

Cavitação

CONCEITUAÇÃO CLÁSSICA

Cavitação é devido a vaporização.

Bolhas formadas atingem regiões de pressão mais alta retornando à fase líquida.

Pressão absoluta < pressão vapor do líquido na T_b

Volume ocupado pelo líquido é muito menor do que o da fase vapor, criando vazios que proporcionarão ondas de choques – igual a uma explosão.

Cavitação

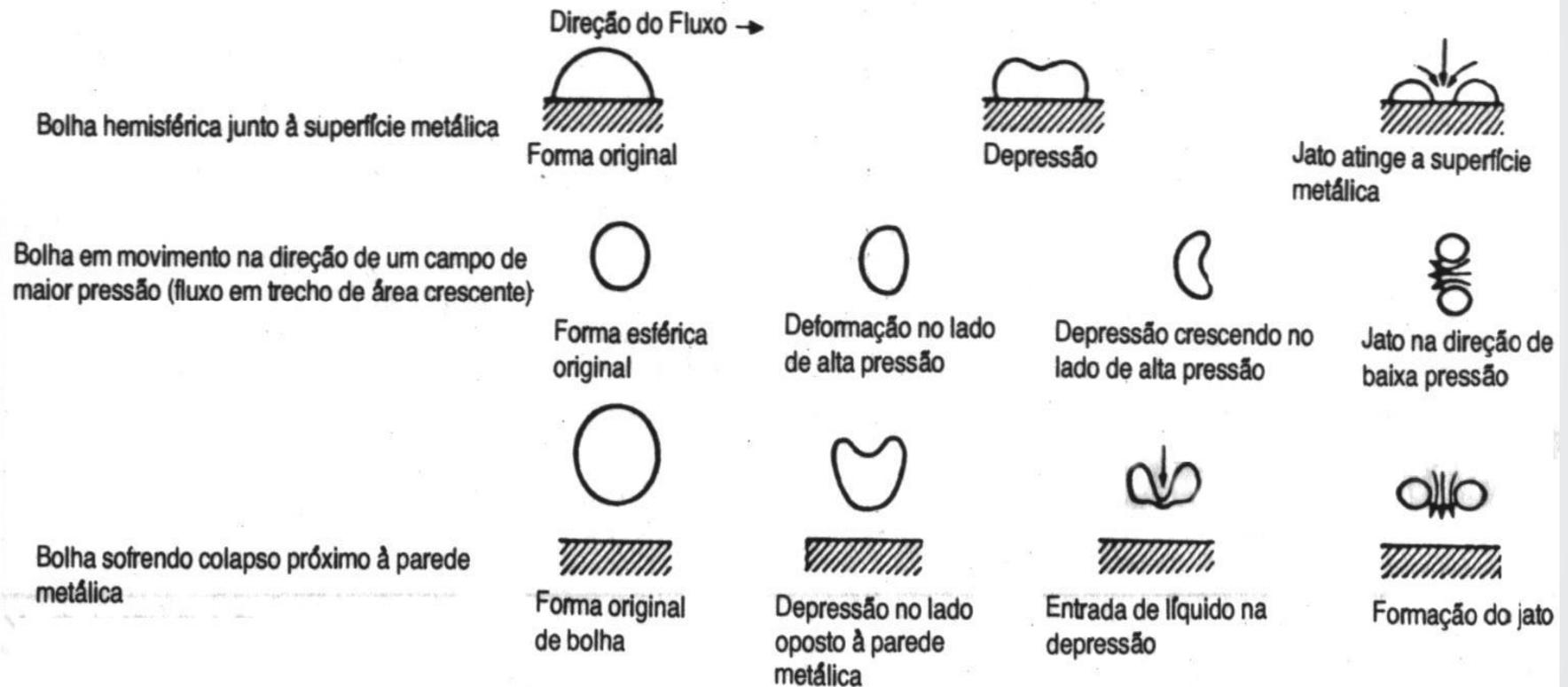
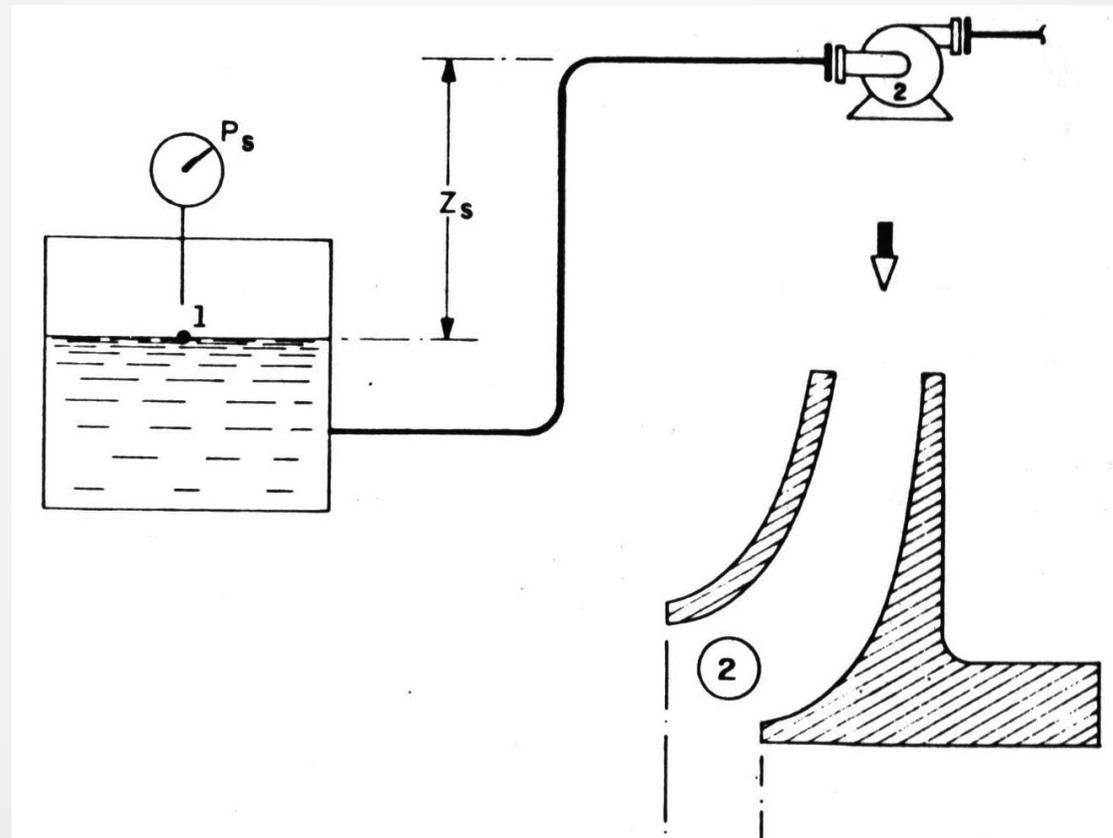


