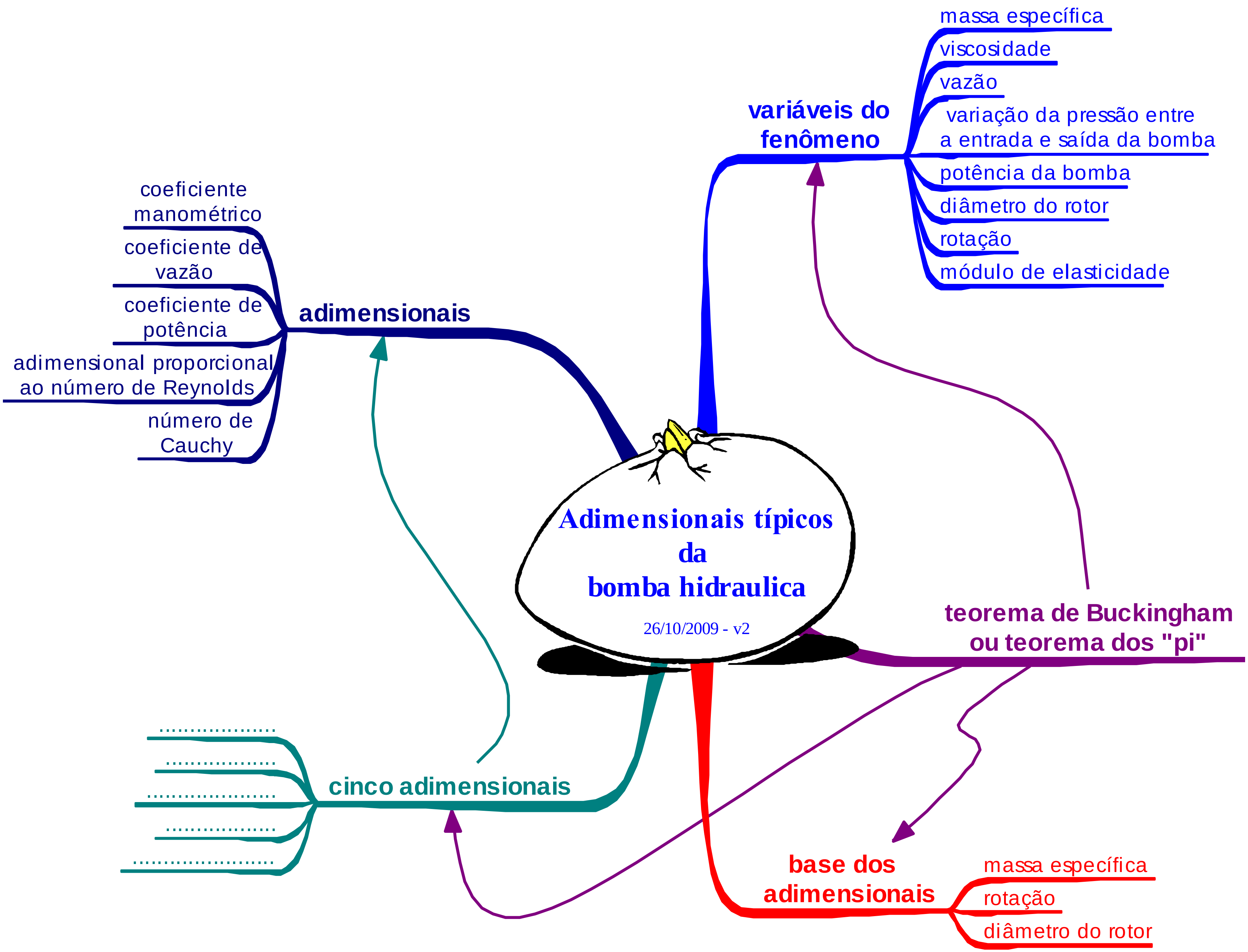
Mecânica dos Fluidos para Engenharia Química

