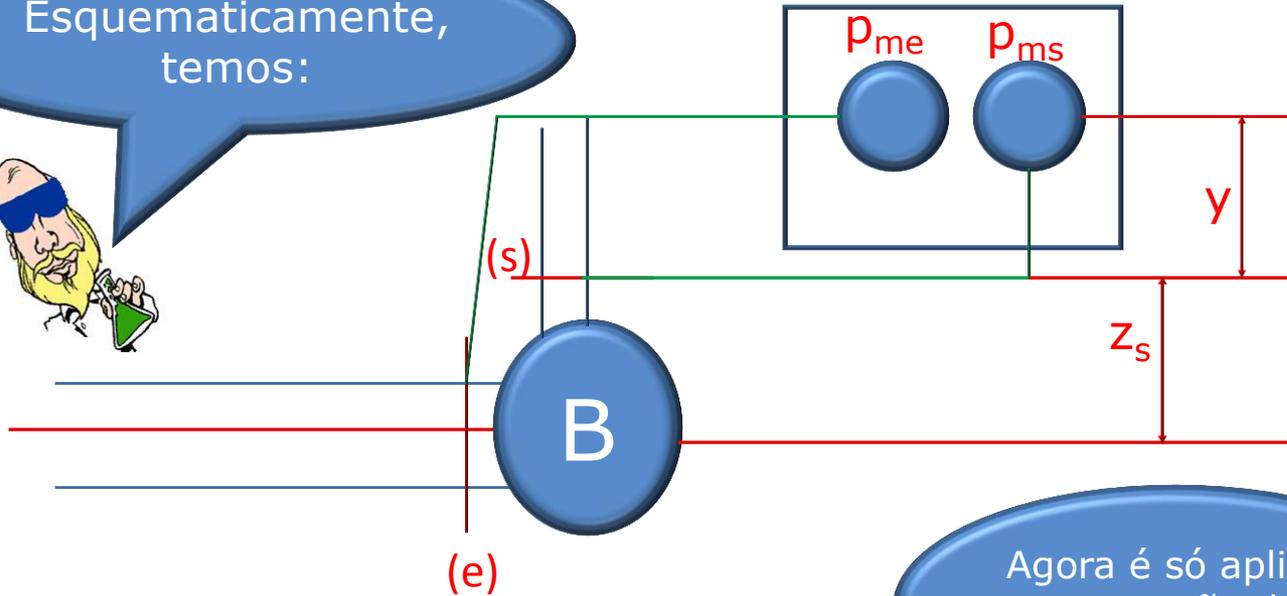
13 = tanque de distribuição

14 = piezômetro p/ det. da Q

Visualizando a seção de entrada e saída da bomba para esta experiência!



Esquemáticamente, temos:

