

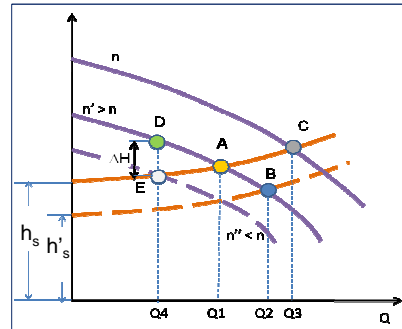
Bombas hidráulicas

A curva da instalação tem um carácter dinâmico podendo ser permanentemente modificada através da:

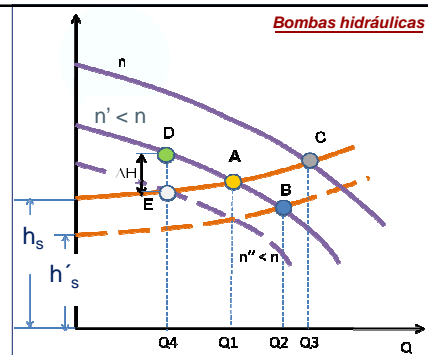
- da alteração da perda de carga (ΔH) ou
- das características estáticas da instalação (h_s).

Ponto de funcionamento A:
intersecção no plano (H, Q),

- da curva característica da bomba, para o número de rotações do respectivo motor (roxo)
- com a curva que exprime, em função do caudal, a altura total de elevação exigida pela instalação (laranja).



- Se h_s diminui para $h'_s \Rightarrow$ PF passa de A para B e o Q aumenta;
- Se o **número de rotações** da bomba aumentar, consegue aumentar-se o caudal elevado, sem diminuir a altura geométrica de elevação (ponto C).
- Introduzindo-se uma **perda de carga singular** (por exemplo actuando-se sobre uma válvula) pode diminuir-se o caudal elevado de Q_1 para Q_4 , mantendo-se a altura geométrica (ponto E).



Pontos de funcionamento de uma bomba instalada entre dois reservatórios. Influência da variação da altura geométrica e do número de rotações da bomba sobre o caudal.

- A ultima situação exige a substituição do motor por outro, com a velocidade de rotação n'' , ou usar um sistema que permita a variação de velocidade (ponto D). O funcionamento em E, tem, sobre o funcionamento em D, a vantagem de exigir menor potência.

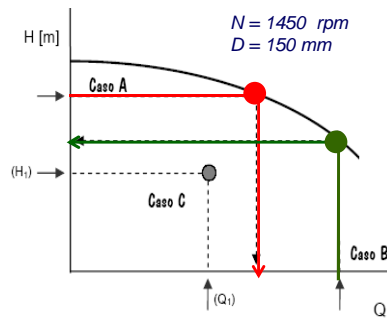
☐ Tipos de problemas relacionados com selecção de bombas hidráulicas

➤ **Caso A**

Dada uma bomba com dimensões (diâmetro do rotor) e velocidade de rotação fixas pretende-se que ela produza uma determinada altura de elevação, independentemente do caudal. Neste caso, basta verificar no diagrama da bomba se ela pode produzir a altura de elevação pretendida e, se assim for, o diagrama fornecerá logo o caudal que a bomba irá debitar.

➤ **Caso B**

Dada uma bomba nas condições anteriores, pretende-se que ela debite um certo caudal, não sendo especificada a altura de elevação. Basta verificar se o caudal pretendido é alcançado pela bomba e, se assim for, o diagrama indicará a altura de elevação fornecida pela bomba.



➤ **Caso C**

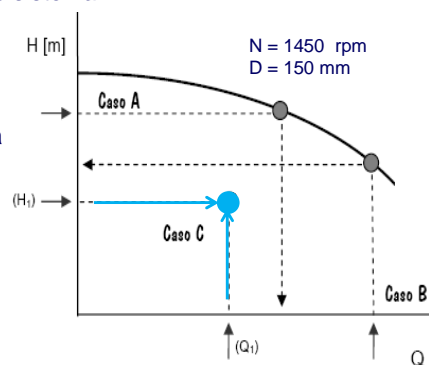
Dada uma bomba com determinadas dimensões pretende-se que ela produza um caudal Q_1 sob uma altura de elevação H_1 .

Só por acaso este ponto (H_1, Q_1) cairá sobre a curva da bomba.

