Nona aula de ME5330

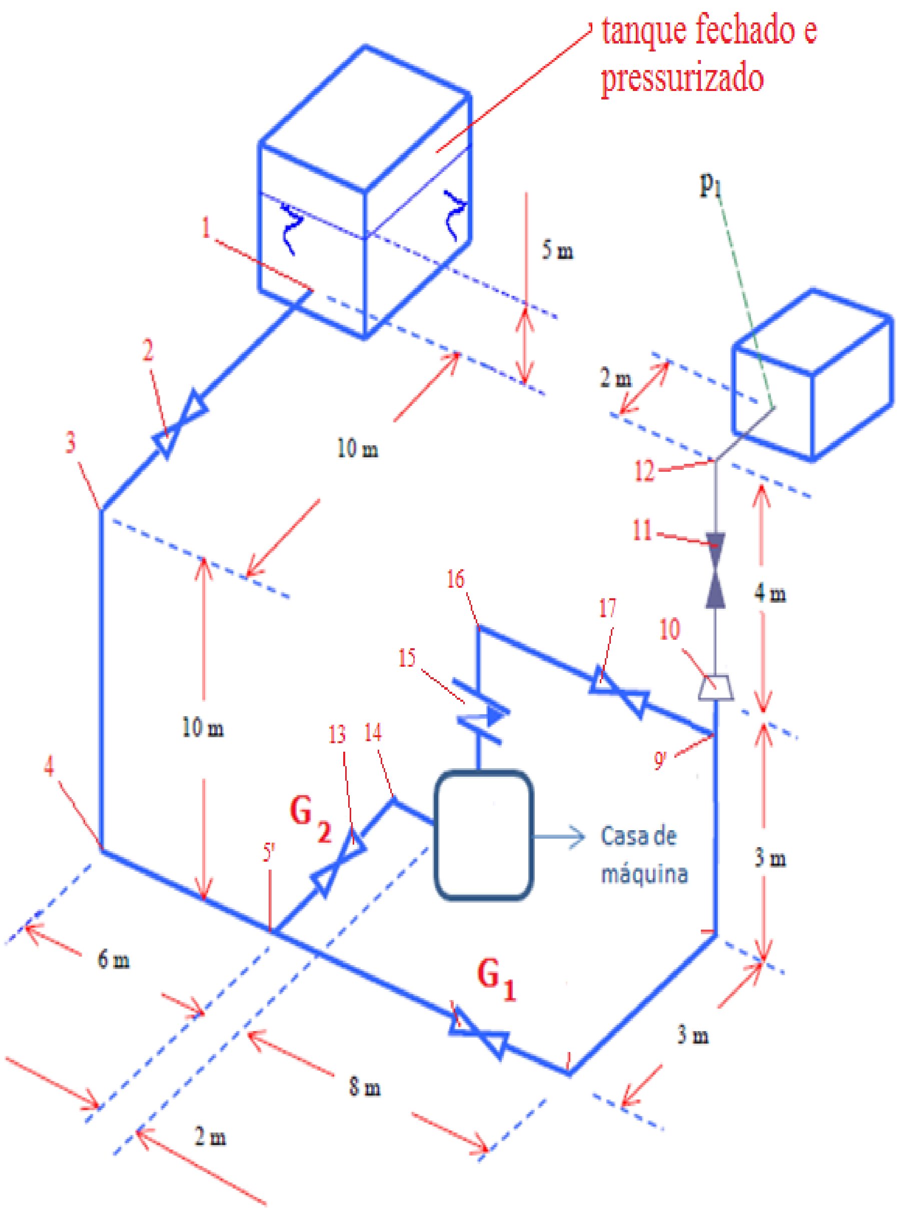
Primeiro semestre de 2014

Amor
Louco
pElo
Mundo e
tesÃo (de)
Estar vivO

Calmo
Lúcido
AMIGO
Unico
De
vIr o
mundO conquistar

Verificação do fenômeno de cavitação

Considere que a instalação encontra-se em um local com a pressão atmosférica igual a 700 mmHg com massa específica do Hg igual a 13541 kg/m³ e a pressão de vapor igual a 0,02642 bar



Número	Singularidade
1	Saída normal de reservatório
2	Válvula gaveta
3	Joelho fêmea de 90^0
4	Joelho fêmea de 90^0
5’	Tê de passagem lateral
13	Válvula gaveta
14	Joelho fêmea de 90^0
a	Tê de passagem lateral
b	Joelho fêmea de 90^0
c	Válvula gaveta

Número	Singularidade	Leq (m)	Referência	D_N	Dint (mm)	A (cm²)
1	Saída normal de reservatório	1,1	Tupy	3″	77,9	47,7
2	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3″	77,9	47,7
3	Joelho fêmea de 90^0	2,82	Tupy	3″	77,9	47,7
4	Joelho fêmea de 90^0	2,82	Tupy	3″	77,9	47,7
5′	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3″	77,9	47,7
13	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3″	77,9	47,7
14	Joelho fêmea de 90^0	2,82	Tupy	3″	77,9	47,7
a	Tê de passagem lateral	4,11	Tupy	3″	77,9	47,7
b	Joelho fêmea de 90^0	2,82	Tupy	3″	77,9	47,7
c	Válvula gaveta	1,03	Mipel	3″	77,9	47,7

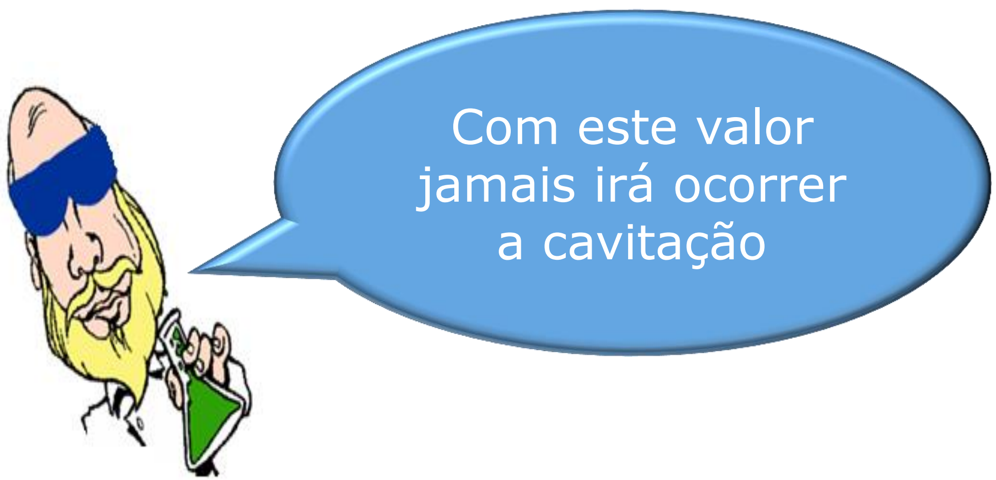
As singularidade "a", "b" e "c" encontram-se na casa de máquina e deve-se também acrescentar 1m de tubo dentro da casa de máquina.

