Máquinas de Fluxo I

CAVITAÇÃO

R. Sobral

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

rodolfo.sobral@cefet-rj.br

CEFET/RJ

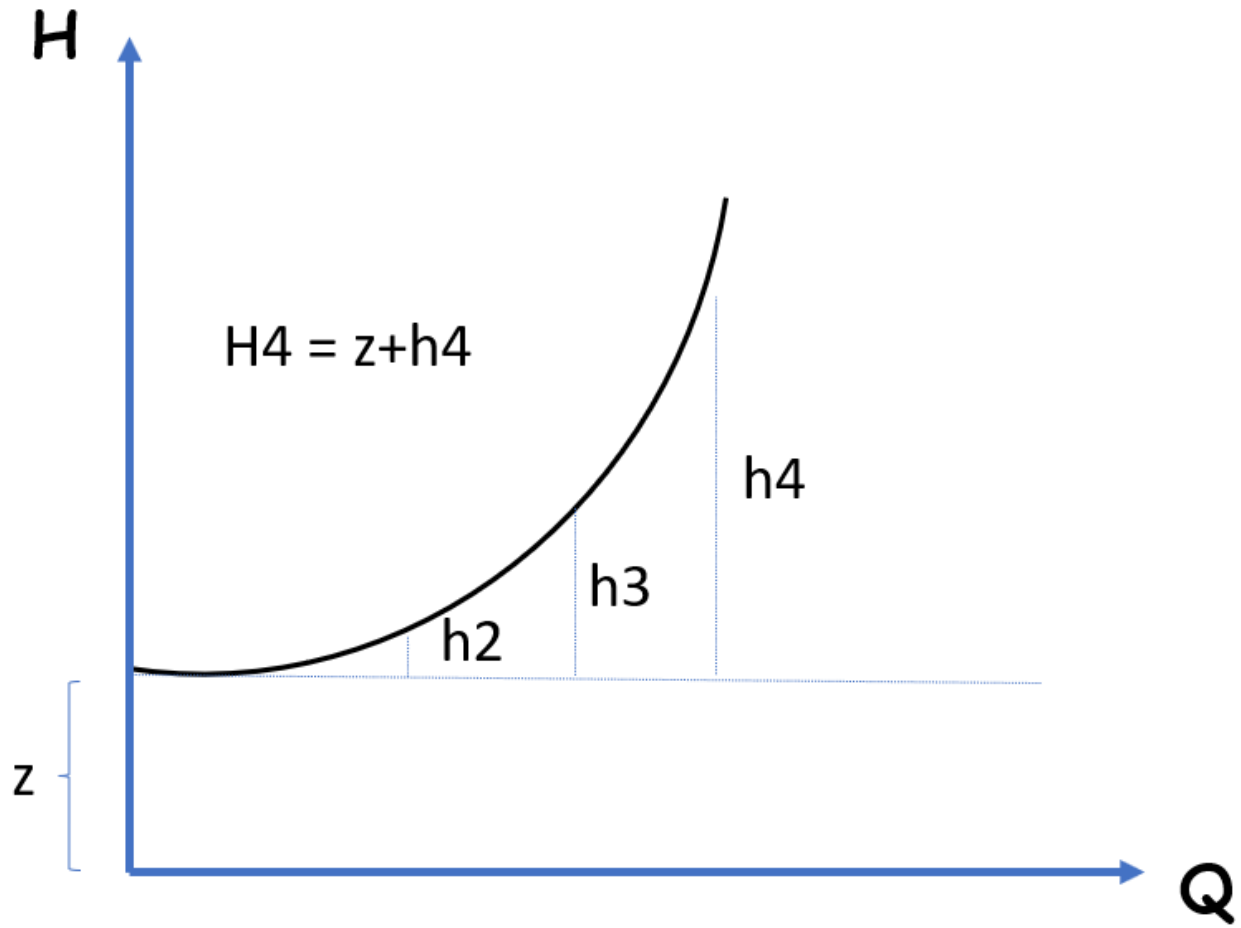
Programa do Curso - Avaliação 02

- Tipos de associação
- Perda de carga
- Cavitação e NPSH
- Compressores
- Análise numérica

