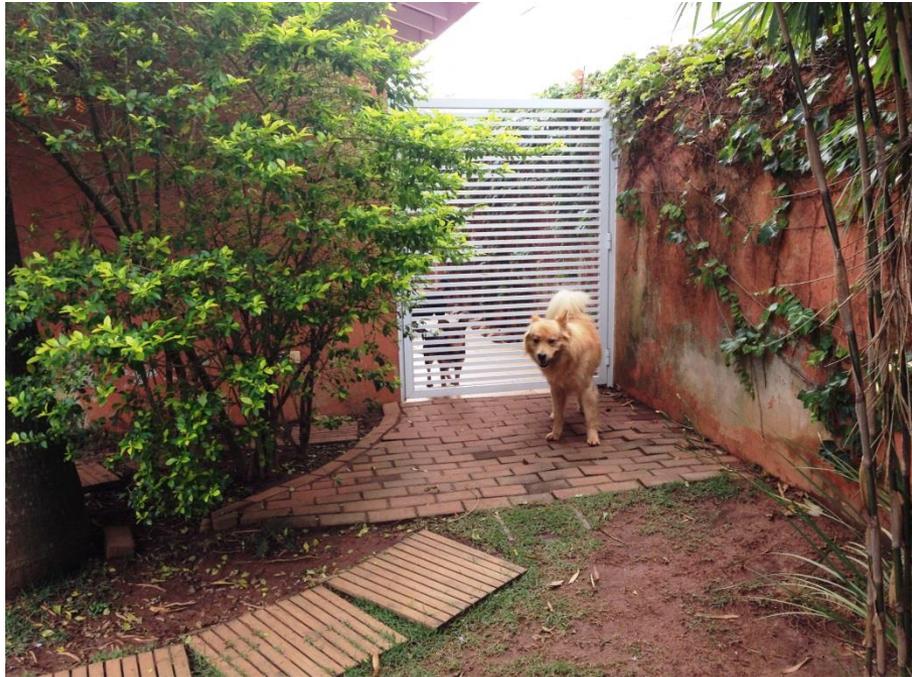


Décima terceira aula de ME5330

Segundo semestre de 2014



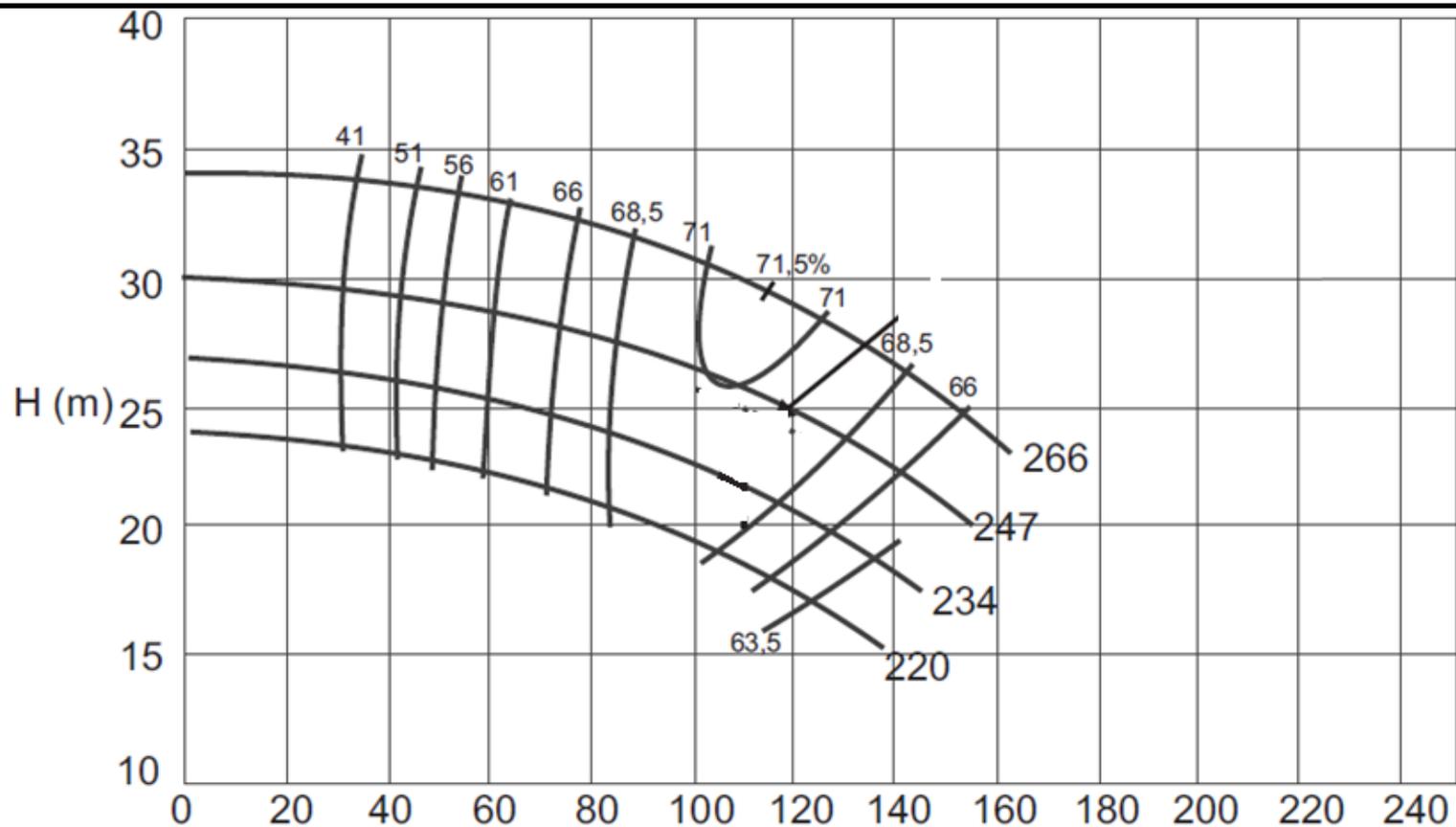


Até este ponto sempre escolhemos o diâmetro do rotor imediatamente maior ao ponto de projeto marcado junto as curvas do fabricante, agora vamos estudar a determinação do diâmetro do rotor exato!

Legal, assim gastamos menos material!

Verdade, já que
teremos uma
redução do diâmetro
do rotor,



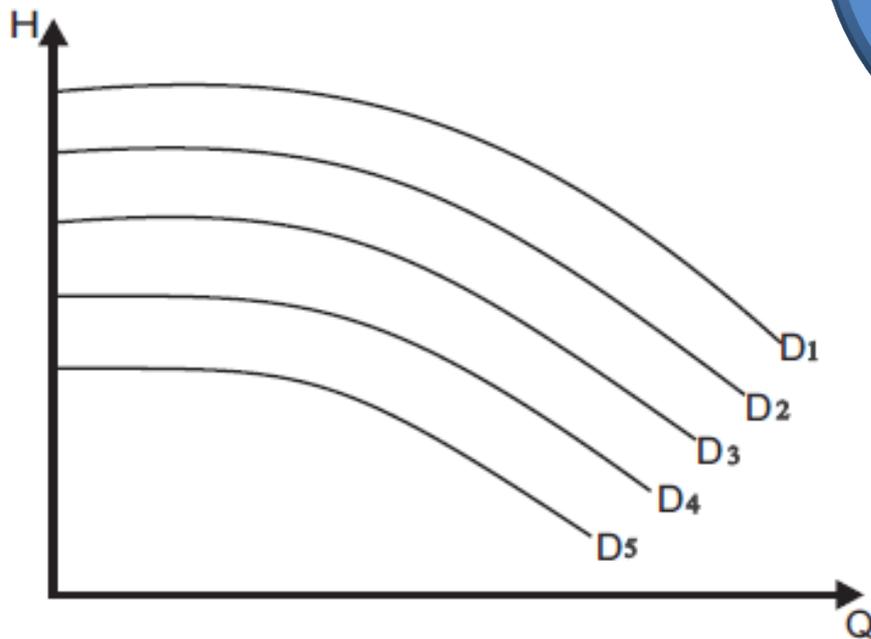


Vamos considerar um exemplo extraído do manual da KSB

Antes vamos refletir sobre as curvas acima.



