



Bombas

Necessidade de adicionar energia ao fluido:

- para compensar as perdas de carga
- para vencer as diferenças de cota
- para que o fluido chegue ao destino com uma determinada velocidade ou pressão

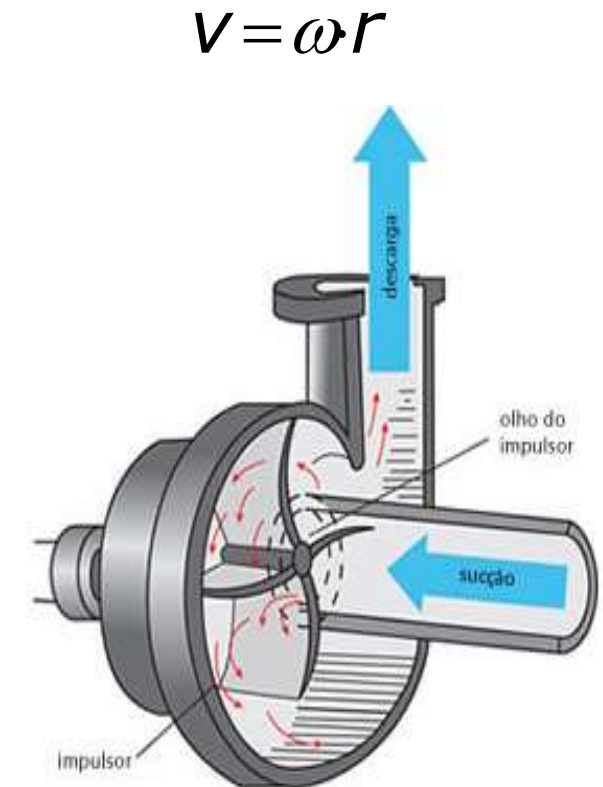
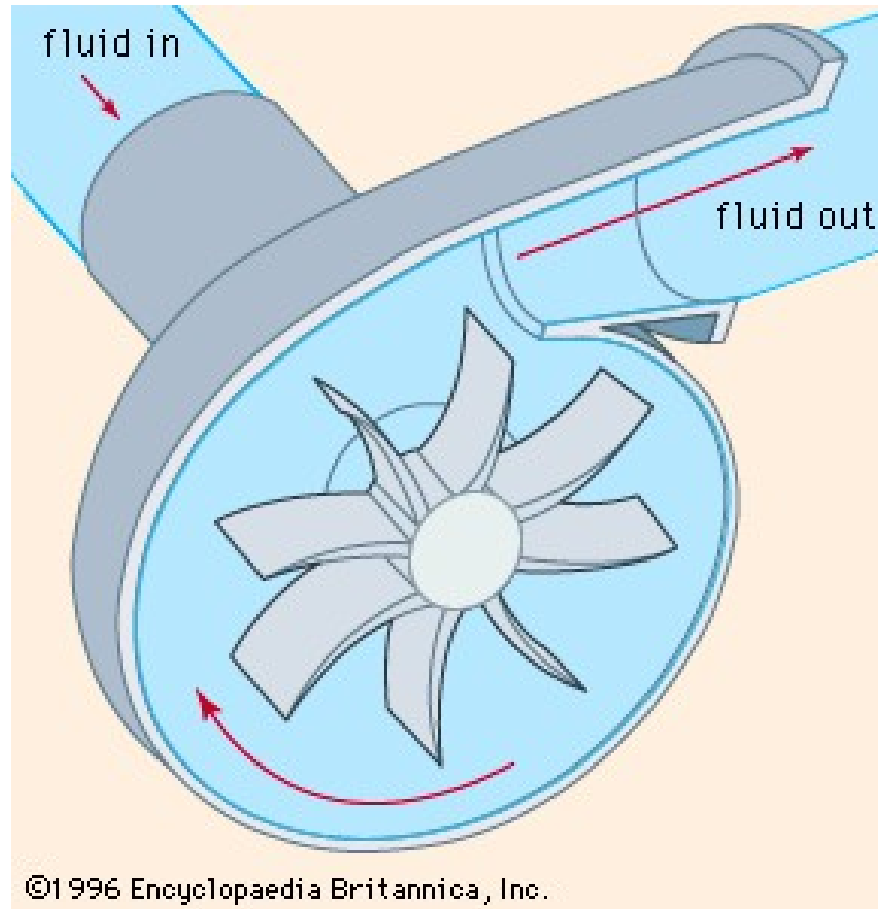
Bomba hidráulica – dispositivo que se destina a aumentar a energia do escoamento