CEFET/RJ

Curva do Sistema - Carga

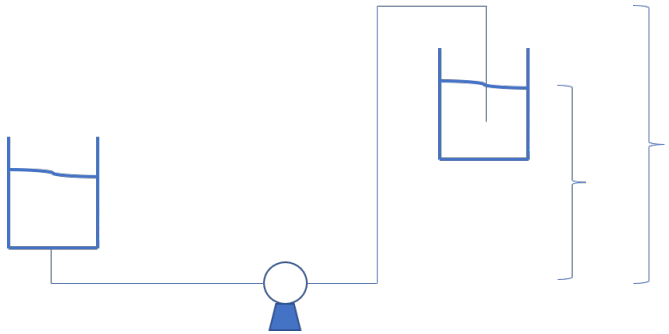
$$H = h_d - h_s = \frac{(p_d - p_s)}{\gamma} + \frac{(v_d^2 - v_s^2)}{2g} + (z_d - z_s) + (h_{f_d} - h_{f_s})$$

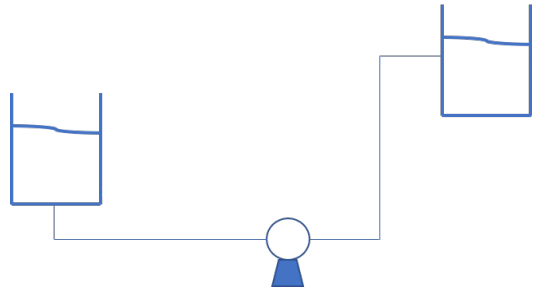


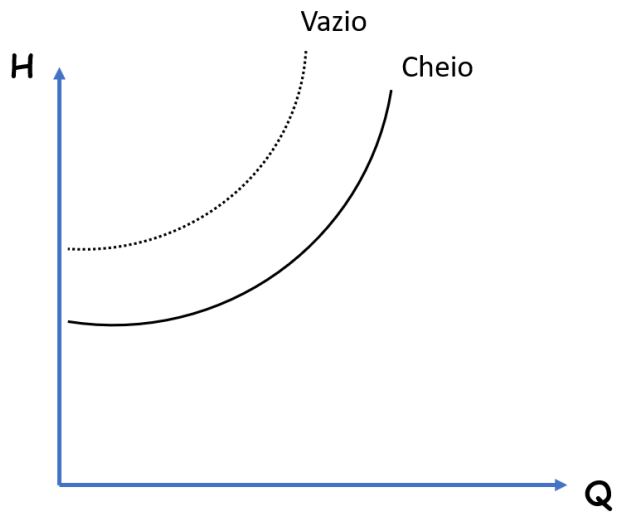
CEFET/RJ

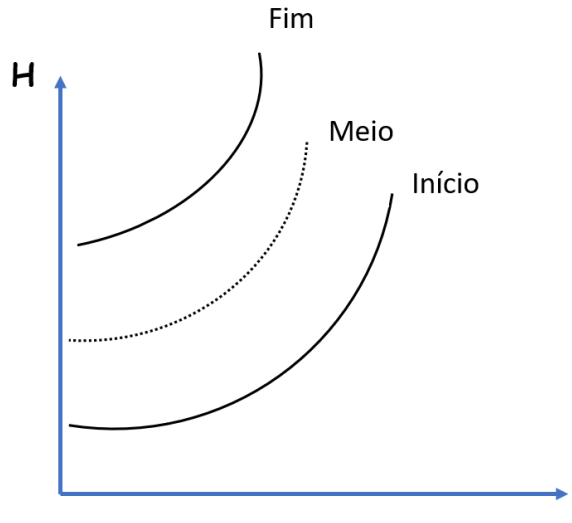
Fatores - Curva do Sistema

- Líquido (γ e μ)
- Temperatura (γ e μ)
- Nível - Altura sucção/descarga ($\uparrow z_d, \uparrow H$)