ME5330

27/10/2009


Adimensionais típicos
da
bomba hidraulica
26/10/2009 - v2
variáveis do
fenômeno
massa específica
viscosidade
vazão
variação da pressão entre
a entrada e saída da bomba
potência da bomba
diâmetro do rotor
rotação
módulo de elasticidade
adimensionais
coeficiente
manométrico
coeficiente de
vazão
coeficiente de
potência
adimensional proporcional
ao número de Reynolds
número de
Cauchy
teorema de Buckingham
ou teorema dos "pi"
cinco adimensionais
....
....
....
....
....
base dos
adimensionais
massa específica
rotação
diâmetro do rotor

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

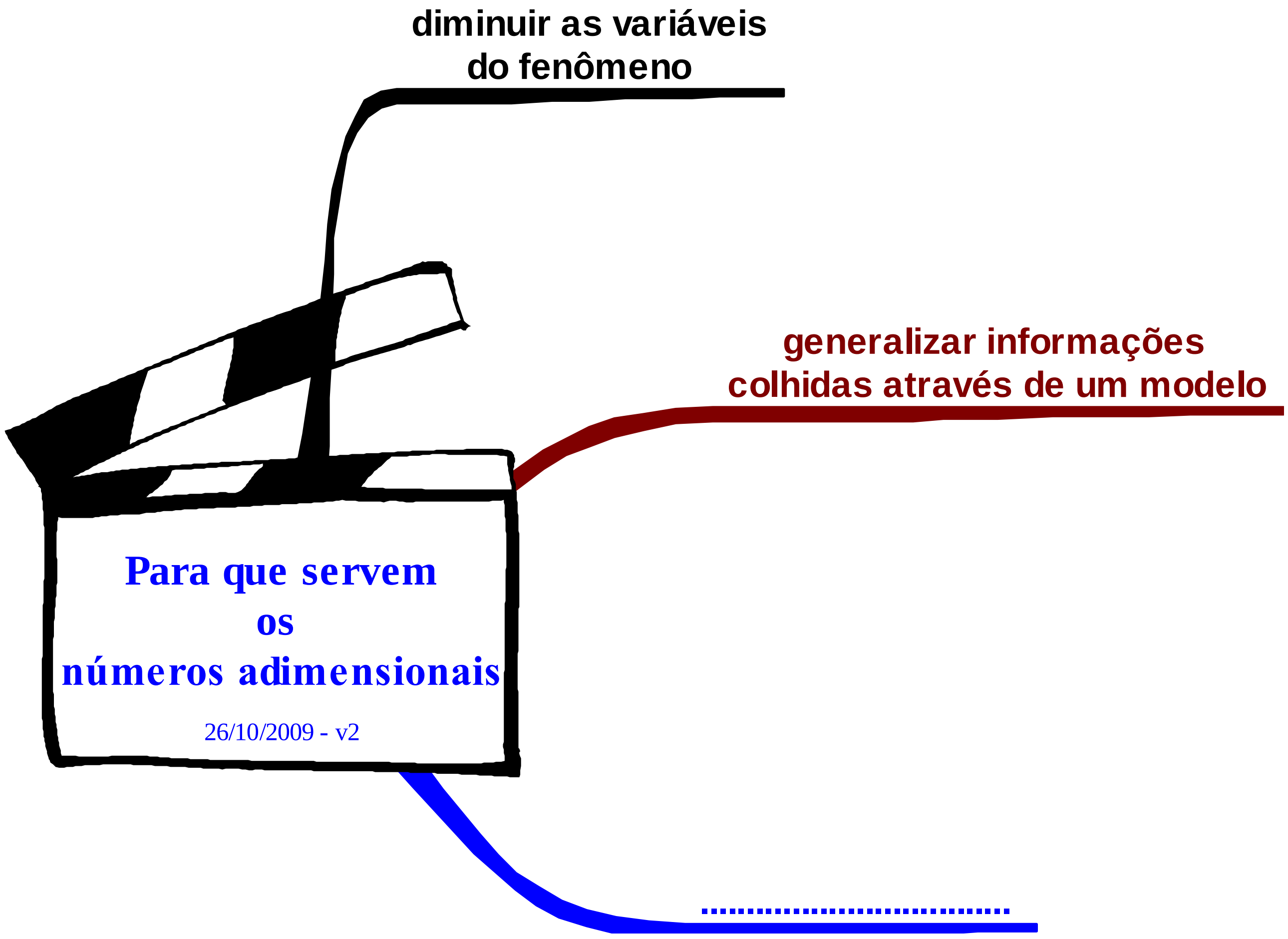
$$\pi_4 = \frac{\rho \times n \times D_r^2}{\mu}$$