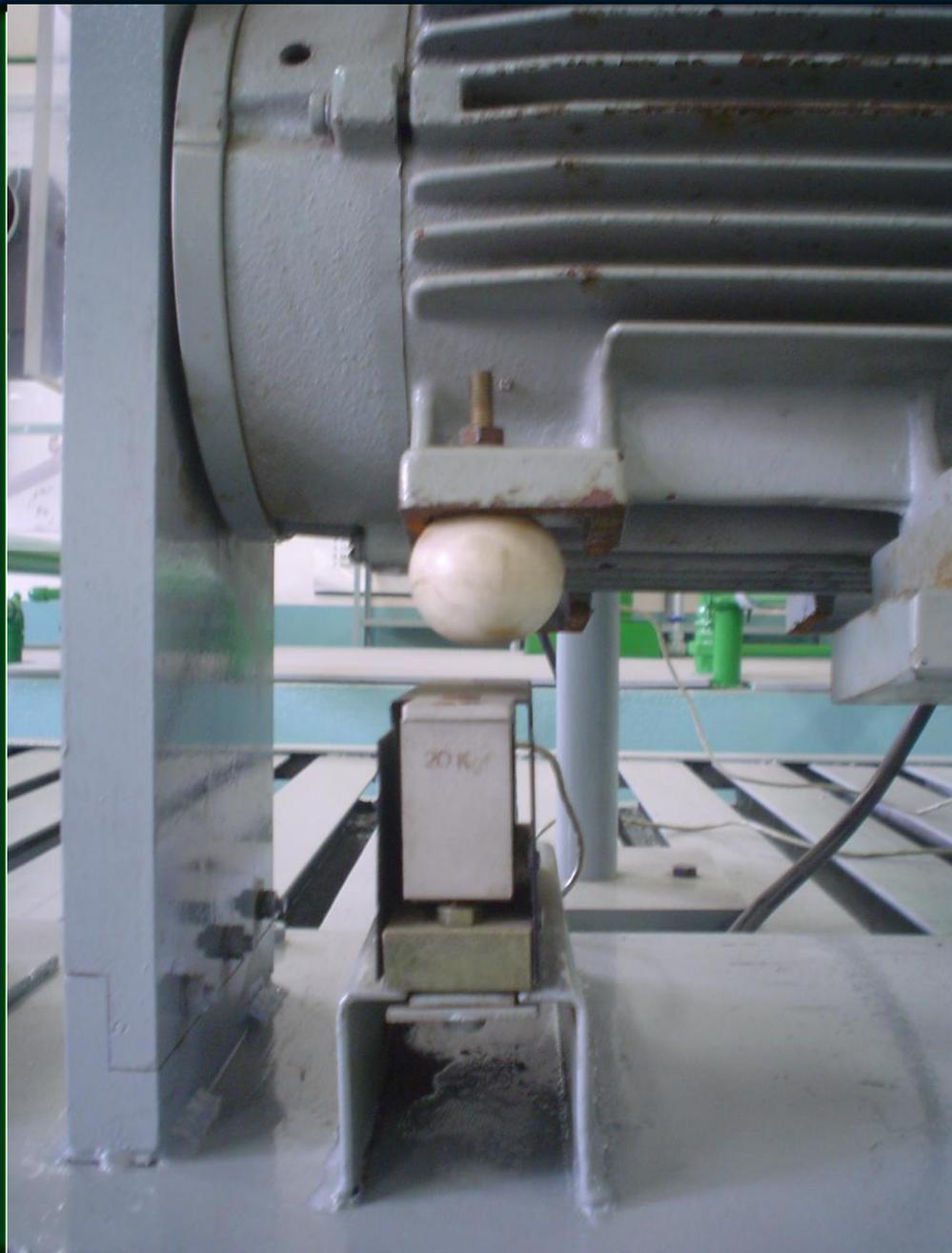


Agora é só aplicar a equação da energia.

$$H_e + H_B = H_s$$

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



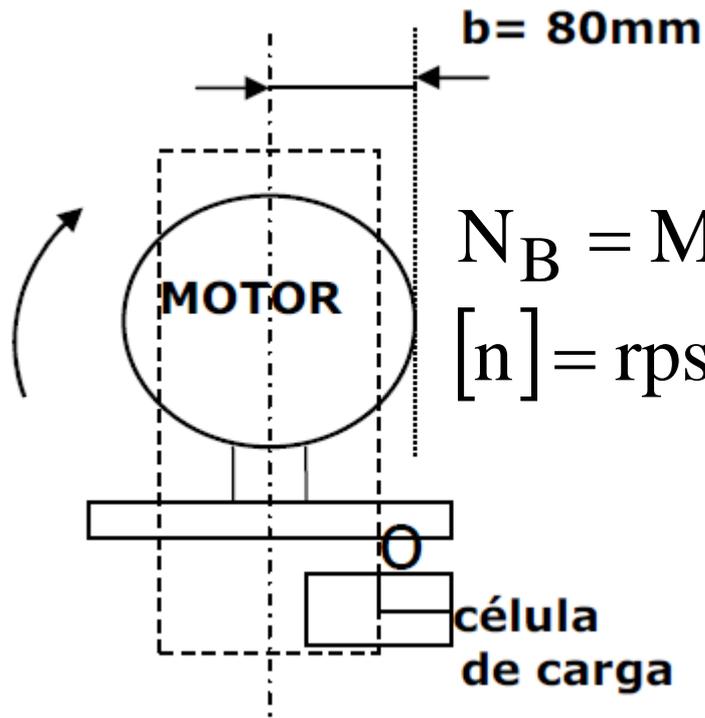


Ao acionar o conjunto motor bomba, olhando-o por trás, este girará no sentido horário, como a carcaça (estator) está solta, pelo princípio da ação e reação, ela tenderá a girar no sentido anti-horário e uma esfera presa em uma das "patas" do motor, pressionará uma célula de carga que irá registrar a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



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



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

$[n] = \text{rps}$

COMO ACHAR A ROTAÇÃO?

Vista frontal do conjunto motor bomba

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, 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.

