Nona aula de ME5330

28/04/2009

Adimensionais típicos da bomba

Para os escoamentos incompressíveis, pode-se considerar o fenômeno definido pela seguinte função característica: $f\ (N_B, D_r, n, Q, gH_B, \rho, \mu) = 0$, onde aplicando-se o teorema de Buckingham (ou "pi") tem-se:

Coeficiente manométrico

$$\psi = \frac{g \times H_B}{n^2 \times D_r^2}$$

Com a rotação (n) em rps

Coeficiente de vazão

$$\phi = \frac{Q}{n \times D_r^3}$$

Novamente
com a rotação
(n) em rps

Coeficiente de potência

$$\chi = \frac{N_B}{\rho \times n^3 \times D_r^5}$$

Novamente com a rotação (n) em rps

Adimensional proporcional ao número de Reynolds

$$\pi_4 = \frac{\rho \times n \times D_r^2}{\mu}$$

O adimensional anterior só é considerado para rotações inferiores a 500 rpm.

Por outro lado, evocando-se a expressão para o cálculo do rendimento da bomba, tem-se:

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

Através das expressões a seguir que foram originadas dos adimensionais típicos das bombas hidráulicas, pode-se obter uma importante relação entre o rendimento da bomba e estes adimensionais típicos:

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

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

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

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

Como na condição de semelhança completa tem-se que: $\Phi_m = \Phi_p$; $\Psi_m = \Psi_p$ e $X_m = X_p$ pode-se concluir que também fará parte das condições de semelhança a igualdade entre os rendimentos das bombas, ou seja: $\eta_m = \eta_p$.

Na prática o rendimento pode sofrer variações com a rotação. Essa correção pode ser feita introduzindo-se os rendimentos na equação de potência, considerando para isto o rendimento η_1 em rotação nominal e o rendimento η_2 para uma rotação qualquer, que pode ser obtido a partir da expressão empírica 12 (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 13).

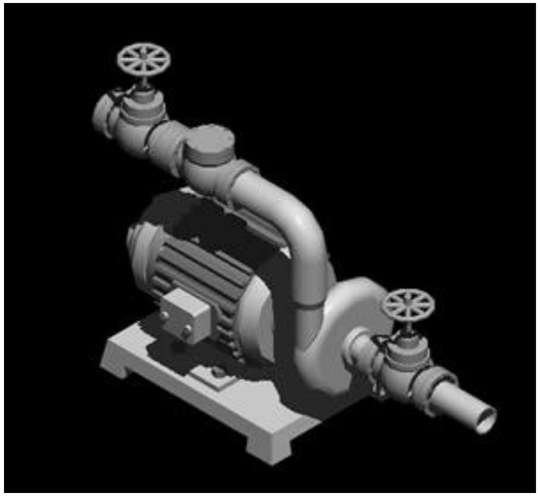
$$\eta_2 = 1 - \left[(1 - \eta_1) \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^{0,1} \right] \qquad (12)$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1 - \eta_1) \times \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{0,17}} \qquad (13)$$

Resumindo

$$\pi_1 = \psi = \frac{gH_B}{n^2 . D_r^2}$$

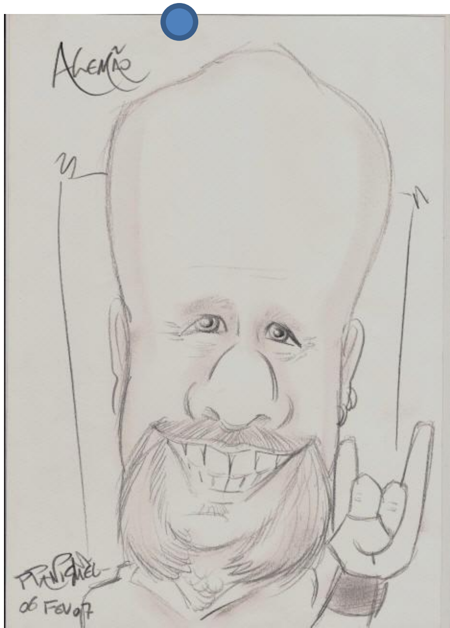
$$\pi_2 = \phi = \frac{Q}{n . D_r^3}$$



$$\pi_3 = \chi = \frac{N_B}{\rho . n^3 . D_r^5}$$

$$\pi_4 = \frac{\rho . n. D_r^2}{\mu}$$

O objetivo desta aula é verificar a influência da rotação (n) nas curvas características da bomba