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

Número de Cauchy

$$C = \frac{\rho \times n^2 \times D_r^2}{E}$$

Novamente com a rotação (n) em rps e que o número de Cauchy só será utilizado em escoamentos compressíveis.



Vamos pensar nas condições de semelhança para as bombas hidraulicas

Condições de semelhança completa:

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

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

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

E o rendimento, será uma condição de semelhança?

Para responder o questionamento anterior, evoca-se a expressão para o cálculo do rendimento da bomba:

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

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 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 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).

$$\eta_2 = 1 - \left[(1 - \eta_1) \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^{0,1} \right] \rightarrow (12)$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{\eta_1 + (1 - \eta_1) \times \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^{0,17}} \rightarrow (13)$$

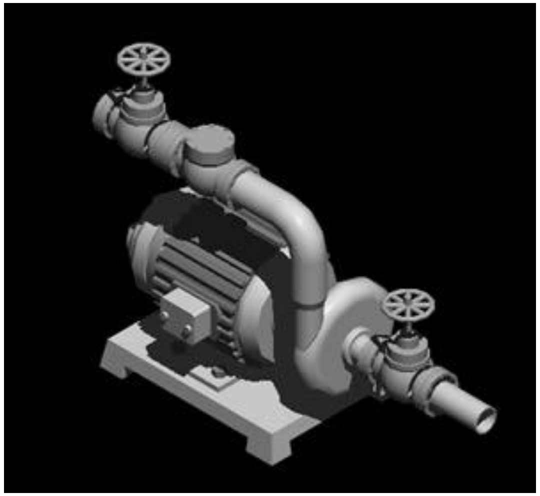
Já para a variação do diâmetro do rotor, pode-se analisar a variação do rendimento pela expressão de Moody:

$$\frac{1-\eta_{B_m}}{1-\eta_{B_p}}=\left(\frac{D_{r_p}}{D_{r_m}}\right)^{1/4}$$

Resumindo: bombas para escoamentos incompressíveis com rotações acima de 500rpm

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

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



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

Desejando-se alterar a vazão, a carga manométrica e a potência da bomba deve-se variar a rotação e/ou o diâmetro do rotor.

VAMOS ANALISAR AS ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELA ALTERAÇÃO DA ROTAÇÃO PROVOCADAS PELA UTILIZAÇÃO DE UM INVERSOR DE FREQUÊNCIA.