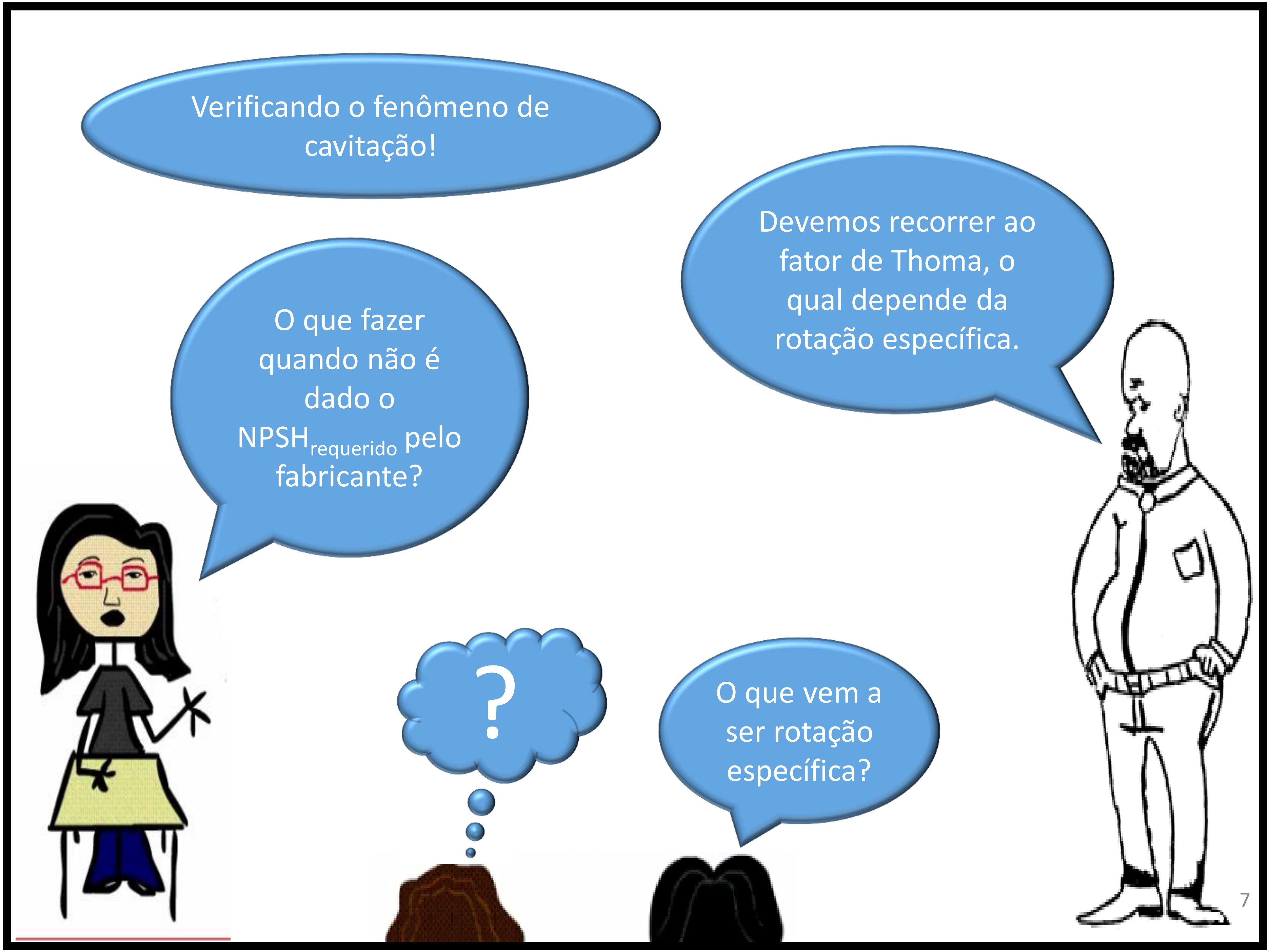
$$NPSH_{disp} = z_i + \frac{p_{i_{abs}} - p_{vapor}}{\gamma} - H_{p_{aB1}}$$

$$NPSH_{disp} = 15 + \frac{\left(143900 + 0{,}7 \times 13541 \times 9{,}8 - 0{,}02642 \times 10^5\right)}{997{,}8 \times 9{,}8}$$

$$- 0{,}0199 \times \frac{(32 + 23{,}69)}{0{,}0779} \times \frac{\left(31{,}2/3600\right)^2}{19{,}6 \times \left(47{,}7 \times 10^{-4}\right)^2}$$

$$NPSH_{disp} \cong 36{,}5\text{m}$$




Verificando o fenômeno de cavitação!
O que fazer quando não é dado o $NPSH_{requerido}$ pelo fabricante?
Devemos recorrer ao fator de Thoma, o qual depende da rotação específica.
O que vem a ser rotação específica?
?


Importante salientar que existem fórmulas especificas dos fabricantes para a determinação do NPSH$_{requerido}$, para exemplificar este fato forneço a fórmula comumente utilizada pela Sulzer.

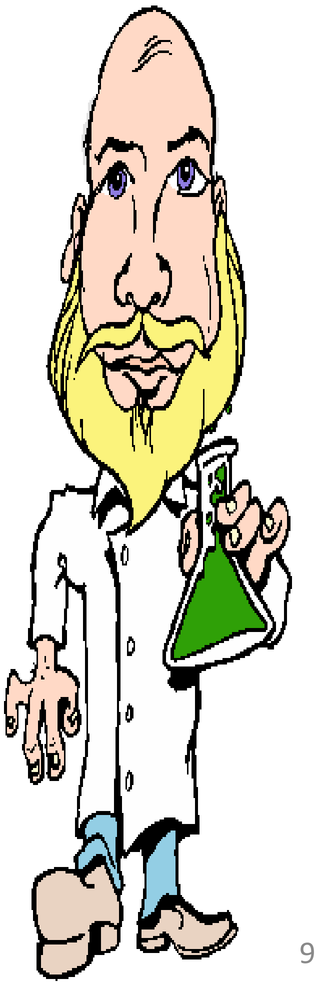
8

A fórmula comumente utilizada pela Sulzer:

$$NPSH_{requerido} = (0{,}3 \text{ a } 0{,}5) \times n \times \sqrt{Q}$$

$$[n] = rps$$

$$[Q] = \frac{m^3}{s}$$



$$NPSH_{requerido} = 0{,}3 \times \frac{3450}{60} \times \sqrt{\left(\frac{31{,}2}{3600}\right)}$$