Fig. 10.1 – Colapso de bolha em três situações características (Ref. Bibl. 10.1).

Cavitação

Bombas centrífugas – região mais crítica – olhal do impelidor, a pressão é mínima devido ao líquido ainda não ter recebido nenhum acréscimo de energia (pressão).



Cavitação/ Recirculação

Recirculação interna ou fluxo mínimo estável – é um fenômeno que muitas vezes é interpretado como cavitação devido aos sintomas serem semelhantes \Rightarrow vibração e ruído.

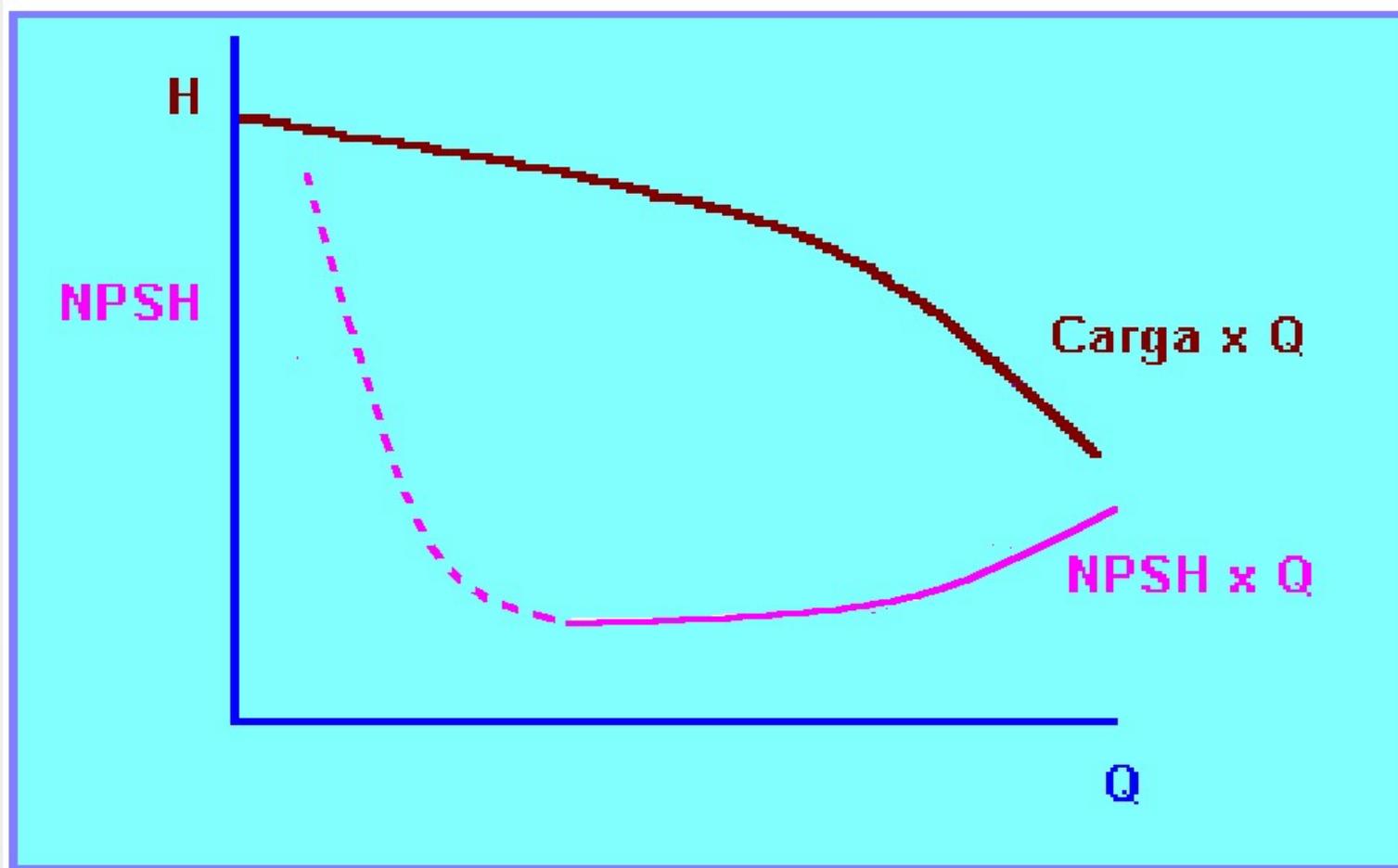
A recirculação ocorre quando a bomba trabalha com baixas vazões. Os ângulos de entrada e de saída do líquido no impelidor, diferem bastante do valor de projeto, fazendo com que ocorram regiões com pressões mais baixas que as vizinhas, dando início aos movimentos de recirculação interna.