Teorema de Bernoulli generalizado

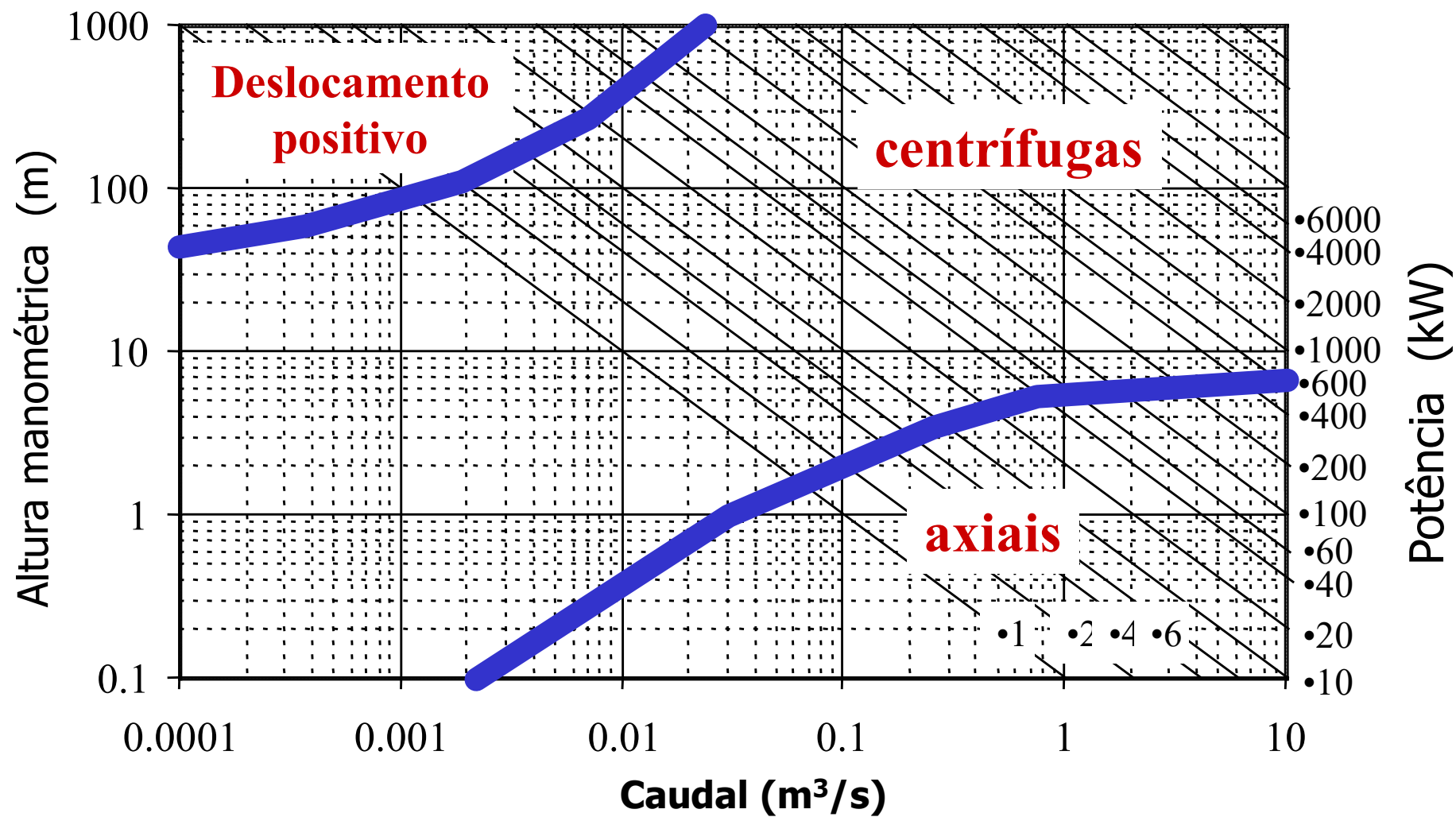
$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_B = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{T_{1 \rightarrow 2}}$$

Tipos de bombas

- **Centrífugas** – o líquido entra ao nível do eixo e sai radialmente

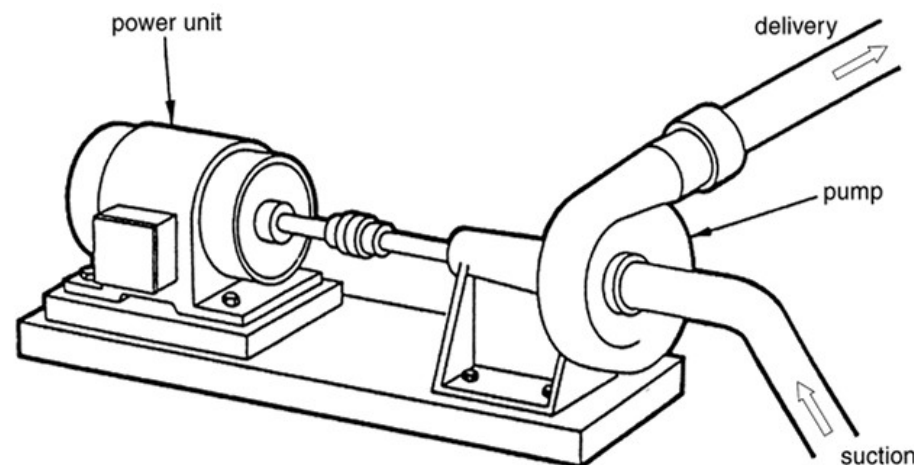


A energia cinética é transformada em energia de pressão



Vantagens das bombas centrífugas

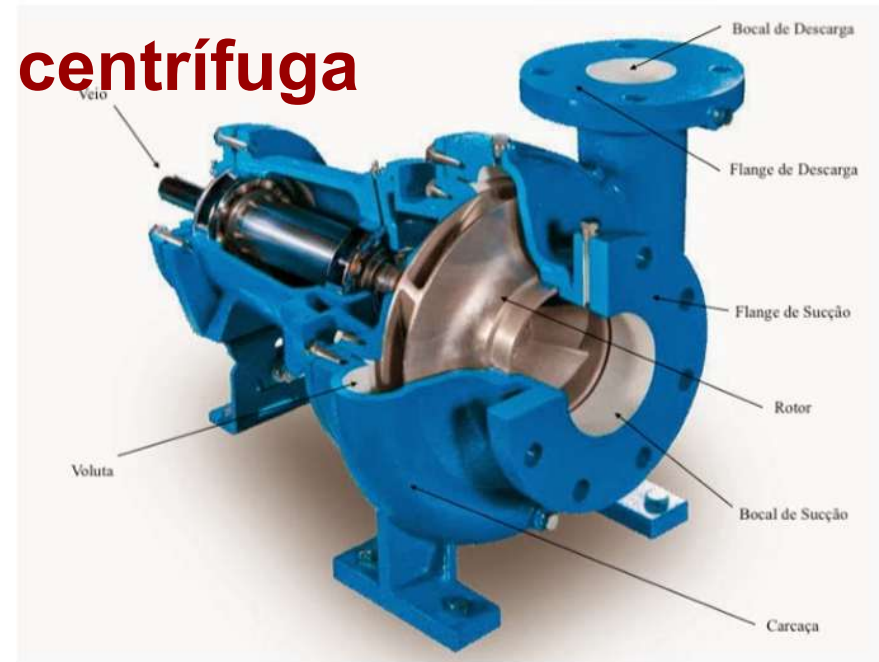
- construção simples
- baixo custo (instalação, operação, manutenção)
- o fluido é fornecido a pressão uniforme, sem choques ou flutuações de pressão
- a tubagem de elevação pode ser parcialmente ou totalmente fechada sem danificar a bomba
- podem ser usadas em líquidos com grandes quantidades de sólidos em suspensão
- podem ser ligadas directamente a motores
- o funcionamento não envolve uso de válvulas
- menores custos de manutenção