Se tal não suceder o problema pode ser resolvido de duas formas ⇔ ajustamento da bomba aos requisitos do sistema:

(a) Utilizando uma bomba geometricamente semelhante, GS com dimensões tais que a curva característica passe pelo ponto em questão – nova bomba;

(b) Utilizando a mesma bomba, com outra velocidade de rotação (sem alterar o rendimento da bomba) – motor para variar a velocidade.

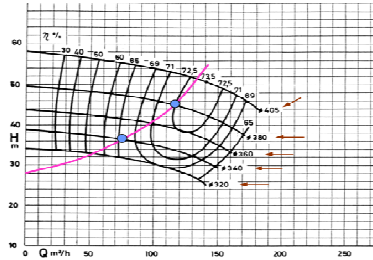


(a) Seleção de uma bomba com dimensões adequadas

bomba GS com dimensões tais que a curva característica passe pelo ponto em questão;

Inconveniente: requerer, geralmente, equipamento completamente novo.

Pequenas reduções do valor de D (diâmetro do rotor) podem ser conseguidas por torneamento do rotor até à dimensão desejada.



Diferentes curvas características em função da dimensão do rotor montado

Bombas geometricamente semelhante são bombas que apresentam a mesma relação entre grandezas características e que funcionam sob condições similares.

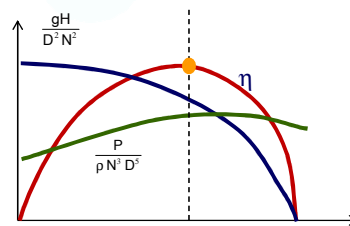
Duas máquinas GS estarão a funcionar em condições semelhantes se, para ambas forem iguais os valores de qualquer coeficiente adimensional. Diz-se então que as máquinas estão a funcionar em pontos equivalentes

Obtêm-se os seguintes parâmetros adimensionais, que são iguais para bombas GS

➤ Coeficiente de potência $C_p = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$

➤ Coeficiente de caudal $C_Q = \frac{Q}{D^3 N}$

➤ Coeficiente de altura $C_H = \frac{gH}{D^2 N^2}$



Curva característica adimensional

● Condições de operação para rendimento máximo

➤ Velocidade específica, n_s , é o parâmetro que se obtém usando os valores das variáveis correspondentes ao BEP

$$N_s = \frac{NQ^{1/2}}{(gH^*)^{3/4}}$$

Valores indicativos da velocidade específica para BH

Tipo de bomba	N_s (rotações)
Radial	0.06-0.20
Mista	0.20-0.60
Axial	0.602-1.00

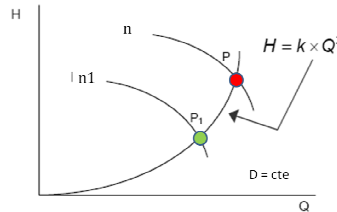
(b) Utilizando a mesma bomba, com outra velocidade de rotação (sem alterar o rendimento da bomba)

Requer, a existência de um motor (eléctrico) de velocidade variável.
Esta solução é cada vez mais utilizada .

Como determinar a nova velocidade de rotação?

Parábola dos pontos equivalentes:

De acordo com a Figura, ao ponto de funcionamento genérico P(H,Q) da bomba com diâmetro D e velocidade n (a determinar), corresponde um ponto equivalente P₁(H₁,Q₁), a determinar, para a mesma bomba ainda com diâmetro D e velocidade n₁.



Parábola dos pontos equivalentes

Existe uma família de parábolas, cada uma com a sua constante k. A cada parábola correspondem os mesmos valores dos coeficientes adimensionais. Assim, os pontos equivalentes P e P₁ terão o mesmo rendimento.

7/28

Instalação de bombas em série e em paralelo

Dependendo da necessidade física ou da versatilidade desejada nas estações elevatórias, pode optar-se por conjuntos de duas ou mais bombas colocadas **em série ou em paralelo**.

- altura manométrica elevada ➡ bombas em série
- elevar grandes caudais ➡ bombas em paralelo

Bombas em paralelo



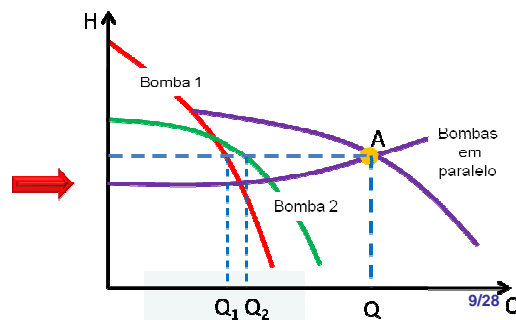
28

□ **Bombas em paralelo**

- É prática comum em sistemas de *abastecimento de água, drenagem de águas residuais ou serviços industriais*, a instalação de bombas em paralelo, principalmente com capacidades idênticas.
- Esta solução torna-se viável quando o *caudal de projecto for muito elevado* ou no caso em que *a variação do caudal for perfeitamente predeterminada* em função das necessidades de serviço.