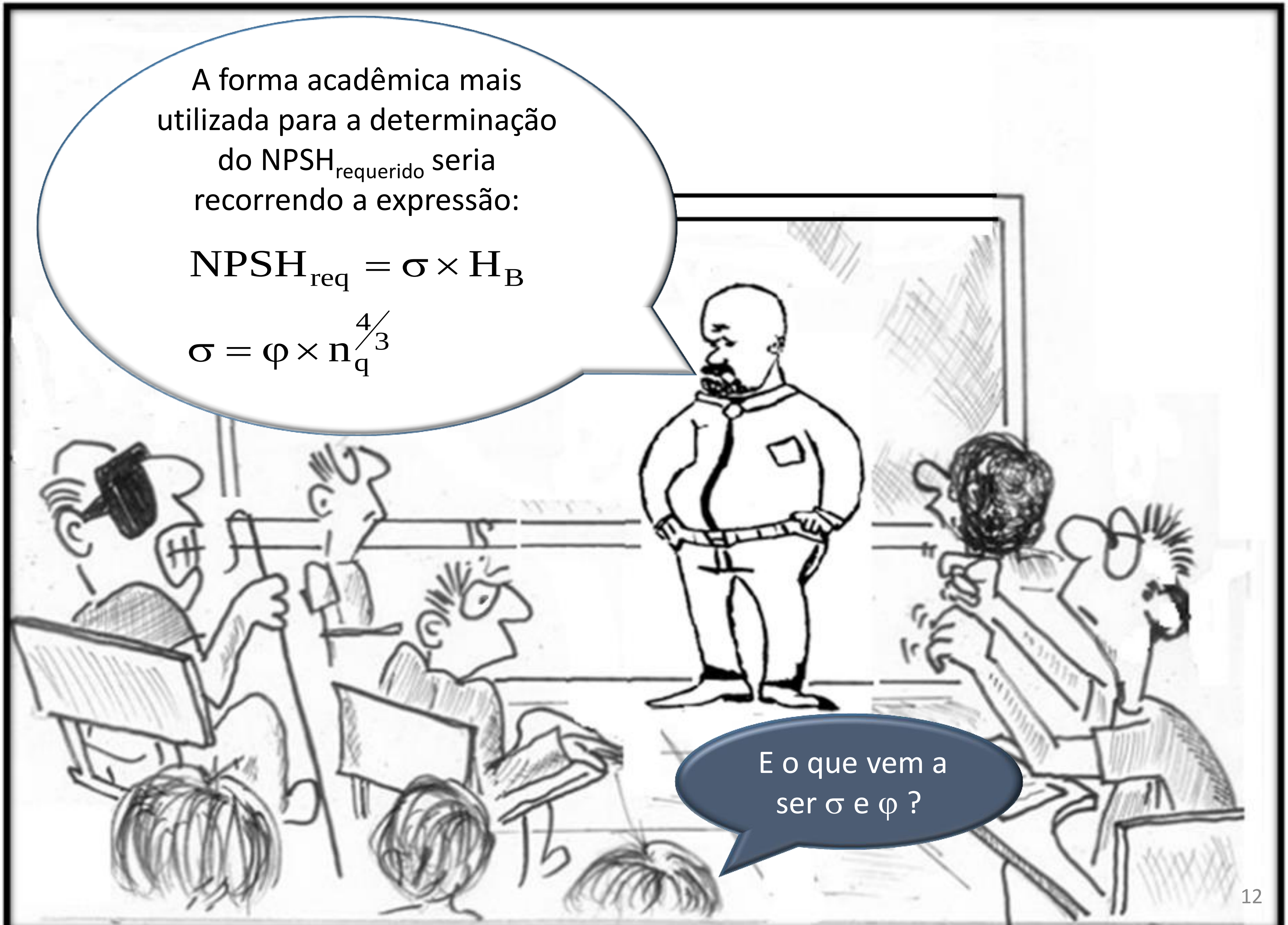
$$NPSH_{requerido} \cong 1{,}7m$$

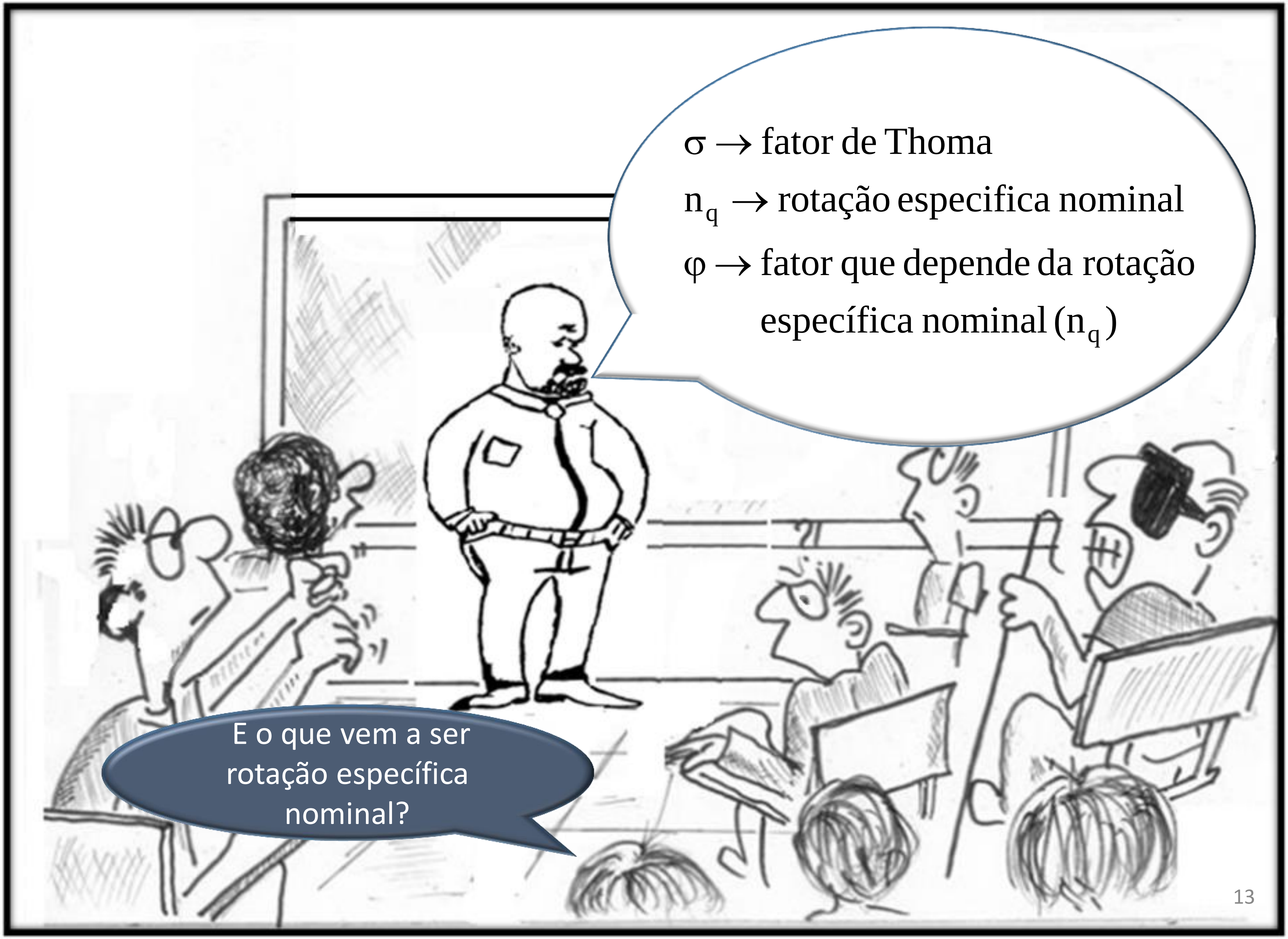
$$NPSH_{requerido} = 0{,}5 \times \frac{3450}{60} \times \sqrt{\left(\frac{31{,}2}{3600}\right)}$$

$$NPSH_{requerido} \cong 2{,}7m$$

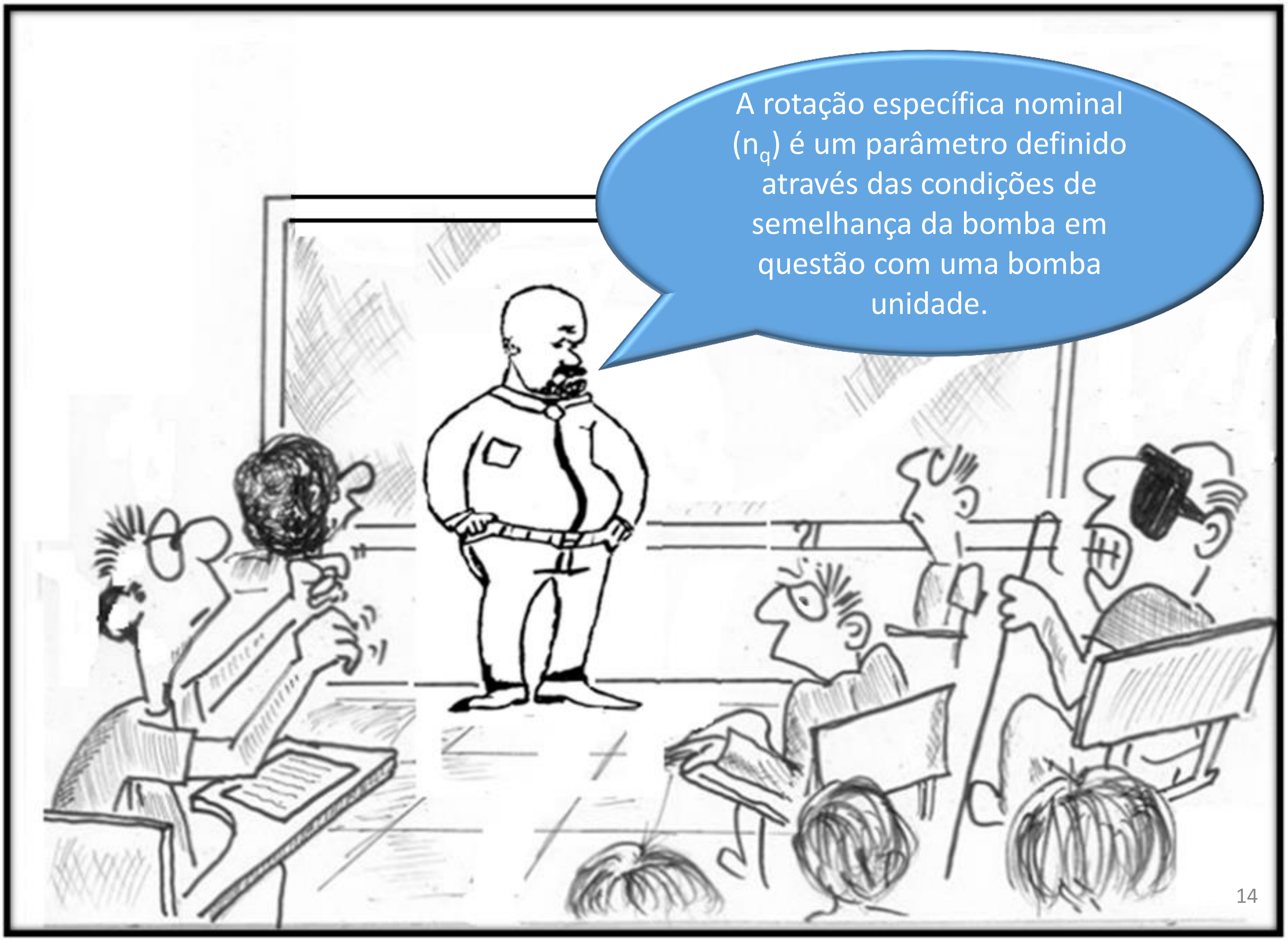
$$\text{reserva} = 36{,}5 - 2{,}7 = 33{,}8\text{m}$$

Por segurança trabalhamos com o $NPSH_{req}$ maior e constatamos que não ocorre o fenômeno de cavitação.