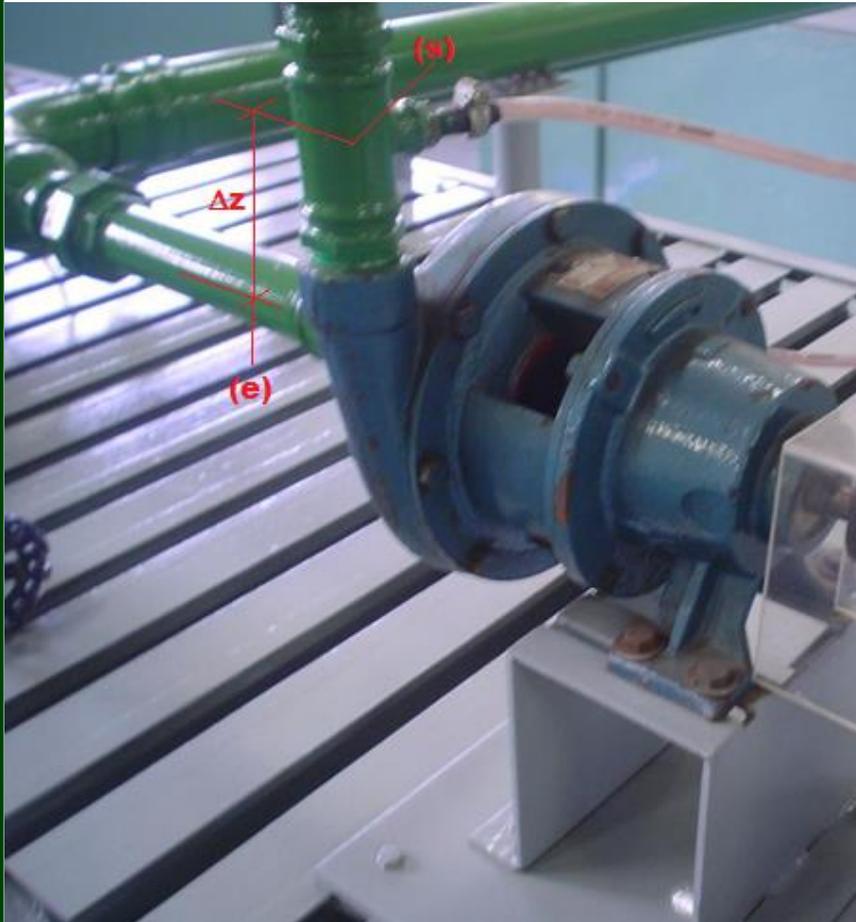


Não acionar o motor nessa situação



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:

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

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

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

Aplica-se a equação da energia entre as seções de entrada e saída da bomba



$$H_e + H_B = H_s$$

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

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

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

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, portanto:

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

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{tempo}} = \frac{\Delta h \times A_{\text{tanque}}}{t}$$

$$A_{\text{tanque}} = 0,681 \text{ m}^2$$

$$(e) \rightarrow D_{\text{int}} = 40,8 \text{ mm} \Rightarrow A = 13,1 \text{ cm}^2$$

$$(s) \rightarrow D_{\text{int}} = 26,6 \text{ mm} \Rightarrow A = 5,57 \text{ cm}^2$$

Portanto:

$$\alpha_s = \alpha_e = 1,0$$

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

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

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:°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 e como se deseja comparar as curvas obtidas experimentalmente com as fornecidas pelo fabricante, essa rotação é igual a 3500 rpm.

Correções

$$Q_{3500} = \left(\frac{3500}{n_{\text{lida}}} \right) \times Q_{\text{experimental}}$$

$$H_{B_{3500}} = \left(\frac{3500}{n_{\text{lida}}} \right)^2 \times H_{B_{\text{experimental}}}$$

$$\eta_{B_{3500}} = \eta_{B_{\text{experimental}}}$$

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

$$\eta_{B3500} = 1 - (1 - \eta_{B_{\text{experimental}}}) \left(\frac{n_{\text{lido}}}{3500} \right)^{0,1}$$

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

Importante observar que todos os pontos da curva de HB em função da vazão estão na mesma rotação.



Exemplo de curvas obtidas!

GRUNDFOS		MARK GRUNDFOS LTDA.					MODELO	
MARK		Bomba Centrífuga Monoestágio					DF	
Rotor	146	mm	Número de estágios	1	Sucção	Recalque	RPM	
Ponto de trabalho					1.1/2"	1"	3.500	
Q	Hm				Vedação	Roscas	Válido para água limpa a	
CV	%				Selo mecânico	BSP	20 C.	

Testes e Aceltação conforme Norma ISO 9906:1999 Anexo A

