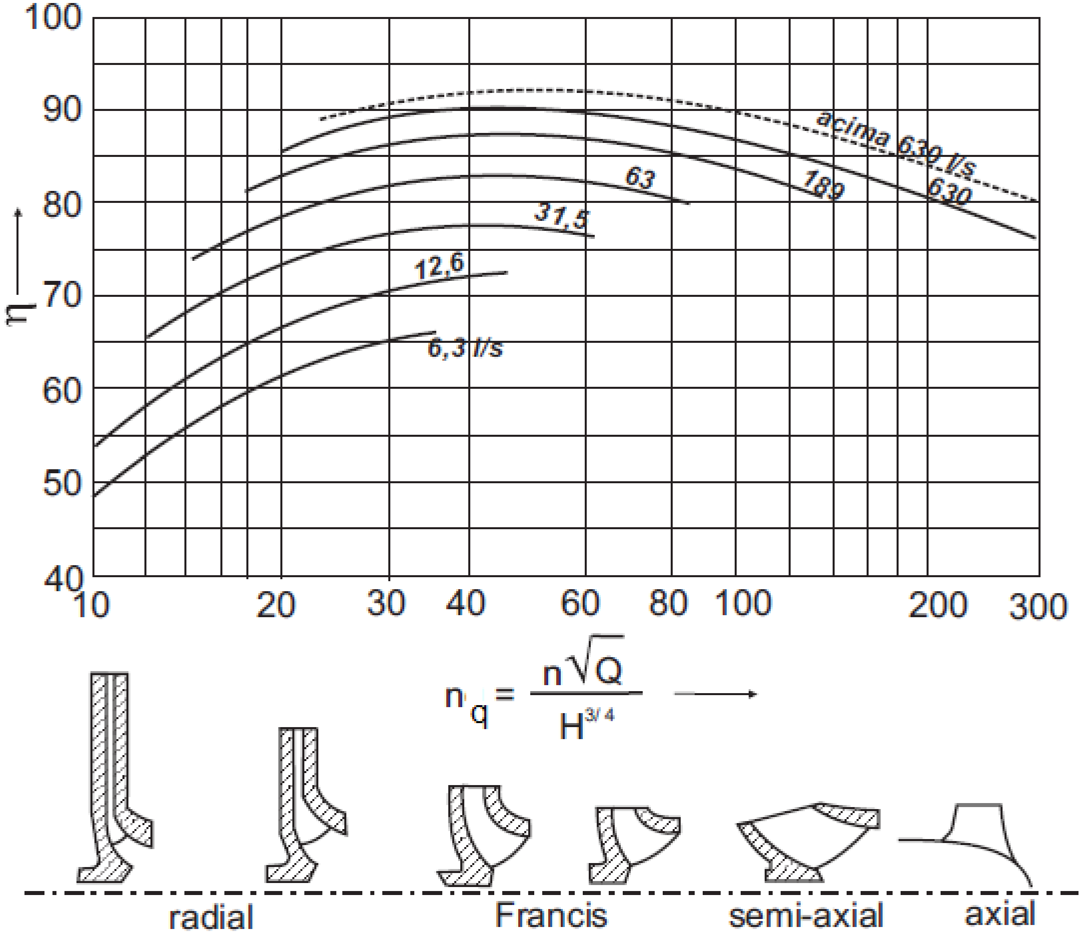
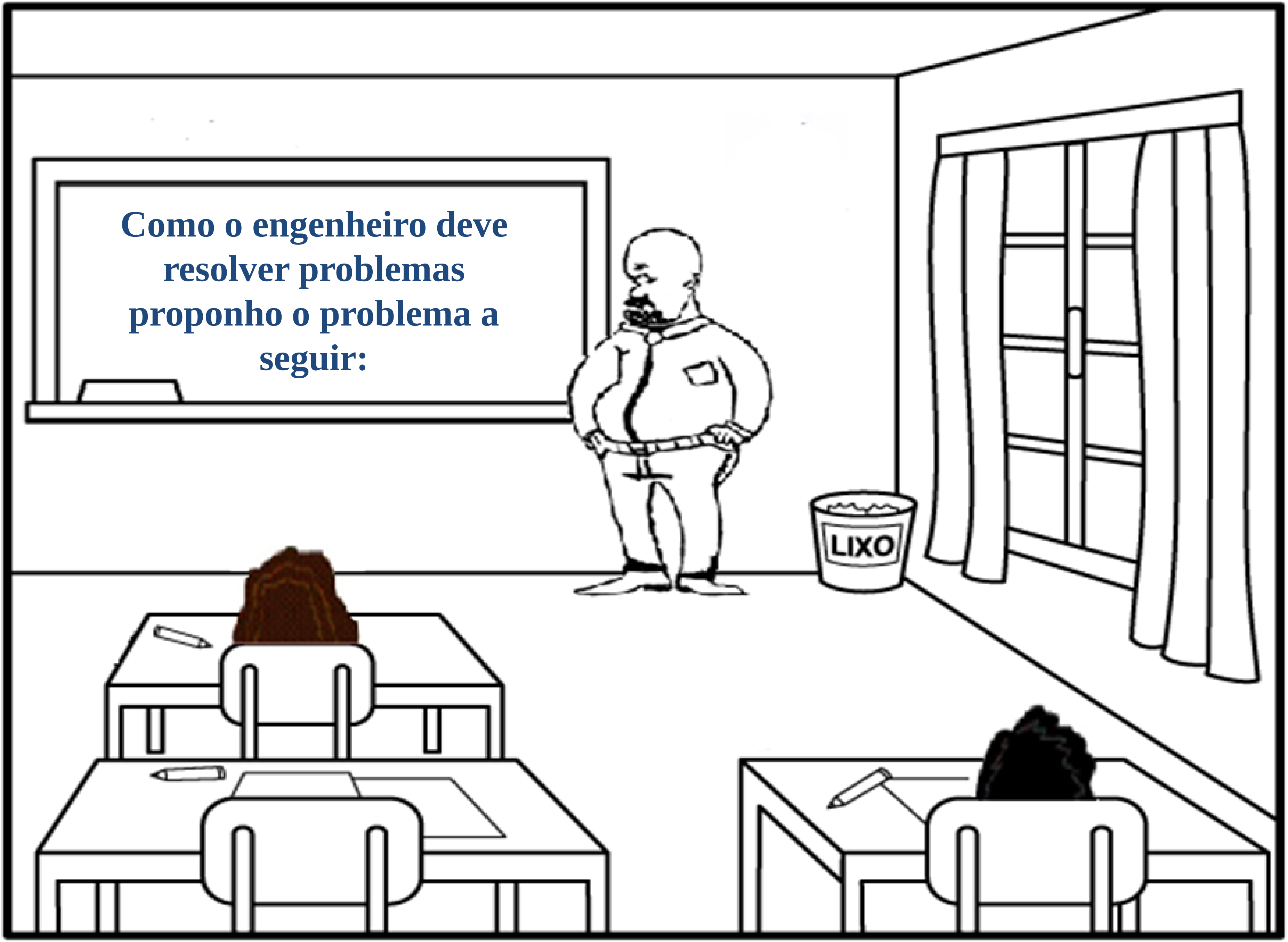
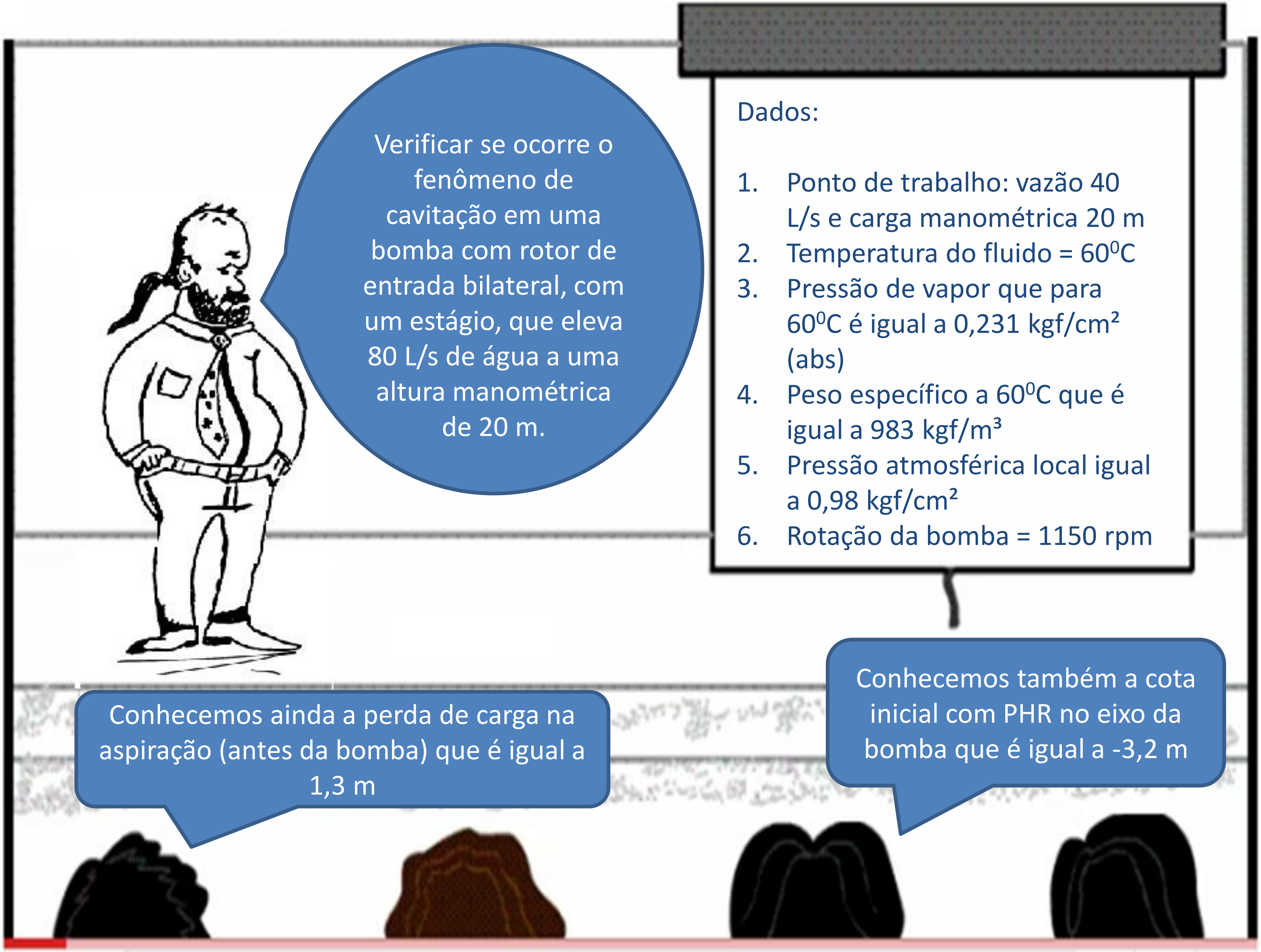
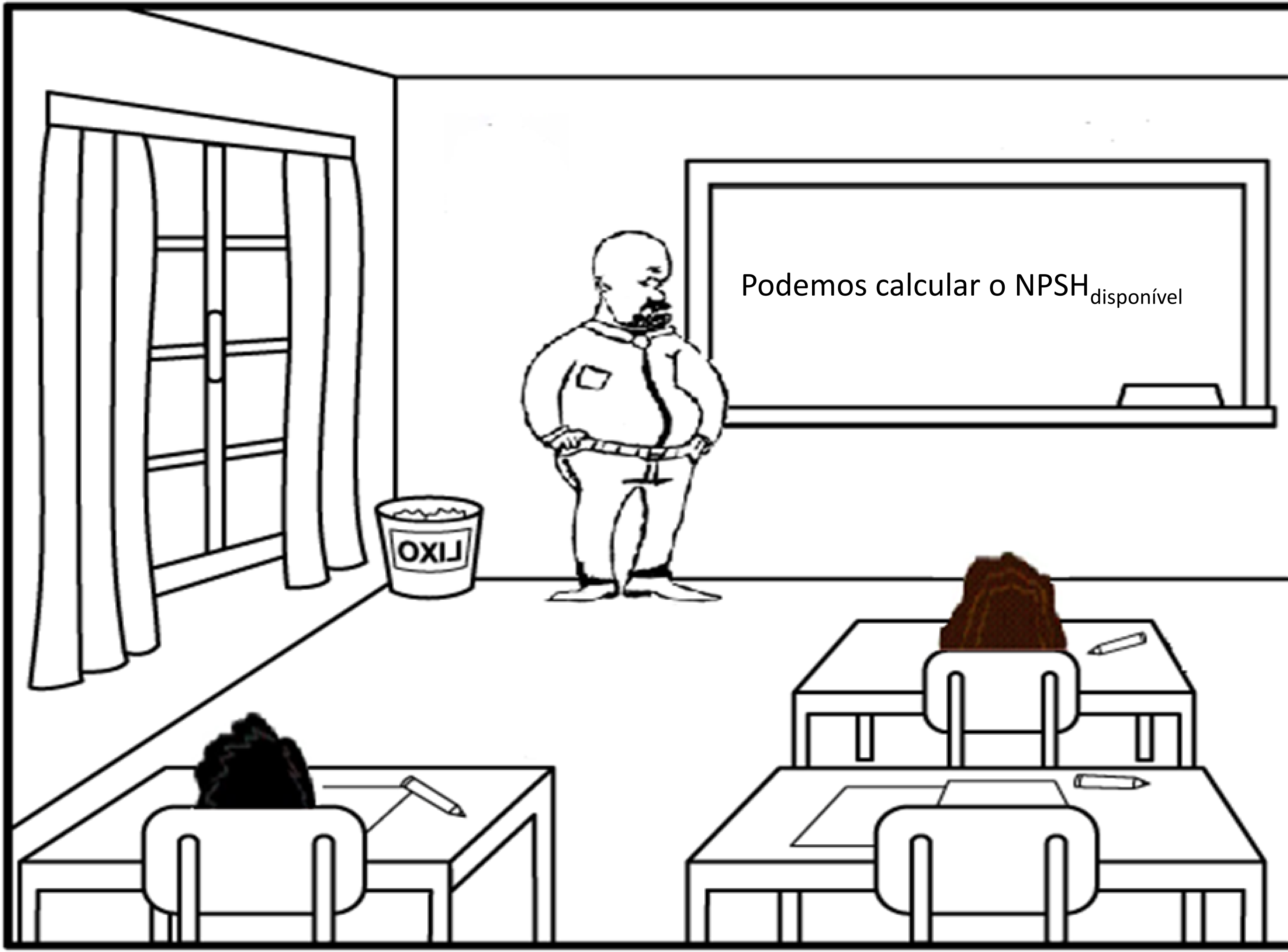
Décima primeira aula de ME5330 – conceito de rotação específica e sua utilização na verificação do fenômeno de cavitação.