Cavitação / Recirculação

Notar que o fabricante da bomba ao plotar a curva de NPSH requerido x vazão, vai até um determinado ponto. Não devemos assumir que abaixo desta vazão o NPSH requerido se mantenha. Normalmente ele sobe.

Grosseiramente, podemos tomar este ponto como sendo o de vazão mínima para efeito de recirculação. Na realidade, o NPSH disponível do sistema pode alterar o ponto de início deste fenômeno.

Cavitação / Recirculação



Cavitação / Recirculação

- No API – 610 -8ª. edição, define como fluxo mínimo estável , a vazão na qual as vibrações não ultrapassam os limites impostos pela norma.
- As vibrações costumam ser mínimas no ponto de máxima eficiência.

Fluxo mínimo API 610

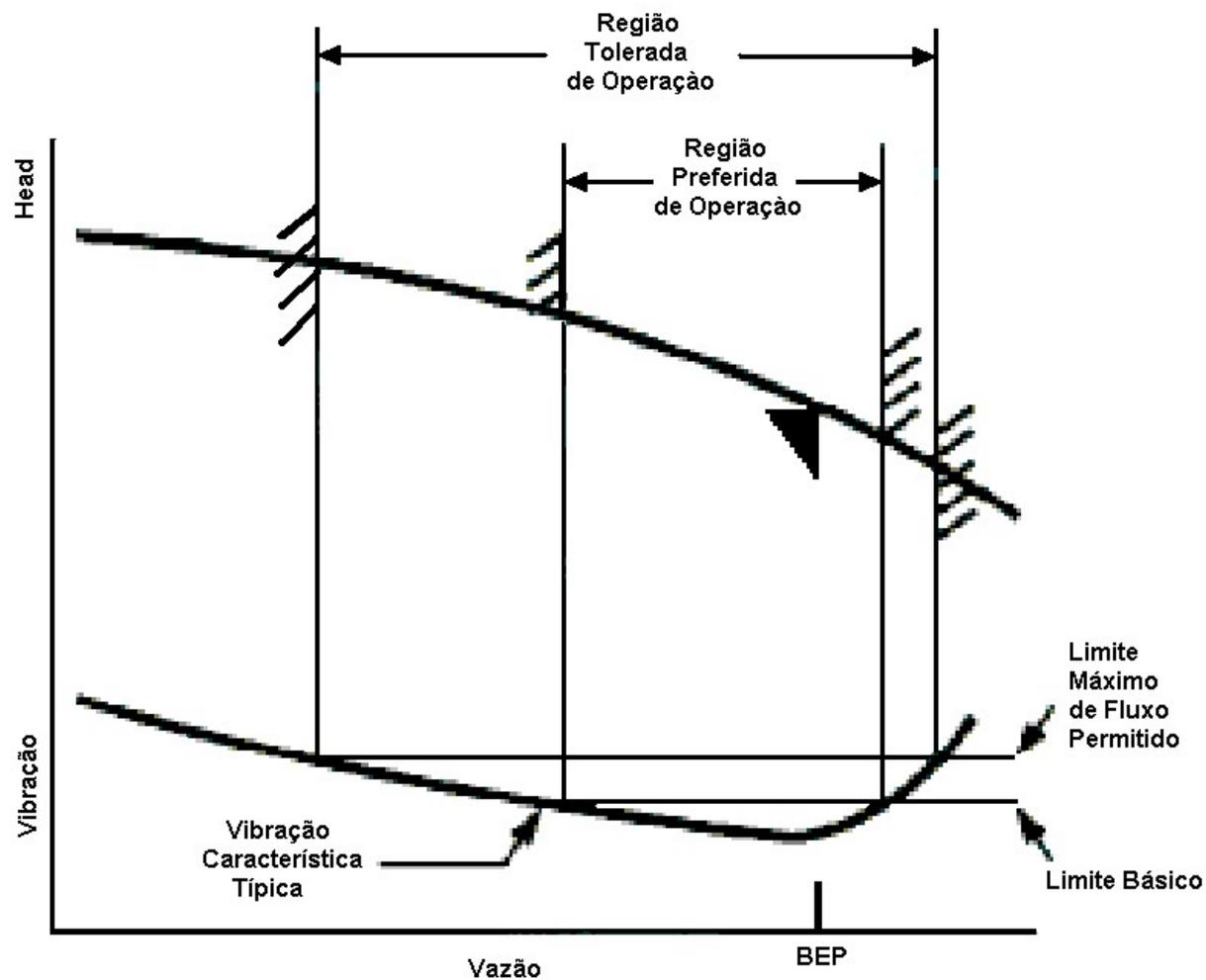


Figura 2-7 - Relação entre Vazão e Vibração

Cavitação / Recirculação

Diferenças entre cavitação e recirculação

Cavitação – ocorre normalmente quando aumentamos a vazão devido ao aumento de NPSH requerido e redução do NPSH disponível.

Recirculação – ocorre quando reduzimos a vazão abaixo de um certo valor.

Existem bombas que trabalham entre os limites de cavitação e de recirculação.

