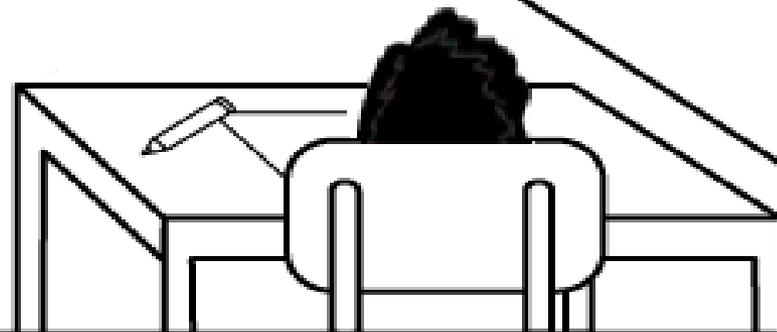
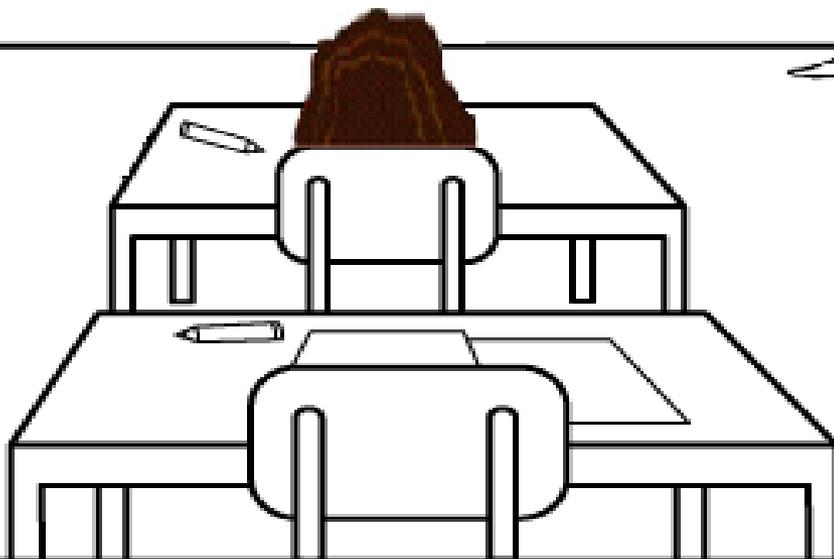
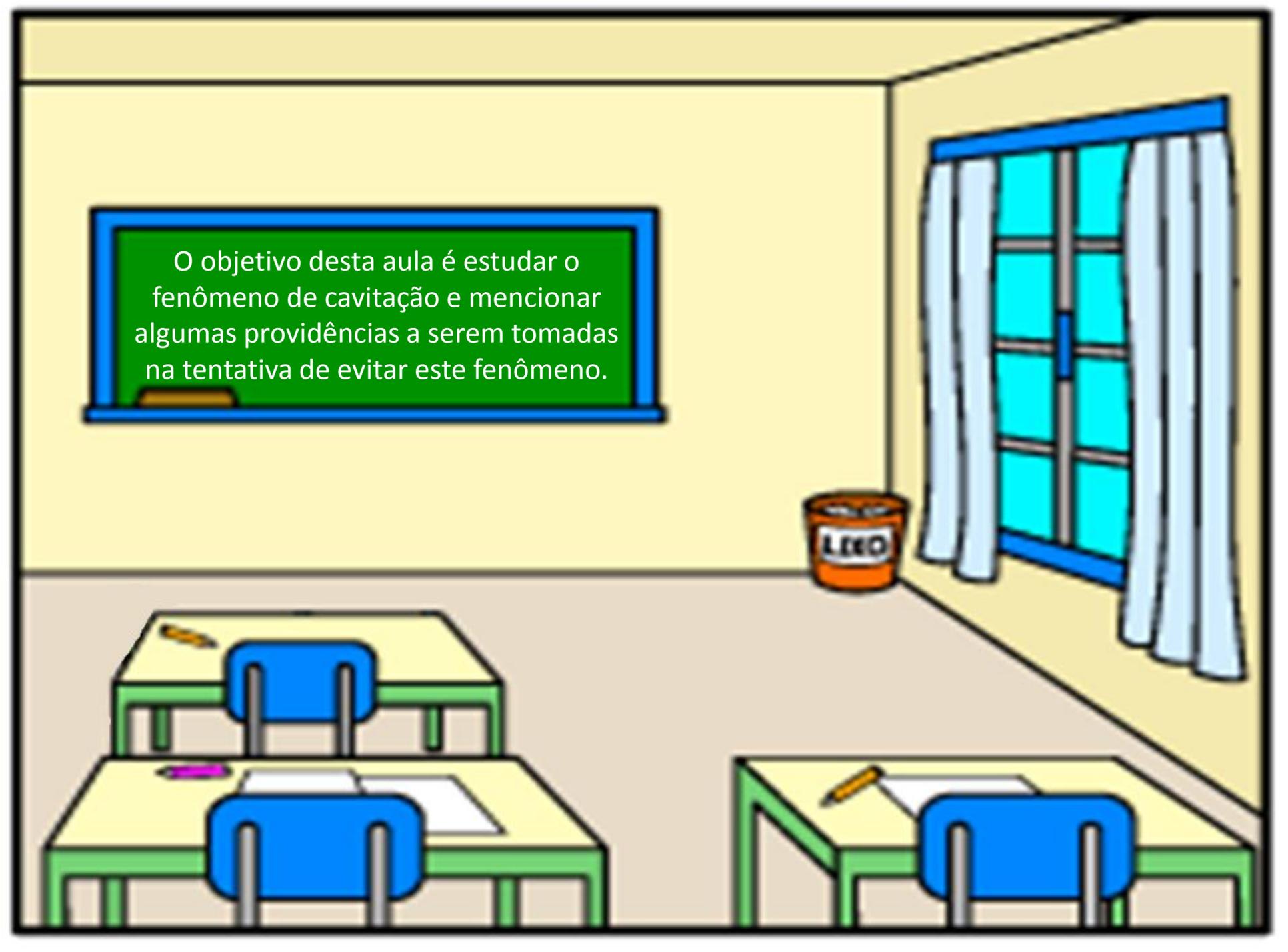