Pensando na curva de $H_B = f(Q)$

NO LABORATÓRIO

CORRIGINDO A CCB:

CONDIÇÃO DE SEMELHANÇA COMPLETA $\Rightarrow$ $\varphi_1 = \varphi_2$

$\phi_1 = \phi_2$

COEFICIENTE DE VAZÃO $\rightarrow$ $\pi_2 = \phi = \dfrac{Q}{n \, . \, D_r^{\,3}}$

COEFICIENTE MANÔMETRICO $\rightarrow$ $\pi_1 = \psi = \dfrac{gH_B}{n^2 . \, D_r^{\,2}}$

$\Downarrow$

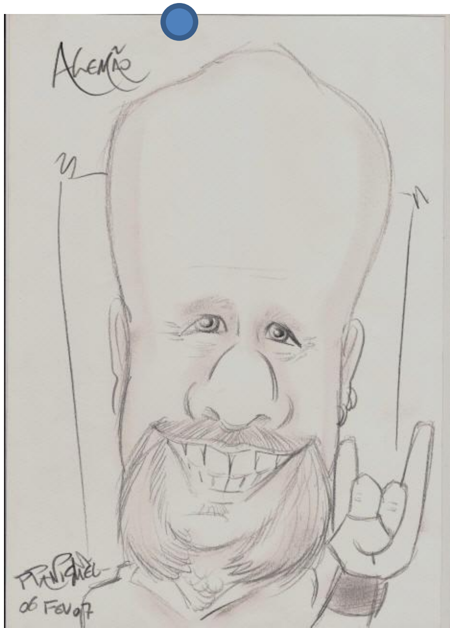
$$Q_{corrigida} = \frac{Q_{calculada} \times n_{fabricante}}{n_{lida}}$$

$$H_{B_{corrigido}} = \frac{H_{B_{calculado}} \times n_{fabricante}^2}{n_{lida}^2}$$

Será que a variação da rotação pode ser provocada por alguma aparelho?

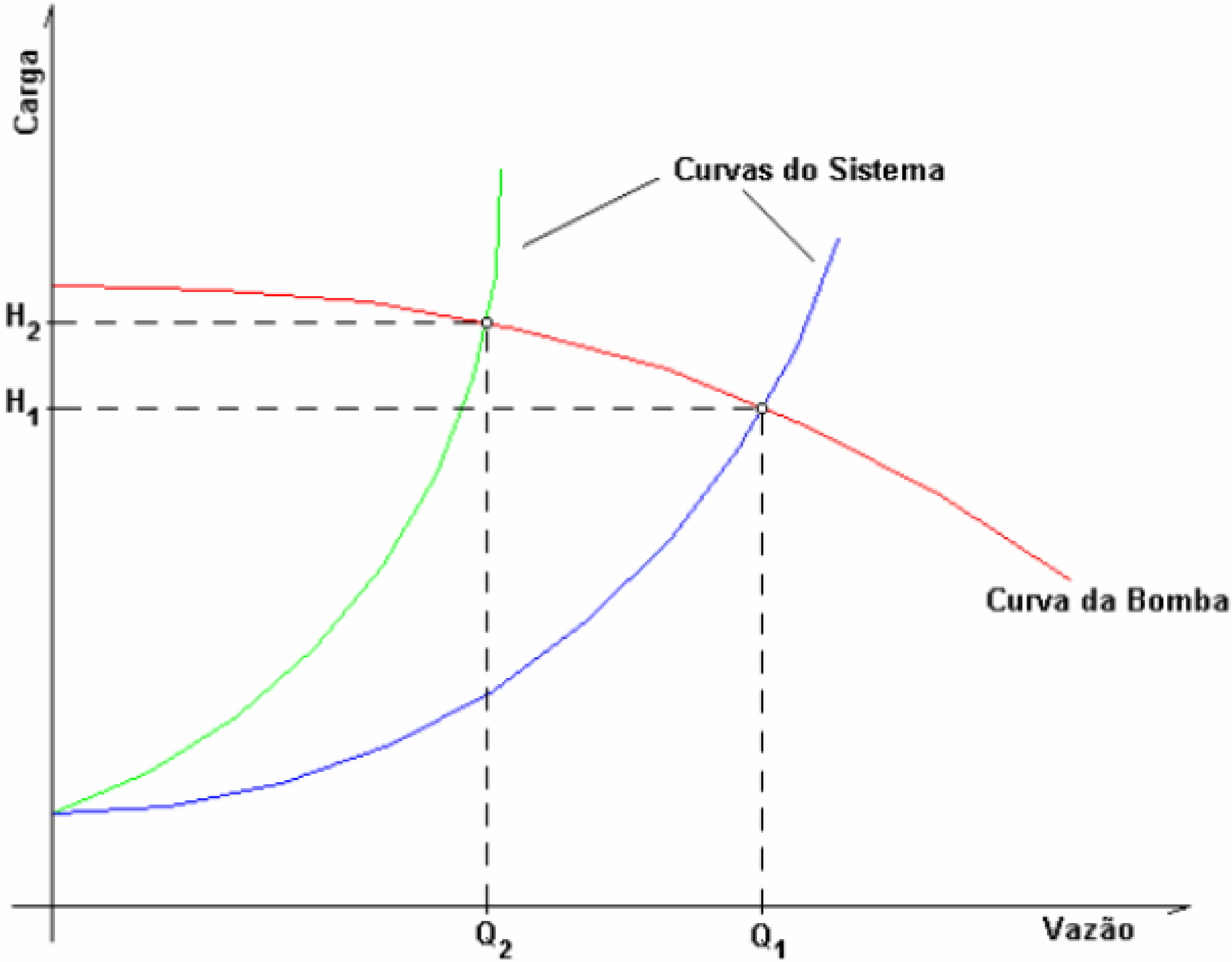
Haveria alguma vantagem nisso?