Cavitação x tipo da bomba

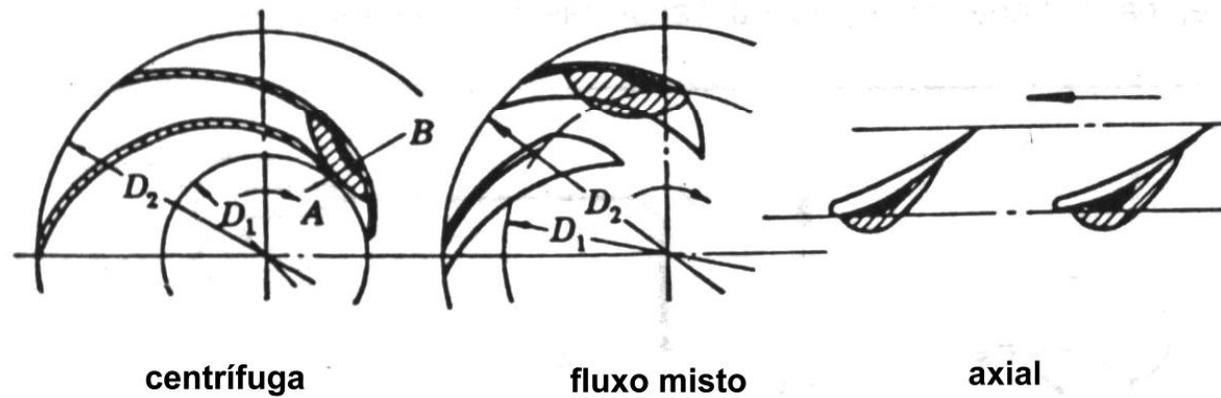
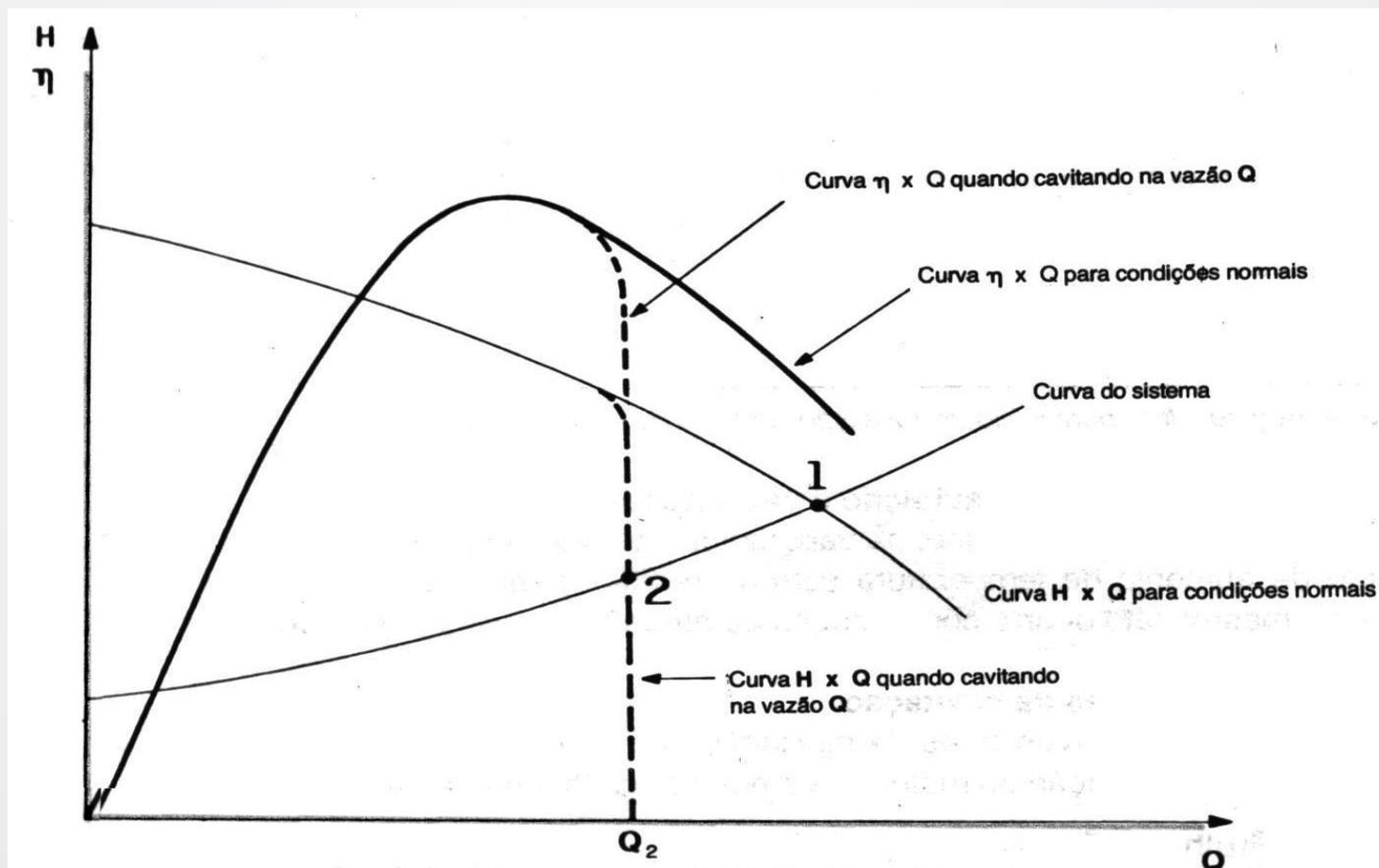