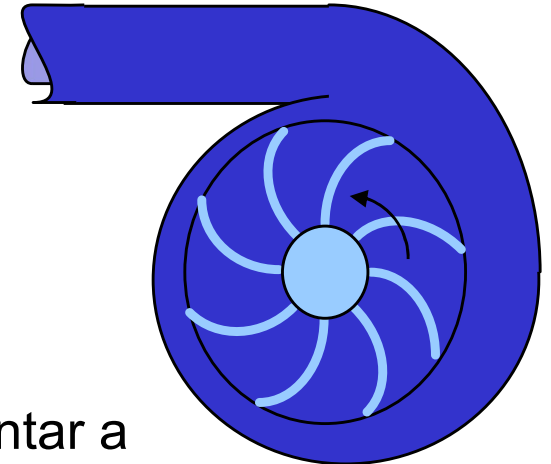
Desvantagens das bombas centrífugas

- têm que ser ferradas para iniciar o seu funcionamento
- a eficiência máxima ocorre numa gama restrita de condições
- não são eficientes para fluidos com alta viscosidade

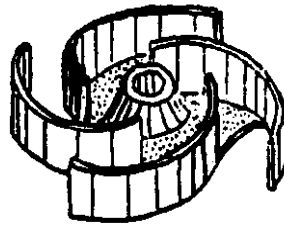
Constituição de uma bomba centrífuga



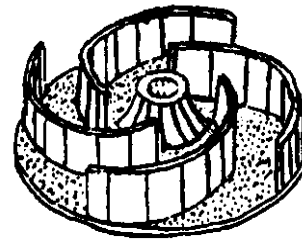
- **Corpo/carcaça da bomba** – destina-se a conduzir ao rotor o líquido que nele entra, desacelerá-lo e conduzi-lo à tubagem de elevação
- **Eixo da bomba** – liga o rotor à fonte de energia mecânica
- **Rotor/impulsor** - acoplado ao eixo, destina-se a aumentar a energia cinética do fluido. O rotor é constituído por um núcleo ao qual se ligam as pás e que se encontra solidário ao eixo de rotação
- **Difusor** – também chamado *recuperador de pressões*, é nele que se processa a conversão da energia cinética do fluido que sai do rotor em energia de pressão.



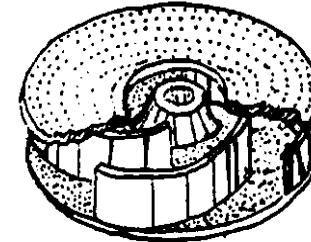
Tipos de rotor



ABERTO



SEMI-ABERTO



FECHADO

Rotor fechado – tem as pás compreendidas entre dois discos paralelos



Aberto – as pás são livres na parte frontal e quase livres na parte posterior



Semi-aberto – as pás são fixadas de um lado num mesmo disco, ficando o outro lado livre.