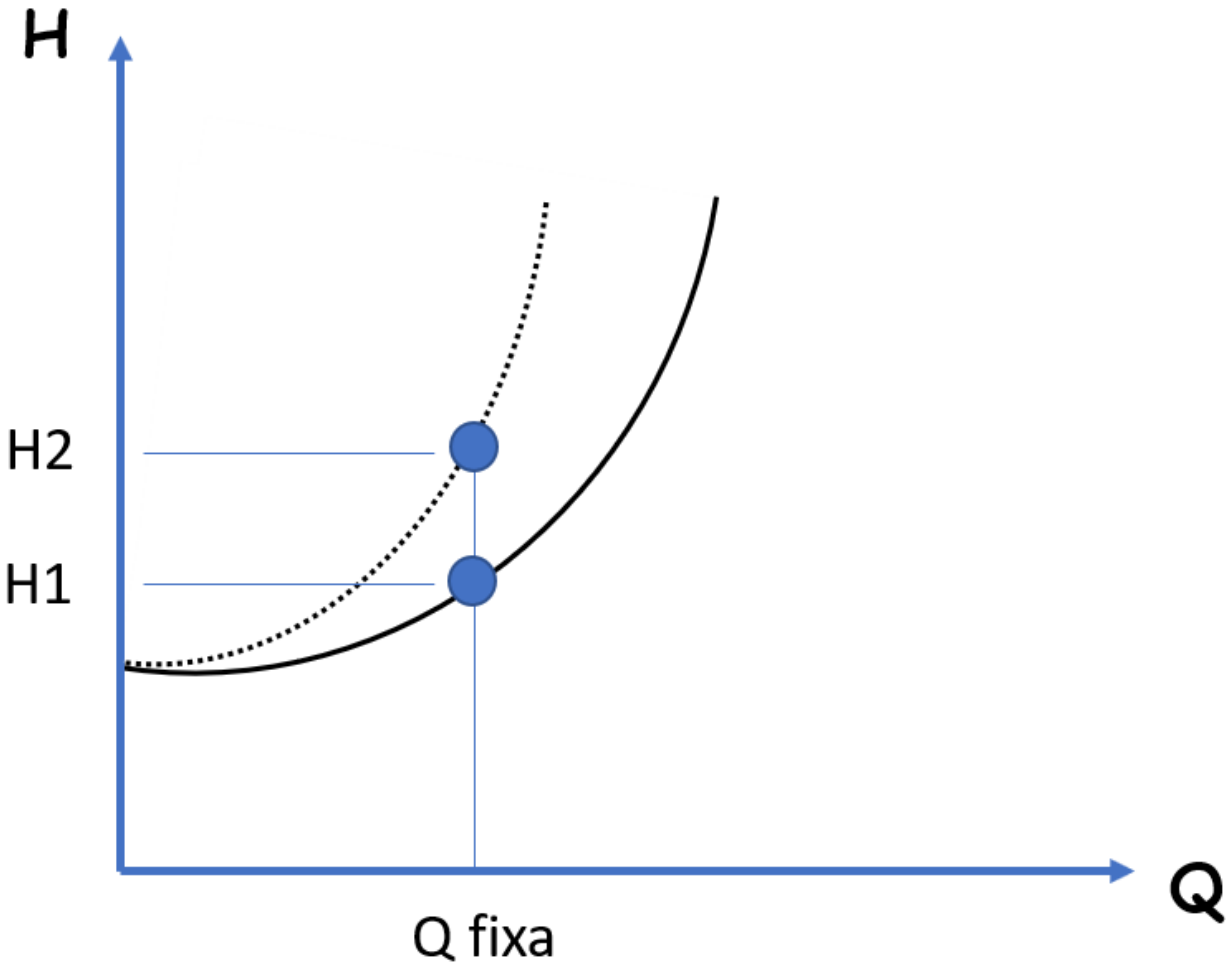




CEFET/RJ

Fatores - Curva do Sistema

- Alterações na linha ($\uparrow h, \uparrow H$): Estrangulamento de válvula



CEFET/RJ

Fatores - Curva da Bomba

- Líquido (γ e μ)
- Polígono de velocidades
- Tempo de serviço
- Rotação

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{1/2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/3}$$

- Diâmetro

  Geometricamente semelhante:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{1/3} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{3/2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{3/5}$$

  Corte impelidor:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{1/2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/3}$$