Será que os fabricantes ensaiam todos esses rotores?



$D1 > D2 > D3 > D4 > D5$

NÃO!

Os fabricantes partem do diâmetro do rotor máximo e o cortam em função da necessidade. Nas curvas do exemplo, partiu-se de 266 mm e se reduziu para 247, 234 e 220 mm.



E a redução do diâmetro do rotor radial de uma bomba, mantendo a mesma rotação, a curva característica da bomba se altera aproximadamente de acordo com as seguintes equações:

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{D_{Rm}}{D_{Rp}}; \frac{H_{Bm}}{H_{Bp}} = \left(\frac{D_{Rm}}{D_{Rp}} \right)^2;$$

$$\frac{N_{Bm}}{N_{Bp}} = \left(\frac{D_{Rm}}{D_{Rp}} \right)^3$$

$$\therefore \frac{D_{Rm}}{D_{Rp}} = \frac{Q_m}{Q_p} = \sqrt{\frac{H_{Bm}}{H_{Bp}}} = \sqrt[3]{\frac{N_{Bm}}{N_{Bp}}}$$



Importante salientar que existem autores que propõem que o expoente da relação de diâmetros na expressão de Q deva ser entre 0,9 e 1,1 e outros autores afirmam que este expoente deve ser 2.

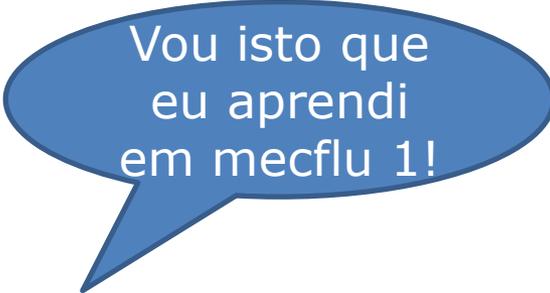
MUITOS DEVEM ESTAR PENSANDO: “MAS NÃO FOI ISSO QUE EU APRENDI EM MECFLU 1”



Influência do Diâmetro do Rotor

Nesta análise é importante se distinguir duas situações diferentes. A primeira delas é quando se trata de bombas geometricamente semelhantes, isto é, bombas cujas dimensões físicas têm um fator de proporcionalidade constante. Neste caso, a análise dos parâmetros adimensionais fornece as relações:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \left(\frac{D_{Rp}}{D_{Rm}} \right)^3; \quad \frac{H_{Bp}}{H_{Bm}} = \left(\frac{D_{Rp}}{D_{Rm}} \right)^2 \quad \text{e} \quad \frac{N_{Bp}}{N_{Bm}} = \left(\frac{D_{Rp}}{D_{Rm}} \right)^5$$



Vou isto que eu aprendi em mecflu 1!

A outra situação é aquela na qual existe uma redução no diâmetro externo do rotor, permanecendo as outras características físicas constantes. Esta alternativa é utilizada pelos fabricantes de bombas para ampliar a faixa de operação de suas máquinas. Desta forma, são montadas bombas com volutas idênticas, porém com rotores de diâmetro diferentes. Deve-se ter em mente que esta redução é limitada, pois a redução grande do diâmetro do rotor faz com que a eficiência da bomba seja bastante reduzida. Na prática esta redução está limitada a cerca de 20% do maior rotor. Neste caso, a análise não pode ser feita diretamente pelos parâmetros adimensionais. Pela recomendação de Karassik e Stepanoff, temos:

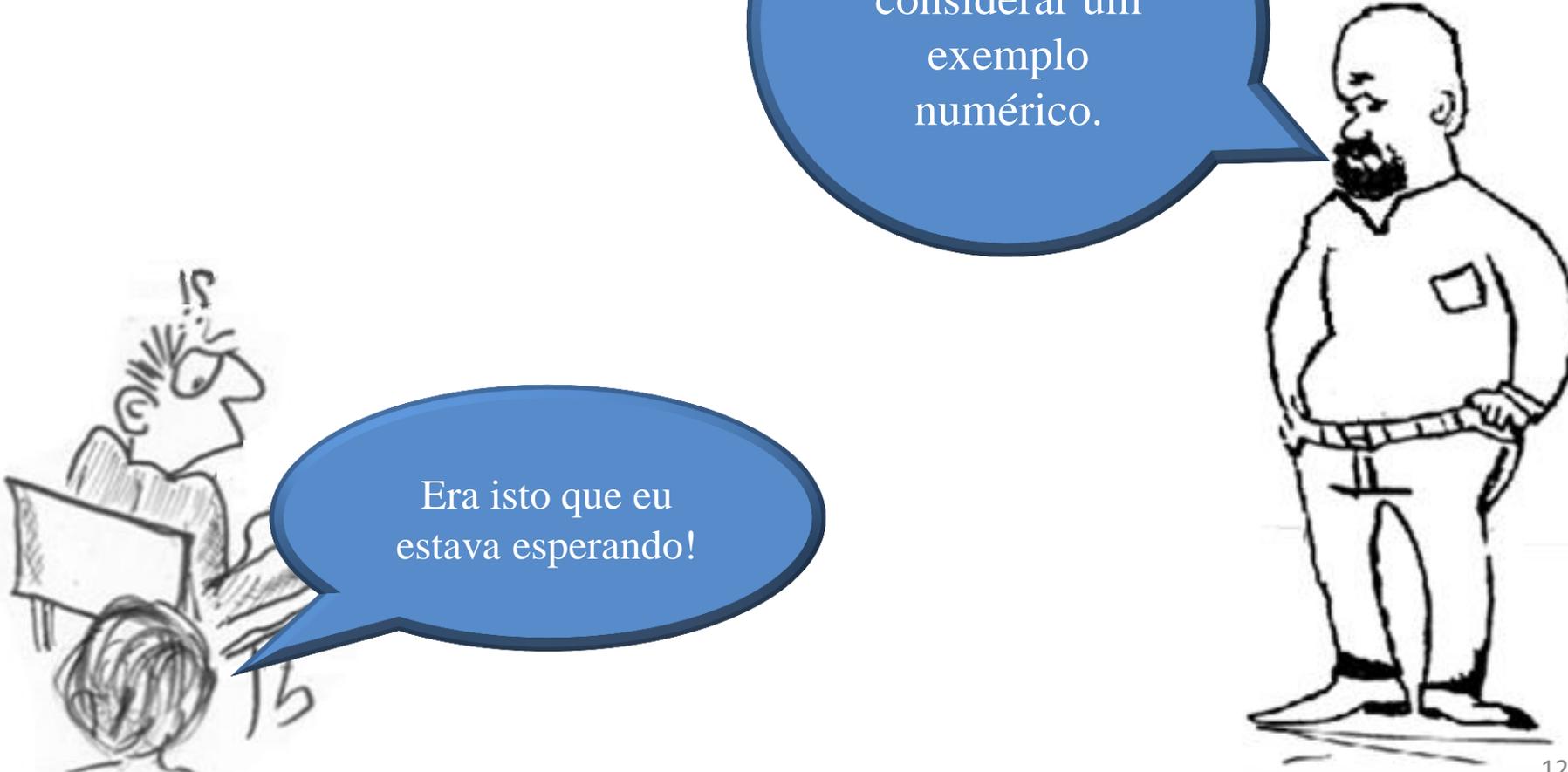
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_{R2}}{D_{R1}} \right); \quad \frac{H_{B2}}{H_{B1}} = \left(\frac{D_{R2}}{D_{R1}} \right)^2 \quad \text{e} \quad \frac{N_{B2}}{N_{B1}} = \left(\frac{D_{R2}}{D_{R1}} \right)^3$$