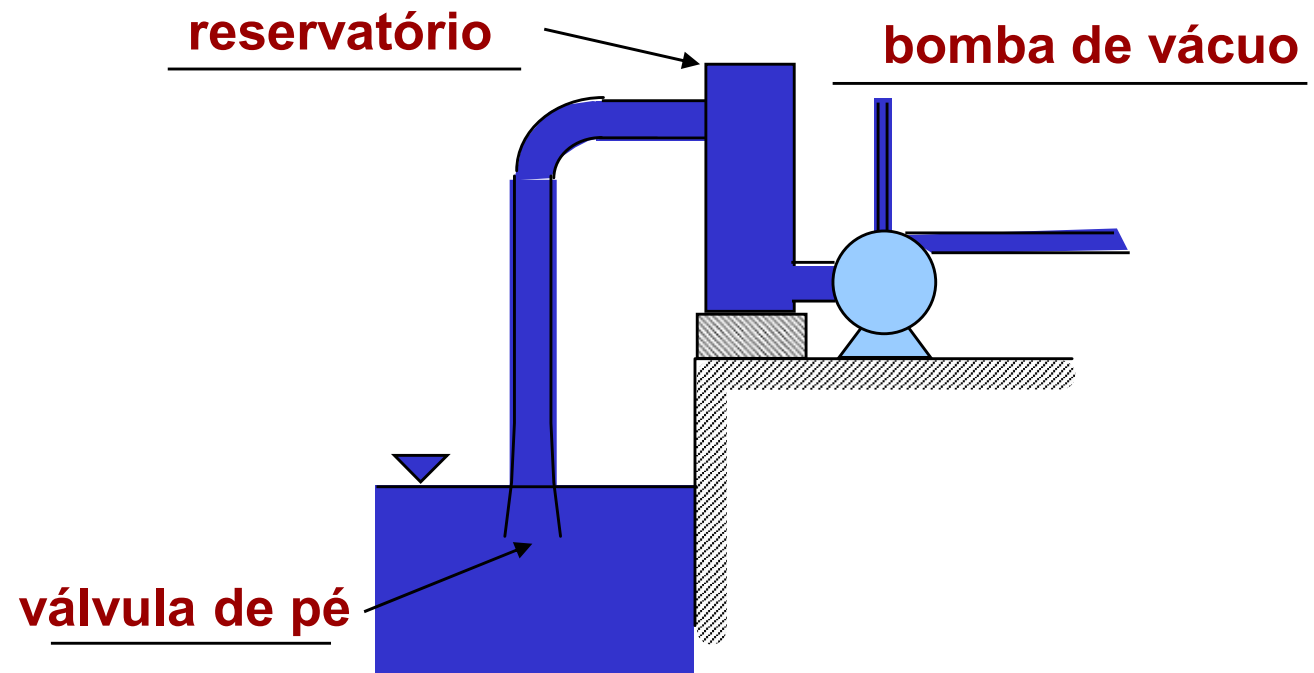


Os rotores abertos e semi-abertos são usados na bombagem de líquidos viscosos ou com partículas sólidas em suspensão (menor probabilidade de obstrução das pás)

Ferragem da bomba

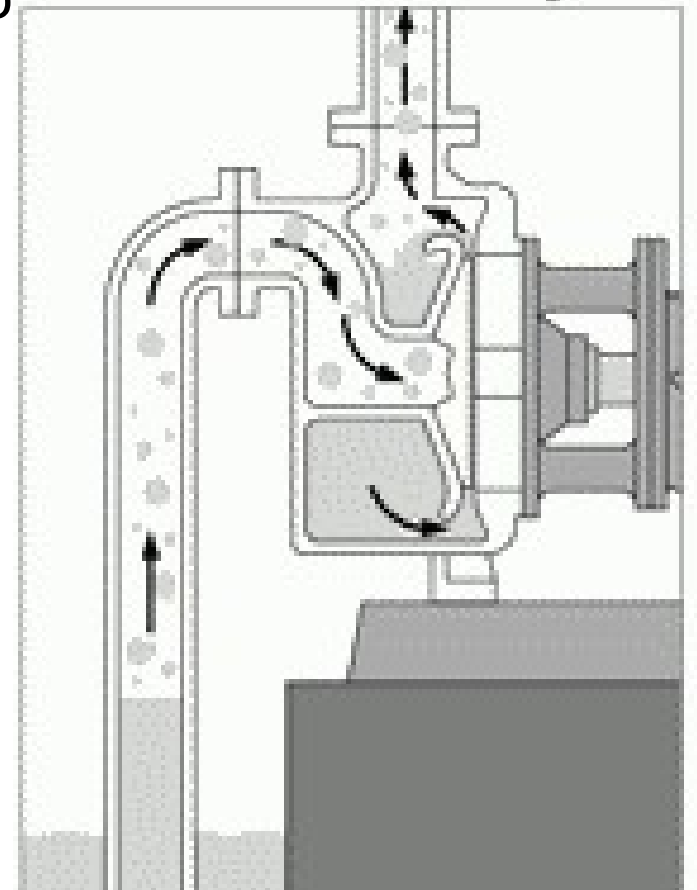
A bomba só pode funcionar depois de se retirar o ar da tubagem de aspiração → **ferragem da bomba**

- Soluções
 - válvula de pé
 - reservatório
 - bomba de vácuo
 - auto-ferrante



Bombas centrífugas auto-ferrantes

- requerem a presença de um pequeno volume de líquido na bomba
- este líquido é recirculado, arrastando consigo o ar presente na conduta de aspiração
- o ar é separado do líquido e descarregado na conduta de elevação



Altura manométrica total (h_B) $[h_{mt}]$

1. altura geométrica de aspiração
2. altura geométrica de elevação
3. perda de carga contínua nas tubagens
4. perdas de carga localizadas
5. necessidade de pressão no final da tubagem
6. altura cinética de elevação

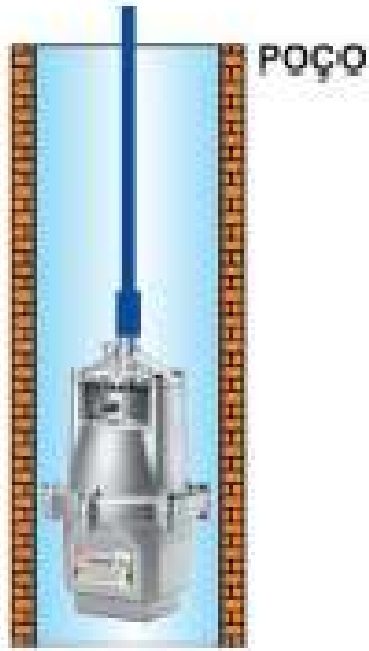
$$h_B = \Delta z_{asp} + \Delta z_{elev} + \Delta H_T + h_p + \frac{v_{elev}^2}{2g}$$

Altura geométrica de aspiração (Δz_{asp})