- Obtenção da curva característica do conjunto:
Teoricamente, bombas em paralelo somam caudais

Quando duas ou mais bombas funcionam em paralelo:
curva característica do conjunto
⇔ soma das abcissas das curvas características
 $H_b = H_b(Q)$ de cada bomba a uma mesma altura de elevação.

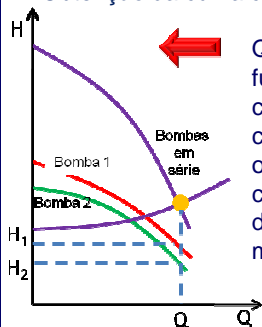


➤ Vantagens da associação de bombas em paralelo:

- O emprego de bombas em paralelo permite a vantagem operacional de que, havendo falha no funcionamento em uma das bombas, *não acontecerá a interrupção completa* e, sim, apenas uma redução do caudal bombeada pelo sistema. No caso de apenas uma bomba aconteceria a interrupção total, pelo menos temporária, no fornecimento.
- Na 2ª situação, a associação em paralelo possibilita uma *flexibilização operacional no sistema*, pois como o caudal é variável poderemos retirar ou colocar bombas em funcionamento em função das necessidades e sem prejuízo do caudal pedido.

☐ Associação de bombas em série

- Quando a *altura manométrica for muito elevada*, devemos analisar a possibilidade do emprego de bombas em série, pois esta solução poderá ser mais viável, tanto em termos técnicos como económicos.
- Como principal precaução neste tipo de associação, devemos verificar se *cada bomba a jusante tem capacidade de suporte das pressões de montante na entrada e de jusante no interior da sua própria carcaça*.
- Para melhor operacionalidade do sistema é aconselhável a associação de bombas idênticas, pois este procedimento flexibiliza a manutenção e reposição de peças.
- Obtenção da curva característica do conjunto (bombas em série somam alturas)



Quando duas bombas funcionam em série: curva característica do conjunto ⇔ soma das ordenadas das curvas características $H_b = H_b(Q)$ de cada bomba a um mesmo caudal.

Em ambos os casos o ponto de funcionamento é dado pela intersecção das características do conjunto das bombas e da instalação

11/28

☐ Cavitação

Relembrar: O risco de cavitação está associado aos pontos de menor pressão de um sistema; Ao ocorrer, este fenómeno traduz-se imediatamente pelo aparecimento de vibrações mecânicas, acompanhadas de um ruído característico e uma diminuição drástica do caudal e altura manométrica. De tudo isto resultam danos irreparáveis nas pás do rotor ou impulsor.

Para evitar a ocorrência deste fenómeno, há que assegurar que na zona crítica (*vizinhança imediata do rotor, do lado da aspiração*) a pressão absoluta se mantém sempre superior à correspondente pressão de vapor.

Define-se assim um *limiar de segurança*, como sendo a diferença entre o valor da pressão total absoluta na zona crítica e a pressão de vapor do líquido.

Esta diferença, quando apresentada em altura de carga é designada de Net Positive Suction Head (NPSH)



Há que distinguir dois NPSH diferentes:

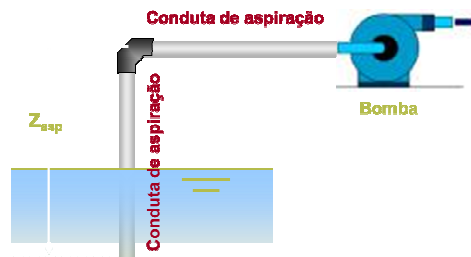
NPSH_{RB} : é a **energia requerida pela bomba para aspirar a água** desde a origem até ao eixo da bomba .

- É função das características da bomba e do caudal a elevar;
- É definido pelo construtor e o seu valor é indicado no catálogo da bomba.

NPSH_D : é a **energia de aspiração disponível na instalação**

- É calculada para cada instalação pela EB na aspiração;
- Depende das perdas de carga e do desnível na aspiração.

Se a energia disponível não for suficiente para aspirar a água, esta começa a libertar o ar dissolvido conduzindo à desferra da bomba e à interrupção do caudal (ocorre cavitação).