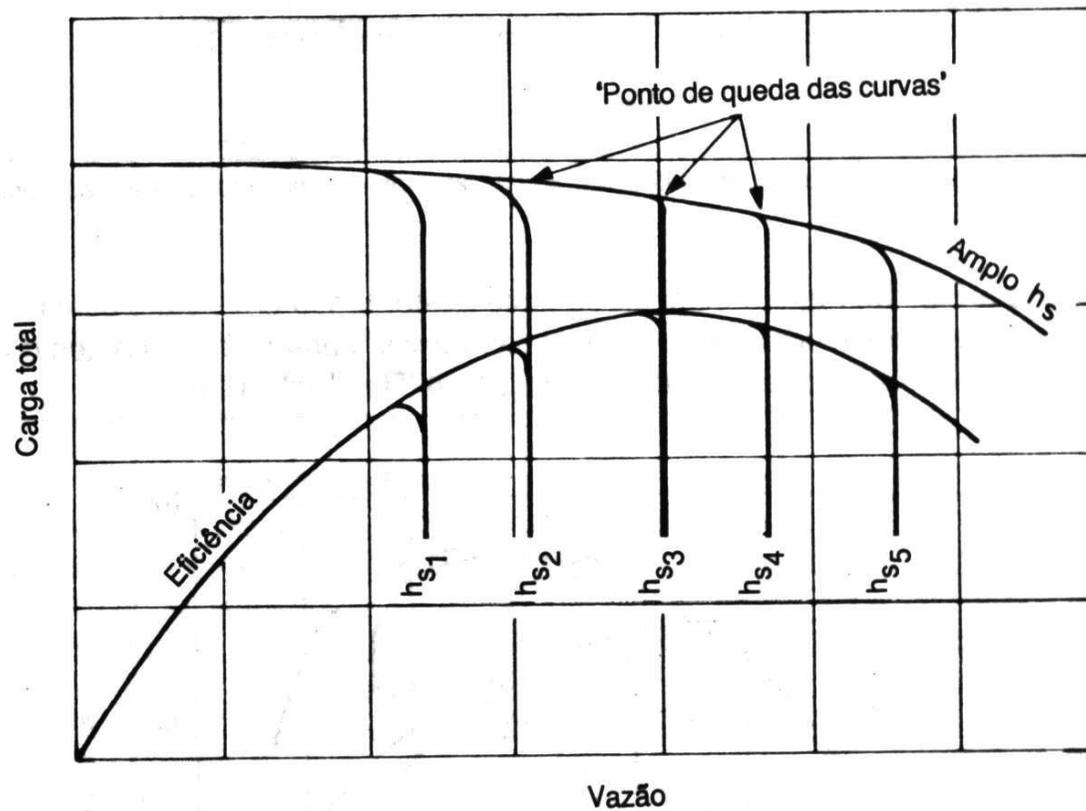
Fig. 10.4 – Influência de bolhas no canal de escoamento de diferentes tipos de bombas (Ref. Bibl. 10.3)