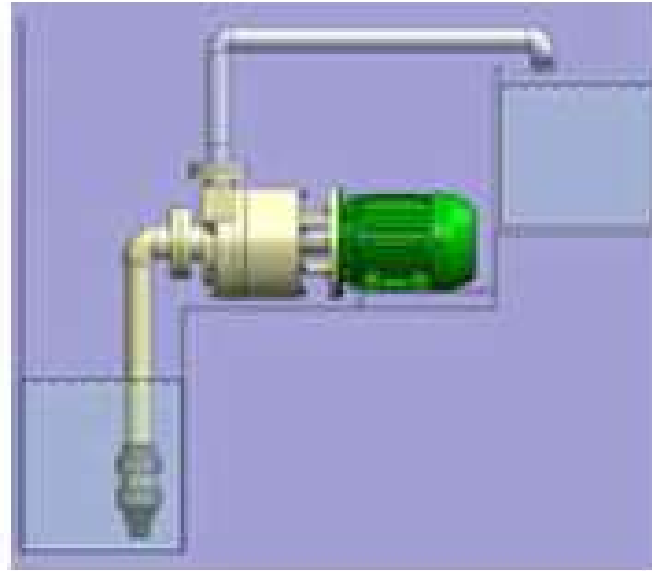
Altura de
aspiração

$$\Delta z_{asp} = z_B - z_o$$



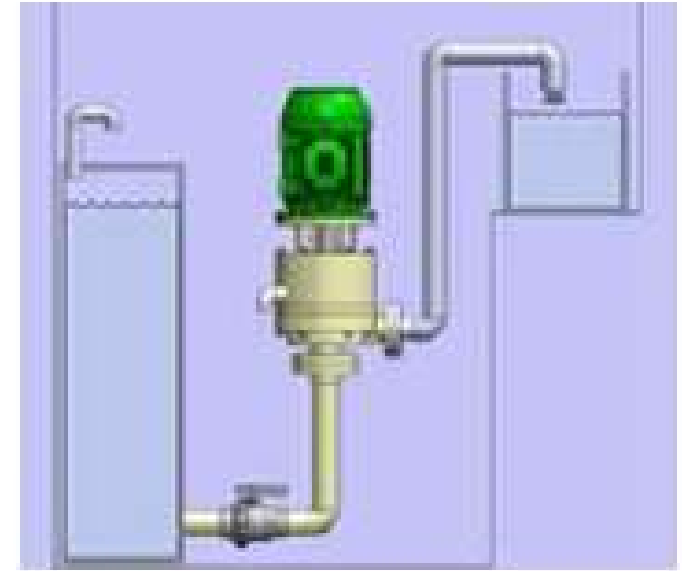
**Bomba
submersível**

$$\Delta z_{asp} = 0$$



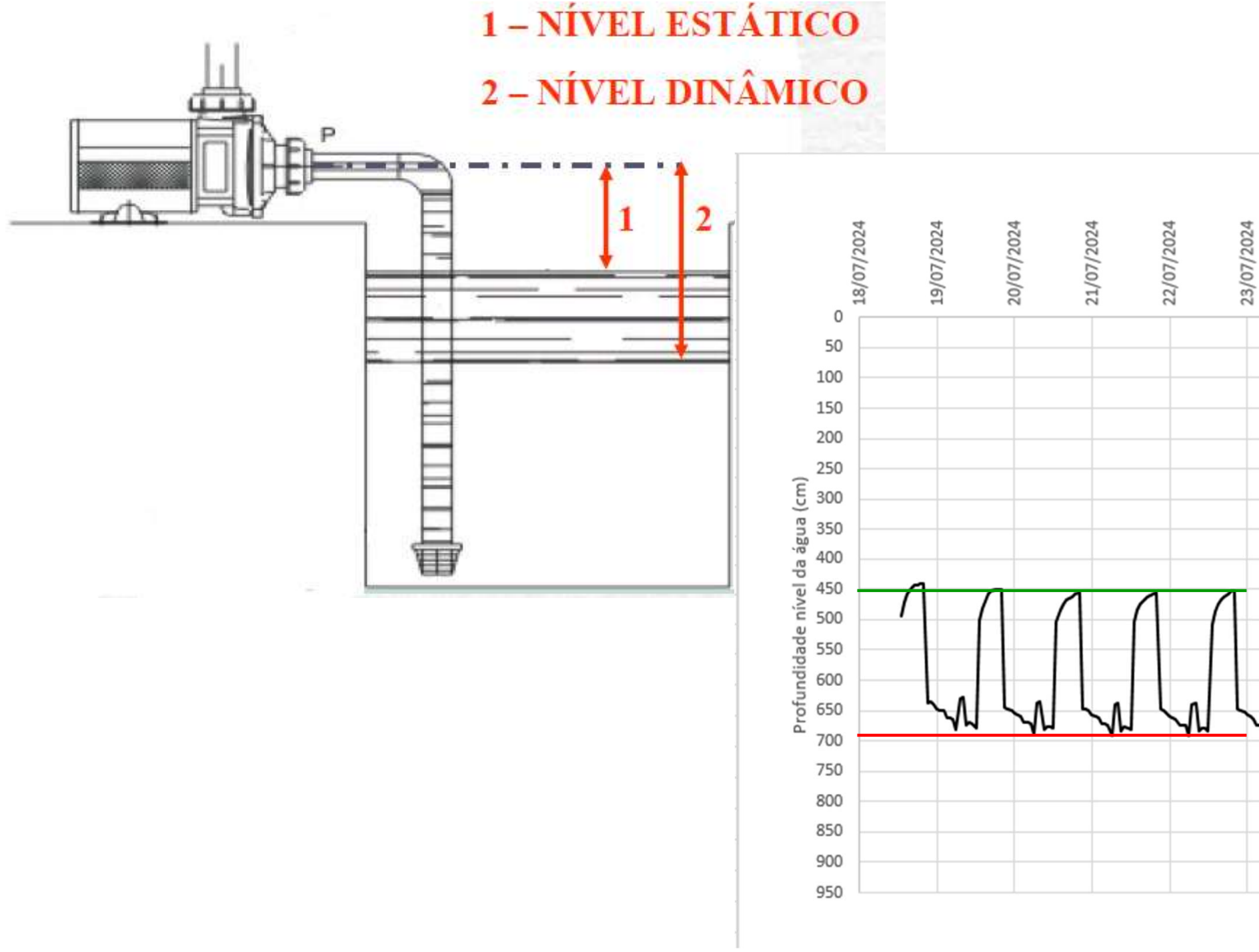
**Bomba de
aspiração**

$$\Delta z_{asp} > 0$$

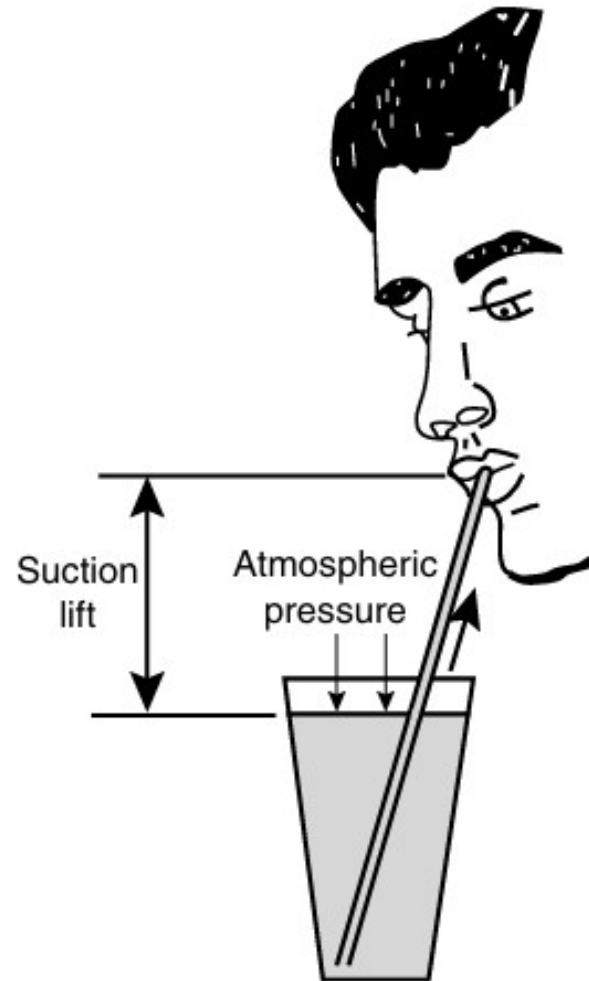


Bomba afogada

$$\Delta z_{asp} < 0$$