CEFET/RJ

Cavitação - Definição

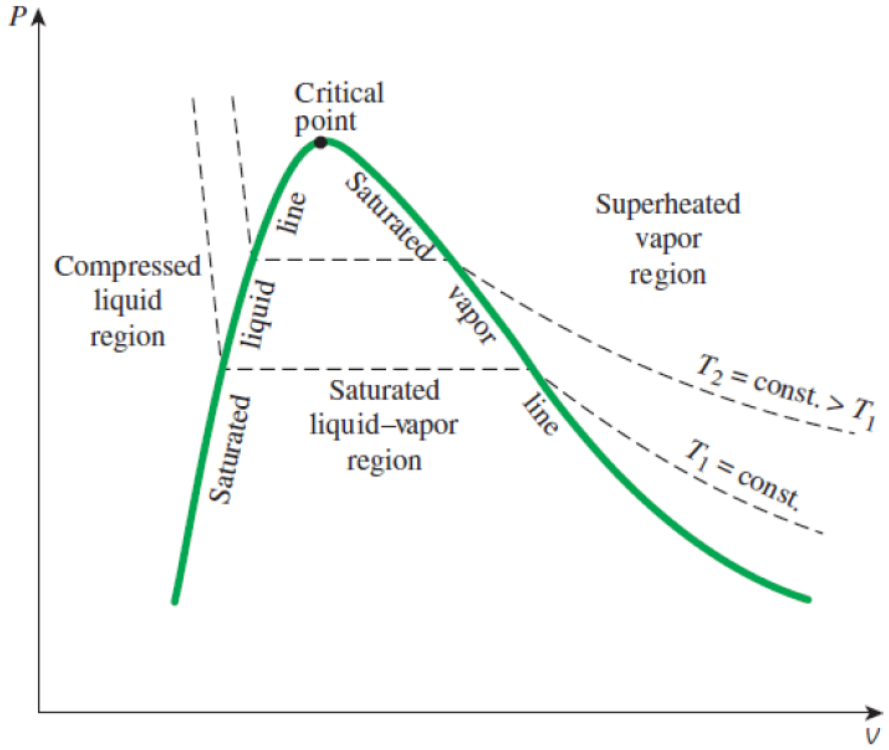
Ondas de choques nas pás do impelidor ao atingir a pressão de vapor ("estouro" das bolhas de ar no encontro com região de mais alta pressão de vapor).

Vídeo 00

T constante, p variável

CEFET/RJ

Bolhas de Ar



- Surgimento ($\downarrow p$) $\rightarrow$ queda da pressão no olho do impelidor
- Estouro ($\uparrow p$) $\rightarrow$ aumento da pressão no canal do impelidor e/ou na entrada da voluta

CEFET/RJ

Inconvenientes da Cavitação

- Vibração
- Alteração das curvas características (pressão e perdas de carga)

CEFET/RJ

Net Positive Suction Head Disponível

Energia por unidade de peso na sucção necessária para que a bomba não cavite (Sistema).

$$NPSH_{disp} = h_s + \frac{p_a - p_v}{\gamma}$$

CEFET/RJ

Net Positive Suction Head Requerido

Energia por unidade de peso na sucção necessária para que não haja cavitação (Bomba).

$$NPSH_{req} = h_{if} + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\lambda \,.\, v_{r1}}{2g}$$