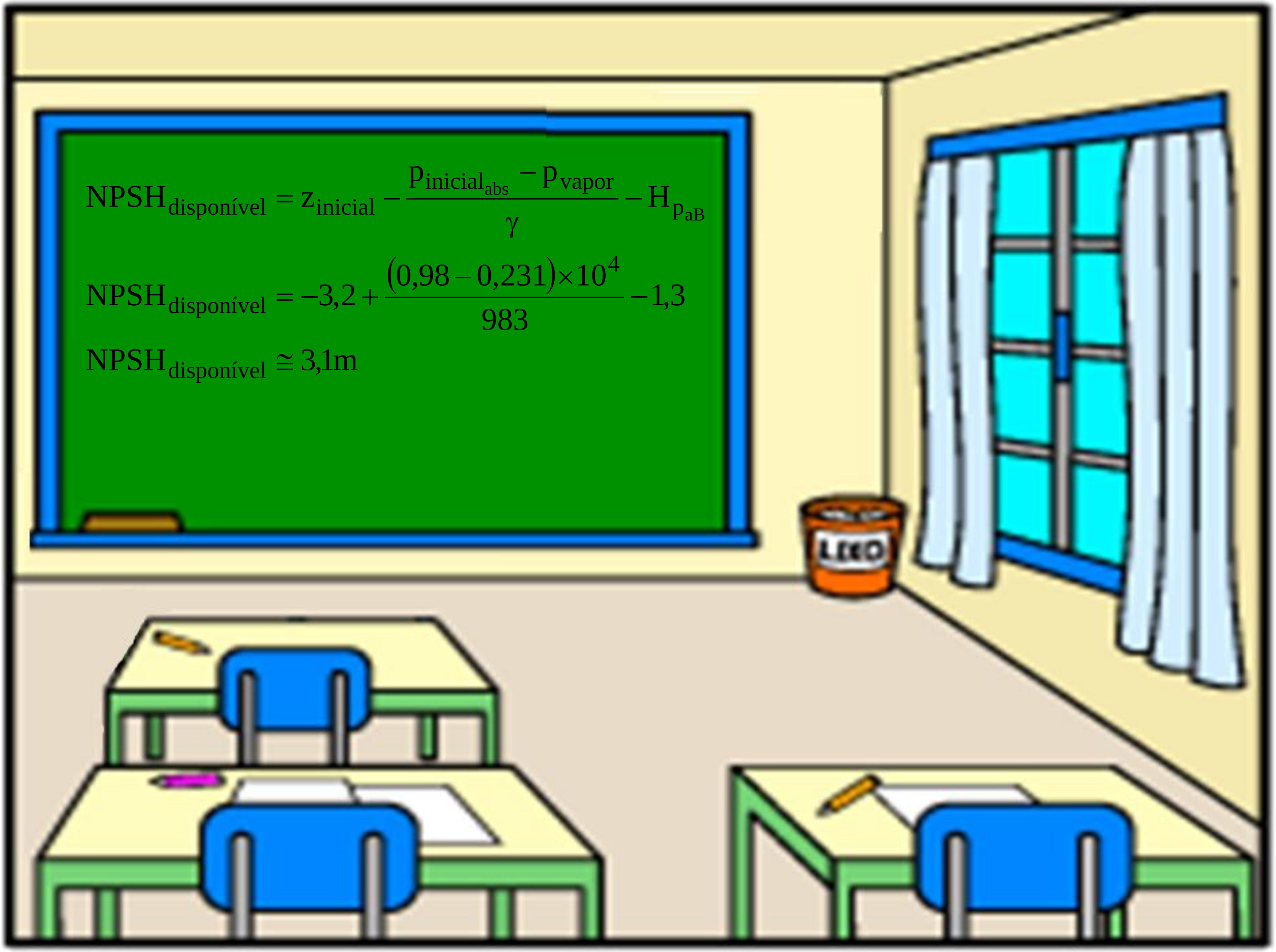


15 de maio de 2012

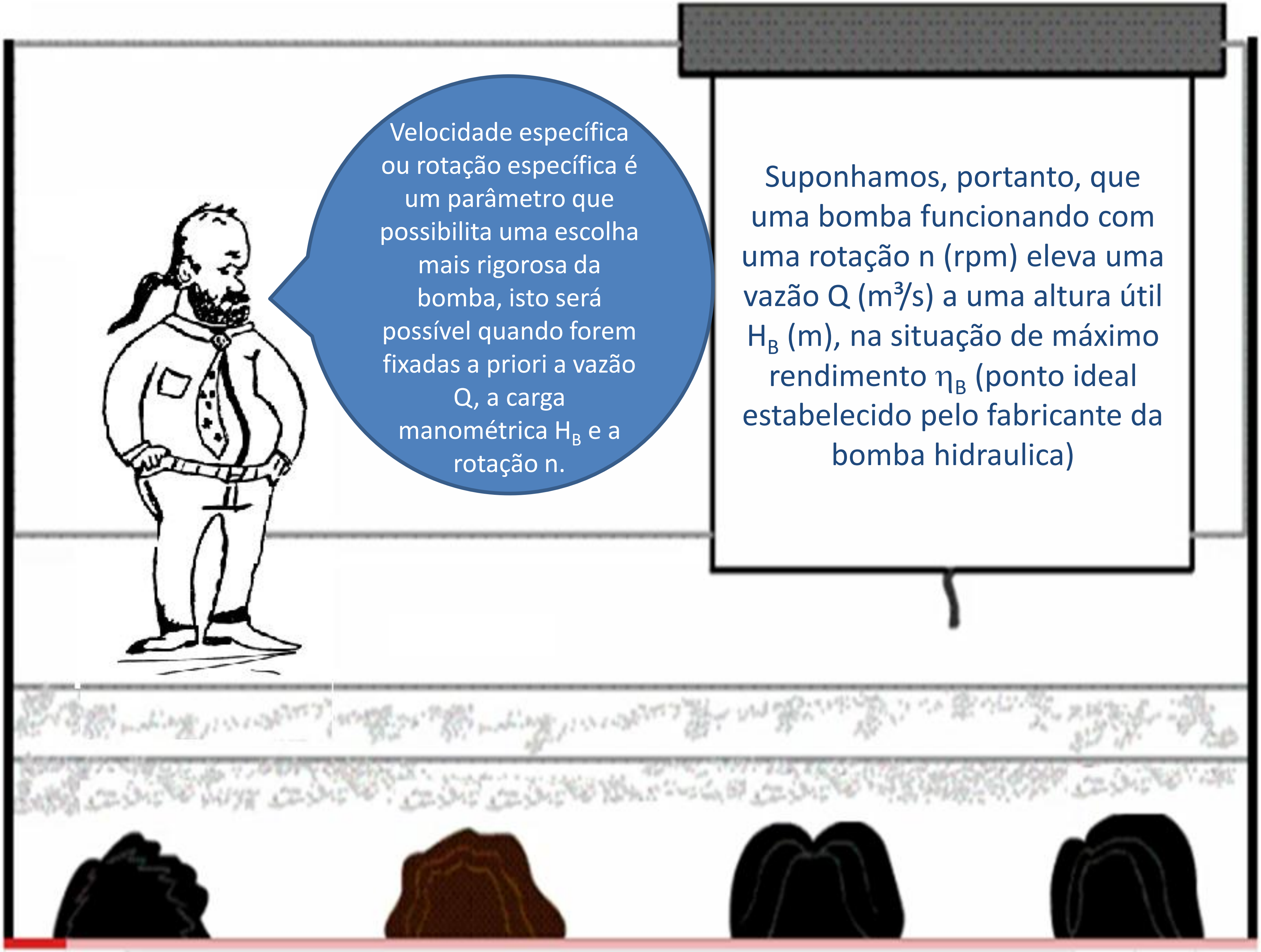

Como o engenheiro deve resolver problemas proponho o problema a seguir:
LIXO

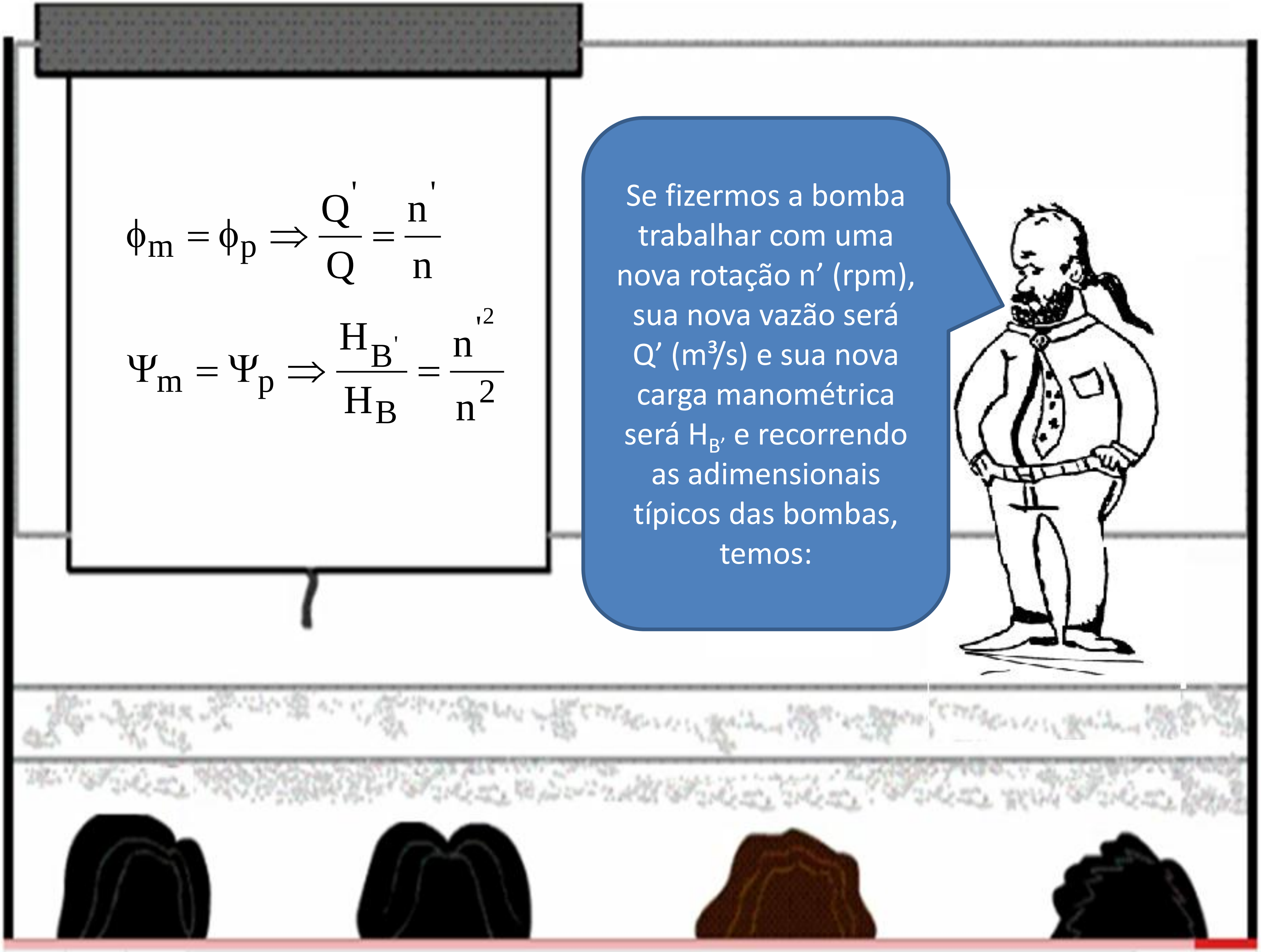

Verificar se ocorre o fenômeno de cavitação em uma bomba com rotor de entrada bilateral, com um estágio, que eleva 80 L/s de água a uma altura manométrica de 20 m.
Dados:
1. Ponto de trabalho: vazão 40 L/s e carga manométrica 20 m
2. Temperatura do fluido = $60^{0}C$
3. Pressão de vapor que para $60^{0}C$ é igual a 0,231 kgf/cm² (abs)
4. Peso específico a $60^{0}C$ que é igual a 983 kgf/m³
5. Pressão atmosférica local igual a 0,98 kgf/cm²
6. Rotação da bomba = 1150 rpm