E aí existe outra possibilidade ...



Sim, consideramos que as vazões variam com os quadrados dos diâmetros dos rotores:

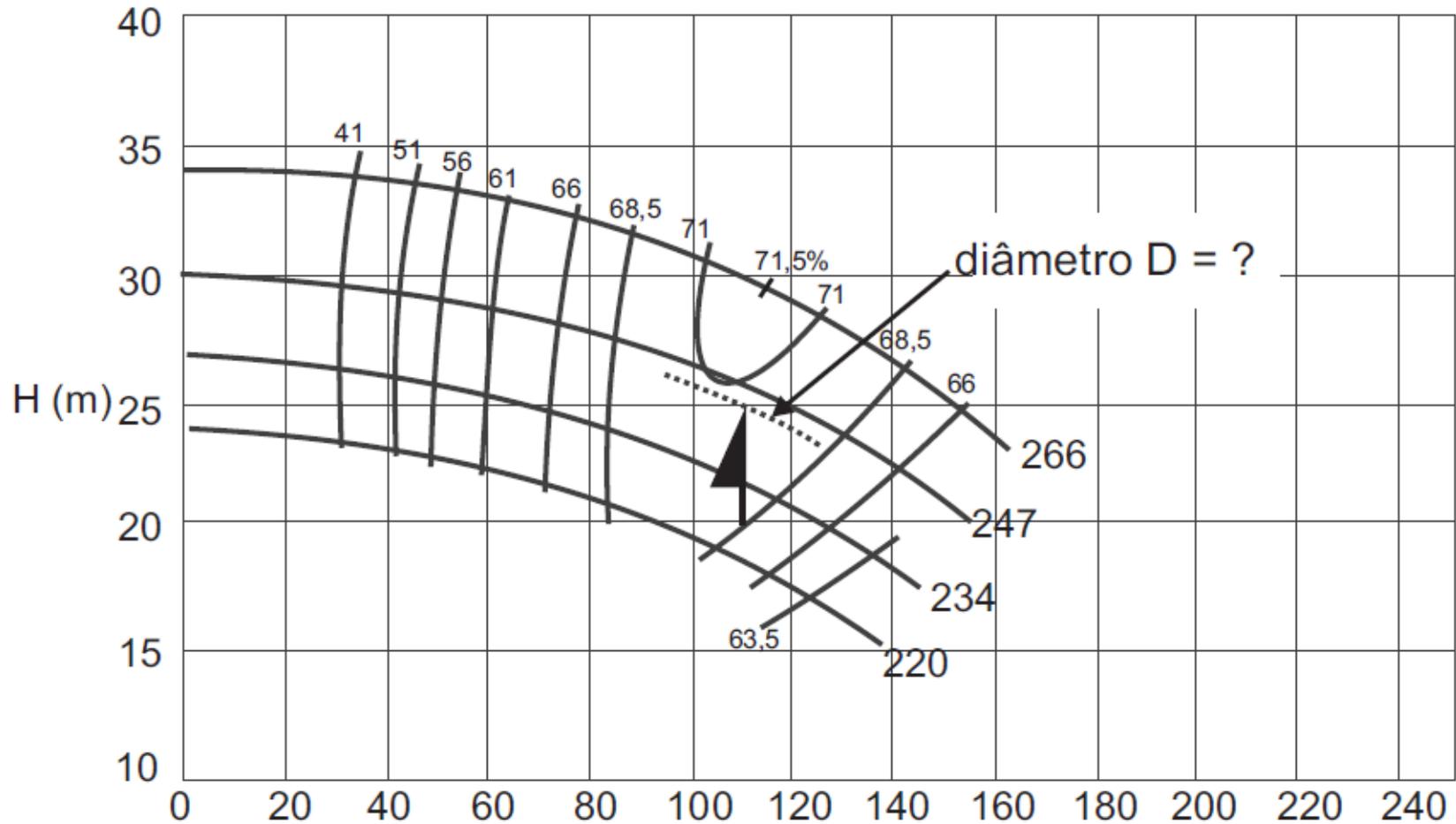
$$\frac{Q_p}{Q_C} = \frac{D_{Rp}^2}{D_{Rm}^2}$$

A cartoon illustration featuring two men. On the left, a man with glasses and a large nose is looking towards the right. On the right, a man with a beard and a mustache is standing with his hands on his hips, looking back at the first man. Two blue speech bubbles are overlaid on the scene. The first speech bubble, coming from the bearded man, contains the text 'Vamos considerar um exemplo numérico.' The second speech bubble, coming from the man with glasses, contains the text 'Era isto que eu estava esperando!'.