Alteração das curvas características devido a cavitação

Bomba passa operar em 2 em vez de 1

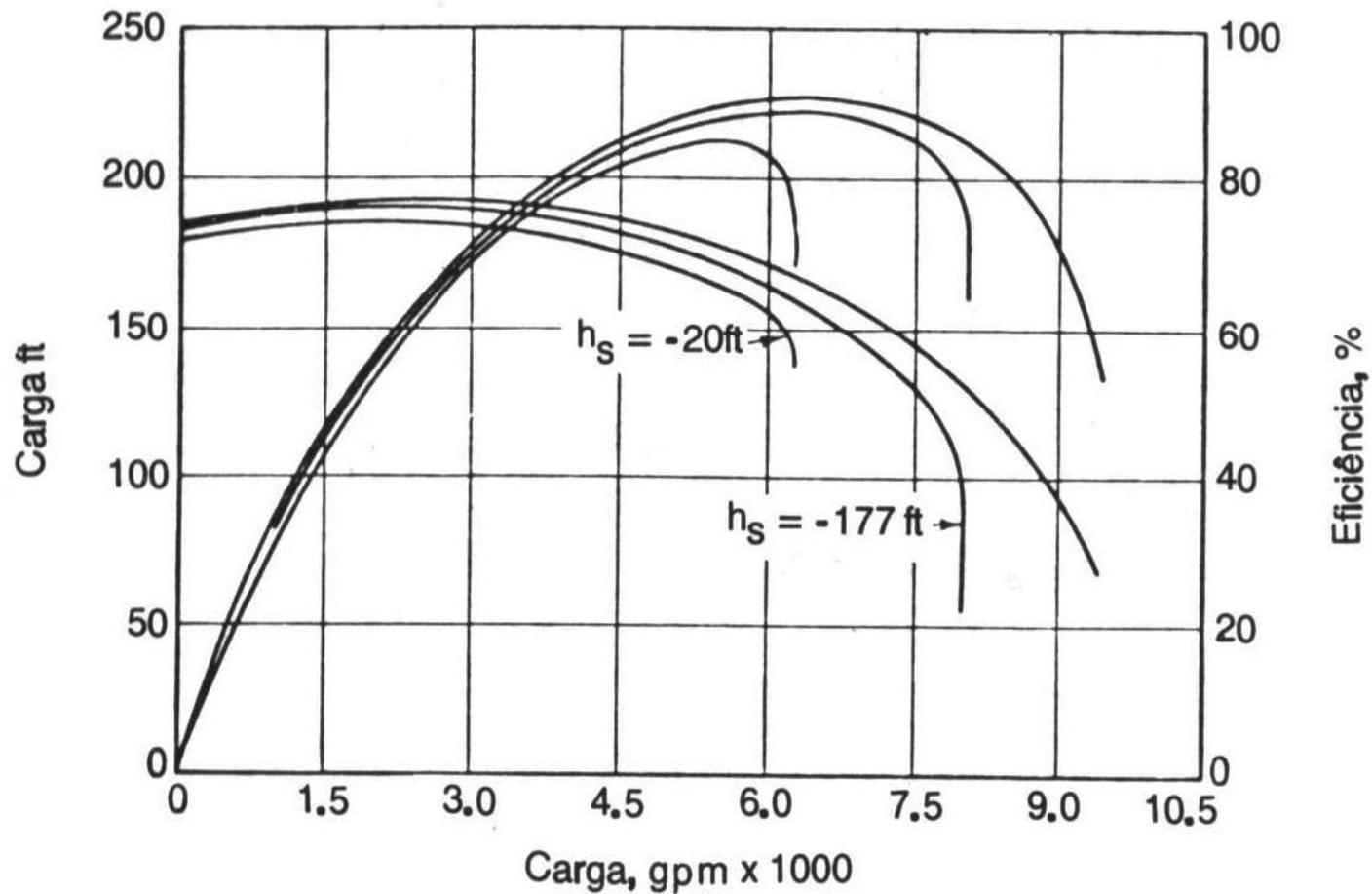


Queda da curva de H p/ diversas condições de sucção

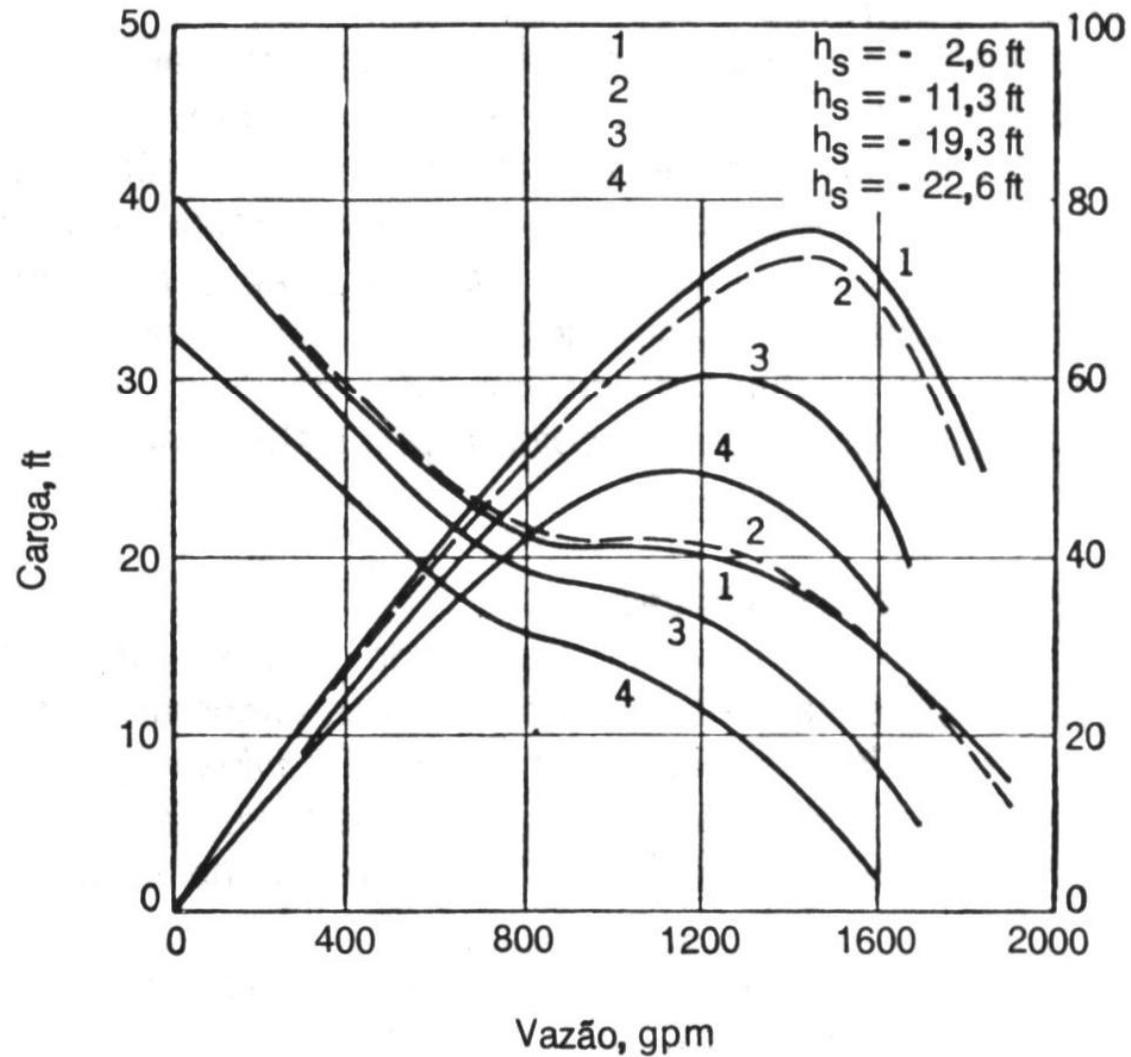


$$h_{s5} > h_{s4} > h_{s3} > h_{s2} > h_{s1}$$

Cavitação – bomba de fluxo misto



Cavitação - bomba fluxo axial



Perda de material

O material metálico adjacente ao local de formação das bolhas sofrerá danos. A quantidade de material perdido dependerá da intensidade da cavitação e das características do material.

Frequência de formação – 25.000 ciclos/segundo.

Pressão exercida na superfície do metal – 1000 atm.

Aumento de temperatura local – 800^o C.

Cavitação

Cavitação, erosão e corrosão

Deterioração devido a cavitação nada tem a ver com desgaste proveniente de erosão ou de corrosão.

Erosão – ação de partículas sólidas em suspensão sendo deslocadas em velocidade.

Corrosão – é uma reação química ou da formação de uma ação galvânica decorrente do uso de materiais com diferentes potenciais com um líquido eletrolítico.

Cavitação

Conceituação moderna de cavitação

Teoria clássica – a cavitação inicia quando a pressão é reduzida ao valor da pressão de vapor na temperatura de bombeamento.

Teoria moderna – para criar uma cavidade há necessidade da ruptura do líquido, Esta ação não é medida pela pressão de vapor e sim pela resistência a tensão, que é correlacionada com a tensão superficial do líquido na temperatura de bombeamento.

Cavitação

Líquidos puros e homogêneos podem resistir a valores bastante altos de pressão negativa ou tensão sem cavitarem.

Nos casos práticos os líquidos possuem impurezas e gases dissolvidos que propiciam a redução de sua resistência a tensão.