**Primeiro semestre de 2012**  
Mecânica dos Fluidos para a  
engenharia química  
**Aula 7 de teoria**

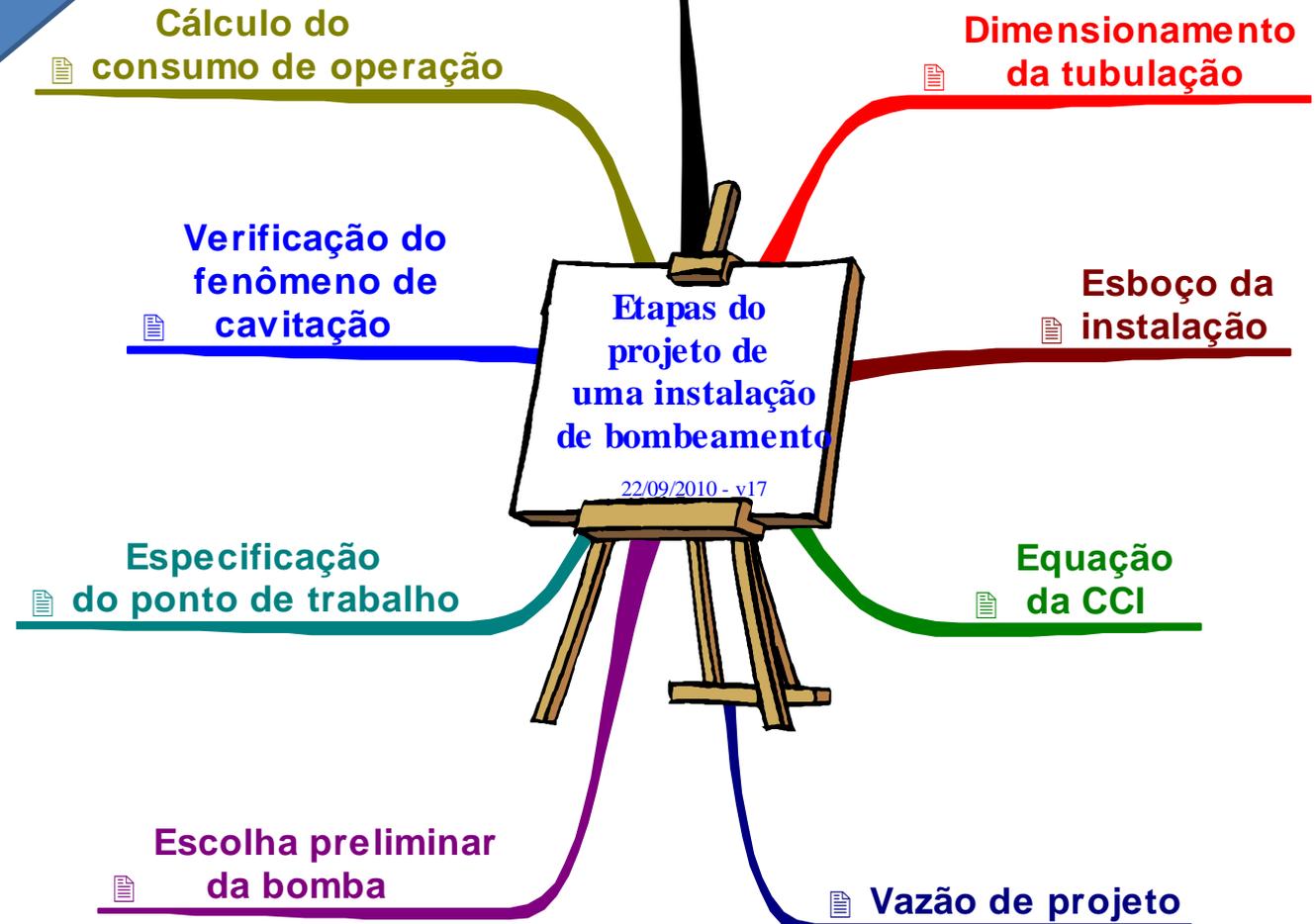




O objetivo desta aula é estudar o fenômeno de cavitação e mencionar algumas providências a serem tomadas na tentativa de evitar este fenômeno.