A forma acadêmica mais utilizada para a determinação do $NPSH_{requerido}$ seria recorrendo a expressão:
$NPSH_{req} = \sigma \times H_B$
$\sigma = \varphi \times n_q^{4/3}$
E o que vem a ser σ e φ ?



$\sigma \rightarrow$ fator de Thoma
$n_q \rightarrow$ rotação especifica nominal
$\varphi \rightarrow$ fator que depende da rotação específica nominal (n_q)
E o que vem a ser rotação específica nominal?


A rotação específica nominal (n_q) é um parâmetro definido através das condições de semelhança da bomba em questão com uma bomba unidade.

As condições de semelhança originam:

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

$$[Q] = \frac{m^3}{s};[H_B] = m$$

Os norte-americanos usam U.S galão por minuto como unidade de vazão e pés para a carga manométrica, de modo que teremos que converter as unidade:

$$n_{S_{\text{métrico}}} = \frac{n_{qUSA}}{14,15} \Rightarrow \therefore n_{qUSA} \cong 14,15 \times n_{S_{\text{métrico}}}$$

Gostaria de visualizar esta relação!


Atendo o seu pedido nos próximos slide

Bomba unidade →

$$[Q] = 1\text{gpm}$$

$$[H_B] = 1\text{ft}$$

$$[n_{qUSA}] = \text{rpm}$$

Bomba →

$$Q$$

$$H_B$$

$$n$$

Condições de semelhança

$$\psi_{unidade} = \psi \Rightarrow \frac{1}{n_{qUSA}^2 \times D_{rm}^2} = \frac{H_B}{n^2 \times D_r^2} \Rightarrow \frac{D_r^2}{D_{rm}^2} = \left(\frac{n_{qUSA}}{n}\right)^2 \times \left(\frac{H_B}{1}\right) \rightarrow (I)$$

$$\phi_{unidade} = \phi \Rightarrow \frac{1}{n_{qUSA} \times D_{rm}^3} = \frac{H_B}{n \times D_r} \Rightarrow \frac{D_r^3}{D_{rm}^3} = \left(\frac{n_{qUSA}}{n}\right) \times \left(\frac{Q}{1}\right) \rightarrow (II)$$

$$(I)^3 = (II)^2 \Rightarrow \left(\frac{n_{qUSA}}{n}\right)^6 \times \left(\frac{H_B}{1}\right)^3 = \left(\frac{n_{qUSA}}{n}\right)^2 \times \left(\frac{Q}{1}\right)^2$$

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

Lembrando que: 1 gpm = 6,30902 x 10^{-5} m³/s
e que 1 ft = 0,3048 m, temos:

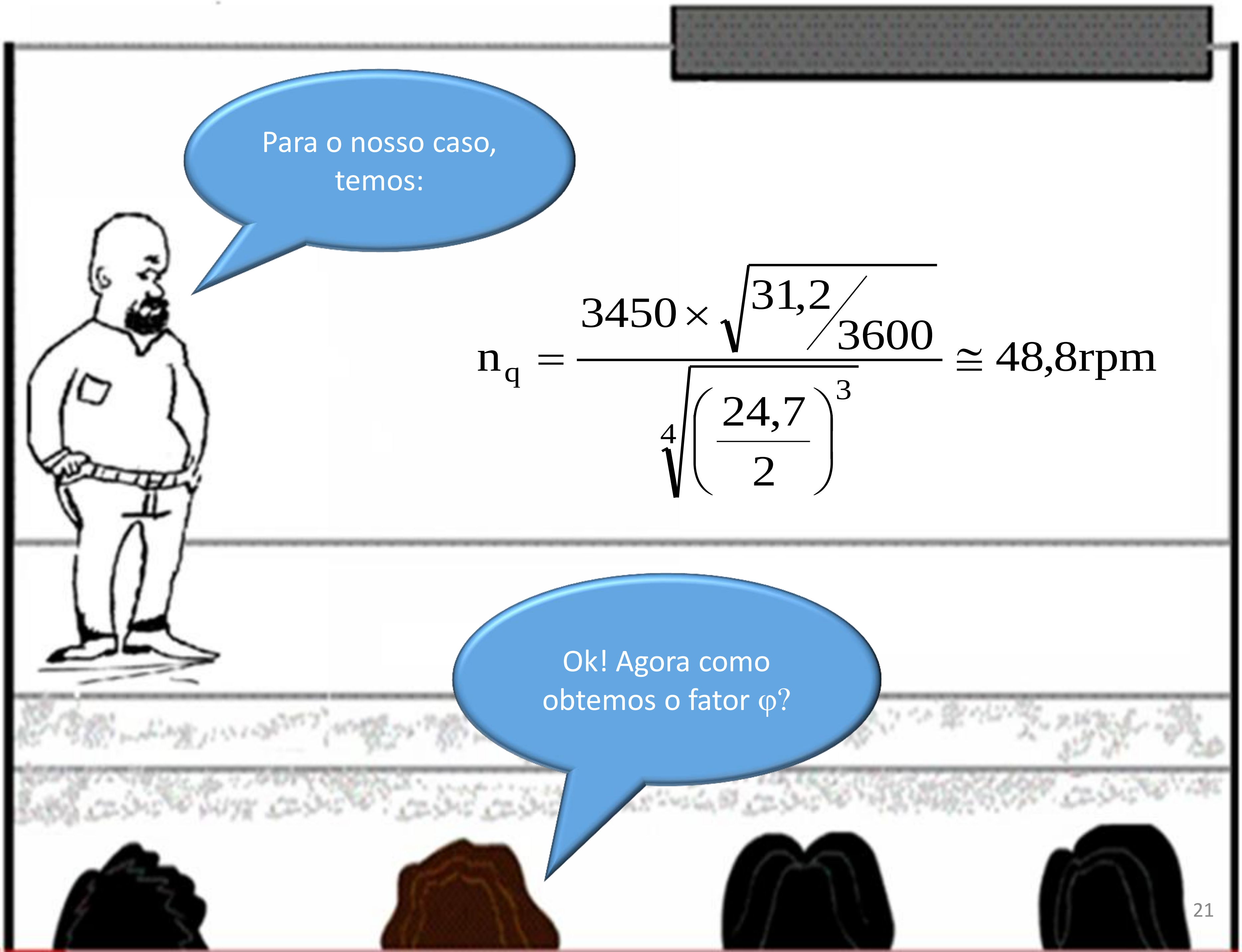
$$n_{qUSA} = n \times \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{Q}{1}\right)^2}}{\sqrt[4]{\left(\frac{H_B}{1}\right)^3}} = n \times \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{Q}{6{,}30902 \times 10^{-5}}\right)^2}}{\sqrt[4]{\left(\frac{H_B}{0{,}3048}\right)^3}}$$

$$n_{q_{USA}} = n \times \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{Q}{6{,}30902 \times 10^{-5}}\right)^2}}{\sqrt[4]{\left(\frac{H_B}{0{,}3048}\right)^3}} = \frac{125{,}8980629}{2{,}437747827} \times n \times \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$$

$$n_{q_{USA}} \cong 51{,}64523643 \times n \times \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} \cong 51{,}64523643 \times n_{q_{métrico}}$$

$$n_S = 3{,}65 \times n_{q_{métrico}} \therefore n_{q_{métrico}} = \frac{n_S}{3{,}65}$$