Conhecemos ainda a perda de carga na aspiração (antes da bomba) que é igual a 1,3 m
Conhecemos também a cota inicial com PHR no eixo da bomba que é igual a -3,2 m


Podemos calcular o $NPSH_{disponível}$
LIXO

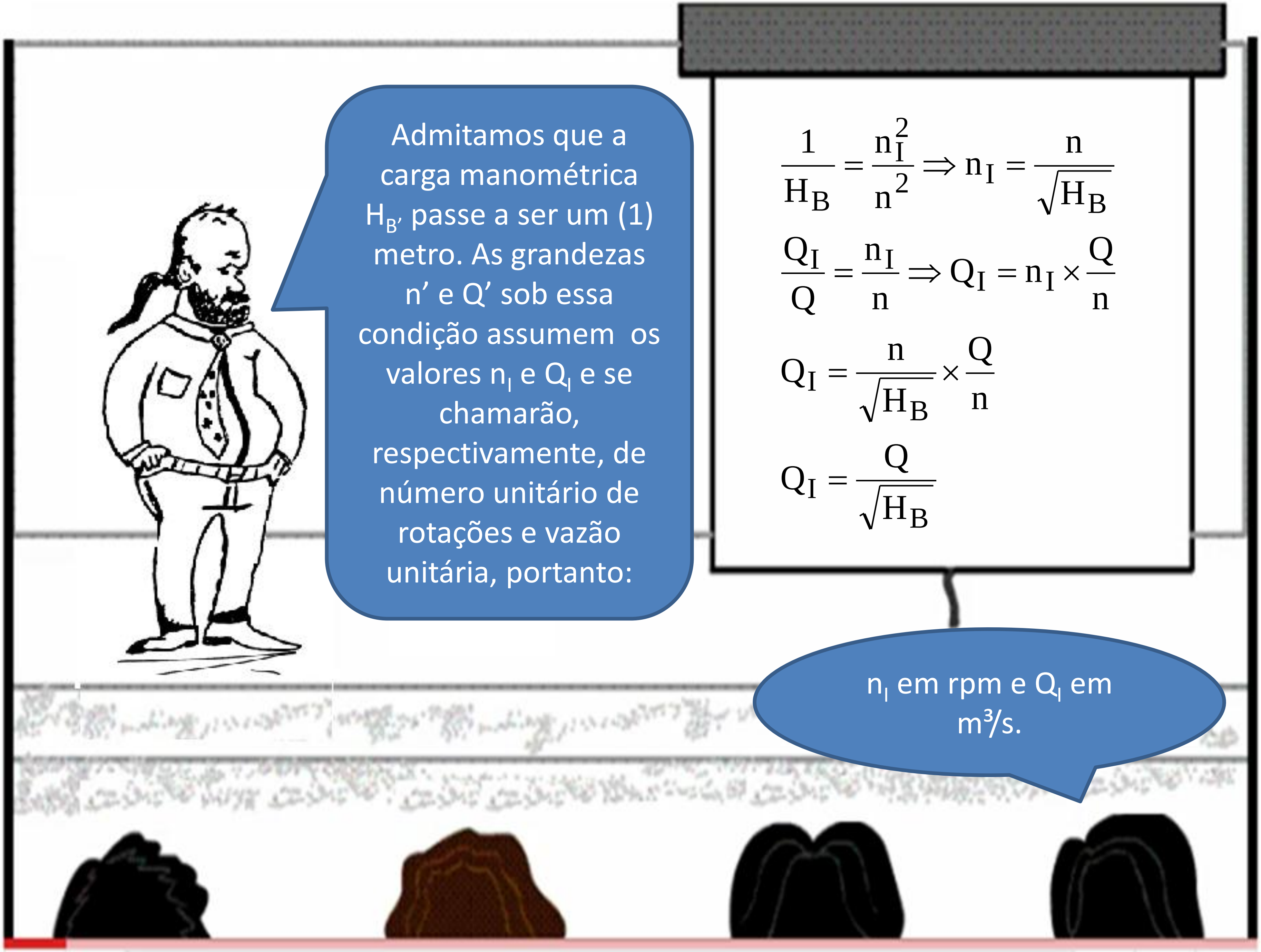

$NPSH_{disponível} = z_{inicial} - \frac{p_{inicial_{abs}} - p_{vapor}}{\gamma} - H_{p_{aB}}$
$NPSH_{disponível} = -3,2 + \frac{(0,98 - 0,231) \times 10^4}{983} - 1,3$
$NPSH_{disponível} \cong 3,1m$

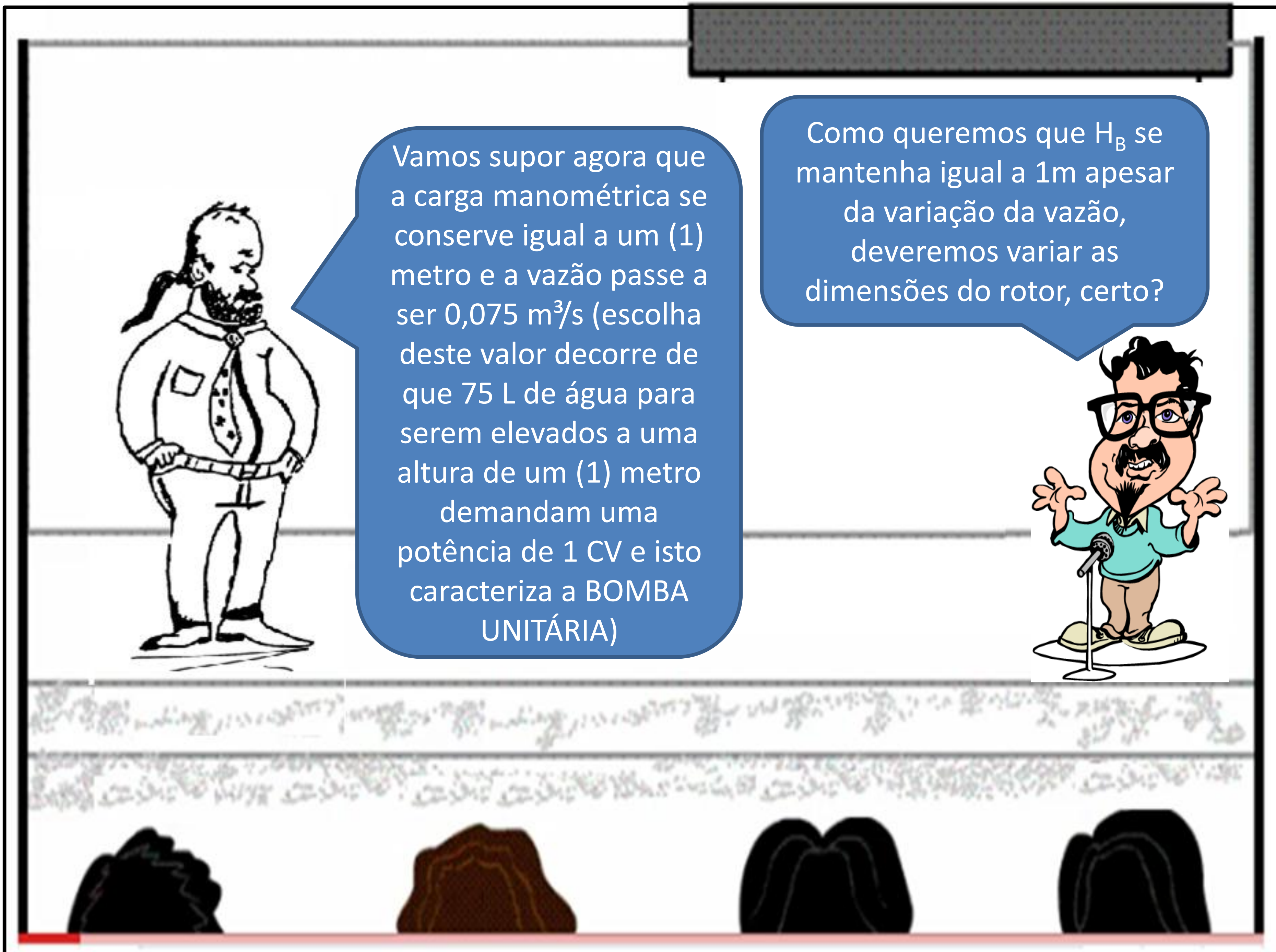

Verificando o fenômeno de cavitação!
O que fazer quando não é dado o NPSH$_{requerido}$ pelo fabricante?
Devemos recorrer ao fator de Thoma, o qual depende da rotação específica.
?
O que vem a ser rotação específica?