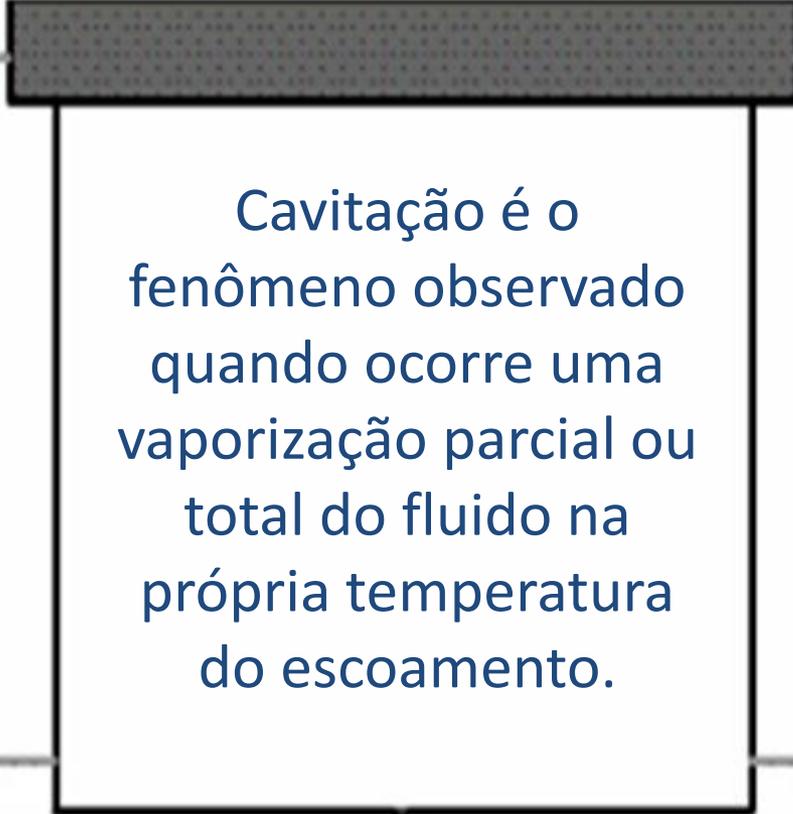
LEED

Além dos objetivos anteriores, vamos mostrar o cálculo do consumo de operação.



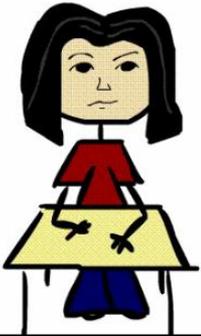


É isso aí,  
vamos iniciar  
os estudos  
referentes a  
cavitação.



Cavitação é o  
fenômeno observado  
quando ocorre uma  
vaporização parcial ou  
total do fluido na  
própria temperatura  
do escoamento.

Estou pensando em um escoamento d'água a 20°C e aí me pergunto: com que pode ocorrer a vaporização, seja parcial ou total?



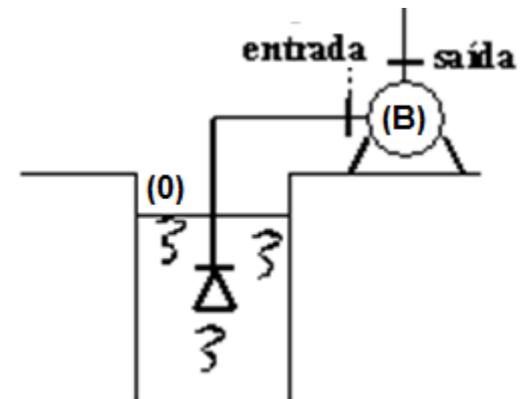
Simplesmente diminuindo a pressão. Com a diminuição da pressão, podemos chegar a um valor de pressão onde observamos o início da transformação de líquido para vapor (pressão de vapor).



E aonde pode ocorrer esta pressão tão baixa?



Inicialmente se pensava ser na entrada da bomba.





Aplicando a equação da energia do nível (0) até a entrada da bomba, temos:

$$H_0 = H_e + H_{p_{aB}}$$

$$z_o + \frac{p_o}{\gamma} + \frac{v_o^2}{2g} = z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + H_{p_{aB}}$$

$$H_{p_{aB}} = f_{aB} \times \frac{(L + \sum Leq)_{aB}}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2}$$

$$0 = z_e + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + H_{p_{aB}}$$

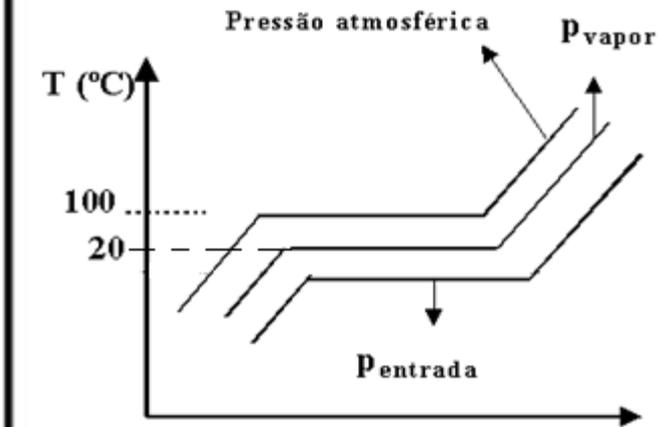
$$\therefore p_e = -\gamma \left[ z_e + \frac{v_e^2}{2g} + H_{p_{aB}} \right]$$

$$p_{e_{abs}} = p_e + p_{atm_{local}}$$

Importante observar que só temos a expressão anterior se o PHR for adotado no nível de captação, se o escoamento ocorrer em regime permanente e se for considerada a escala efetiva, certo?