Qual a maior altura de aspiração possível?



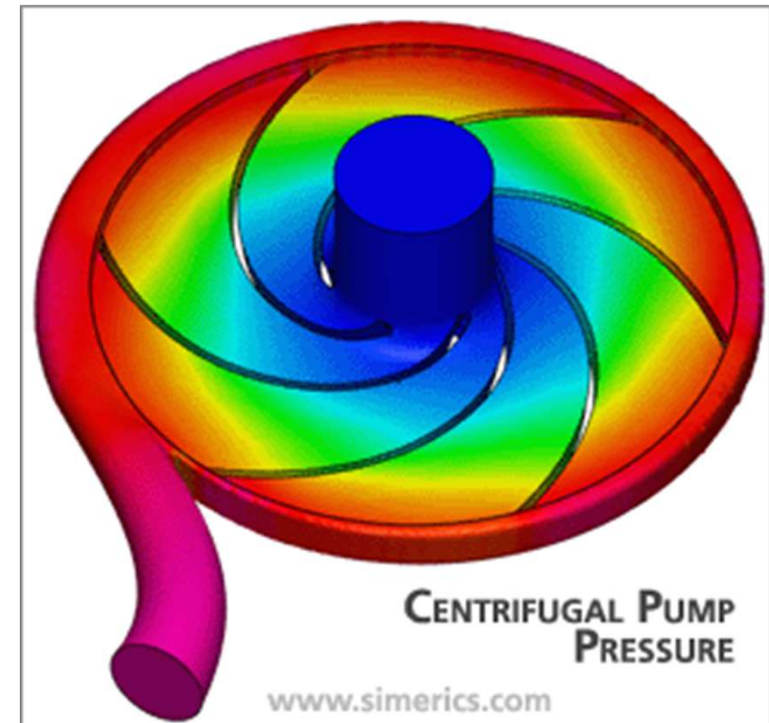
A pressão absoluta do líquido não pode nunca ser inferior à pressão de vapor de modo a que não ocorra cavitação

A cavitação causa:

- a) barulho e vibração.
- b) alteração das curvas características
- c) erosão - remoção de partículas metálicas - *pitting*.