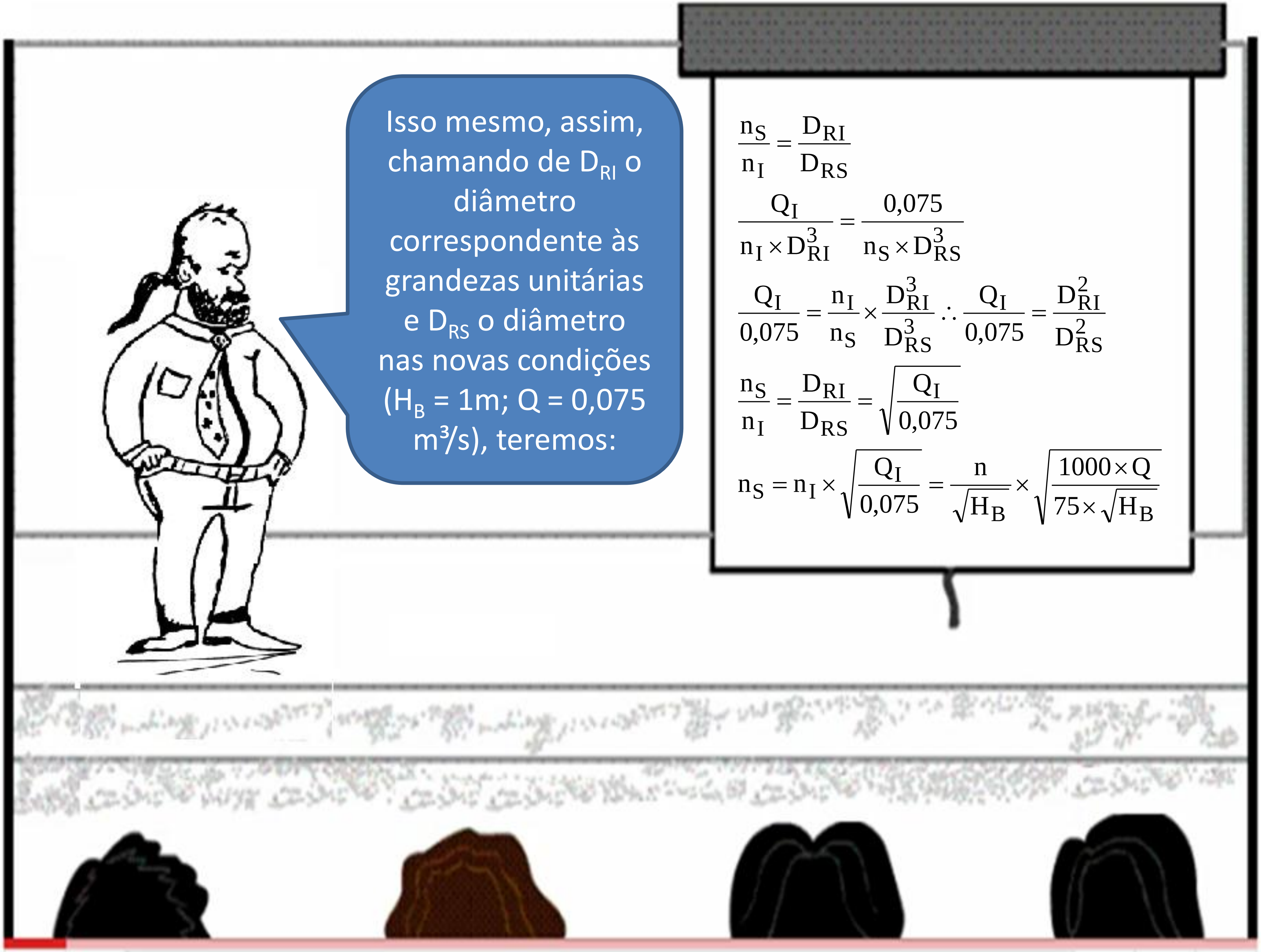

Velocidade específica ou rotação específica é um parâmetro que possibilita uma escolha mais rigorosa da bomba, isto será possível quando forem fixadas a priori a vazão Q, a carga manométrica H_B e a rotação n.
Suponhamos, portanto, que uma bomba funcionando com uma rotação n (rpm) eleva uma vazão Q (m³/s) a uma altura útil H_B (m), na situação de máximo rendimento η_B (ponto ideal estabelecido pelo fabricante da bomba hidraulica)