Isso mesmo!





Supondo que a  $p_{e\_abs}$  é menor ou igual a  $p_{\text{vapor}}$  afirmamos que ocorre o início do fenômeno de cavitação.



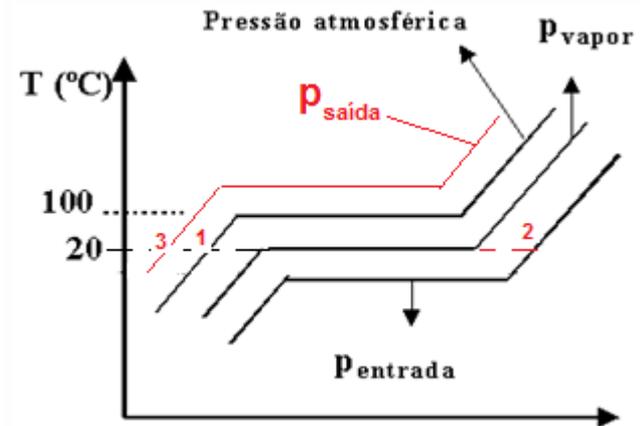
O fluido bombeado é a água a  $20^{\circ}\text{C}$ ?

Exatamente!

Cavitar na entrada é ter a supercavitação!



Na seção de saída a pressão é maior que a pressão atmosférica e o que era vapor se condensa completando o fenômeno de cavitação!



- 1 = líquido subresfriado
- 2 = vapor superaquecido
- 3 = líquido subresfriado

Ocorre a liberação de calor!

O rendimento caí!

Surgem as vibrações!

O tempo vida da bomba é reduzido!



Se estiver cavitando (supercavitando) e desejarmos eliminar esse fenômeno, devemos aumentar a pressão na entrada da bomba.



$$p_e = -\gamma \left[ z_e + \frac{v_e^2}{2g} + H_{p_{aB}} \right]$$

$$H_{p_{aB}} = f_{aB} \times \frac{(L + \sum Leq)_{aB}}{D_{H_{aB}}} \times \frac{Q^2}{2g \times A_{aB}^2}$$

E nesse sentido, devemos:

1. Diminuir a cota da entrada, ou até torná-la negativa (bomba afogada)
2. Adotar para a tubulação antes da bomba um diâmetro imediatamente superior ao dimensionado para o recalque.



3. Ter o comprimento da tubulação antes da bomba o menor possível.
4. Utilizar antes da bomba as singularidades estritamente necessárias.

Infelizmente a condição da  $p_{ent\_abs} > p_{vapor}$  não é condição suficiente para não se ter o fenômeno da cavitação.



Condição necessária e suficiente para não se ter a cavitação será:



$$NPSH_{\text{disponível}} - NPSH_{\text{requerido}} > 0$$

$$NPSH_{\text{requerido}} = H_{\text{entrada}_{\text{abs}}} - \frac{P_{\text{vapor}}}{\gamma}$$

$NPSH_{\text{requerido}}$  → fornecido pelo fabricante

$$NPSH_{\text{disponível}} = H_{\text{inicial}_{\text{abs}}} - H_{\text{p}_{\text{aB}}} - \frac{P_{\text{vapor}}}{\gamma}$$