A variação da rotação pode ser propiciada por um inversor de frequência.



Os sistemas de bombeamento convencionais são operados usualmente através do controle da vazão obtido por válvulas tipo globo, sendo manobrada de acordo com as necessidades operacionais de demanda.

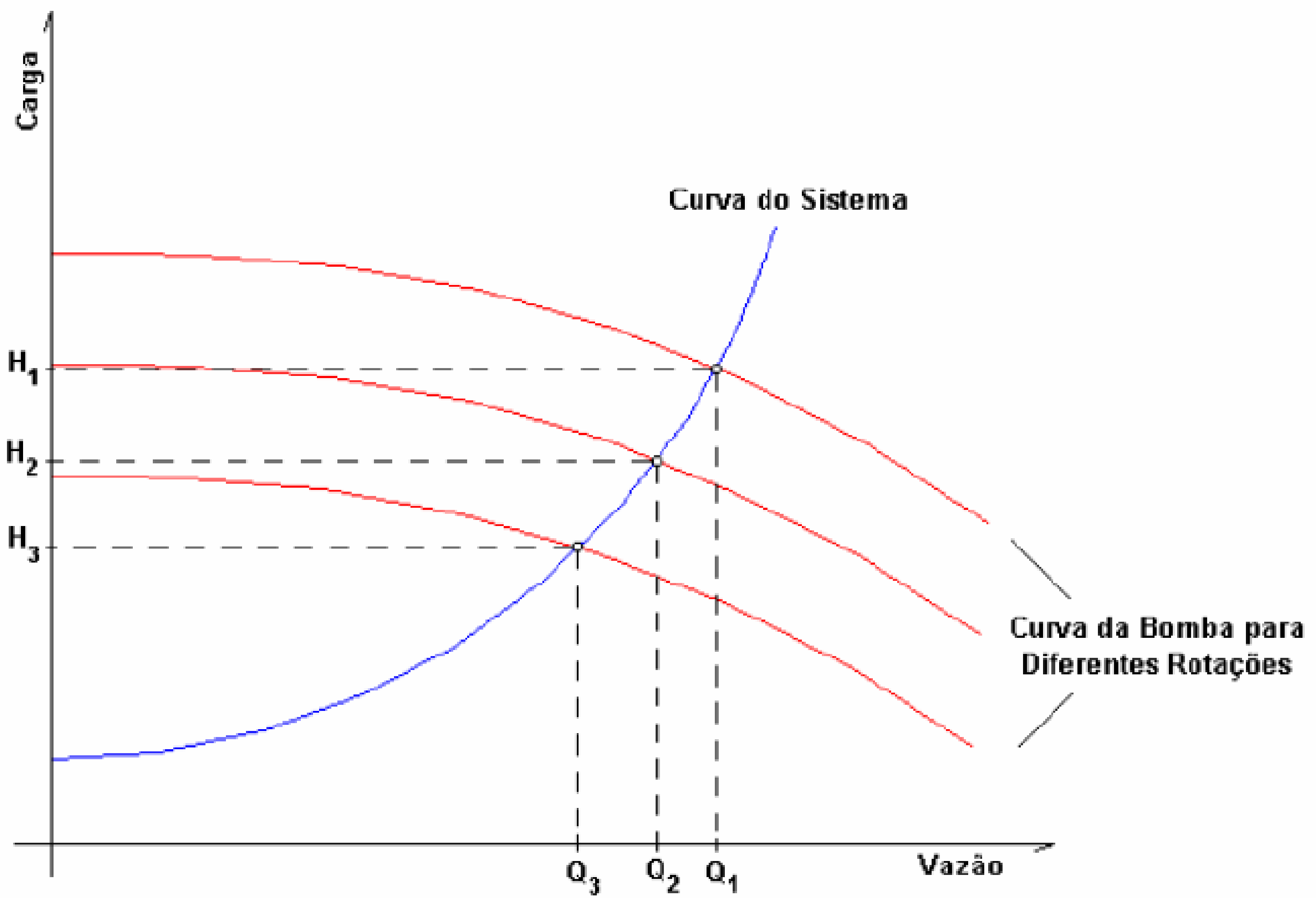
Nessa operação o que se faz é o deslocamento do ponto de operação (intersecção da curva da bomba com a curva do sistema) através do aumento da perda de carga, progressivamente sobre a curva da bomba até se encontrar o ponto desejado para uma determinada vazão (figura no próximo slide), com a bomba operando com rotação constante n.