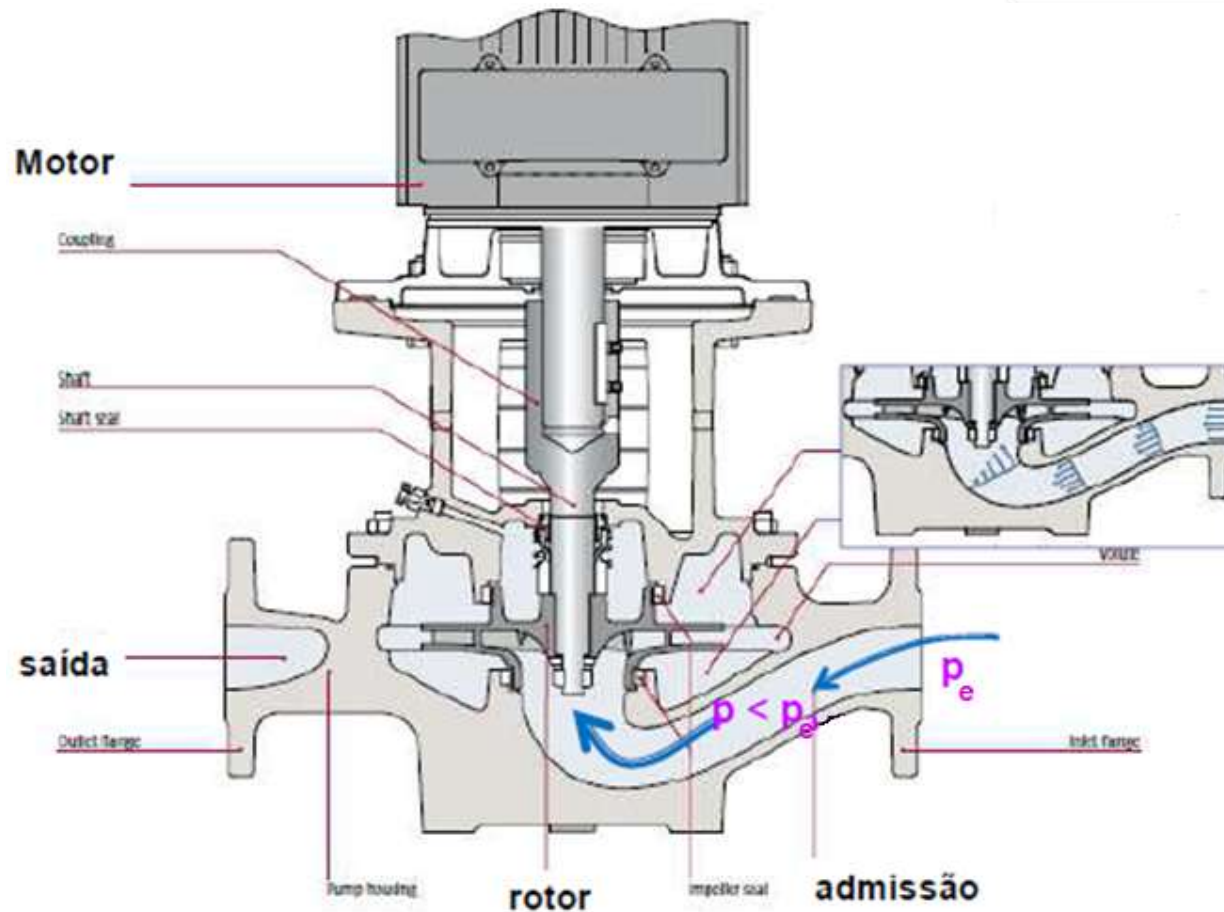
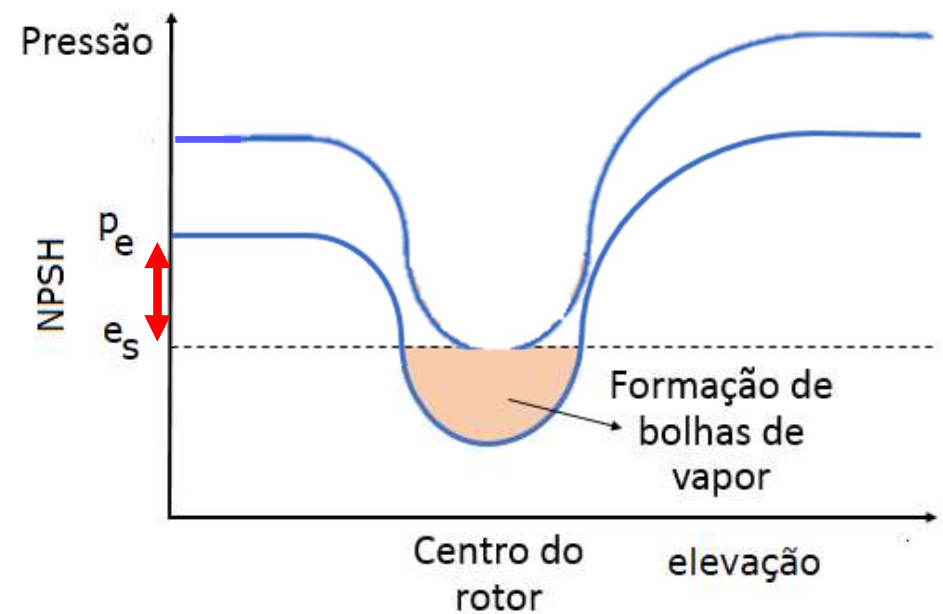
A região mais sujeita a cavitação é a entrada da bomba (ponto onde ocorre o menor valor da pressão absoluta)



pressão absoluta à entrada
da bomba

$$NPSH_{disponível} = \frac{p_{atm}}{\gamma} + \frac{p_{eB}}{\gamma} - \frac{e_s}{\gamma}$$

Net positive suction head (NPSH)



pressão absoluta à entrada
da bomba

$$NPSH_{disponível} = \frac{p_{atm}}{\gamma} + \frac{p_{eB}}{\gamma} - \frac{e_s}{\gamma}$$

Pelo teorema de Bernoulli (no caso de se tirar água dum reservatório):

$$z_o = z_B + \frac{p_{eB}}{\gamma} + \frac{v_{asp}^2}{2g} + \Delta H_T \longrightarrow \frac{p_{eB}}{\gamma} = (z_o - z_B) - \frac{v_{asp}^2}{2g} - \Delta H_T$$

Substituindo:

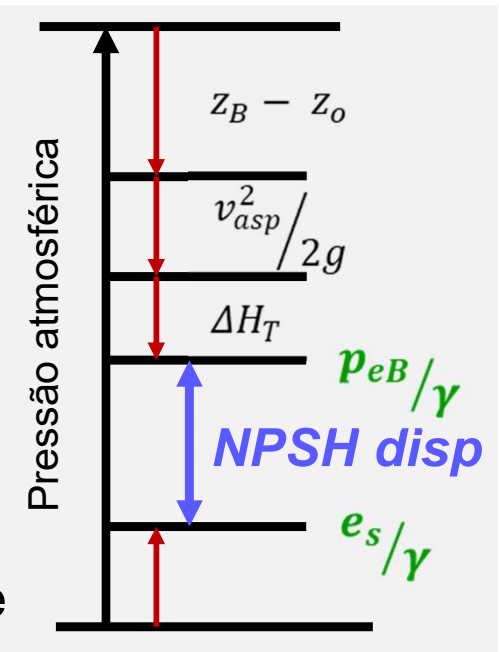
$$NPSH_{disponível} = \frac{p_{atm}}{\gamma} + (z_o - z_B) - \frac{v_{asp}^2}{2g} - \Delta H_T - \frac{e_s}{\gamma}$$