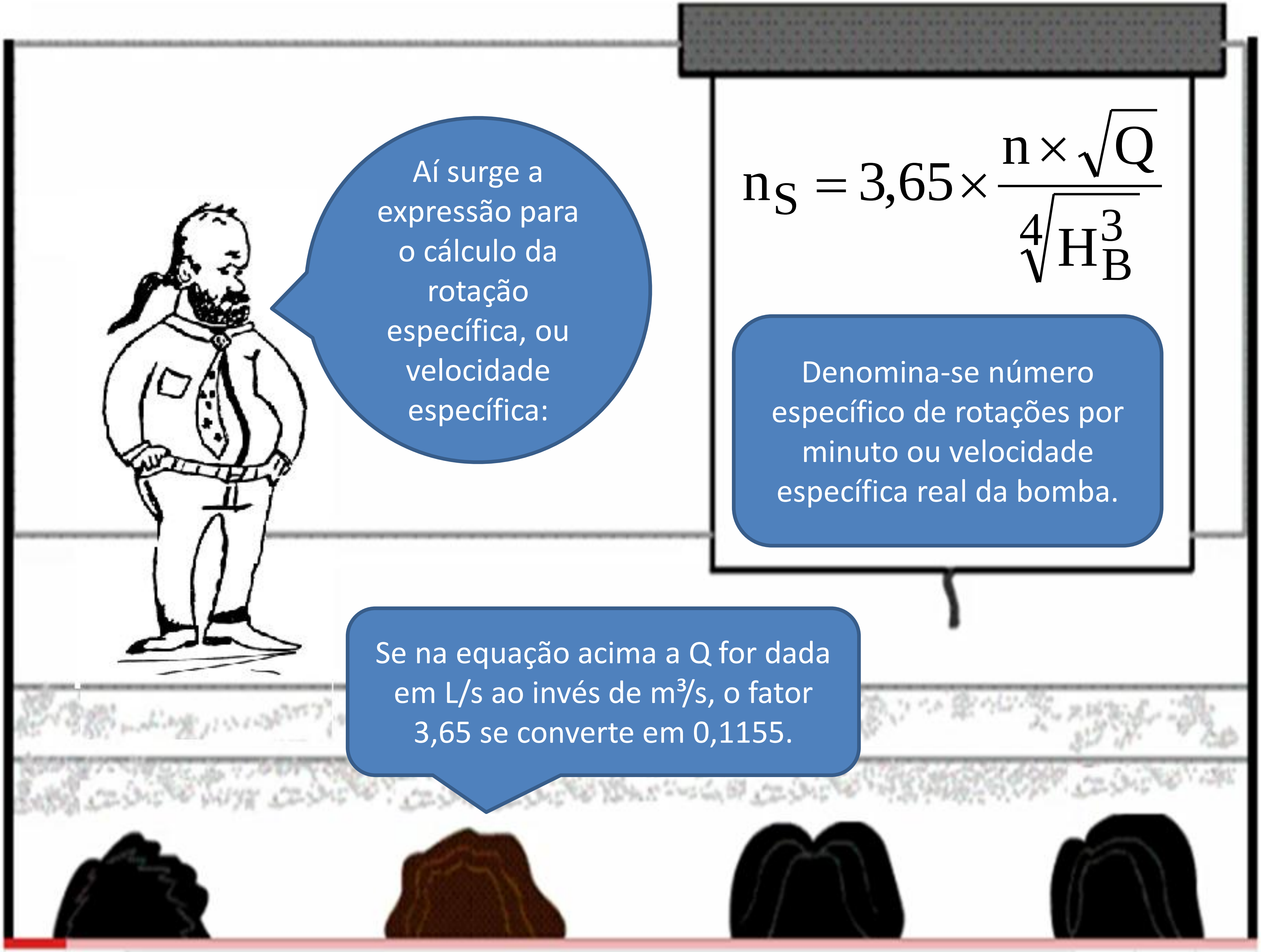


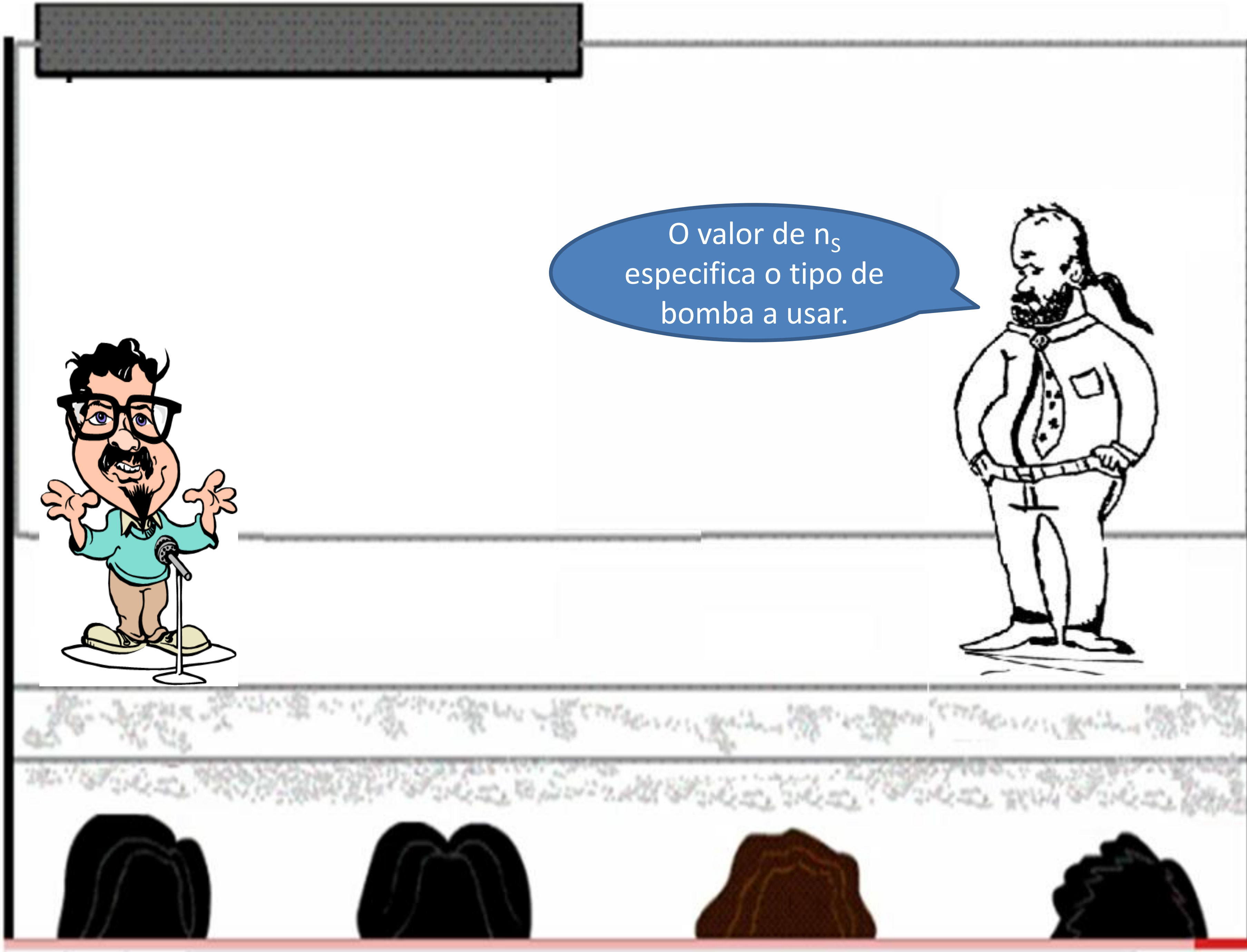
$\phi_m = \phi_p \Rightarrow \frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n}$
$\Psi_m = \Psi_p \Rightarrow \frac{H_{B'}}{H_B} = \frac{n'^2}{n^2}$
Se fizermos a bomba trabalhar com uma nova rotação n’ (rpm), sua nova vazão será Q’ (m³/s) e sua nova carga manométrica será $H_{B'}$ e recorrendo as adimensionais típicos das bombas, temos:

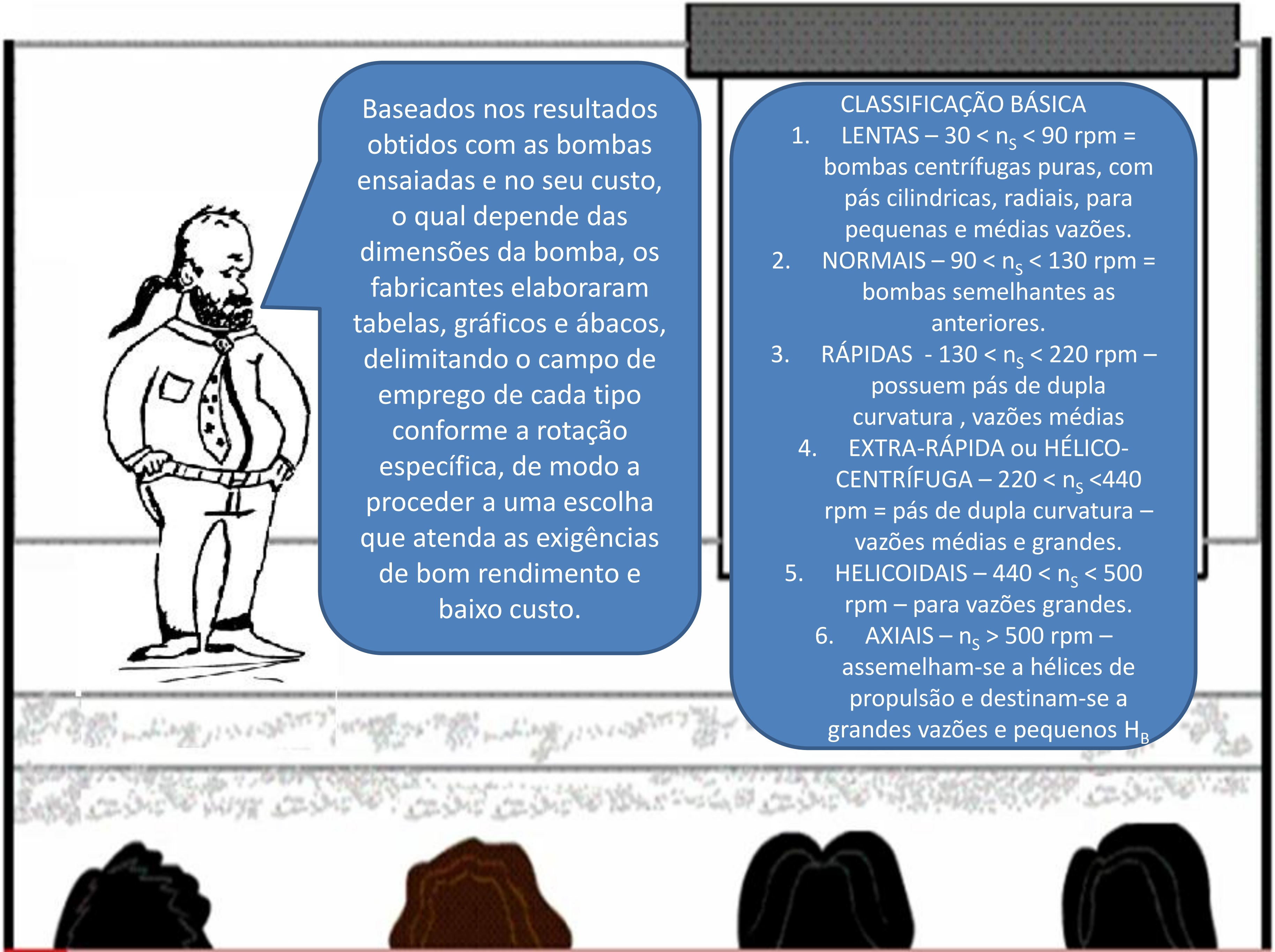

Admitamos que a carga manométrica H_B, passe a ser um (1) metro. As grandezas n’ e Q’ sob essa condição assumem os valores n_I e Q_I e se chamarão, respectivamente, de número unitário de rotações e vazão unitária, portanto:
$\frac{1}{H_B} = \frac{n_I^2}{n^2} \Rightarrow n_I = \frac{n}{\sqrt{H_B}}$
$\frac{Q_I}{Q} = \frac{n_I}{n} \Rightarrow Q_I = n_I \times \frac{Q}{n}$
$Q_I = \frac{n}{\sqrt{H_B}} \times \frac{Q}{n}$
$Q_I = \frac{Q}{\sqrt{H_B}}$
n_I em rpm e Q_I em m^3/s.

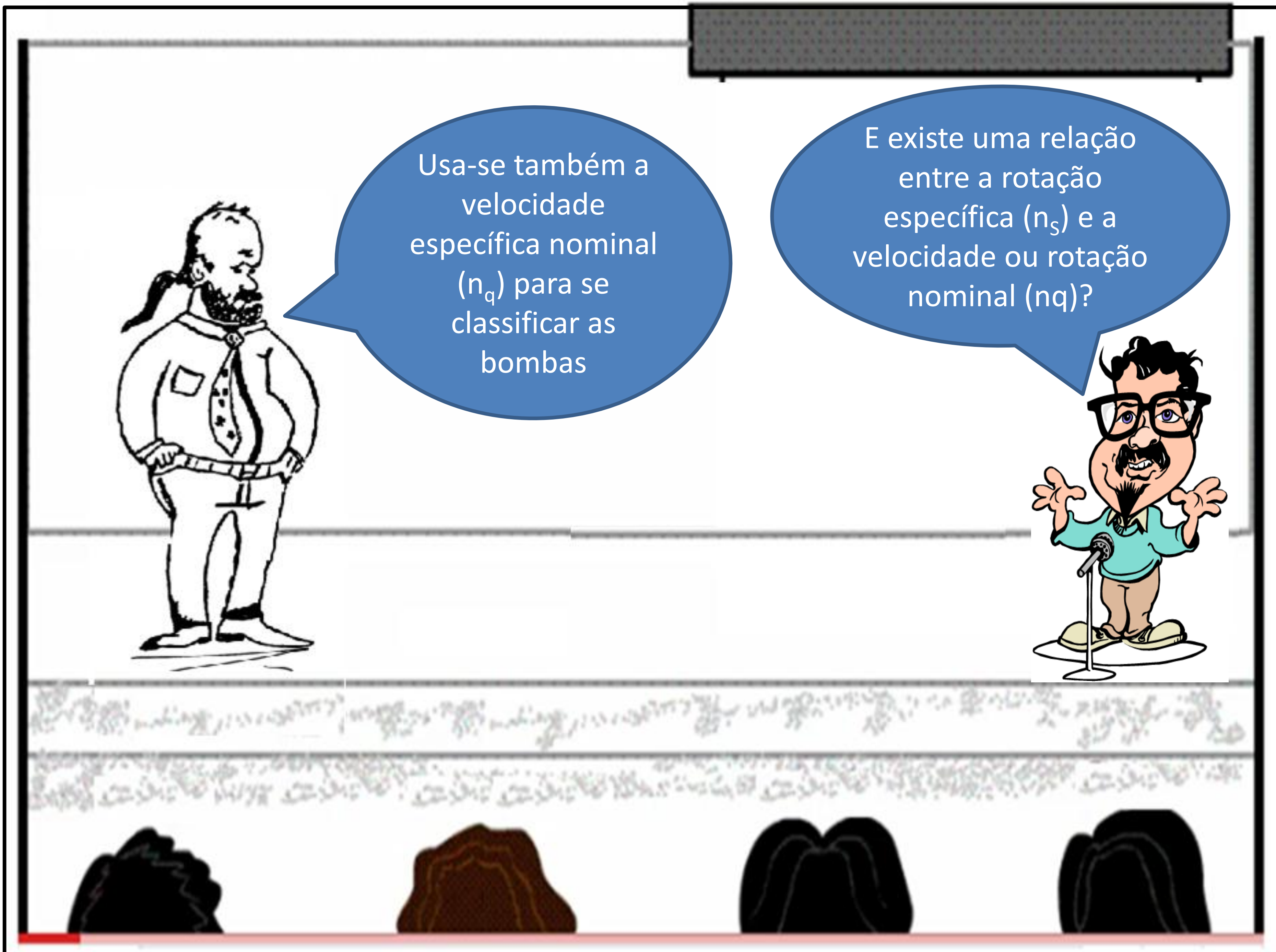

Vamos supor agora que a carga manométrica se conserve igual a um (1) metro e a vazão passe a ser 0,075 m³/s (escolha deste valor decorre de que 75 L de água para serem elevados a uma altura de um (1) metro demandam uma potência de 1 CV e isto caracteriza a BOMBA UNITÁRIA)
Como queremos que H_B se mantenha igual a 1m apesar da variação da vazão, deveremos variar as dimensões do rotor, certo?