Cavitação

Equacionamento da cavitação em bombas

NPSH – **NET POSITIVE SUCTION HEAD**

NPSH disponível – é a energia absoluta por unidade de peso existente no flange de sucção da bomba acima da pressão de vapor.

É uma característica do sistema e do líquido bombeado.

$$\text{NPSH}_d = h_s + \frac{P_a - P_v}{\gamma}$$

Cavitação

NPSH requerido – é a quantidade mínima de energia absoluta por unidade de peso acima da pressão de vapor, que deve existir no flange de sucção da bomba para que não haja cavitação.

$$\text{NPSH } r = h_{fi} + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{\lambda V r_1^2}{2g}$$

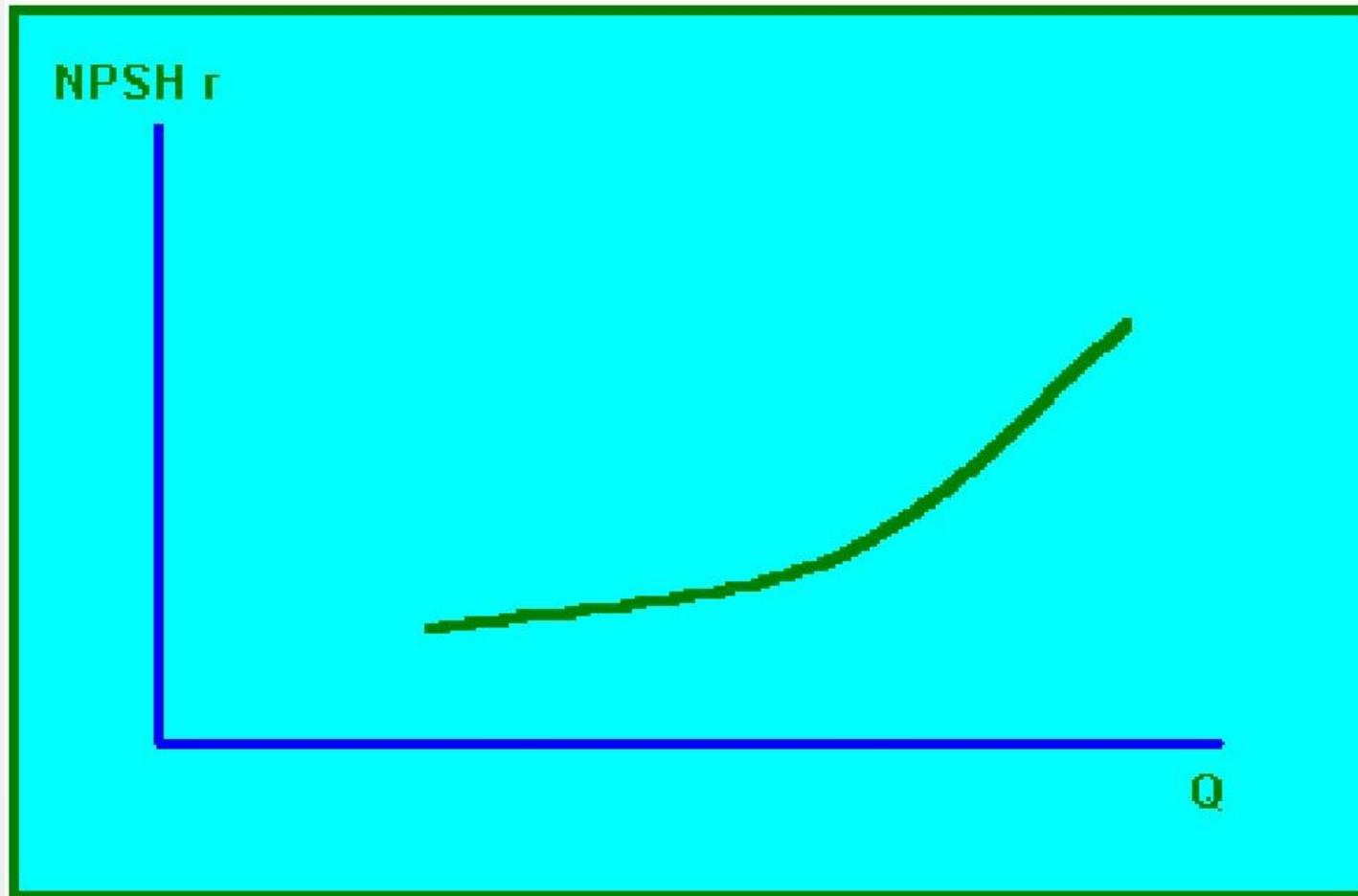
Cavitação

Conceituação moderna de cavitação

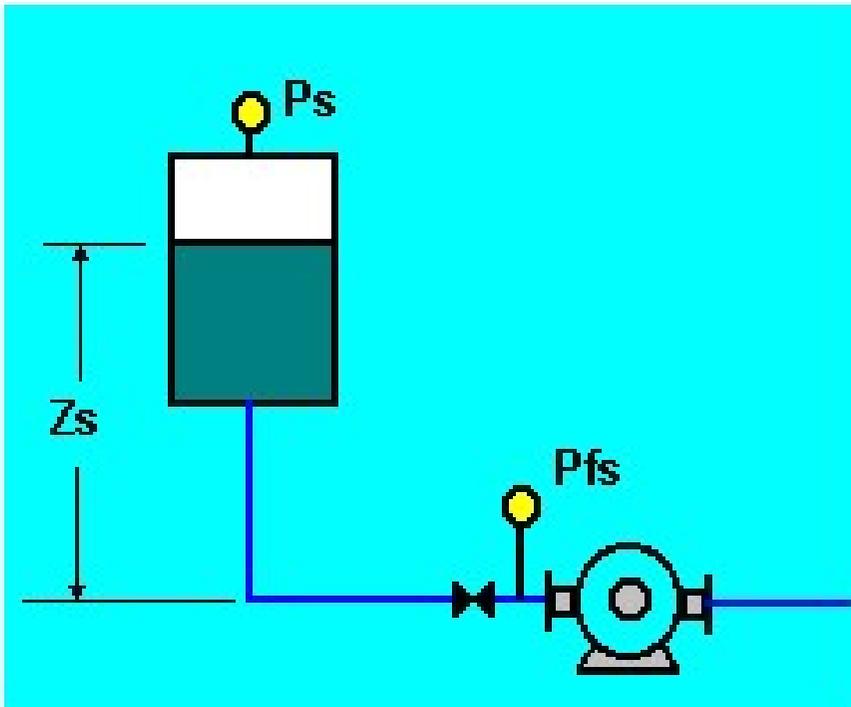
Teoria clássica – inicia quando a pressão é reduzida ao valor da pressão de vapor na temperatura de bombeamento.