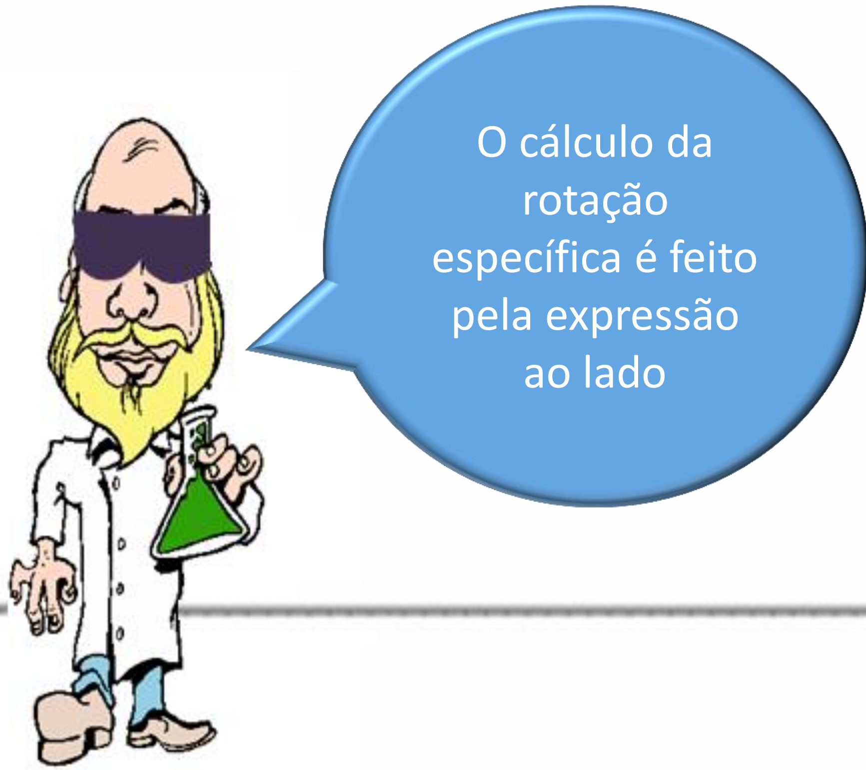
$$n_{q_{USA}} \cong \frac{51{,}64523643}{3{,}65} \times n_{q_{métrico}} \cong 14{,}15 \times n_{S_{métrico}} \rightarrow \text{cqd}$$



$$n_q = \frac{3450 \times \sqrt{31{,}2 / 3600}}{\sqrt[4]{\left(\frac{24{,}7}{2}\right)^3}} \cong 48{,}8\,\text{rpm}$$


φ é um fator que depende da própria rotação específica (ns)
Mas o que vem a ser rotação específica (n_s)?


A rotação específica (ns) possibilita obter uma classificação básica da bomba centrífuga e estabelecer o fator φ.



$$n_S = 3{,}65 \times n_q$$

Portanto:

$$n_S = 3{,}65 \times \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$$

Denomina-se número específico de rotações por minuto ou velocidade específica real da bomba.

Se na equação acima a Q for dada em L/s ao invés de m³/s, o fator 3,65 se converte em 0,1155.

Baseados nos resultados obtidos com as bombas ensaiadas e no seu custo, o qual depende das dimensões da bomba, os fabricantes elaboraram tabelas, gráficos e ábacos, delimitando o campo de emprego de cada tipo conforme a rotação específica, de modo a proceder a uma escolha que atenda as exigências de bom rendimento e baixo custo.

CLASSIFICAÇÃO BÁSICA

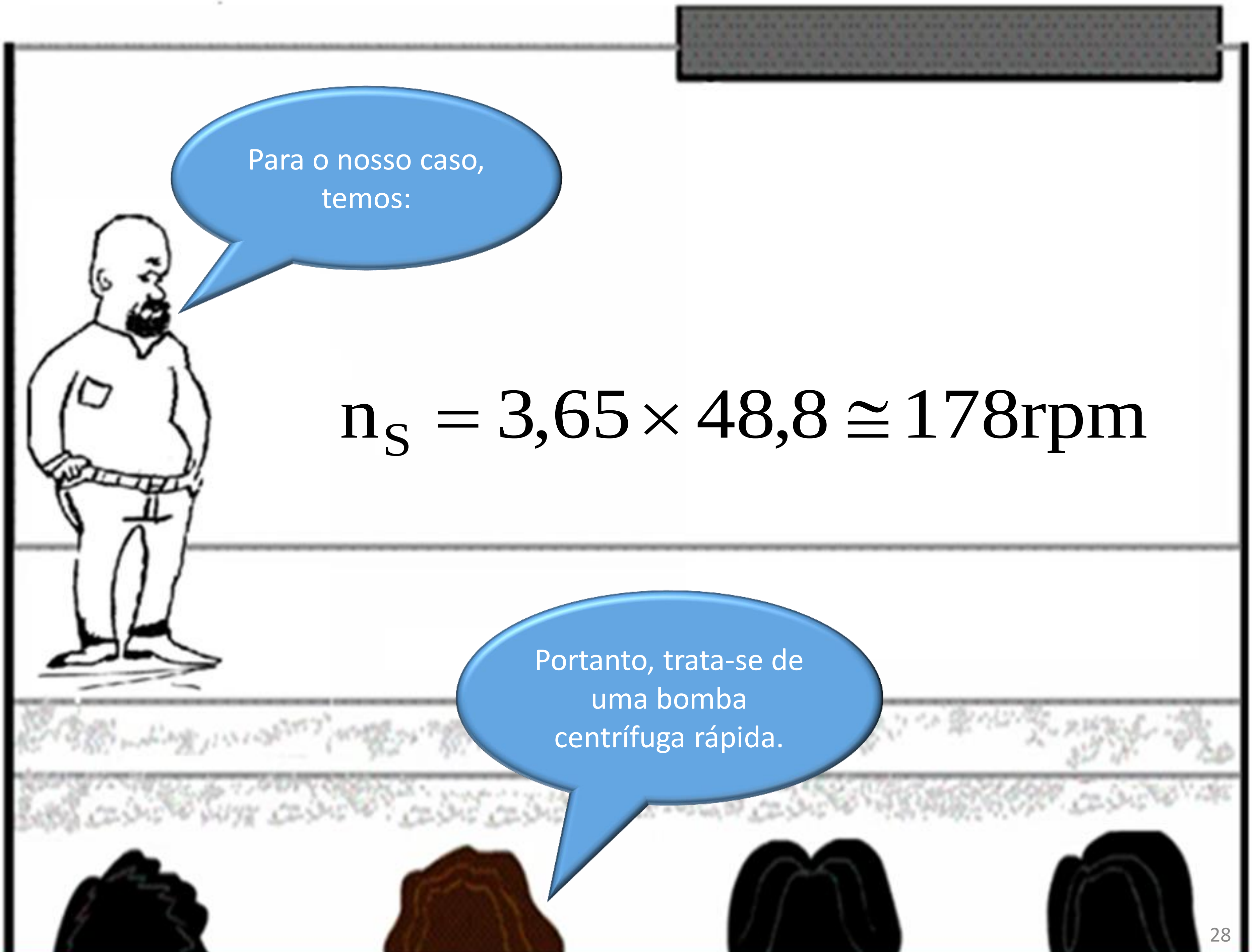
1. LENTAS – $30 < n_S < 90$ rpm = bombas centrífugas puras, com pás cilindricas, radiais, para pequenas e médias vazões.
2. NORMAIS – $90 < n_S < 130$ rpm = bombas semelhantes as anteriores.
3. CENTRÍFUGAS RÁPIDAS - $130 < n_S < 220$ rpm – possuem pás de dupla curvatura , vazões médias
4. EXTRA-RÁPIDA ou HÉLICO-CENTRÍFUGA – $220 < n_S < 440$ rpm = pás de dupla curvatura – vazões médias e grandes.
5. HELICOIDAIS – $440 < n_S < 500$ rpm – para vazões grandes.
6. AXIAIS – $n_S > 500$ rpm – assemelham-se a hélices de propulsão e destinam-se a grandes vazões e pequenos H_B