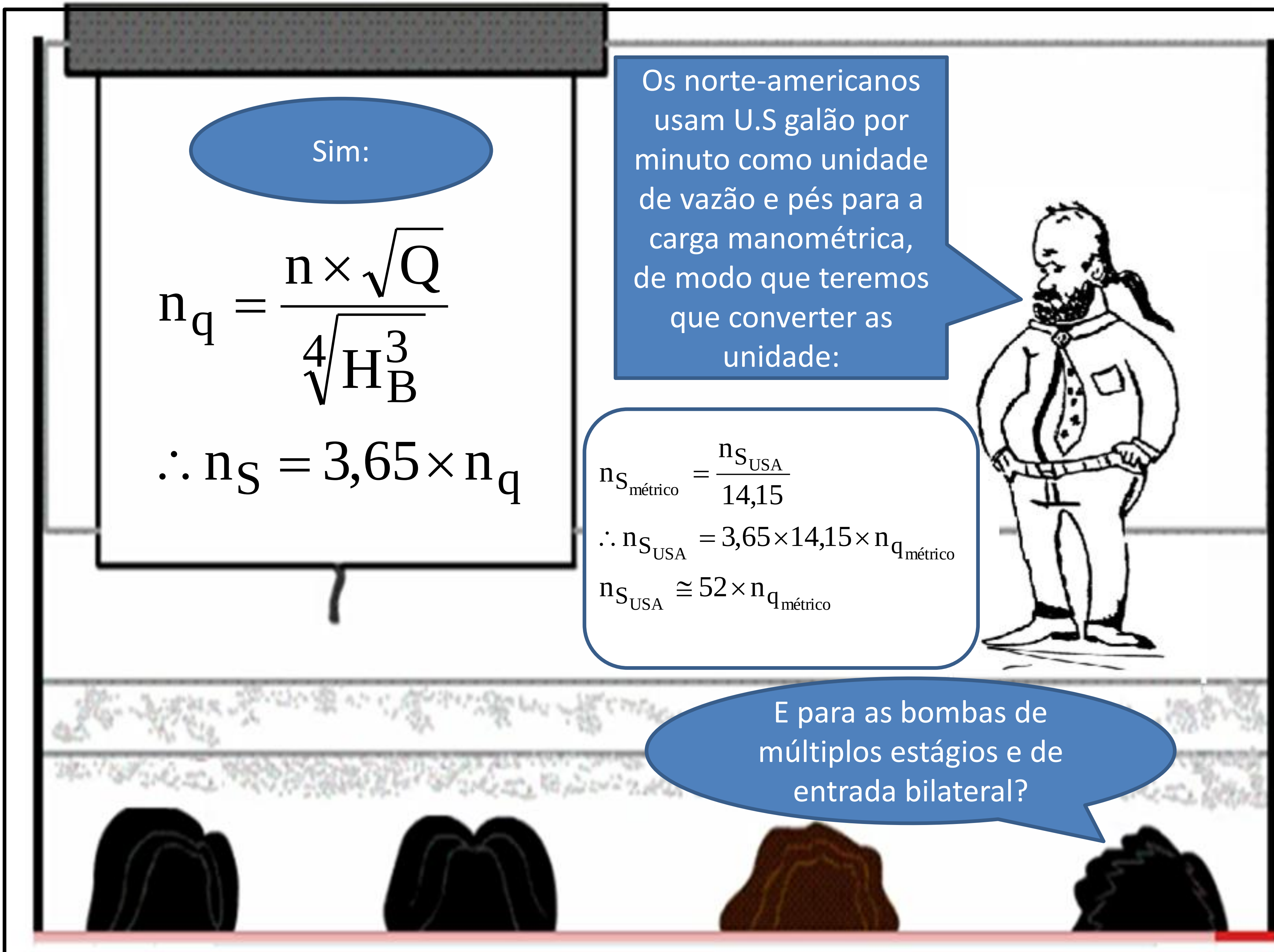

Isso mesmo, assim, chamando de D_{RI} o diâmetro correspondente às grandezas unitárias e D_{RS} o diâmetro nas novas condições (H_B = 1m; Q = 0,075 m³/s), teremos:
$$\frac{n_S}{n_I} = \frac{D_{RI}}{D_{RS}}$$
$$\frac{Q_I}{n_I \times D_{RI}^3} = \frac{0{,}075}{n_S \times D_{RS}^3}$$
$$\frac{Q_I}{0{,}075} = \frac{n_I}{n_S} \times \frac{D_{RI}^3}{D_{RS}^3} \therefore \frac{Q_I}{0{,}075} = \frac{D_{RI}^2}{D_{RS}^2}$$
$$\frac{n_S}{n_I} = \frac{D_{RI}}{D_{RS}} = \sqrt{\frac{Q_I}{0{,}075}}$$
$$n_S = n_I \times \sqrt{\frac{Q_I}{0{,}075}} = \frac{n}{\sqrt{H_B}} \times \sqrt{\frac{1000 \times Q}{75 \times \sqrt{H_B}}}$$

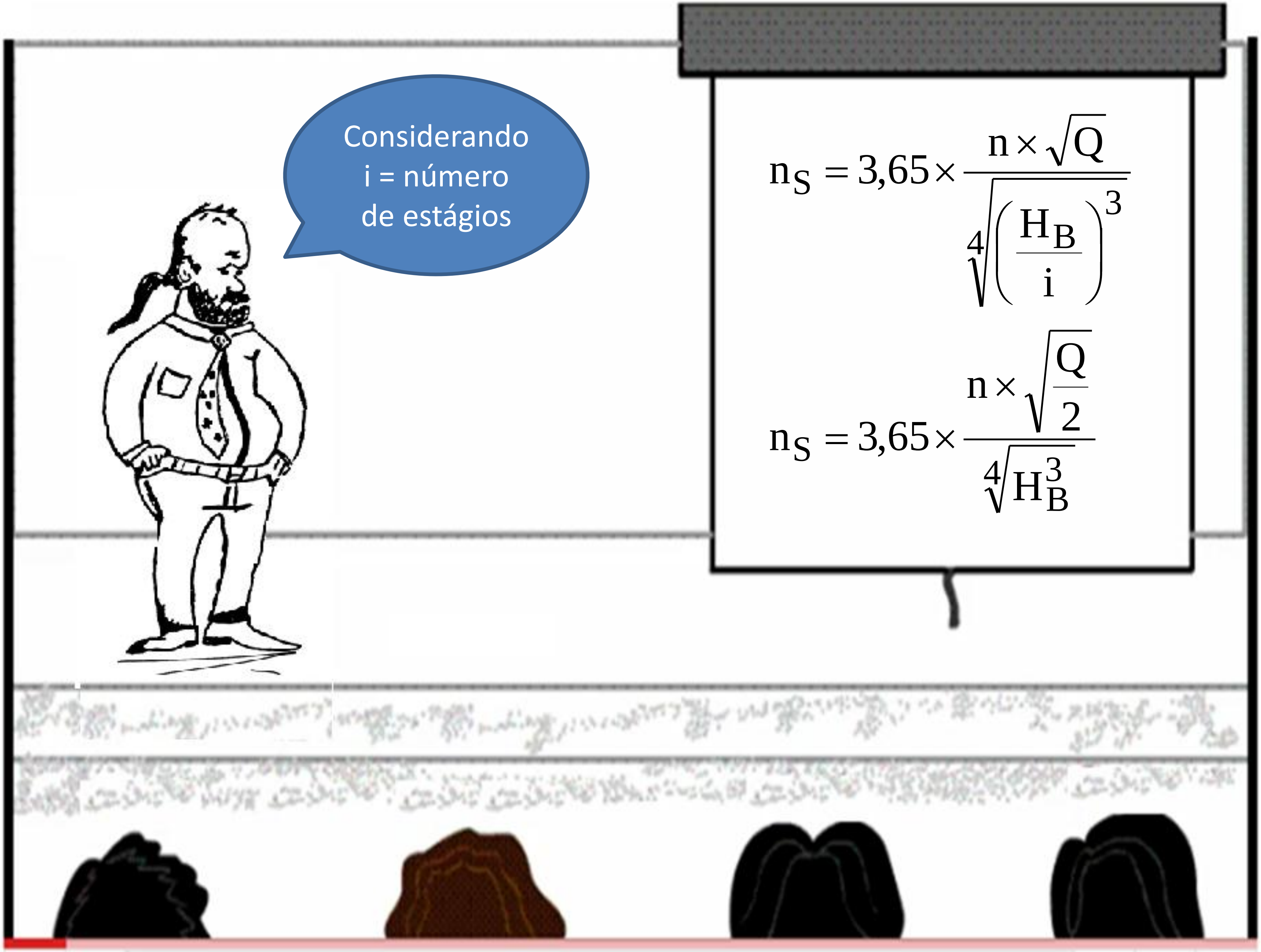

Aí surge a expressão para o cálculo da rotação específica, ou velocidade específica:
$n_S = 3{,}65 \times \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$
Denomina-se número específico de rotações por minuto ou velocidade específica real da bomba.
Se na equação acima a Q for dada em L/s ao invés de m³/s, o fator 3,65 se converte em 0,1155.

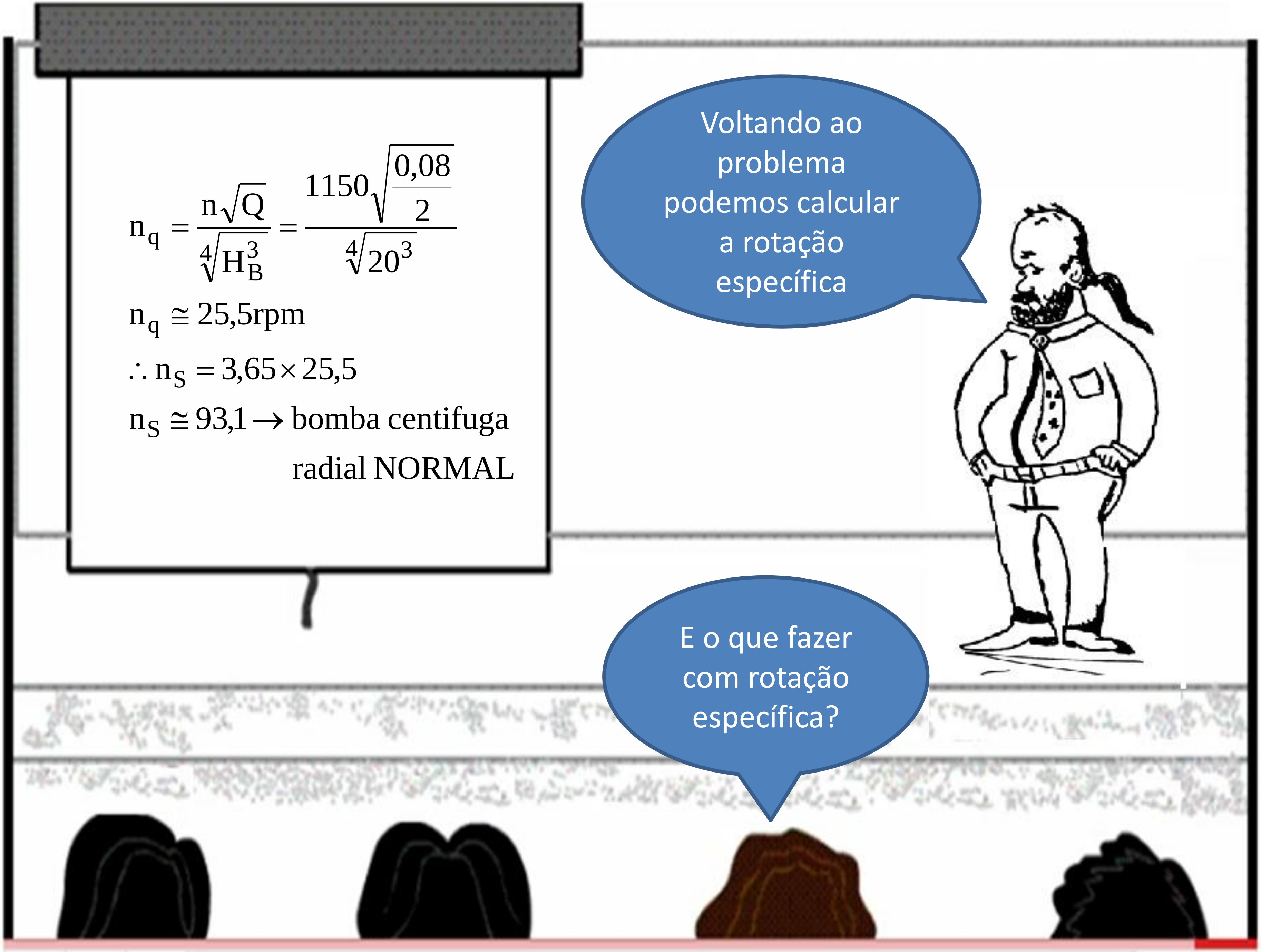

O valor de n_S especifica o tipo de bomba a usar.