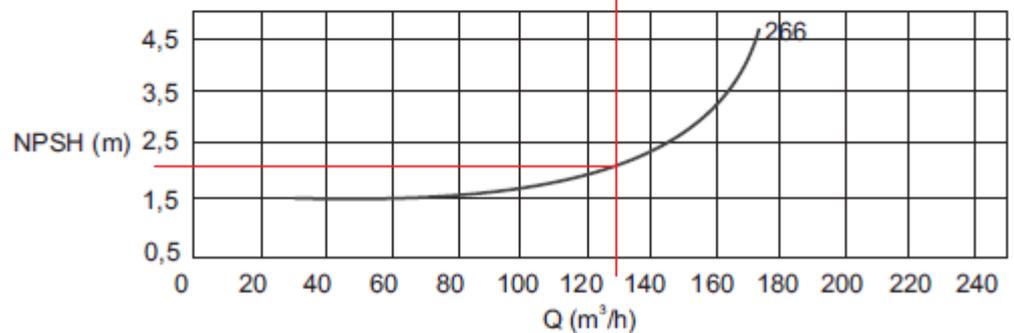
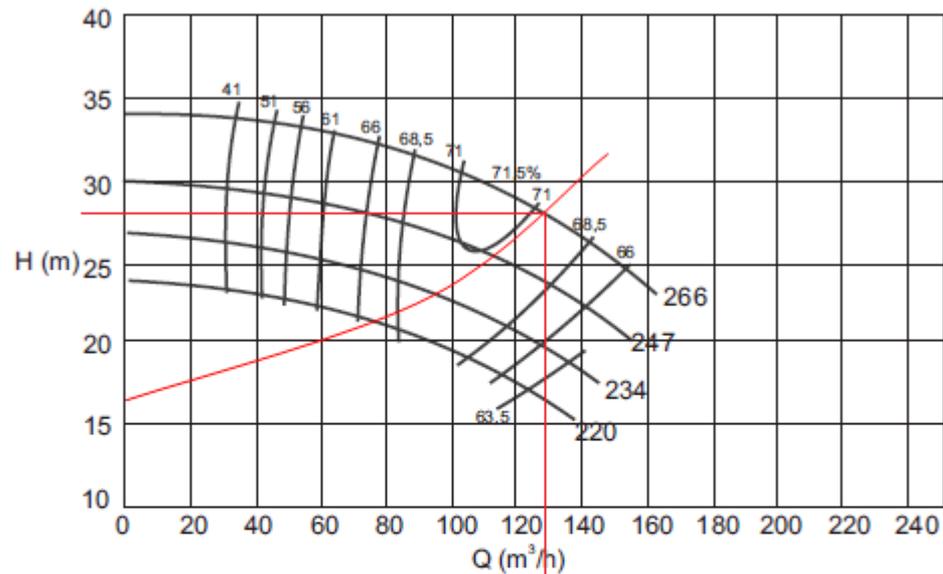
$H_{\text{p}_{\text{aB}}}$  → calculada com a  $Q_{\tau}$

$$H_{\text{inicial}_{\text{abs}}} = Z_{\text{inicial}} + \frac{P_{\text{inicial}_{\text{abs}}}}{\gamma} + \frac{y_i \times \alpha_i \times Q^2}{2g \times A_{\text{inicial}}^2}$$

$Z_{\text{inicial}}$  → obtido com o PHR no eixo da bomba

O  $NPSH_{\text{req}}$  é obtido no ponto de trabalho.

### KSB Meganorm 80 - 250 - IV pólus (1750 rpm)



$NPSH_{\text{disponível}} - NPSH_{\text{requerido}} = \text{reserva contra cavitação}$



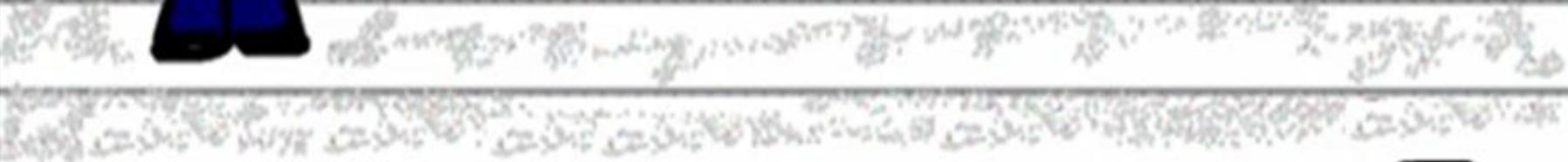
A reserva contra cavitação é fundamental para a escolha da bomba!

Gostaria de ver um exemplo de cálculo ligado a esse assunto!





Atendo a pedido, o próximo slide introduz um exemplo ligado a verificação do fenômeno de cavitação.

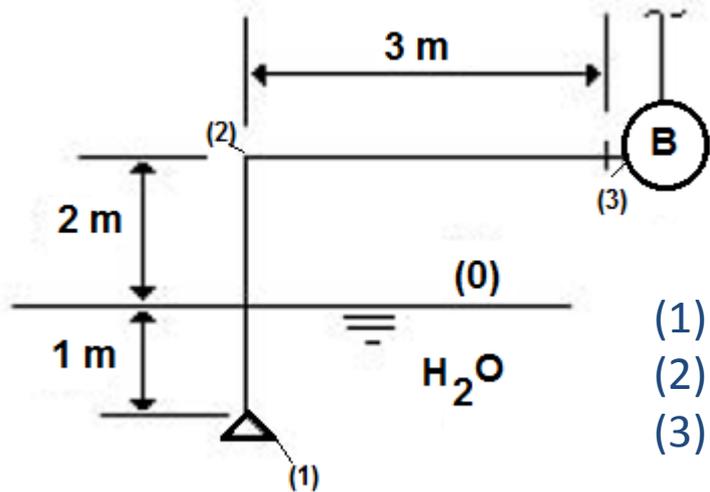


O desenho abaixo representa a tubulação de sucção de uma instalação de bombeamento. Calcule o  $NPSH_{\text{disponível}}$ .