13/28

Portanto, para prevenir a ocorrência de cavitação:

$$NPSH_{Dl} \geq NPSH_{RB}$$

- o NPSH_R obtém-se do catálogo da bomba;
- o NPSH_D calcula-se para a situação em causa através da fórmula:

$$NPSH_D = \frac{p_{atm} - p_v}{\gamma} - \Delta H_{asp} - \Delta N_{origem} - \frac{u_{asp}^2}{2g}$$

p_{atm} = pressão atmosférica absoluta (m)

ΔN_{agua} = desnível entre a origem e o eixo da bomba (m)

p_v = pressão de vapor (m)

ΔH_{asp} = perdas de carga na aspiração (m)

u_{asp} = velocidade na conduta de aspiração (m/s)

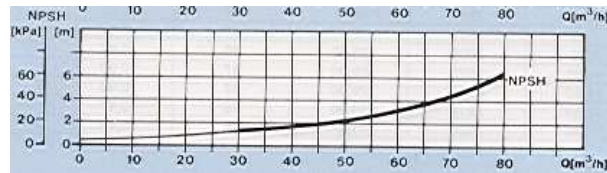
Por vezes só é possível satisfazer a condição acima se a bomba for instalada a um nível inferior ao do reservatório de partida passando o termo gravítico a constituir uma contribuição positiva



Bomba afogada ou de sucção positiva

14/28

NPSH requerido pela bomba para que não ocorra cavitação



Modos de evitar a Cavitação

No projecto

No projecto ou dimensionamento da bomba deverá ter-se logo em conta este aspecto, calculando as secções de passagem do fluido de modo a evitar velocidades excessivas, próximo das condições nominais.

Deverão eliminar-se os ângulos bruscos e as passagens estreitas no escoamento.

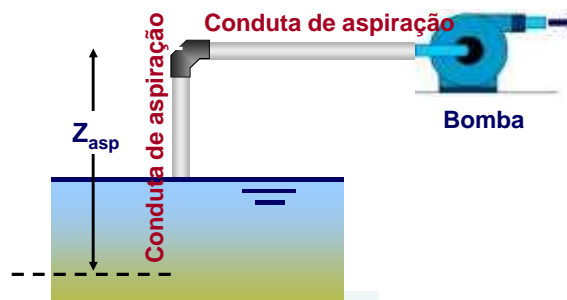
Deve igualmente verificar-se o valor de $NPSH_R$ para o caudal máximo, recorrendo à curva característica disponibilizada pelo fabricante.

Na utilização:

- Ao colocar a bomba hidráulica na instalação convém que a respectiva **altura de instalação** seja adequada para a gama de condições de funcionamento previstas;
- A altura de instalação deve ser a **menor possível**, compatível com as características da instalação e as limitações económicas;
- Utilizam-se bombas submersas para elevar água de poços profundos;
- Convém atender sobretudo à conduta de aspiração, procurando **reduzir as perdas de carga**. Devem evitar-se, tanto quanto possível, condutas longas, com paredes rugosas, curvas de pequeno raio, válvulas, bifurcações, etc;
- Nesta conduta deve utilizar-se uma **secção de passagem tão grande quanto possível**, para reduzir a velocidade de escoamento;
- Curvas na conduta de aspiração que estejam situadas em planos diferentes, por poderem induzir um movimento helicoidal no escoamento, devem ser evitadas, pois apressam as condições de cavitação.

17/28

83. Uma bomba deve elevar um caudal de $0.02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água através de uma conduta de alumínio com 8 cm de diâmetro = 8 cm. Sabendo que a margem de carga necessária na aspiração da bomba é 4 m, a temperatura é de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e a pressão atmosférica é de $101\,350 \text{ Pa}$, determine a altura máxima a que a bomba pode ser colocada, garantindo que não ocorre cavitação.



18/28

- ❑ Caso especial dos fluido não newtonianos, com matéria sólida em suspensão
 - Devido ao facto de as propriedades do fluido variarem, a carga contra a qual a bomba trabalha (altura manométrica total) , também varia.
 - A bomba seleccionada deverá ter suficiente espaço interior para que os sólidos a atravessem sem causar entupimentos e ao mesmo tempo tenha uma baixa capacidade de modo a bombear a fracção mais diluída do fluido.
 - É portanto essencial que estas bombas sejam equipadas com equipamentos que permitam a ocorrência de velocidades variáveis.
 - Muito importante também, eventualmente mais ainda, é o tipo de rotor das bombas, no caso de elevação das lamas (ou águas residuais muito concentradas).