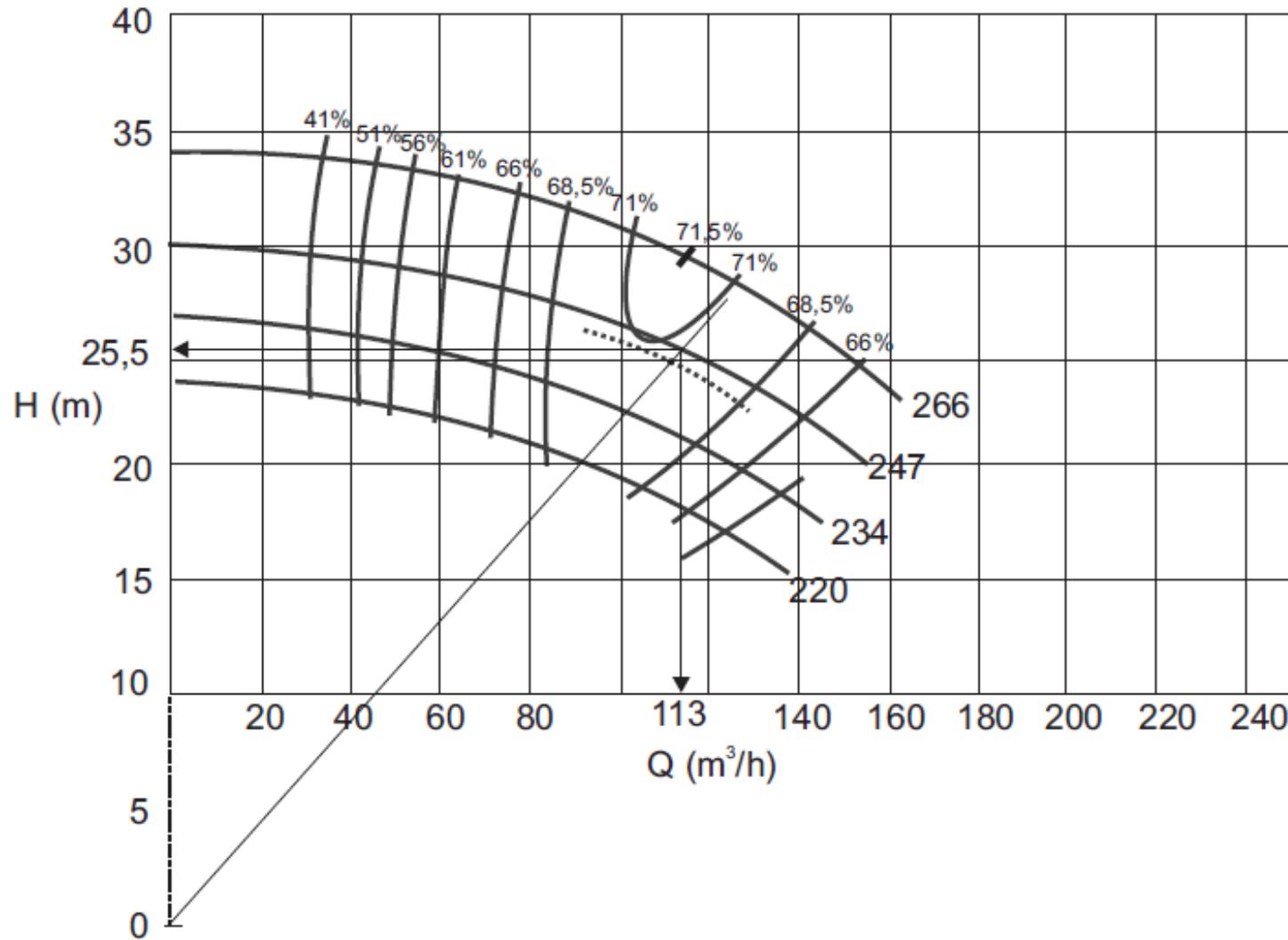
Vamos
considerar um
exemplo
numérico.

Era isto que eu
estava esperando!

Para uma vazão de $110 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma altura manométrica de 25 m determine o diâmetro do rotor.



Como este plano cartesiano não apresenta a origem, encontramos a origem do plano utilizando a mesma escala; traçamos a reta desta origem encontrada passando pelo ponto de operação e atingindo o D_{rotor} imediatamente acima, conforme mostrado abaixo, e encontramos $Q = 113 \text{ m}^3/\text{h}$ e $H = 25,5 \text{ m}$ para o $D_{rotor} = 247 \text{ mm}$.



Utilizando as fórmulas apresentadas, calcula-se o diâmetro do rotor:

$$D = D_1 \times \frac{Q}{Q_1} \Rightarrow D = 247 \times \frac{110}{113} \cong 240,4\text{mm}$$

$$D = D_1 \times \sqrt{\frac{Q}{Q_1}} \Rightarrow D = 247 \times \sqrt{\frac{110}{113}} \therefore D \cong 243\text{mm}$$

$$D = D_1 \times \sqrt{\frac{H}{H_1}} = D = 247 \times \sqrt{\frac{25}{25,5}} \therefore D \cong 244,5\text{mm}$$

Por motivo de segurança,
utilizamos o diâmetro maior, ou
seja, $D = 244,5 \text{ mm}$.



A black and white cartoon illustration of a classroom. A professor with a beard and a white shirt stands at the front, looking towards the students. Several students are seated at desks, some holding books or papers. Two blue speech bubbles are overlaid on the image. The top bubble contains the text 'Já que recordamos os conceitos de semelhança, vamos definir a bomba unidade'. The bottom bubble contains the text 'Ela que deu origem ao cálculo da rotação específica!'.

Já que recordamos os conceitos de semelhança, vamos definir a bomba unidade

Ela que deu origem ao cálculo da rotação específica!



A bomba
unidade é a
bomba que é
semelhante a
todas as
bombas

$$\frac{1}{n_q^2 \times D_{rm}^2} = \frac{H_B}{n^2 \times D_{rp}^2} \therefore \frac{D_{rm}^2}{D_{rp}^2} = \left(\frac{n}{n_q}\right)^2 \times \frac{1}{H_B} \rightarrow (I)$$

$$\frac{1}{n_q \times D_{rm}^3} = \frac{Q}{n \times D_{rp}^3} \therefore \frac{D_{rm}^3}{D_{rp}^3} = \frac{n}{n_q} \times \frac{1}{Q} \rightarrow (II)$$

$$(I)^3 \text{ e } (II)^2 \therefore \left(\frac{n}{n_q}\right)^6 \times \left(\frac{1}{H_B}\right)^3 = \left(\frac{n}{n_q}\right)^2 \times \left(\frac{1}{Q}\right)^2$$

$$\left(\frac{n}{n_q}\right)^4 = \left(\frac{1}{Q}\right)^2 \times (H_B)^3 \therefore n_q = n \times \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$$

E ela no ponto de maior
rendimento opera com
 $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_B = 1 \text{ m}$ e
com a rotação n_q



A rotação específica nominal (n_q) é fundamental para as seguintes situações:

1. Estimar o NPSH requerido quando o mesmo não é fornecido;
2. Estimar o rendimento quando o mesmo não é fornecido, ou comprovar o valor fornecido pelo fabricante

$$n_q = n \times \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$$

1. Estimar o NPSH requerido quando o mesmo não é fornecido





Conhecida a rotação específica nominal (n_q), podemos calcular o fator de Thoma (σ ou θ) pelas equações:

$$\sigma = \varphi \times n_q^{4/3}$$

$$\sigma = \varphi \times \left(\frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} \right)^{4/3}$$

φ ?



φ é um fator que depende da própria rotação específica

$\varphi = 0,0011 \rightarrow$ para bombas centrífugas radiais, lentas, normais e rápidas ;
 $\varphi = 0,0013 \rightarrow$ para bombas helicoidais e hélico-axiais
 $\varphi = 0,00145 \rightarrow$ para bombas axiais

E como tenho esta classificação?