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. 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

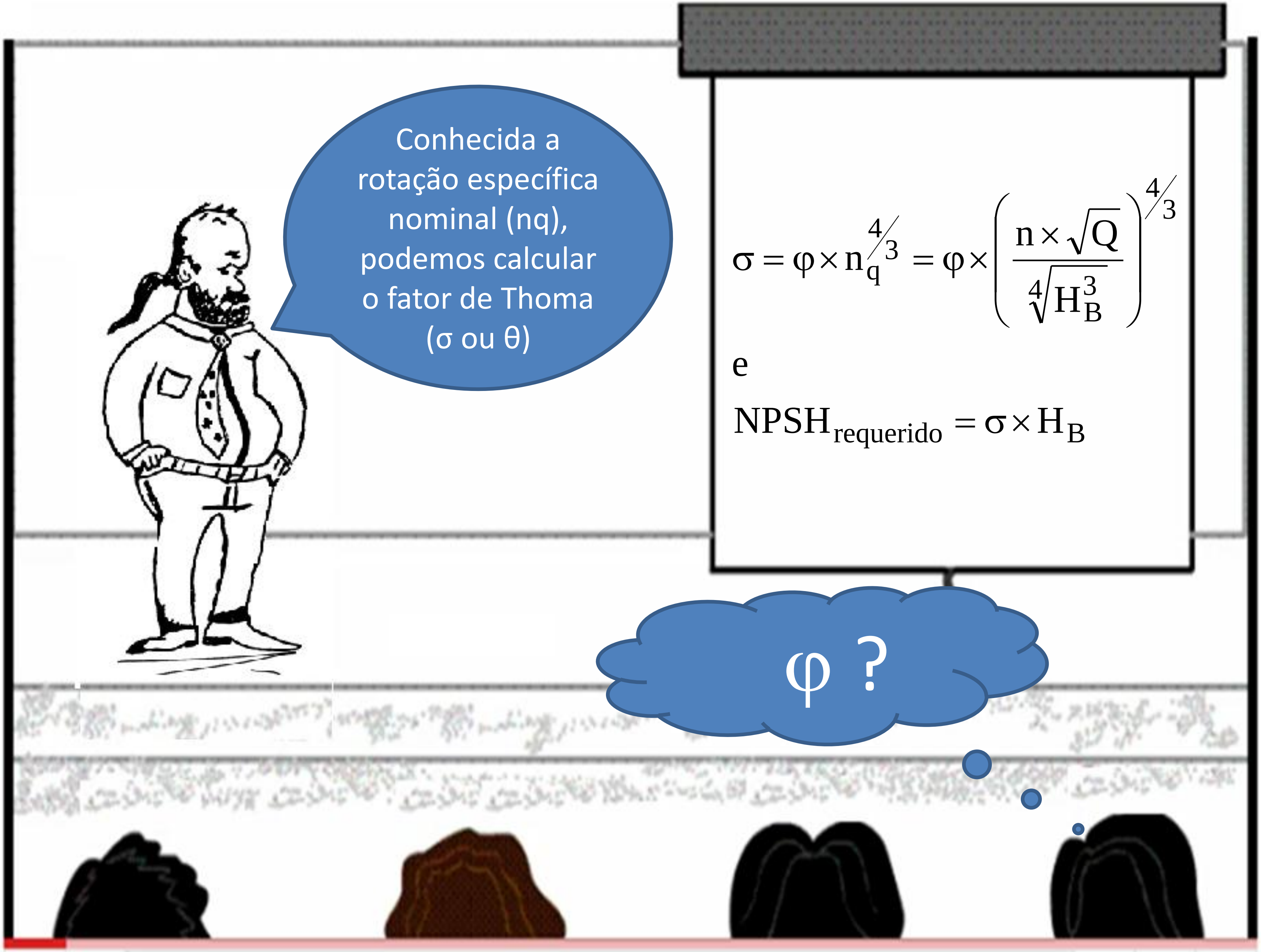

Usa-se também a velocidade específica nominal (n_q) para se classificar as bombas
E existe uma relação entre a rotação específica (n_S) e a velocidade ou rotação nominal (nq)?

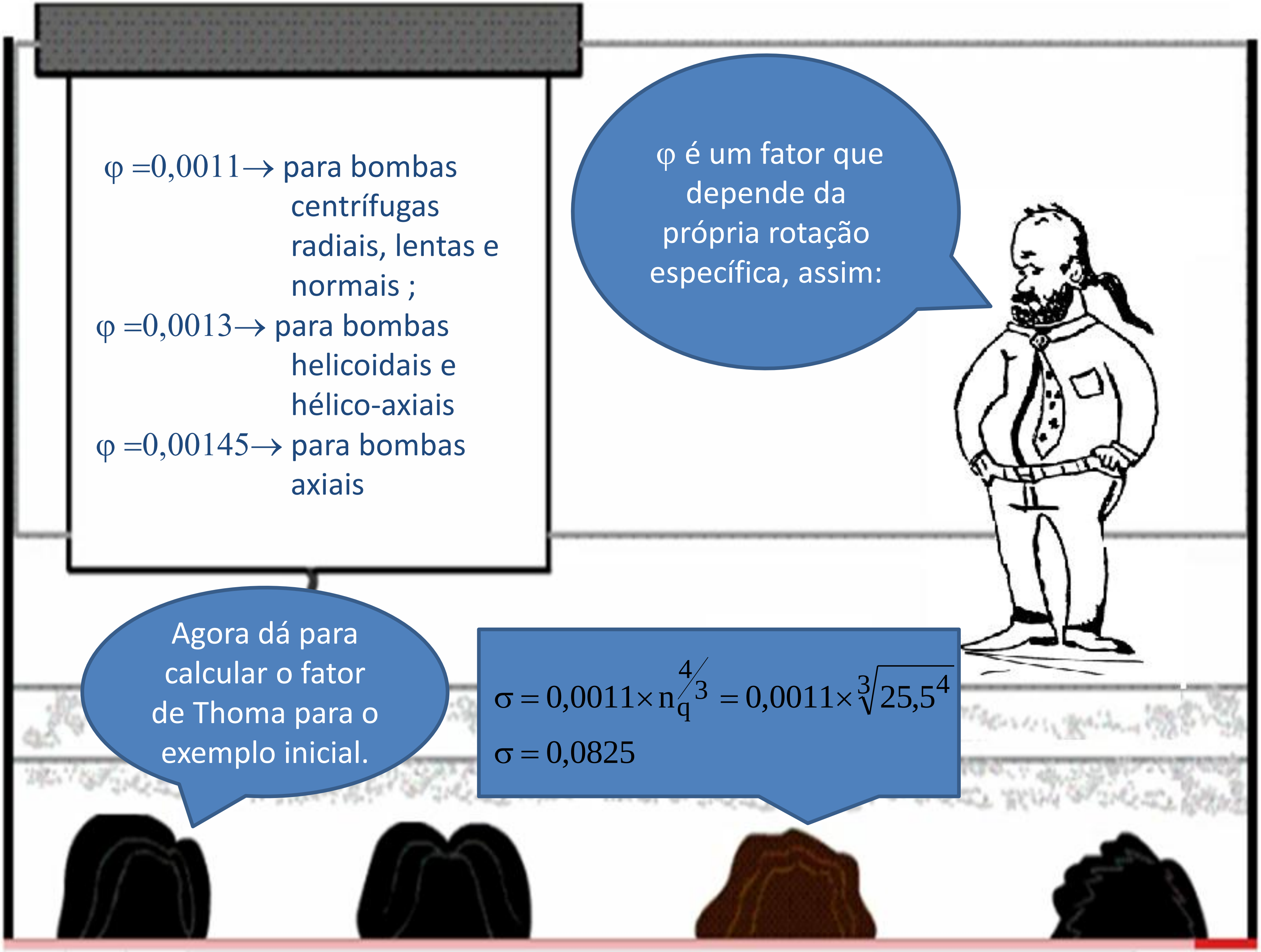

Sim:
$$n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$$
$$\therefore n_S = 3{,}65 \times n_q$$
Os norte-americanos usam U.S galão por minuto como unidade de vazão e pés para a carga manométrica, de modo que teremos que converter as unidade:
$$n_{S_{métrico}} = \frac{n_{S_{USA}}}{14{,}15}$$
$$\therefore n_{S_{USA}} = 3{,}65 \times 14{,}15 \times n_{q_{métrico}}$$
$$n_{S_{USA}} \cong 52 \times n_{q_{métrico}}$$
E para as bombas de múltiplos estágios e de entrada bilateral?


Considerando
i = número
de estágios
$$n_S = 3{,}65 \times \frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{\left(\frac{H_B}{i}\right)^3}}$$
$$n_S = 3{,}65 \times \frac{n \times \sqrt{\frac{Q}{2}}}{\sqrt[4]{H_B^3}}$$



$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} = \frac{1150\sqrt{\frac{0,08}{2}}}{\sqrt[4]{20^3}}$
$n_q \cong 25,5\text{rpm}$
$\therefore n_S = 3,65 \times 25,5$
$n_S \cong 93,1 \rightarrow$ bomba centifuga radial NORMAL
Voltando ao problema podemos calcular a rotação específica
E o que fazer com rotação específica?


Conhecida a rotação específica nominal (nq), podemos calcular o fator de Thoma (σ ou θ)
$\sigma = \varphi \times n_q^{4/3} = \varphi \times \left(\frac{n \times \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H_B^3}} \right)^{4/3}$
e
$NPSH_{requerido} = \sigma \times H_B$
φ ?