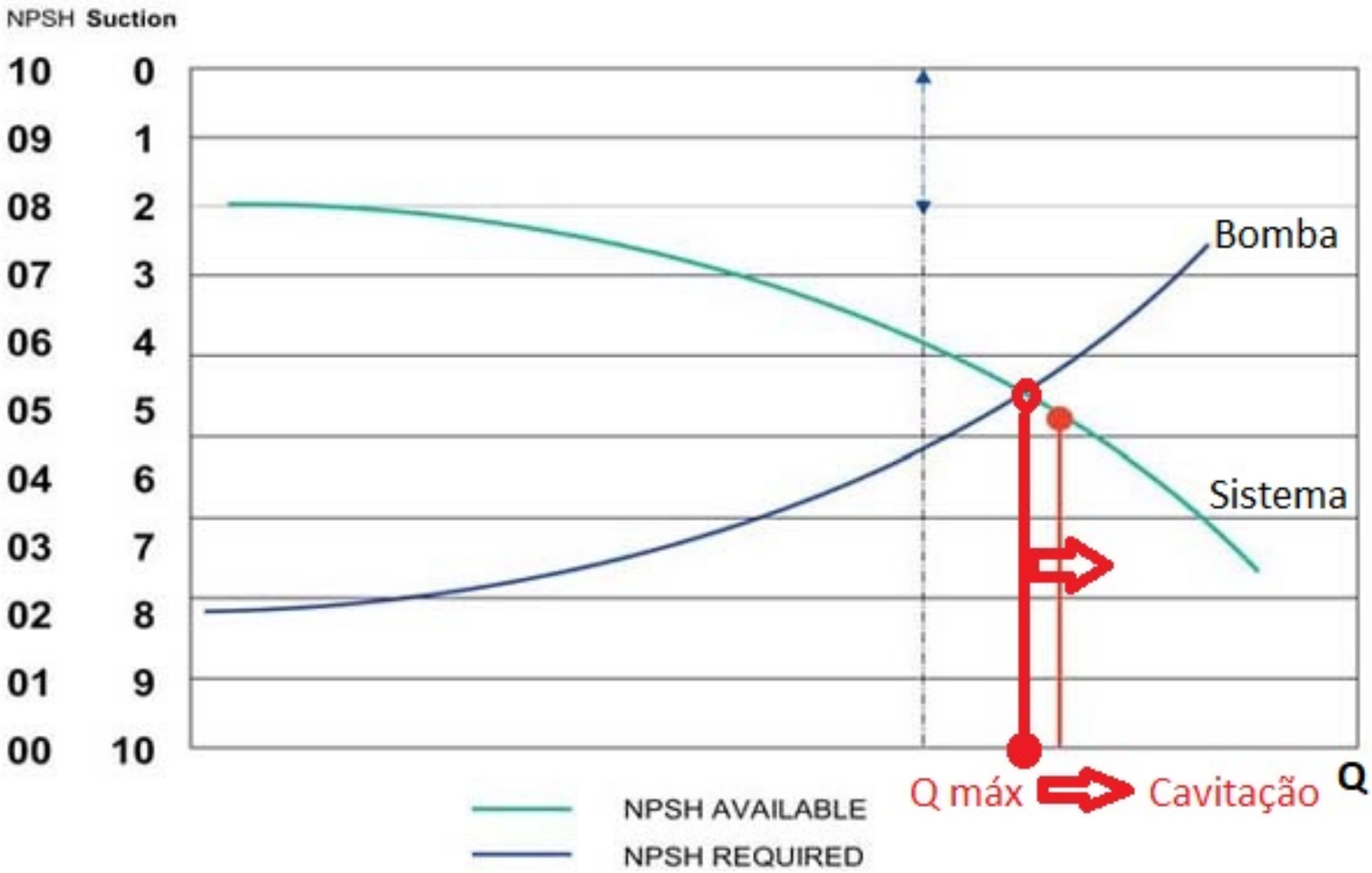
CEFET/RJ

Evitando a Cavitação

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0.6m$$

CEFET/RJ

Vazão Máxima - QxNPSH



$NPSH_{req}$ é dado pelo fabricante

Vazão Máxima

$$\downarrow NPSH_{disp} = \frac{p_s}{\gamma} \pm z_s + \frac{p_a - p_v}{\gamma} - h_{fs} \uparrow$$

Teste de cavitação determina o $NPSH_{req}$ induzindo a bomba a cavitar, ou seja, reduz-se o $NPSH_{disp}$ aumentando a perda de carga ou reduzindo $-z_s$

CEFET/RJ

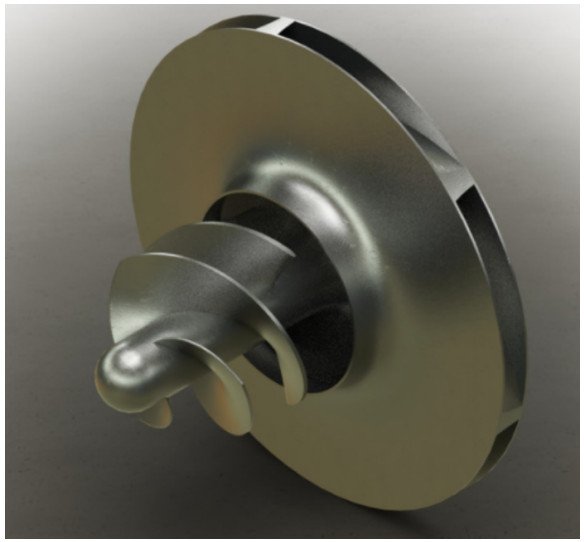
Net Positive Suction Head Disponível

- altura de sucção (z_s)
- altitude da instalação (p_a)
- temperatura (p_v)
- líquido (γ)
- tubulação (h_f)
- vazão (h_f)