São Dados:

$p_v = 0,0429 \text{ kgf / cm}^2 \rightarrow (\text{abs}) \rightarrow 30^\circ \text{ C} \rightarrow Q = 16 \text{ m}^3/\text{h}$

$p_{\text{atm}} = 695 \text{ mm Hg}$  ;  $f_{\text{sucção}} = 0,0211$  e  $\varnothing$  nominal de sucção = 3" - Sch 40



- (1) - válvula de poço -  $L_{\text{eq}} = 32 \text{ m}$
- (2) - joelho fêmea -  $L_{\text{eq}} = 2,82 \text{ m}$
- (3) - estreitamento de 3 x 2,5 -  $L_{\text{eq}} = 0,53 \text{ m}$

$$\text{NPSH}_{\text{disponível}} = z_0 + \frac{p_{0_{\text{abs}}} - p_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{p_{aB}}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponível}} = -2 + \frac{92659,05 - 4207,053}{995,7 \times 9,8} - 0,0211 \times \frac{(6 + 35,35)}{0,0779} \times \frac{\left(\frac{16}{3600}\right)^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponível}} = 6,5\text{m}$$



Não esquecer de adotar o PHR no eixo da bomba e de trabalhar na escala absoluta.





Nesse ponto, vamos ampliar a nossa visão sobre os motores elétricos, abordando:

1. Conceito de motores elétrico.
2. Suas classificações básicas.
3. Seus conceitos básicos.



# Motores elétricos

20/09/2010 - v6

São máquinas que transformam energia elétrica em energia mecânica.

## primeira classificação

- motores de corrente contínua
- motores de corrente alternada
  - síncronos
  - assíncronos

## síncronos

- funcionam com a velocidade fixa
- são de alto custo e utilizados para altas potências

## assíncronos

a velocidade embora permaneça próxima a um determinado valor, apresenta pequena variação em função da carga a que o motor é submetido



são simples e robustos e de baixo custo

## conceitos básicos

- potência mecânica ✓
- velocidade síncrona ✓
- características dos motores normalizados ✓
- potência aparente ✓
- potência ativa ✓
- potência reativa ✓
- fator de potência ✓
- potência total ✓
- rendimento do motor elétrico ✓
- consumo de energia nos motores elétricos ✓

A potência mecânica é a grandeza física que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo



$$N_{\text{mec}} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta(F \times s)}{\Delta t} = F \times v$$

$$v = \frac{2\pi nr}{60}$$

C = conjugado (ou torque)

$$C = F \times r$$

r = raio do rotor

$$N_{\text{mec}} = C \times \frac{2\pi}{60} \times n = F \times r \times \frac{2\pi}{60} \times n$$

Velocidade de rotação síncrona ( $n_s$ )



$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \rightarrow [f] = \text{Hz}$$

p = número de pólos

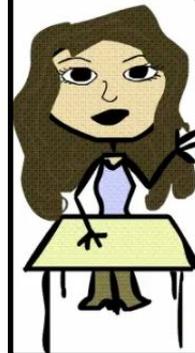
2 pólos = 3600 rpm

4 pólos = 1800 rpm

6 pólos = 1200 rpm

8 pólos = 900 rpm

Isto porque o decreto número 4508 de 11 de dezembro de 2002 do Ministério de Minas e Energia estabelece que os motores elétricos devem ter uma frequência nominal igual a 60 Hz.



Geralmente os motores síncronos só são usados para potências > que 500CV

Nos motores assíncronos a velocidade de rotação não coincide exatamente com a velocidade de sincronismo.

Ela é menor?



Sim e a diminuição é originada pelo escorregamento ( $s$ ), que geralmente é da ordem de 3 a 5%

$$n = n_s \times \left(1 - \frac{s}{100}\right)$$

A potência aparente é a potência instantânea desenvolvida por um dispositivo de dois terminais e é igual ao produto da diferença de potencial entre os terminais e a corrente que passa através do dispositivo.



Circuitos monofásico  $\rightarrow N_{\text{apar.}} = V \times I$

Circuitos trifásicos  $\rightarrow N_{\text{apar.}} = \sqrt{3} \times V \times I$

$$[N_{\text{apar}}] = \text{VA}$$

A potência ativa é a capacidade do circuito em produzir trabalho, ou seja, ela é a parte da potência aparente que realmente é transformada em energia.



Circuitos monofásico  $\rightarrow N_a = VI \cos \phi$

Circuitos trifásicos  $\rightarrow N_a = \sqrt{3} \times VI \cos \phi$

$[N_a] = \text{W} \rightarrow \phi = \text{ângulo de fase}$

Potência reativa é parte da potência aparente que é armazenada não realizando trabalho



Circuitos monofásico  $\rightarrow N_R = VI \text{sen} \phi$

Circuitos trifásicos  $\rightarrow N_R = \sqrt{3} \times VI \text{sen} \phi$

$[N_a] = VA_R \rightarrow \phi = \text{ângulo de fase}$

$$N_{\text{apar.}}^2 = N_a^2 + N_R^2$$

Fator de potência é um índice que indica quanto de energia total foi transformada em trabalho e quanto foi utilizada em magnetização. Ele mostra o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos.