Carga
Curvas do Sistema
H_2
H_1
Curva da Bomba
Q_2
Q_1
Vazão

Wood e Reddy (1.994) definem muito bem esse tipo de operação dizendo ser o mesmo que "[...] conduzir um carro com o freio de mão acionado: o resultado é o desperdício desnecessário de energia".

Em Brown (2.001), Irvine e Gibson (2.002), se observa exatamente a mesma citação.
Ainda segundo Brown (2.001), estima-se que de toda energia elétrica utilizada pela industria, 65% seja destinada a motores elétricos e que, do montante relativo a esse percentual, 20% seja desperdiçado por mecanismos de controle (ex.: válvula).

Em contraposição a operação anteriormente descrita, o inversor de frequência, através do controle da rotação do motor, promove a alteração da curva da bomba mantendo-se constante a curva do sistema ou instalação (figura no próximo slide). Isso faz com que o consumo de energia seja proporcional a rotação do motor, ou seja, nem mais nem menos, apenas o necessário.


Carga
Curva do Sistema
H_1
H_2
H_3
Curva da Bomba para
Diferentes Rotações
Q_3
Q_2
Q_1
Vazão

Com a alteração da rotação, observada as leis de semelhança física das maquinas hidraulicas rotativas (Allen-Bradley – 1.995; Wilk – 2.000; Crespo – 2.001; Viana – 2.001; Brown – 2.001; Lee – 2.001; Alves et al. – 2.002; Irvine e Gibson – 2.002; Everhart – 2.004; Europump and Hydraulic Institute – 2.004; Pemberton – 2.005; Theisen – 2.005; Gambica – 2.007), definidas nas equações de 1 a 5, as curvas de funcionamento da bomba (carga x vazão, etc.) são alteradas, mudando assim o ponto de operação do sistema (figura do slide anterior).

A seguir apresenta-se uma síntese das grandezas da bomba em função de sua rotação.

$$\frac{Q_1}{N_1} = \frac{Q_2}{N_2}$$ *Relação vazão x rotação* (1)

$$\frac{H_1}{N_1^{\ 2}} = \frac{H_2}{N_2^{\ 2}}$$ *Relação carga x rotação* (2)

$$\frac{P_1}{N_1^{\ 3}} = \frac{P_2}{N_2^{\ 3}}$$ *Relação potência x rotação* (3)

$$\frac{T_1}{N_1^{\ 2}} = \frac{T_2}{N_2^{\ 2}}$$ *Relação torque x rotação* (4)

$$\frac{NPSH_{R1}}{N_1^2} = \frac{NPSH_{R2}}{N_2^2}$$ *Relação NPSH Requerido x rotação* (5)

A correção do rendimento pode ser obtido a partir da expressão empírica 12 (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 13).

$$\eta_2 = 1 - \left[(1-\eta_1) \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^{0,1} \right] \tag{12}$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1-\eta_1) \times \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{0,17}} \tag{13}$$