Teoria moderna – para criar uma cavidade há necessidade da ruptura do líquido, Esta ação não é medida pela pressão de vapor e sim pela resistência a tensão, que é correlacionada com a tensão superficial do líquido na temperatura de bombeamento.

NPSH requerido



NPSH requerido



$$\text{NPSH}_d = h_s + \frac{P_a - P_v}{\gamma}$$

$$= \left(\frac{P_s}{\gamma} \pm Z_s - h_{fs} \right) + \frac{P_a - P_v}{\gamma}$$

ou

$$\text{NPSH}_d = \frac{P_{fs}}{\gamma} + \frac{V_{fs}^2}{2g} + \frac{P_a - P_v}{\gamma}$$

Cavitação

Critérios de avaliação das condições de cavitação

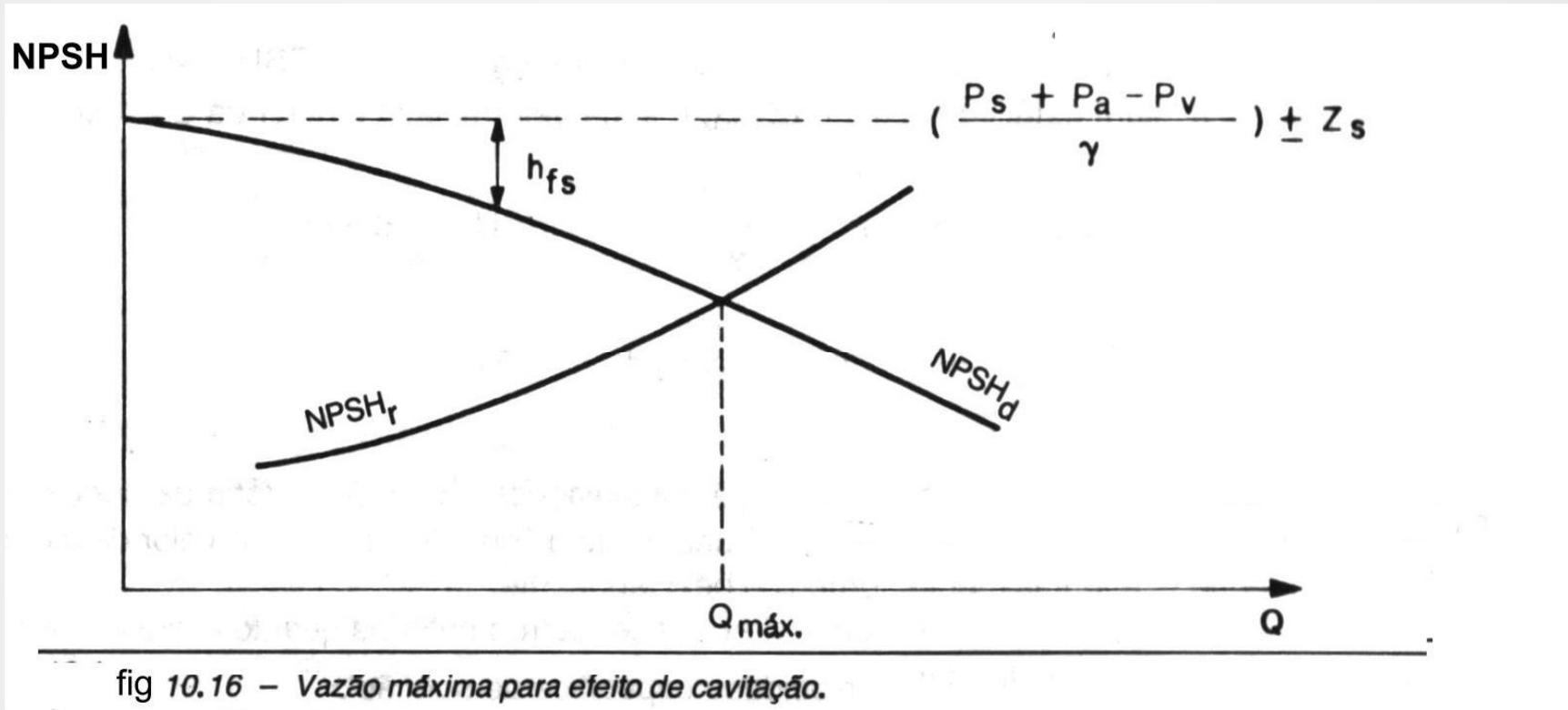
Podemos calcular o NPSH disponível para a vazão desejada e comparar com o NPSH requerido tirado da curva da bomba.

No caso de compra de uma bomba, dado o NPSH disponível cabe ao fabricante fornecer uma bomba que atenda.

Margem mínima
prática

$$\text{NPSH disp} = \text{NPSH req} + 0,6 \text{ m}$$

Vazão máxima em função da cavitação



Altura máxima de sucção