Conhecida a rotação específica (ns), podemos fixar o fator φ **já que:**

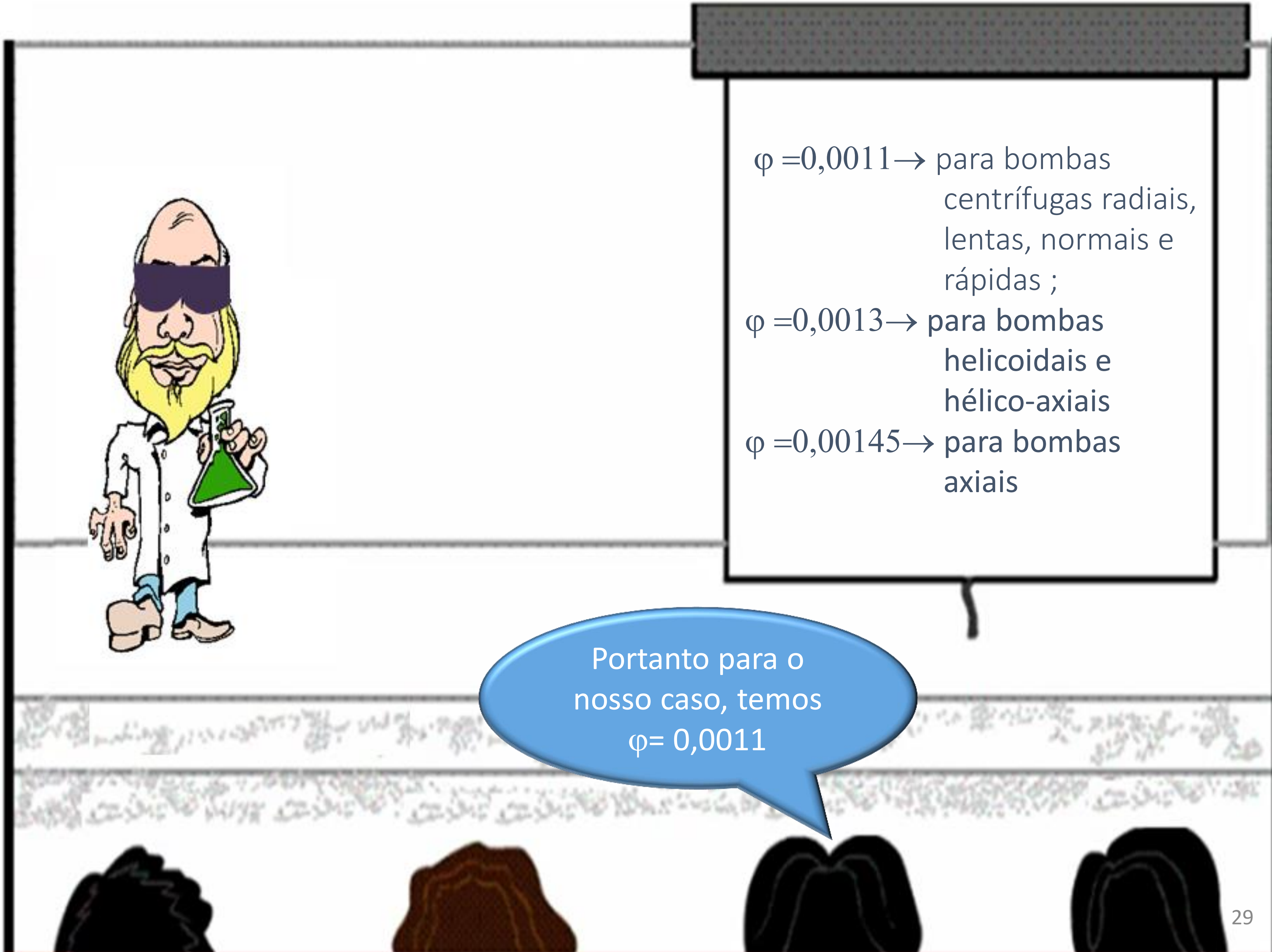
$\varphi = 0{,}0011 \rightarrow$ para bombas centrífugas radiais, lentas, normais e rápidas ;

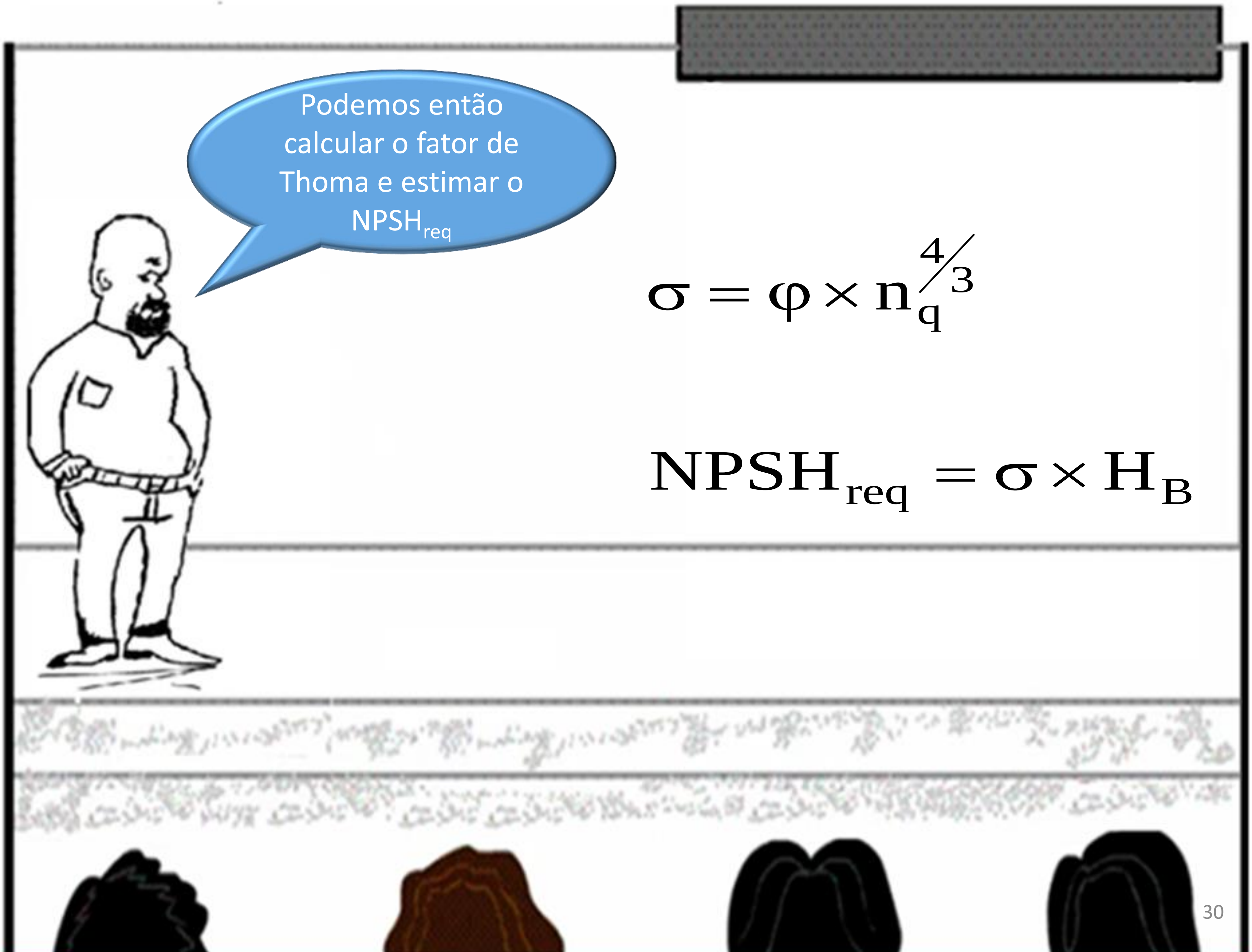
$\varphi = 0{,}0013 \rightarrow$ para bombas helicoidais e hélico-axiais

$\varphi = 0{,}00145 \rightarrow$ para bombas axiais



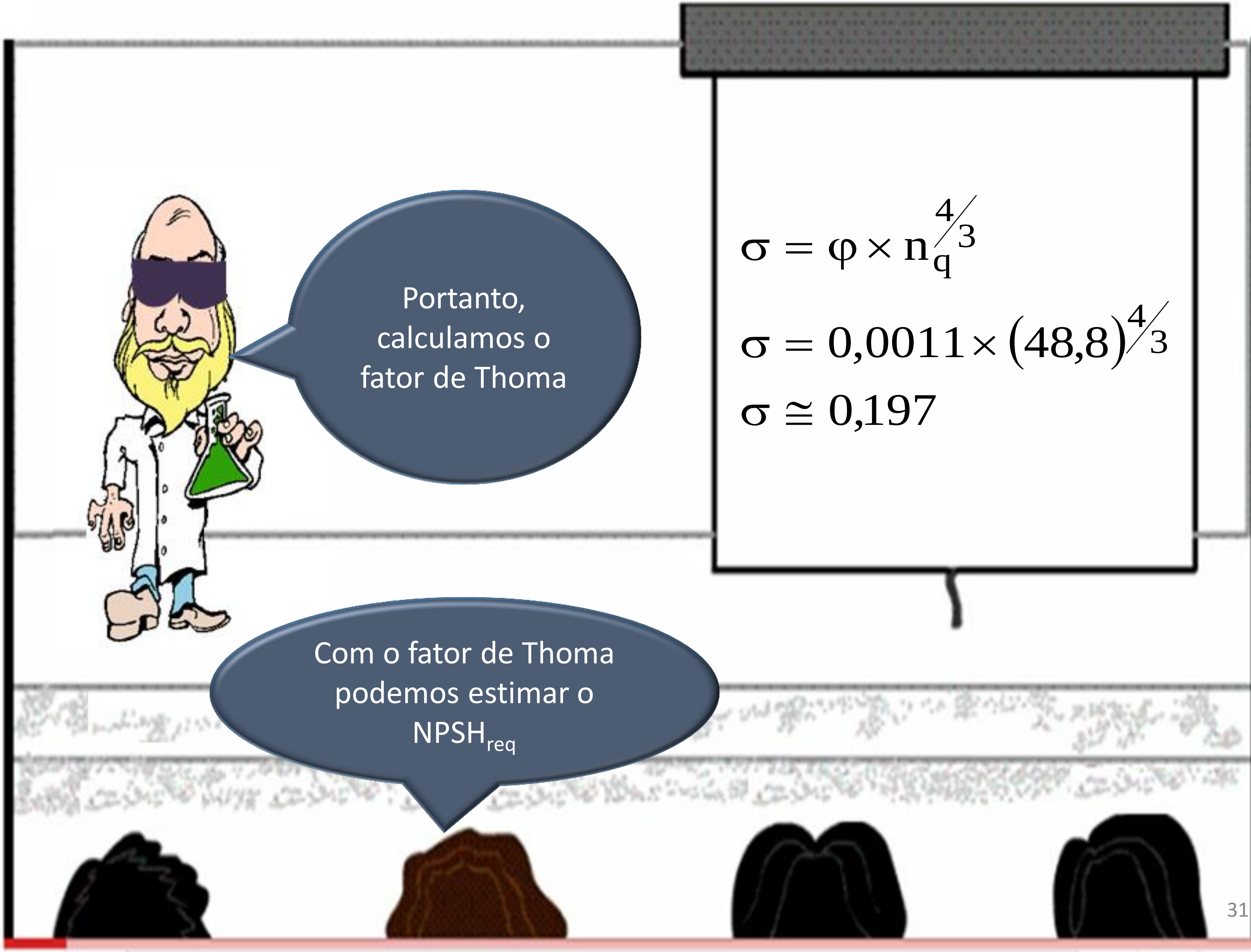
$$n_S = 3{,}65 \times 48{,}8 \cong 178\text{rpm}$$