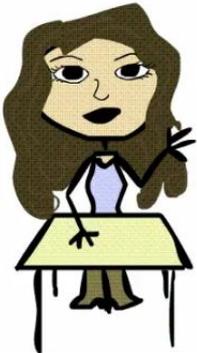


$$\cos \phi = \frac{N_a}{N_{\text{apar}}} \rightarrow \text{ex : } \cos \phi = 0,80$$

$\therefore 80\% \Rightarrow$  transformada em trabalho

$20\% \Rightarrow$  transformada em magnetização

Valores baixos de fator de potência evidenciam um mau aproveitamento e representam uma sobrecarga para todo o sistema elétrico.

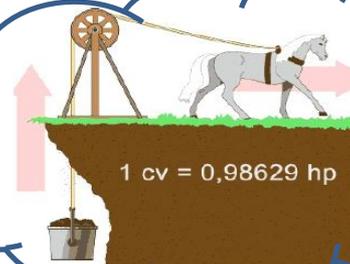


Agora entendo porque o Artigo número 64 da Resolução ANEEL número 456 de 29 de novembro de 2000 estabelece que o fator de potência deve permanecer igual ou superior a 0,92 .

Calcular	Corrente contínua	Corrente alternada	
		monofásica	trifásica
Potência efetiva no eixo do motor em kW	$N_B = \frac{V \times I \times \eta_m}{1000}$	$N_B = \frac{V \times I \times \eta_m \times \cos \phi}{1000}$	$N_B = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \eta_m \times \cos \phi}{1000}$
Potência fornecida em kW	$N_m = \frac{V \times I}{1000}$	$N_m = \frac{V \times I \times \cos \phi}{1000}$	$N_m = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi}{1000}$
Corrente absorvida a plena carga, ampères (no eixo do motor)	$I = \frac{N_B \times 1000}{V \times \eta_m}$	$I = \frac{N_B \times 1000}{V \times \cos \phi \times \eta_m}$	$I = \frac{N_B \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta_m}$

### EXPRESSÕES ELÉTRICAS

$$\eta_{\text{global}} = \frac{N}{N_m}$$



Exercício 1: Qual a potência mecânica necessária para acionar uma polia de raio igual a 0,5 m a uma rotação de 1750 rpm, com uma força de 30 kgf?



Resposta: 36,7 CV

Exercício 2: Determine o porcentual de escorregamento de um motor de 4 pólos com rotação nominal de 1750 rpm, alimentado por uma frequência de 60 Hz.



Resposta: 2,8%

Exercício 3: Determine as potências aparente, ativa e reativa para um motor trifásico alimentado a uma tensão de 440V, corrente de 46,5 A e fator de potência de 0,7.



Respostas:  
 $N_{\text{apar}} = 35,4 \text{ KVA}$   
 $N_a = 24,8 \text{ kW}$   
 $N_R = 25,3 \text{ KVA}_R$

Exercício 4: Para alimentar uma carga de 25kW com fator de potência igual a 0,70, são necessários 35,7 kVA. Determinar para a mesma carga de 25 kW, mas com fator de potência igual a 0,92, a potência aparente e a diferença de porcentual no fornecimento de potência.

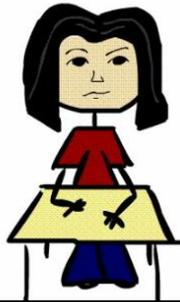


Respostas:  
 $N_{\text{apar}} = 27,2 \text{ KVA}$   
 $\Delta N = 23,8\%$

Uma das maneiras para se selecionar o motor elétrico



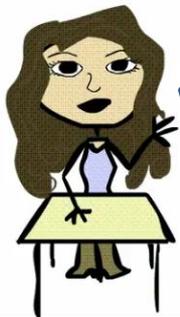
Adotamos o rendimento do motor igual a 90% e calculamos a potência nominal de referência.



Isso mesmo!