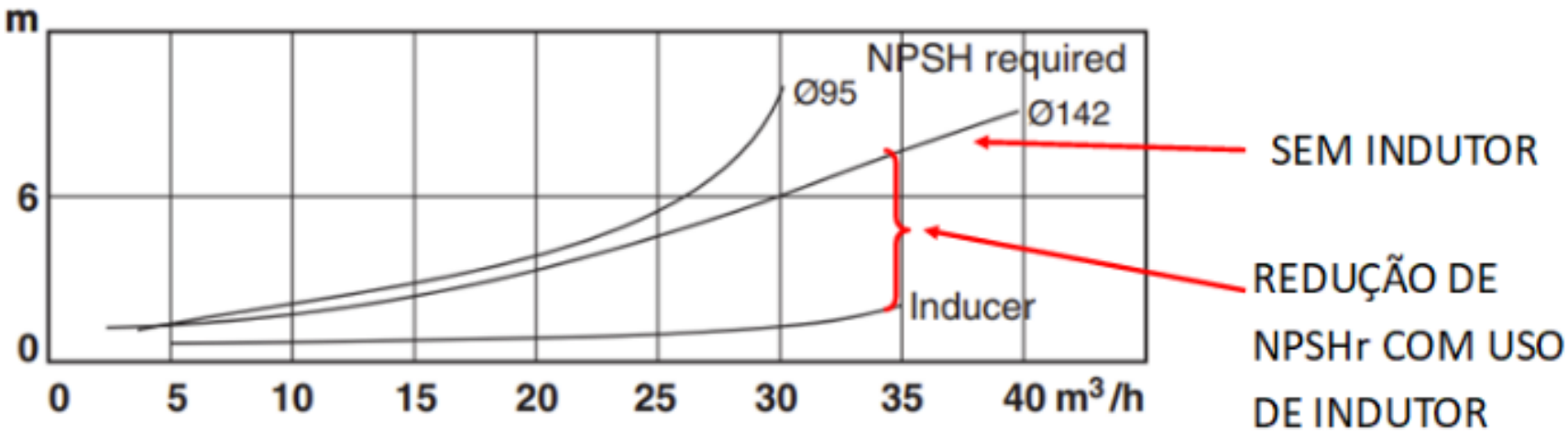
CEFET/RJ

Net Positive Suction Head Requerido

- indutor $\rightarrow$ rotor axial/misto colocado na frente do impelidor para reduzir o $NPSH_{req}$
- rotor



Indutor



Demandando equipamentos de tamanho controlado

CEFET/RJ

Vídeo

Vídeo 01

Vídeo 02

Vídeo 03

Vídeo 04

CEFET/RJ

Curiosidade - Amortecedor

Vídeo 05

CEFET/RJ

Catálogo Bomba - .pdf

http://www.ksb.com.br/ksb-br-pt/tipos.php?codtipo=1

CEFET/RJ

Outro parâmetro - Velocidade específica

Utilizando os admensionais vistos anteriormente no que tange às Máquinas de Fluxo (Coeficientes de Vazão e de Carga) e desprezando a dimensão de máquina, temos o parâmetro prático denominado velocidade específica.

Este parâmetro envolve w, Q e H, e é utilizado na determinação de escolha do tipo de impelidor e principalmente na análise de cavitação.

$$N_s = \frac{w \,.\, Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

CEFET/RJ

Outro parâmetro - Velocidade específica

Para bombas:

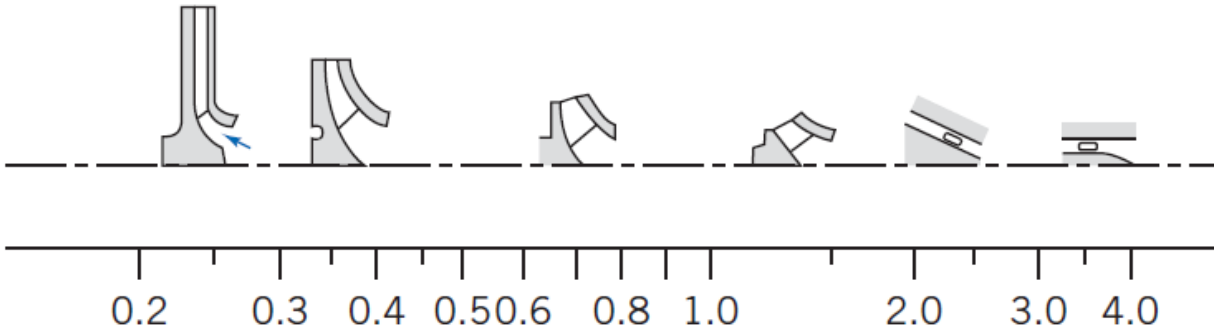
$$N[rpm] = \frac{w \,.\, H^{3/4}}{Q^{1/2}}$$