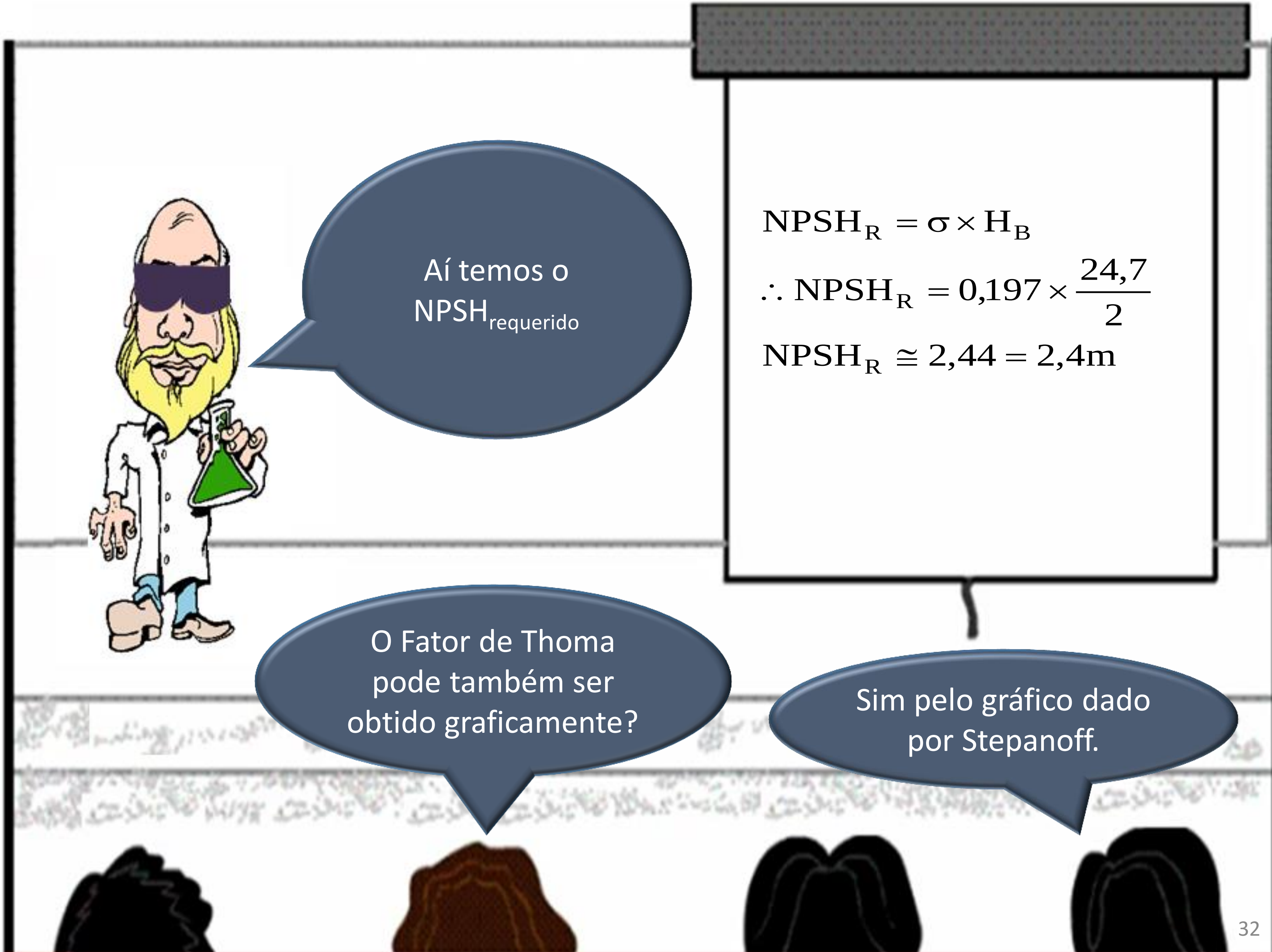

φ =0,0011→ para bombas centrífugas radiais, lentas, normais e rápidas ;
φ =0,0013→ para bombas helicoidais e hélico-axiais
φ =0,00145→ para bombas axiais
Portanto para o nosso caso, temos φ= 0,0011



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

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

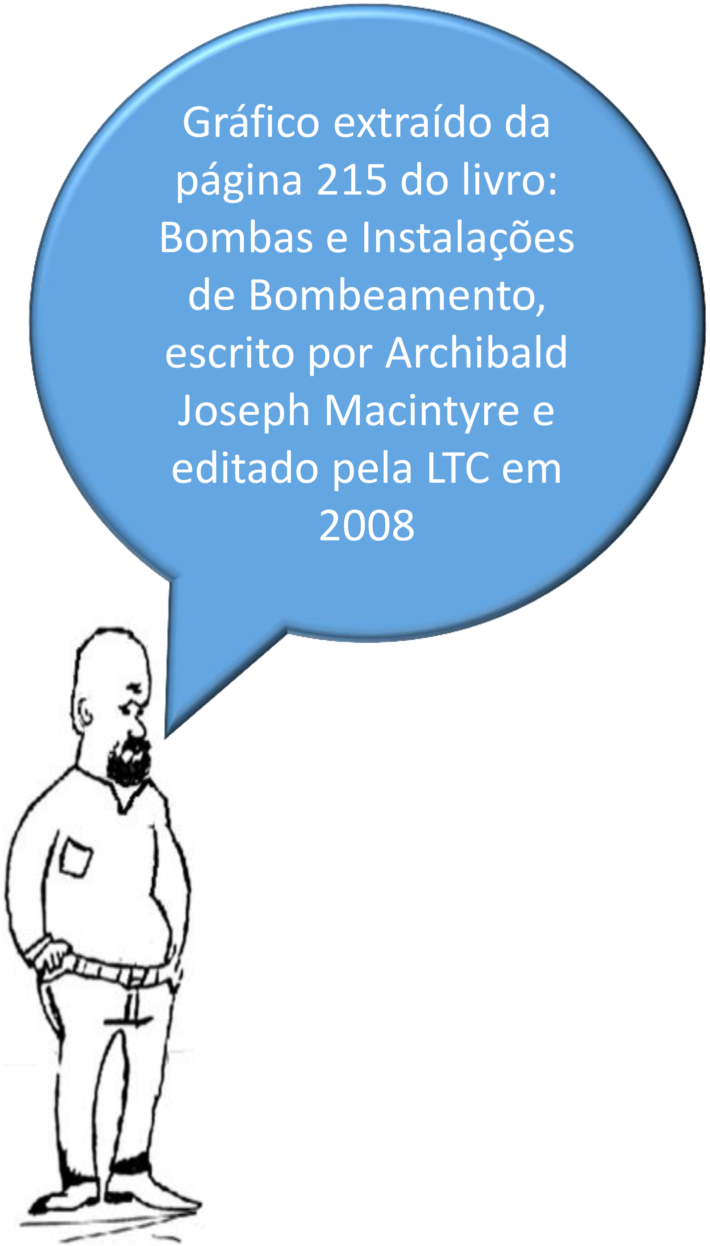

Portanto, calculamos o fator de Thoma
$\sigma = \varphi \times n_q^{4/3}$
$\sigma = 0{,}0011 \times (48{,}8)^{4/3}$
$\sigma \cong 0{,}197$
Com o fator de Thoma podemos estimar o $NPSH_{req}$