Classificação
das bombas
pelo n_q

CLASSIFICAÇÃO BÁSICA

1. $n_q < 10$ – bomba de deslocamento positivo: engrenagens, palhetas, pistões, etc.
2. n_q de 10 a 40 rpm – bomba centrífuga radial
3. n_q de 35 a 85 rpm bomba centrífuga helicoidal
4. n_q de 80 a 150 rpm bomba centrífuga diagonal
5. n_q de 125 a 500 rpm bomba axial



Com o fator de Thoma podemos estimar o $NPSH_{req}$

$$NPSH_{requerido} = \sigma \times H_B$$



O fator de Thoma
pode ser obtido
também
graficamente como
mostro no próximo
slide

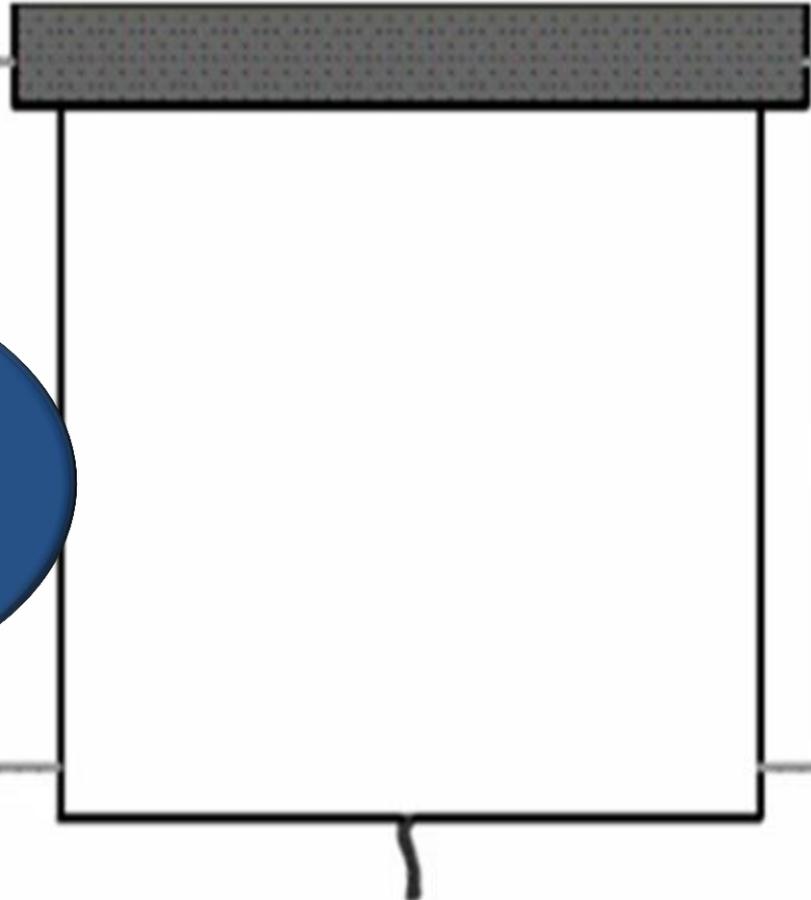
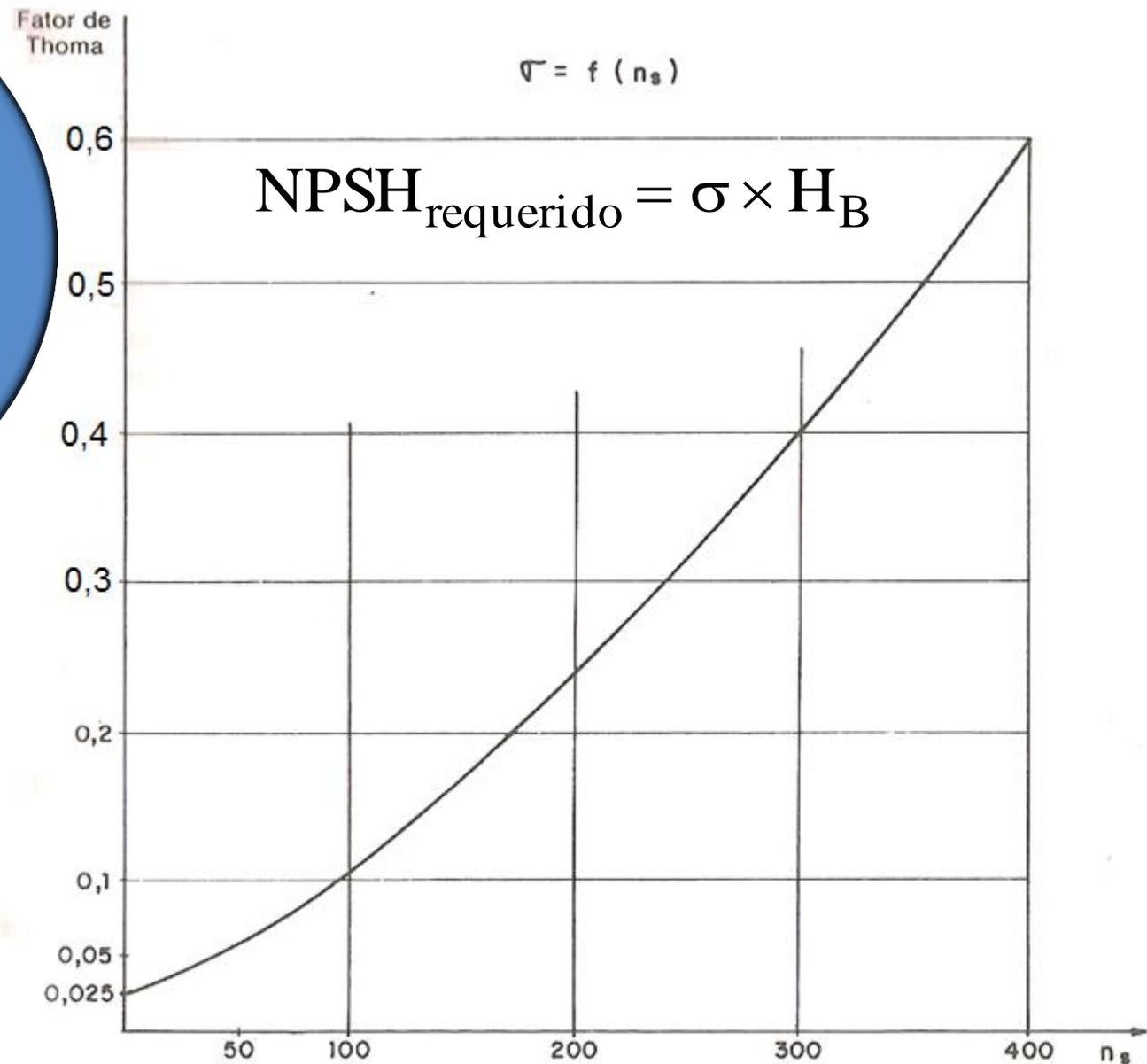