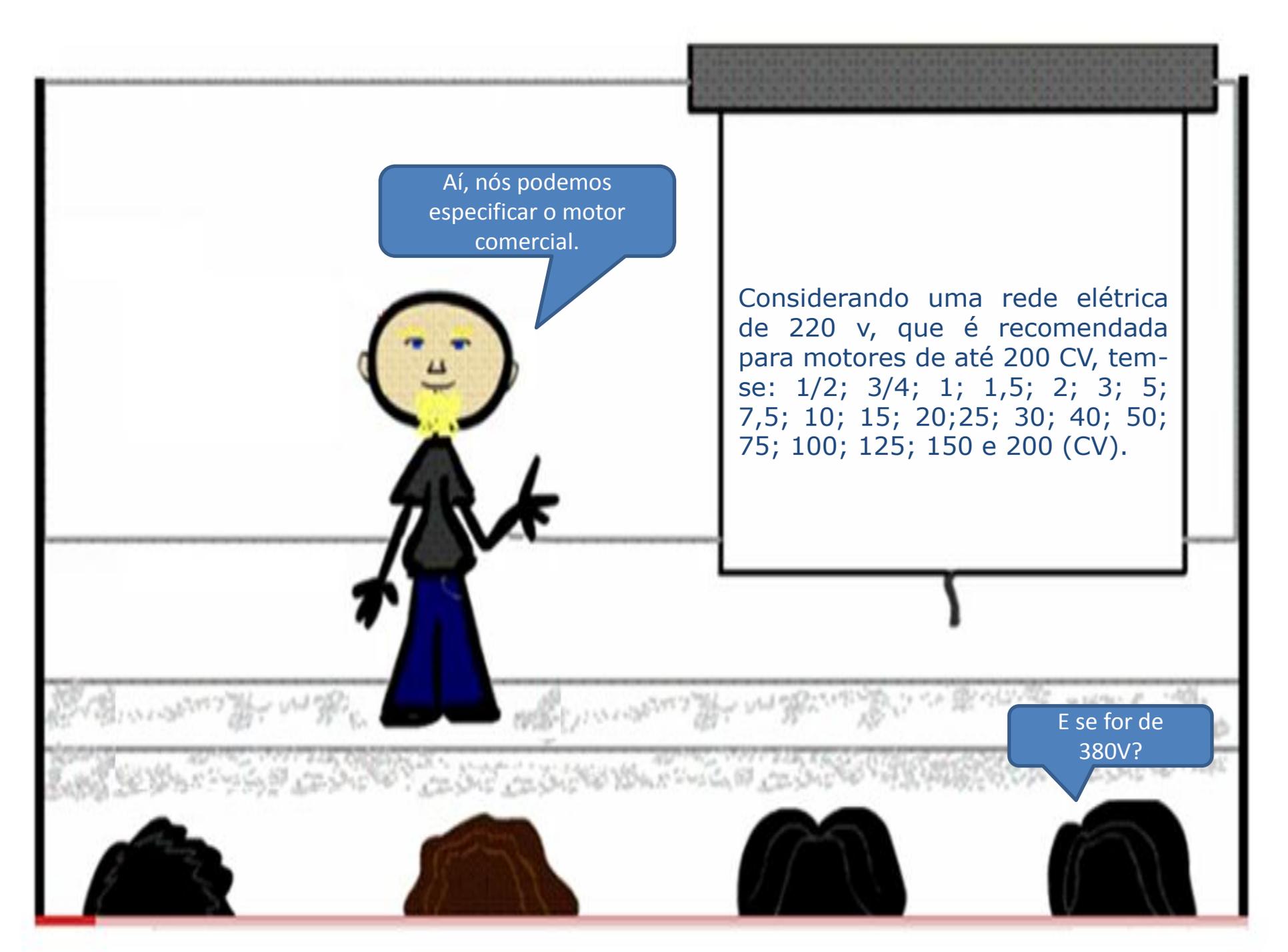
Pode-se então determinar a potência do motor elétrico de referência, já que ela é igual a potência da bomba (potência mecânica) dividida pelo rendimento do motor elétrico.



Isso mesmo!

$$N_{m_{ref}} = \frac{N_{B_{\tau}}}{\eta_m} = \frac{\gamma \times Q_{\tau} \times H_{B_{\tau}}}{0,9 \times \eta_{B_{\tau}}}$$





Aí, nós podemos especificar o motor comercial.

Considerando uma rede elétrica de 220 v, que é recomendada para motores de até 200 CV, tem-se: 1/2; 3/4; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100; 125; 150 e 200 (CV).

E se for de 380V?

Se for 380V,  
temos:



motores em CV  $\rightarrow$  1/2 . . .  
200; 250; 300; 350; 425; 475;  
530; 600; 675; 750; 850; 950;  
1000.



Especificado o  
motor elétrico,  
podemos calcular o  
seu consumo de  
energia.

Sim, mas podemos também calcular o  
rendimento real do motor elétrico!

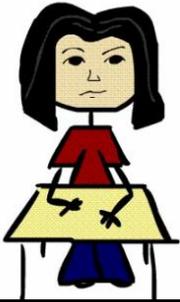


$$\eta_{m_{\text{real}}} = \frac{N_{B_{\tau}}}{N_{m_{\text{comercial}}}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{energia}_{\text{ex.mensal}}} = A$$

$$A = N_{m_{\text{comercial}}} (\text{kW}) \times a \left( \frac{\text{h}}{\text{dia}} \right) \times b \left( \frac{\text{dia}}{\text{mes}} \right)$$

Só existe essa  
maneira para  
sua  
especificação?



Existem outras  
maneiras para a  
escolha dos  
motores.



Uma outra  
maneira está  
sintetizada no  
próximo slide.



O motor que aciona a bomba deverá trabalhar sempre com uma folga ou margem de segurança a qual evitará que o mesmo venha, por uma razão qualquer, operar com sobrecarga. Portanto, recomenda-se que a potência necessária ao funcionamento da bomba ( $N_B$ ) seja acrescida de uma folga, conforme especificação a seguir (para motores elétricos):

Potência exigida pela Bomba ( $N_B$ )	Margem de segurança recomendada (%)
até 2 cv	50%
de 2 a 5 cv	30%
de 5 a 10 cv	20%
de 10 a 20 cv	15%
acima de 20 cv	10%

Para motores a óleo diesel recomenda-se uma margem de segurança de 25% e a gasolina, de 50% independente da potência calculada.

A TABELA ACIMA PODE SER LIDA NA PÁGINA 69 DO LIVRO BOMBAS E INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO ESCRITO POR A. J. MACINTYRE E EDITADO PELA LTC EM 2008.