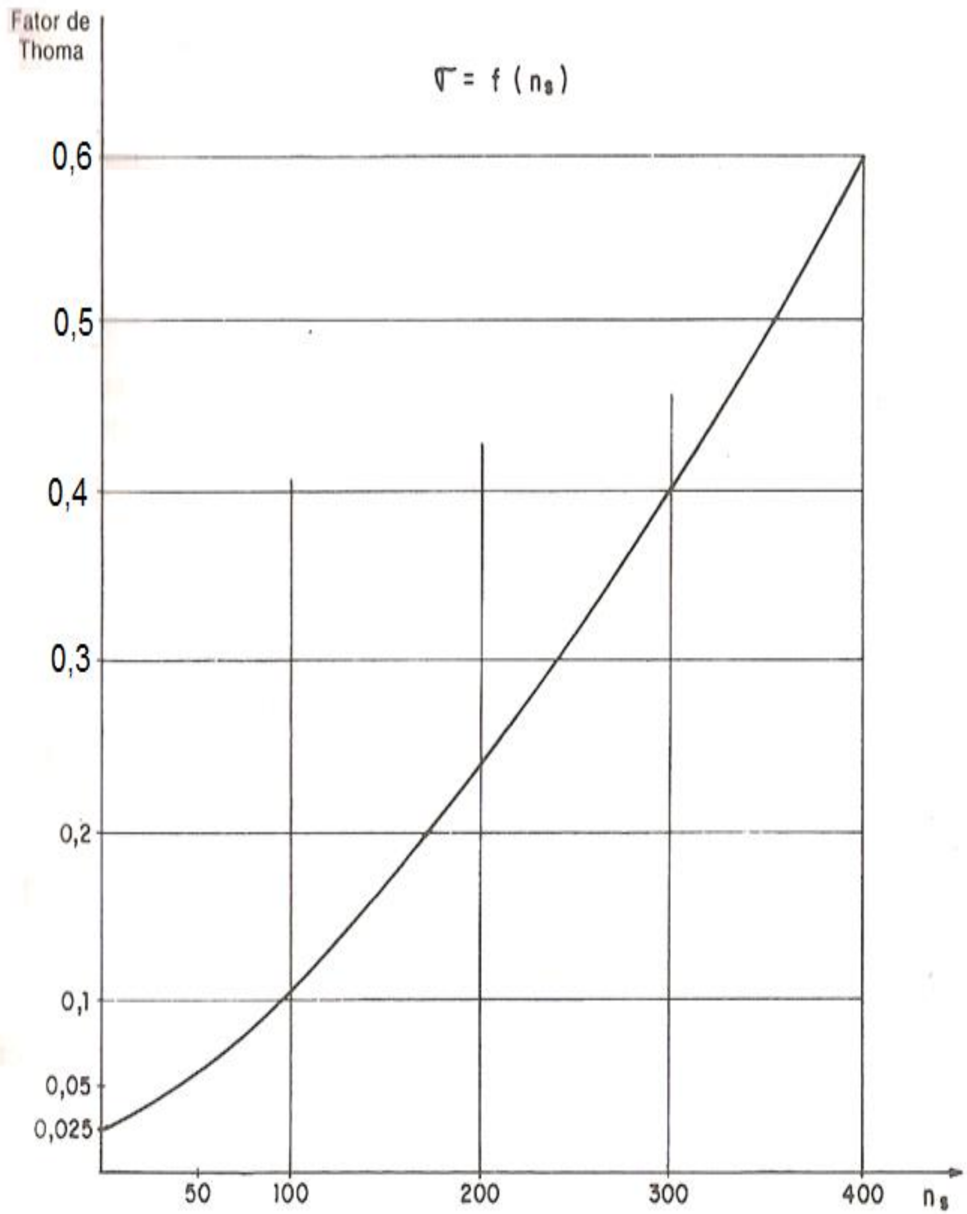


$$NPSH_R = \sigma \times H_B$$

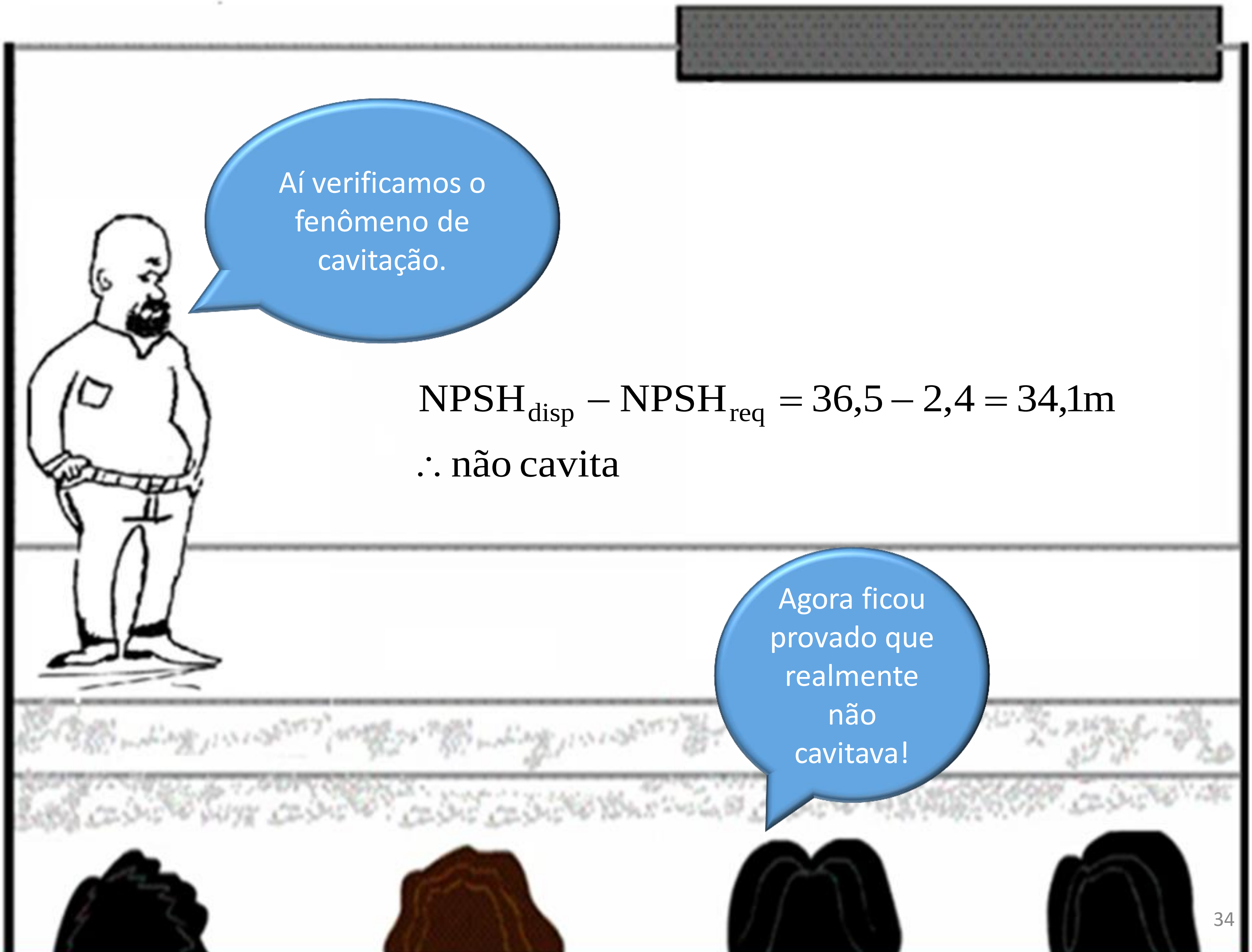
$$\therefore NPSH_R = 0{,}197 \times \frac{24{,}7}{2}$$

$$NPSH_R \cong 2{,}44 = 2{,}4m$$





Fator de cavitação de Thoma em função da velocidade específica.



$$NPSH_{disp} - NPSH_{req} = 36{,}5 - 2{,}4 = 34{,}1m$$
$$\therefore \text{não cavita}$$