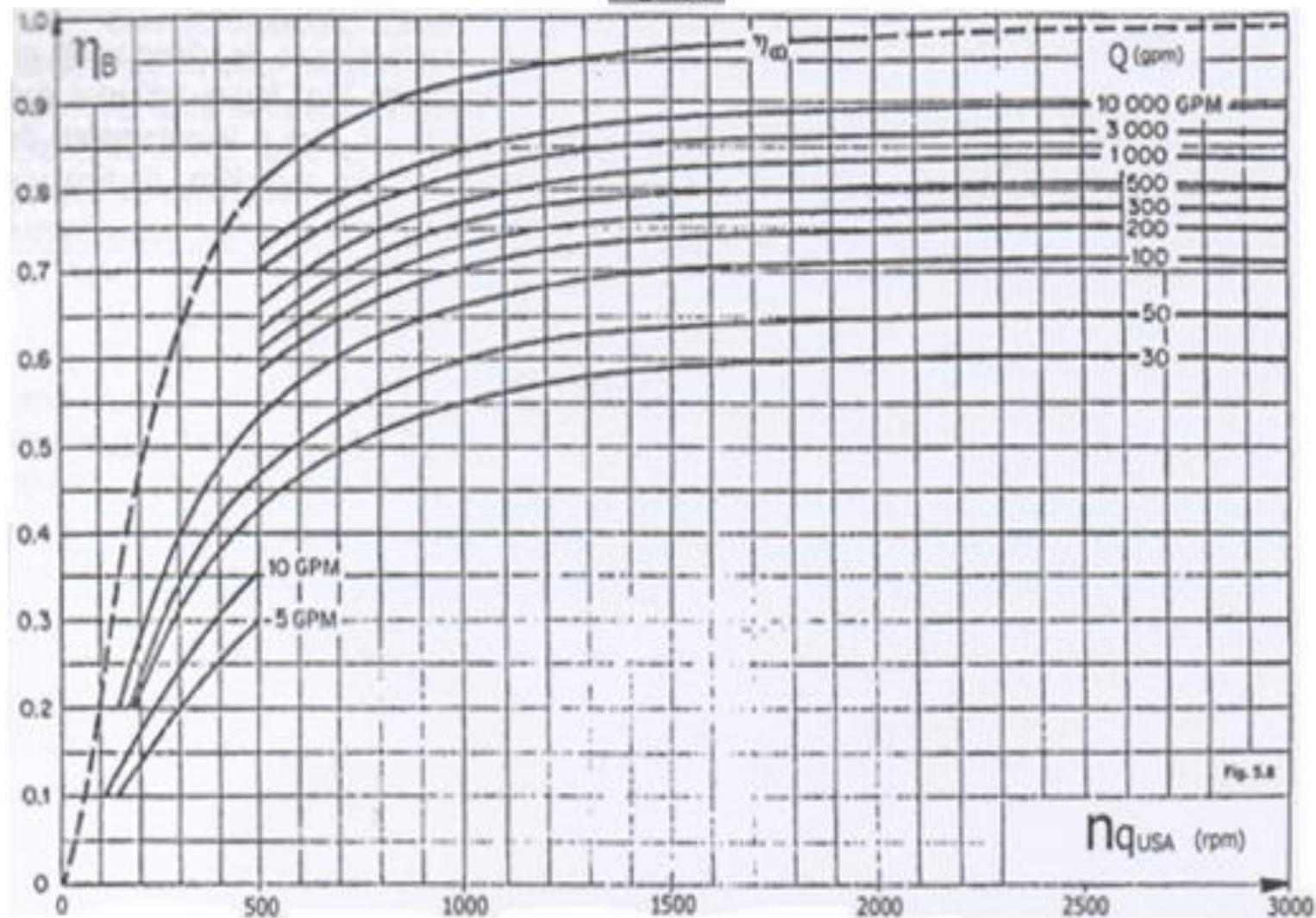
Gráfico extraído da página 215 do livro: Bombas e Instalações de Bombeamento, escrito por Archibald Joseph Macintyre e editado pela LTC em 2008



2. Estimar o rendimento quando o mesmo não é fornecido, ou comprovar o informado pelo fabricante



Fig. 5.8

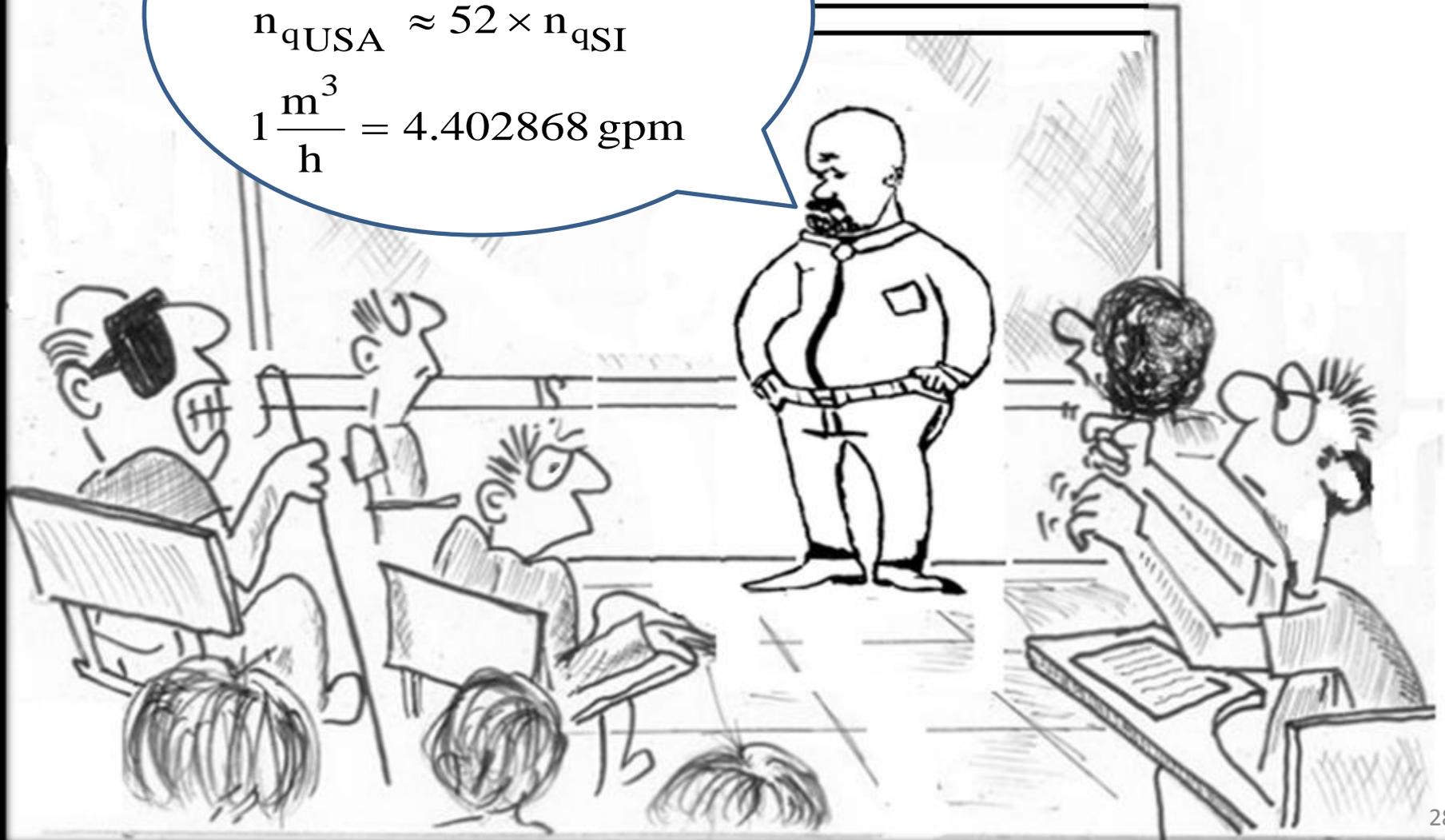


Importante:

$$n_{qUSA} = 51,6475 \times n_{qSI}$$

$$n_{qUSA} \approx 52 \times n_{qSI}$$

$$1 \frac{m^3}{h} = 4.402868 \text{ gpm}$$



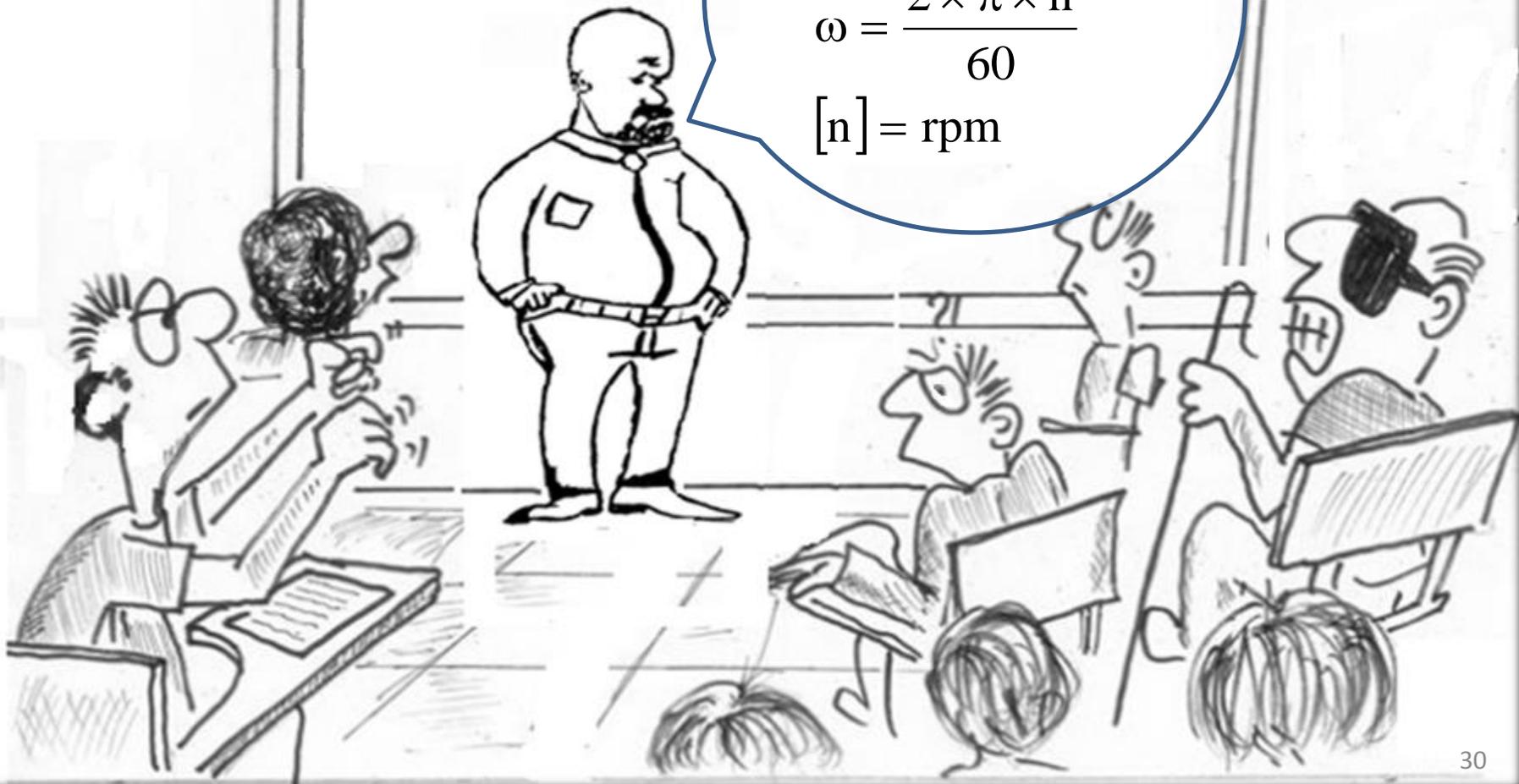
Existe um outro
diagrama que trabalha
com números
adimensionais



$$\Omega_p = \frac{\omega \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{(g \times H_B)^3}}$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

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



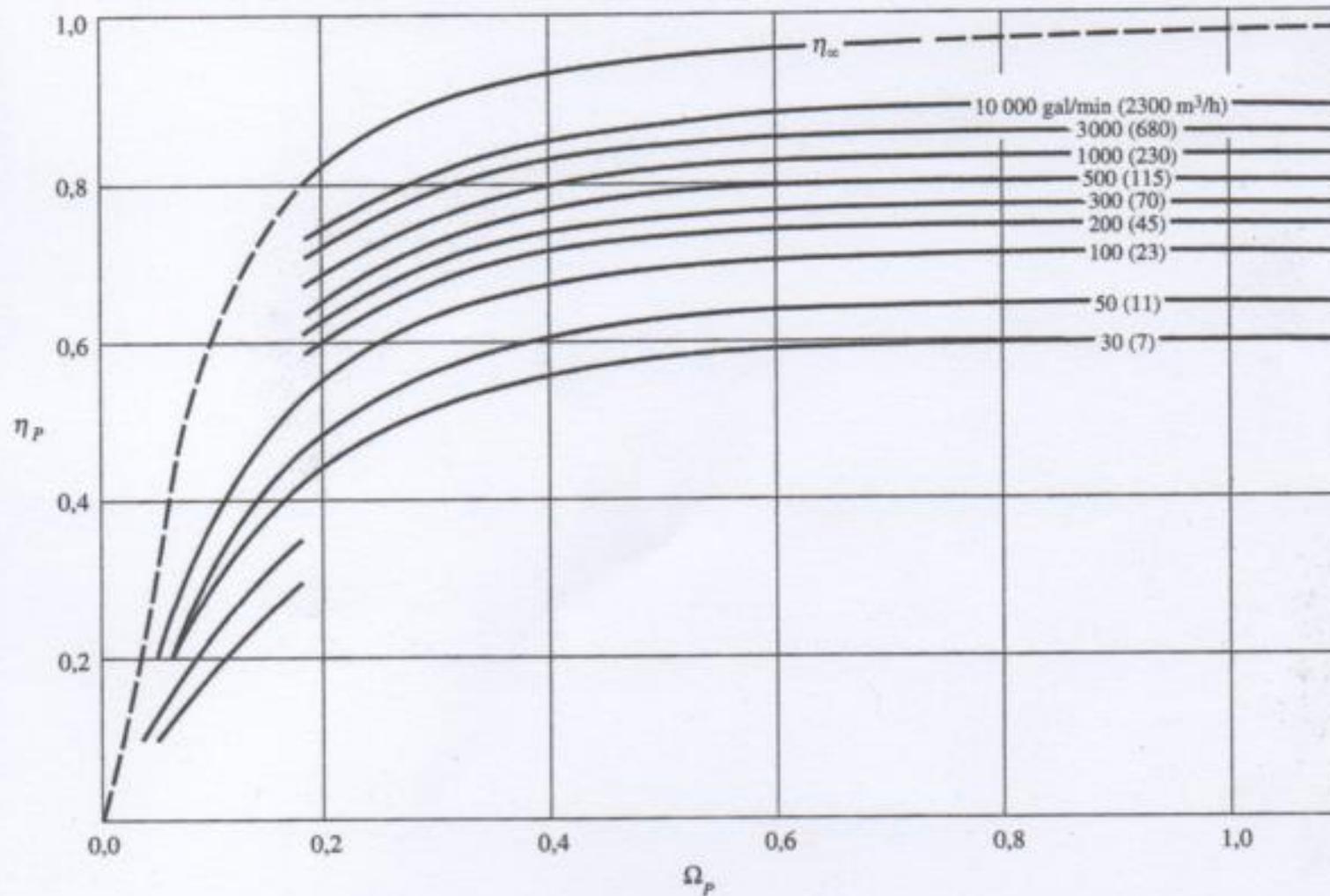


FIGURA 12.15 Eficiência máxima em função da velocidade específica e descarga para bombas de fluxo radial. (Adaptada com autorização de Karassik et al., 1986.)