Inversor de frequência

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

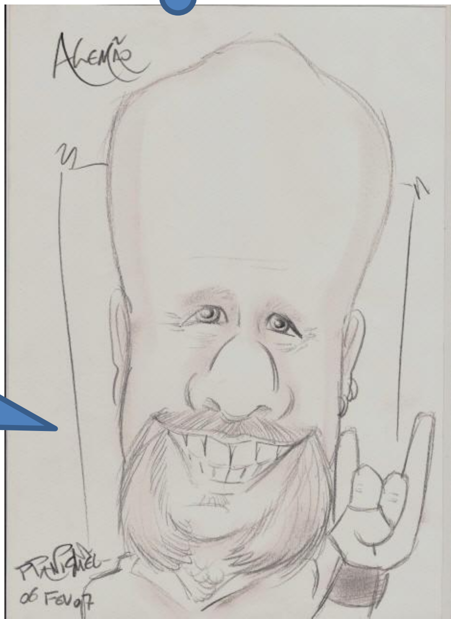
$f \rightarrow$ frequência

$p \rightarrow$ número de pólos

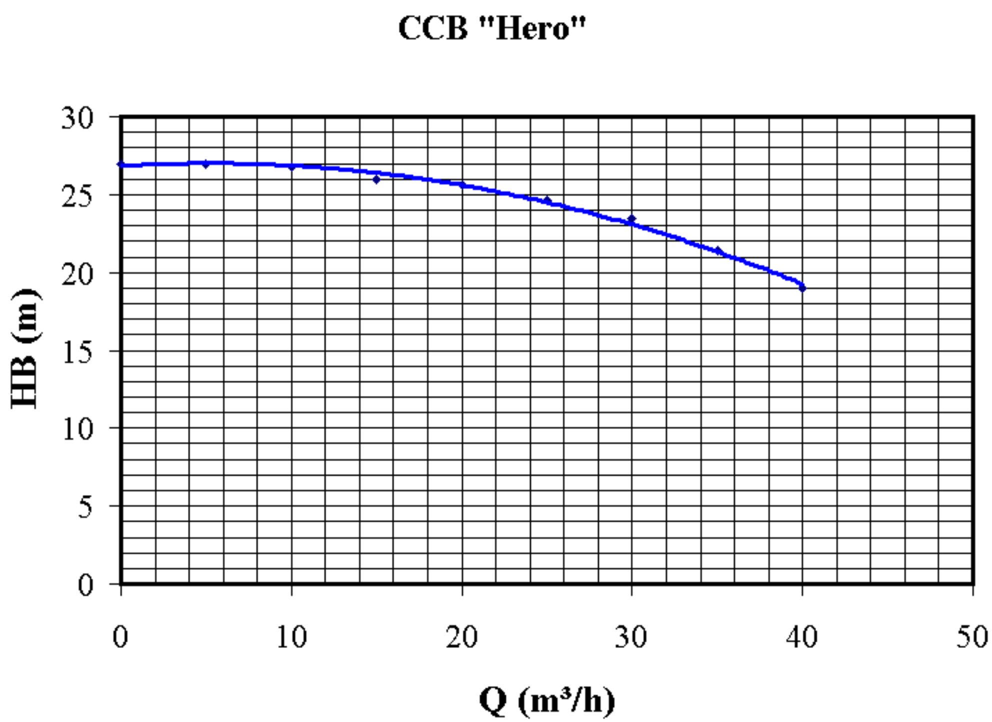
Faixa de variação da frequência na bancada 8

Objetivo verificar a influência da rotação (n) nas curvas características da bomba, iniciando com $H_B = f(Q)$

Vamos supor que a frequência foi reduzida de 58,5 Hz para 50 Hz, o que irá acontecer com a vazão máxima? E com a carga manométrica correspondente a vazão máxima? E com a potência da bomba nesta situação?



Seja a CCB da bomba Hero a seguir que tem uma rotação de 3510 rpm, motor elétrico de 2 pólos e diâmetro do rotor igual a 120 mm



Suponha que se considere como fluido a água com massa específica igual a 1000 kg/m³

$$\eta_B = 0{,}029 \times Q^2 + 0{,}0645 \times Q + 21{,}2$$

$$\eta_B \rightarrow \% \text{ e } Q \rightarrow \frac{m^3}{h}$$

Solução

$$f = 58{,}5\,Hz \Rightarrow n = \frac{58{,}5 \times 120}{2} = 3510 rpm$$

$$Q_{máxima} = 40\frac{m^3}{h} \Rightarrow H_B = 19\,m$$

$$\eta_B = 0{,}029 \times 40^2 + 0{,}0645 \times 40 + 21{,}2 = 70{,}18\,\%$$

$$N_B = \frac{1000 \times 9{,}8 \times \left(40/3600\right) \times 19}{0{,}7018} \cong 2948w$$