Para turbinas hidráulicas:

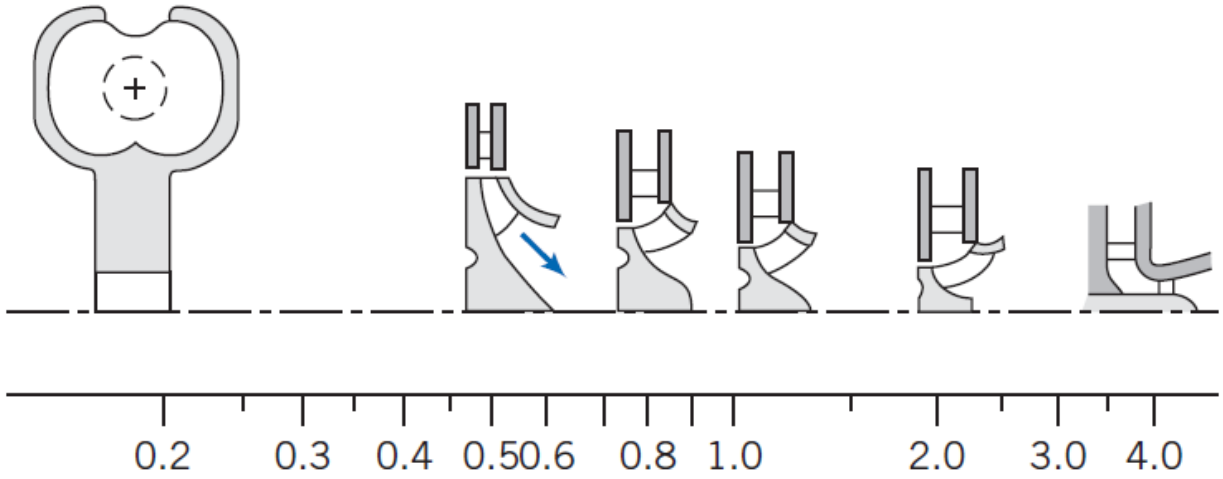
$$N[rpm] = \frac{w \,.\, H^{5/4}}{\dot{W}^{1/2}}$$

CEFET/RJ

Outro parâmetro - Velocidade específica



Typical geometric proportions of commercial pumps as they vary with dimensionless specific speed

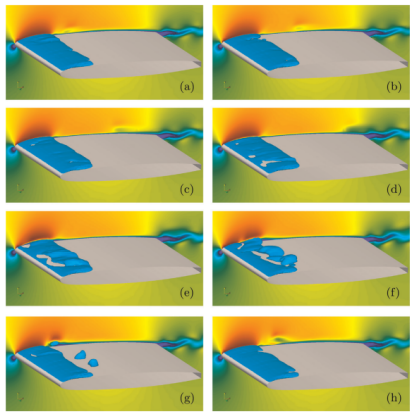


Typical geometric proportions of commercial hydraulic turbines as they vary with dimensionless specific speed

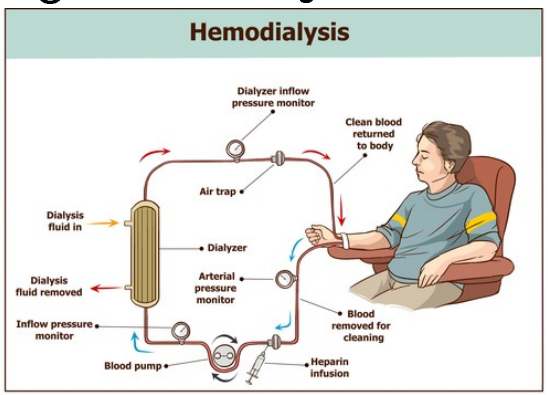
CEFET/RJ

Aplicações

- **Empírico-Numérico NACA 0009 -**
  `http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2015.06.009`



- **USG Cavitação Diálise -**
  `https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2007.09.014`



CEFET/RJ

"Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, eletricidade e energia atômica: a vontade"

Albert Einstein

CEFET/RJ