Pretendemos bombear água a 40°C de um reservatório para outro mais elevado (carga estática igual a 21,3 m) através de 250 m de tubo de 12" aço 40 (Dint = 303,2 mm e A = 729,6 cm²) onde o coeficiente de perda de carga distribuída é igual a 0,0139. Operando com uma bomba de 1170 rpm, obtemos uma vazão de trabalho igual a 880 m³/h. Pede-se estimar o NPSHreq pelo fator de Thoma.

Exemplo 1:

Dados: 1 m³/h = 4,402868 gpm; massa específica da água igual a 992,2 kg/m³, perda de carga localizada na instalação é desprezível e que trata-se de uma bomba axiais ($\varphi = 0,00145$).



$$H_B = 21,3 + 0,0139 \times \frac{250}{0,3032} \times \frac{\left(\frac{880}{3600}\right)^2}{19,6 \times \left(729,6 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$H_B \cong 6,6\text{m} \rightarrow n_q = \frac{1170 \times \sqrt{\frac{880}{3600}}}{\sqrt[4]{6,6^3}} \cong 140,5\text{rpm}$$

$$\sigma = 0,00145 \times (140,5)^{\frac{4}{3}} \cong 1,06 \therefore \text{NPSH}_{\text{req}} = \sigma \times H_B = 1,06 \times 6,6 \cong 7,0\text{m}$$

Exemplo 2:



Um fabricante promete ter um rendimento de 75% quando sua bomba de 3500 rpm opera com uma vazão de 80 m³/h e uma carga manométrica de 54 m, será que podemos confiar nesta informação?

$$n_q = \frac{3500 \times \sqrt{\frac{80}{3600}}}{\sqrt[4]{54^3}} \cong 26,2 \text{rpm} \rightarrow \text{centrifuga radial}$$

$$n_{q\text{USA}} \cong 26,2 \times 51,6475 \cong 1353,2 \text{rpm}$$

$$Q = 80 \times 4,402868 \cong 352,2 \text{gpm}$$

Fig. 5.8

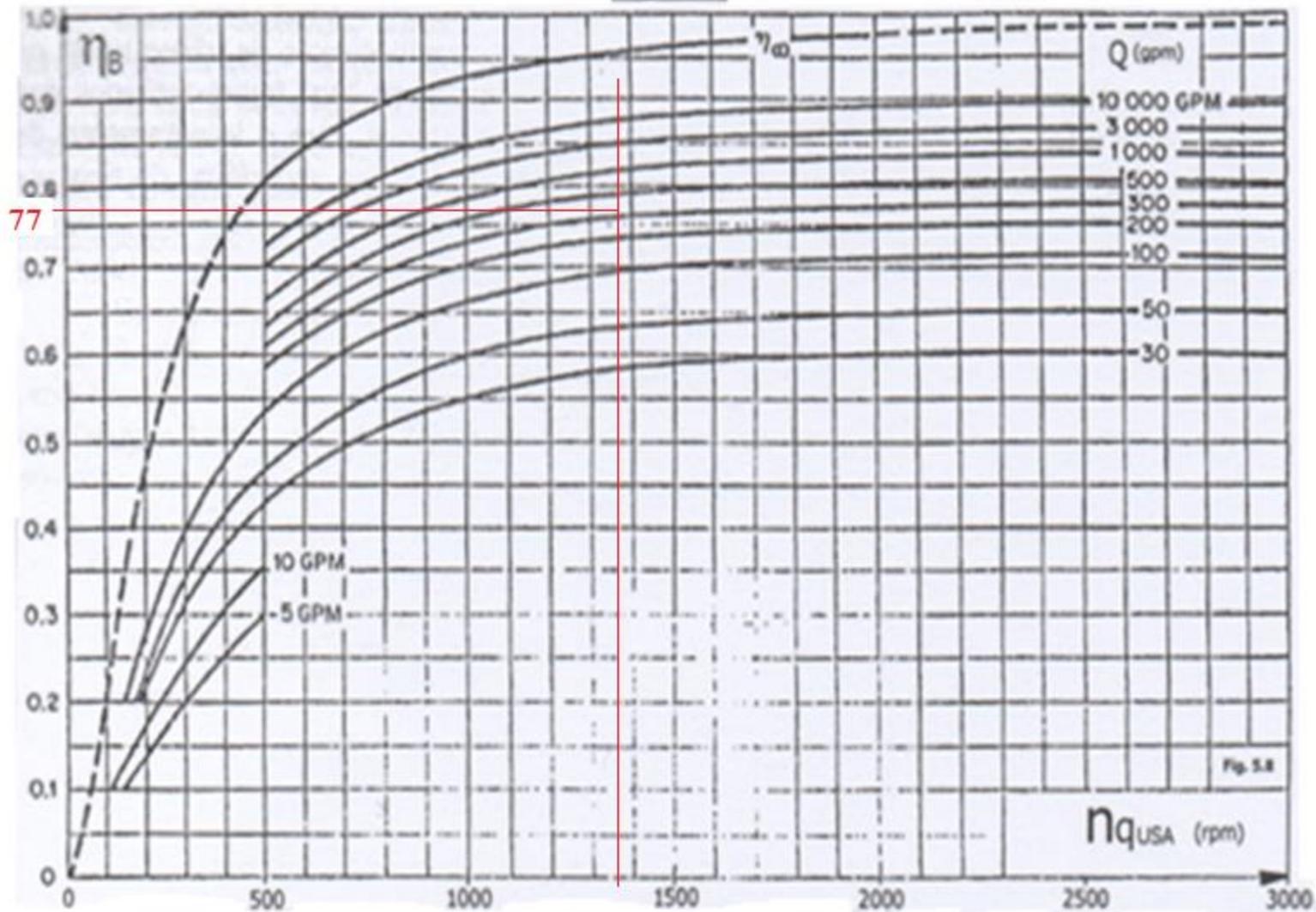


Fig. 5.8

n_{qUSA} (rpm)

O rendimento encontrado é na ordem de 77 %, portanto a informação do fabricante é confiável.



A black and white cartoon illustration of a classroom. A professor with a beard and a white shirt stands at the front, looking towards the students. Several students are seated at desks, some holding books or papers. One student on the right is wearing sunglasses and holding a book. The scene is framed by a simple black border.

E desta maneira
encerro as aulas deste
semestre, lembrando
que esta é uma
referência básica

Significa que existe
um longo caminho a
construir, certo?

Exatamente e espero que
vocês consigam construí-los,
pois desta forma ninguém
poderá impor um caminho
que certamente não será o
melhor para vocês.