Condições de semelhança

$$\phi_{58,5} = \phi_{50} \Rightarrow \frac{40}{3510} = \frac{Q_{50}}{3000} \therefore Q_{50} \cong 34{,}2\frac{m^3}{h}$$

$$\psi_{58,5} = \psi_{50} \Rightarrow \frac{19}{3510^2} = \frac{H_{B_{50}}}{3000^2} \therefore H_{B_{50}} \cong 13{,}9\,m$$

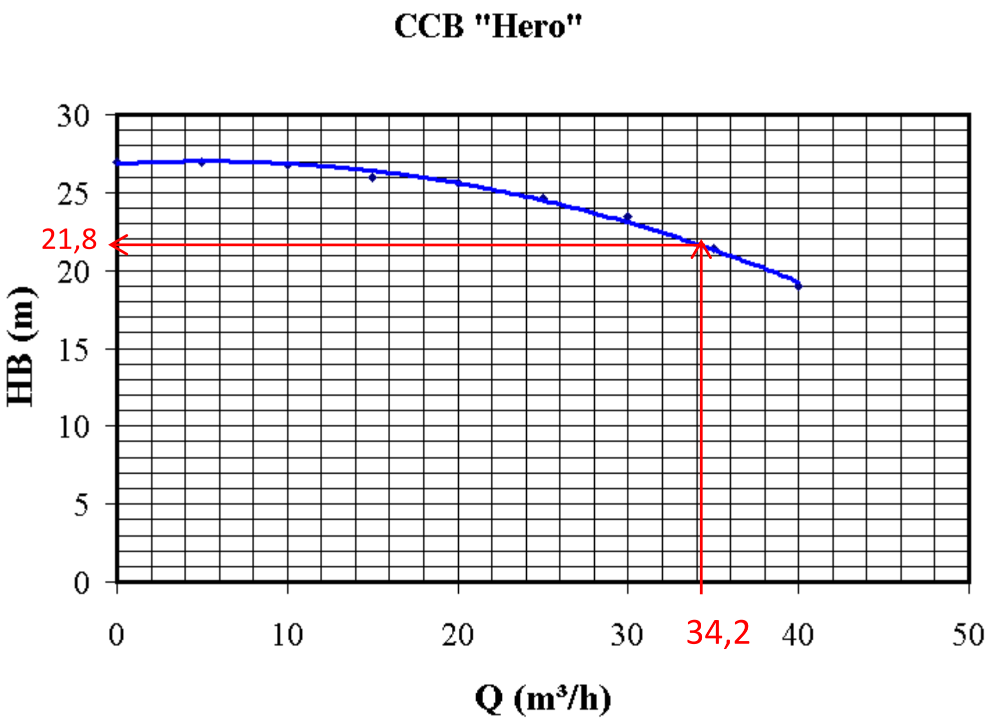
$$X_{58,5} = X_{50} \Rightarrow \frac{2948}{3510^3} = \frac{N_{B_{50}}}{3000^3} \therefore N_{B_{50}} \cong 1841w$$

Existiria outra maneira para se obter a vazão de 34,2 m³/h sem alterar as características da bomba? Se sim, determine para esta situação a carga manométrica, o rendimento e a potência da bomba. Daria para comparar as duas possibilidades e concluir alguma coisa?

Solução – a nova maneira seria fechando parcialmente a válvula controladora de vazão

$$\text{Para a vazão de } 34{,}2\frac{m^3}{h} \Rightarrow H_B \cong 21{,}8\,m$$

$$\eta_B = 0{,}029 \times 34{,}2^2 + 0{,}0645 \times 34{,}2 + 21{,}2 \cong 57{,}3\,\%$$



$$N_B = \frac{1000 \times 9{,}8 \times \left(34{,}2 / 3600\right) \times 21{,}8}{0{,}573} \cong 3542\,w$$

Pode-se observar que o consumo será muito maior nesta situação do que a obtida através do inversor de frequência.