φ =0,0011→ para bombas centrífugas radiais, lentas e normais ;
φ =0,0013→ para bombas helicoidais e hélico-axiais
φ =0,00145→ para bombas axiais
φ é um fator que depende da própria rotação específica, assim:
Agora dá para calcular o fator de Thoma para o exemplo inicial.
$\sigma = 0{,}0011 \times n_q^{4/3} = 0{,}0011 \times \sqrt[3]{25{,}5^4}$
$\sigma = 0{,}0825$

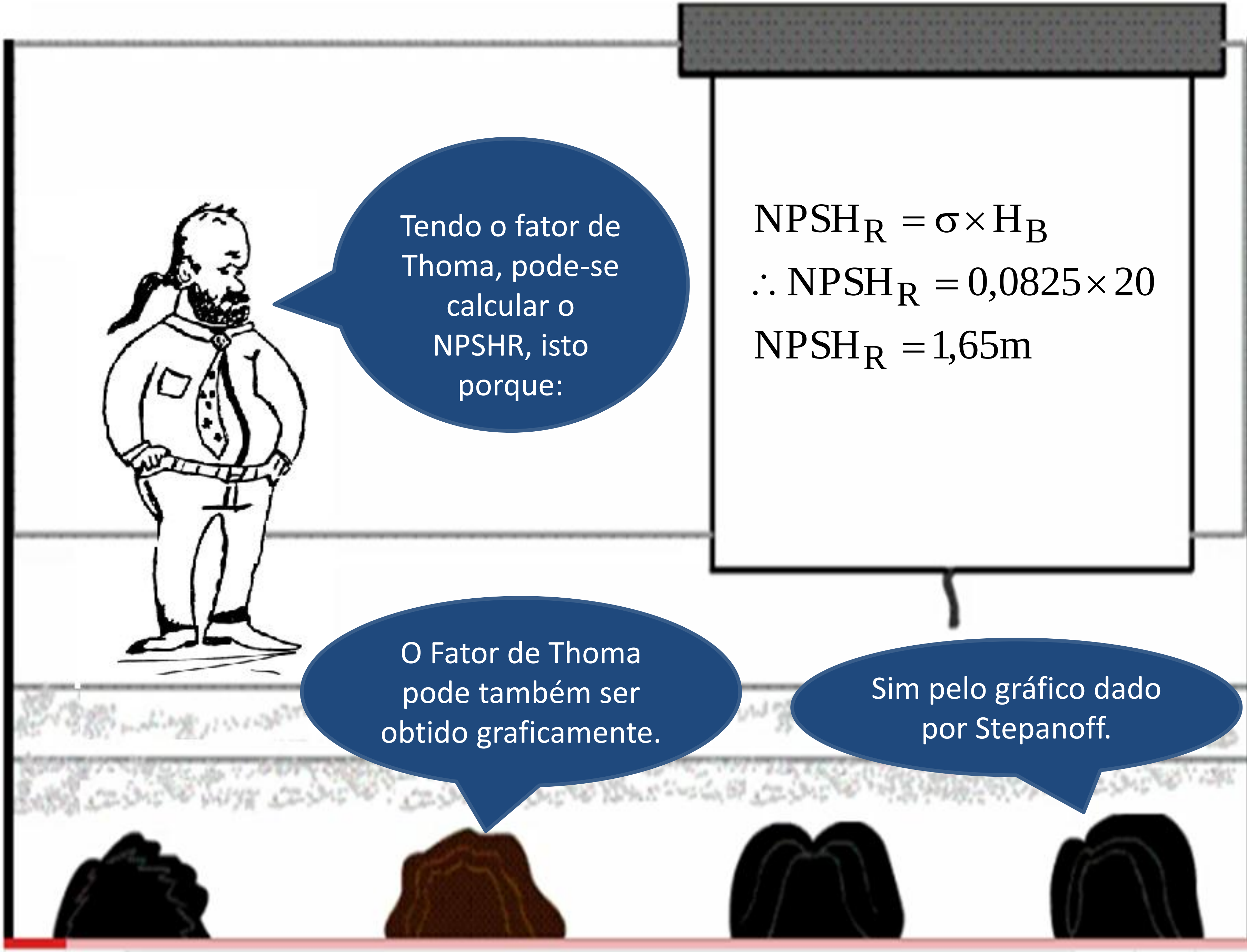
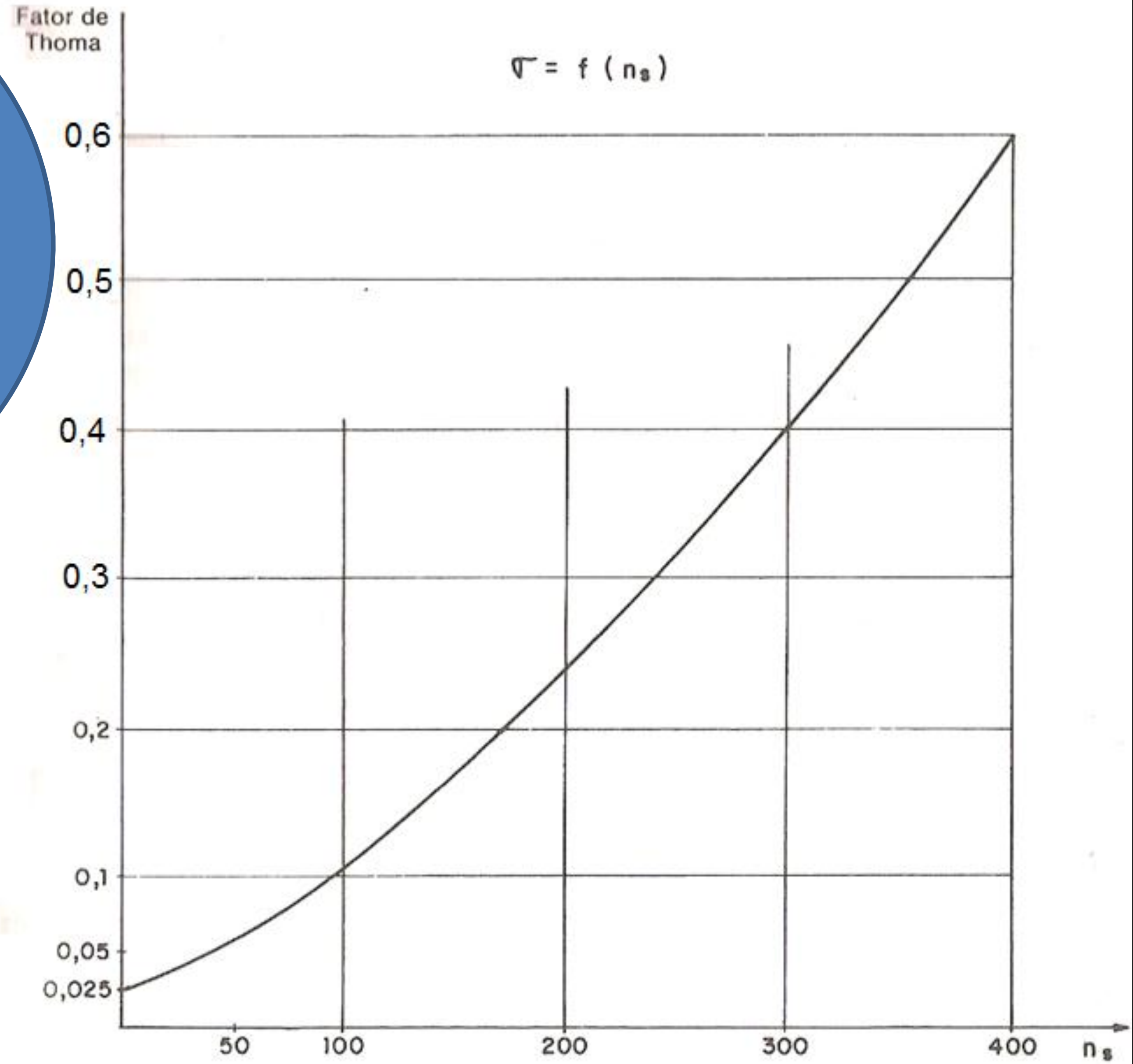
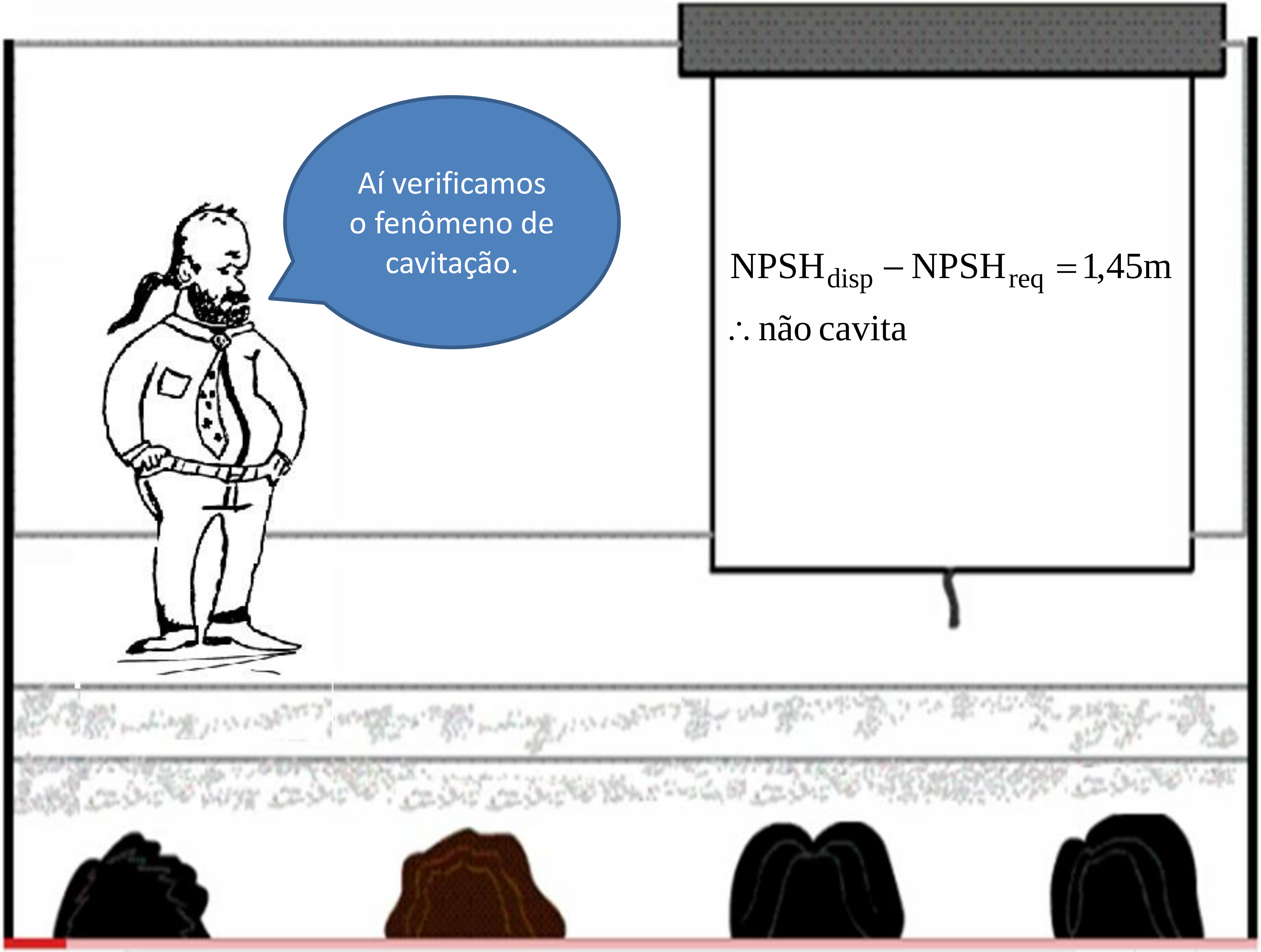

Tendo o fator de Thoma, pode-se calcular o NPSHR, isto porque:
NPSH_R = σ × H_B
∴ NPSH_R = 0,0825 × 20
NPSH_R = 1,65m
O Fator de Thoma pode também ser obtido graficamente.
Sim pelo gráfico dado por Stepanoff.

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



Fator de cavitação de Thoma em função da velocidade específica.


Aí verificamos
o fenômeno de
cavitação.
$NPSH_{disp} - NPSH_{req} = 1{,}45m$
$\therefore$ não cavita