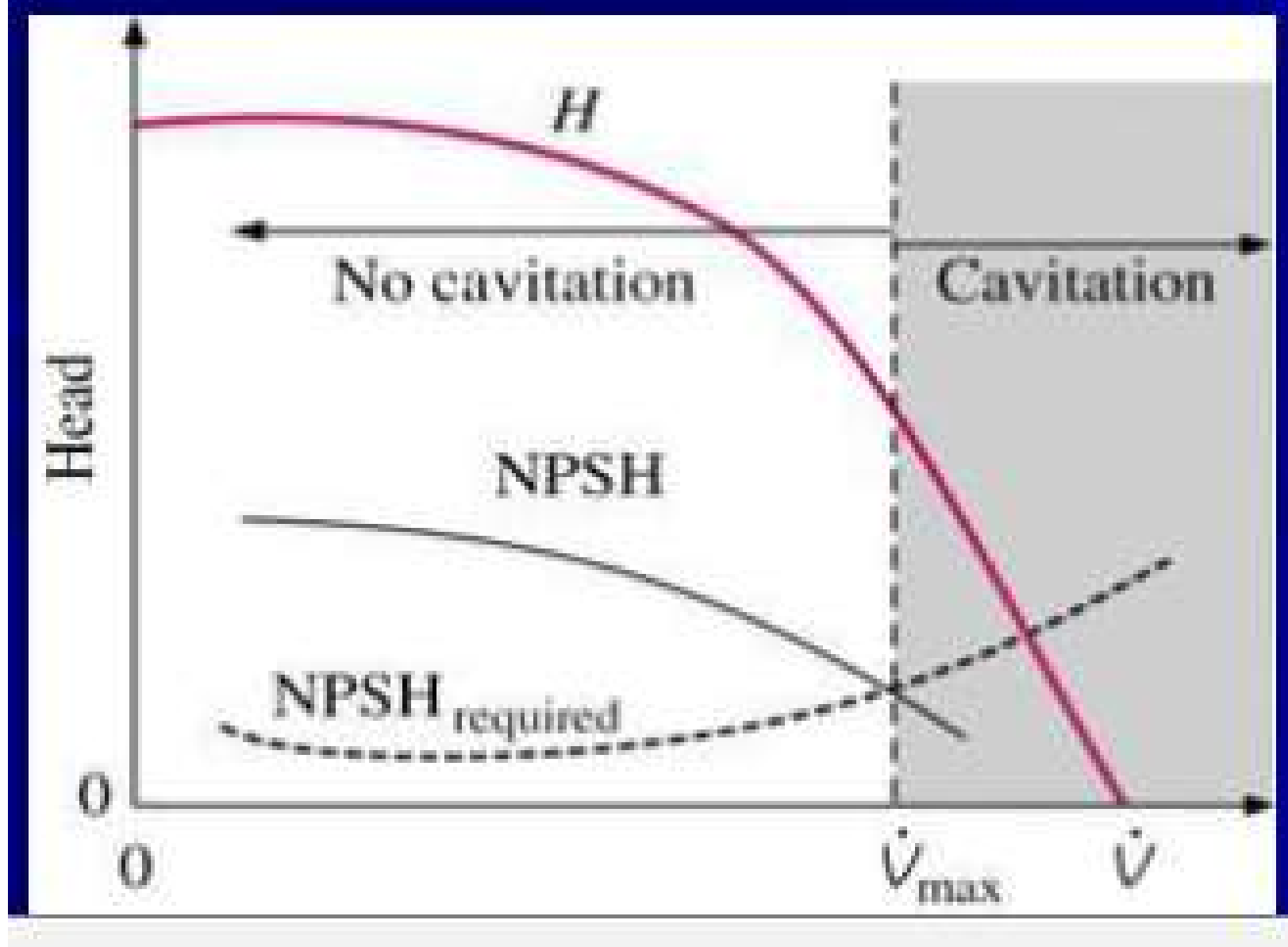
$$NPSH_{disponível} > \textcircled{NPSH_{requerido}} \text{ fornecido pelo fabricante}$$

(testes a 20°C)
f(Q)

+ 15%

10.33 m

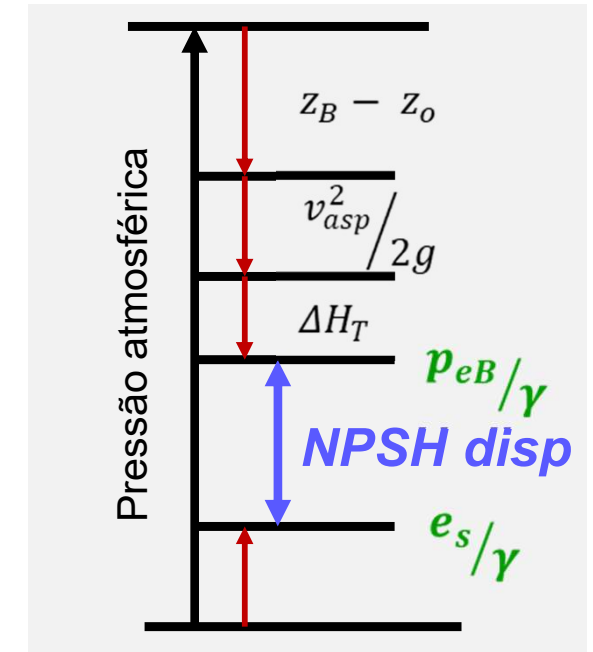




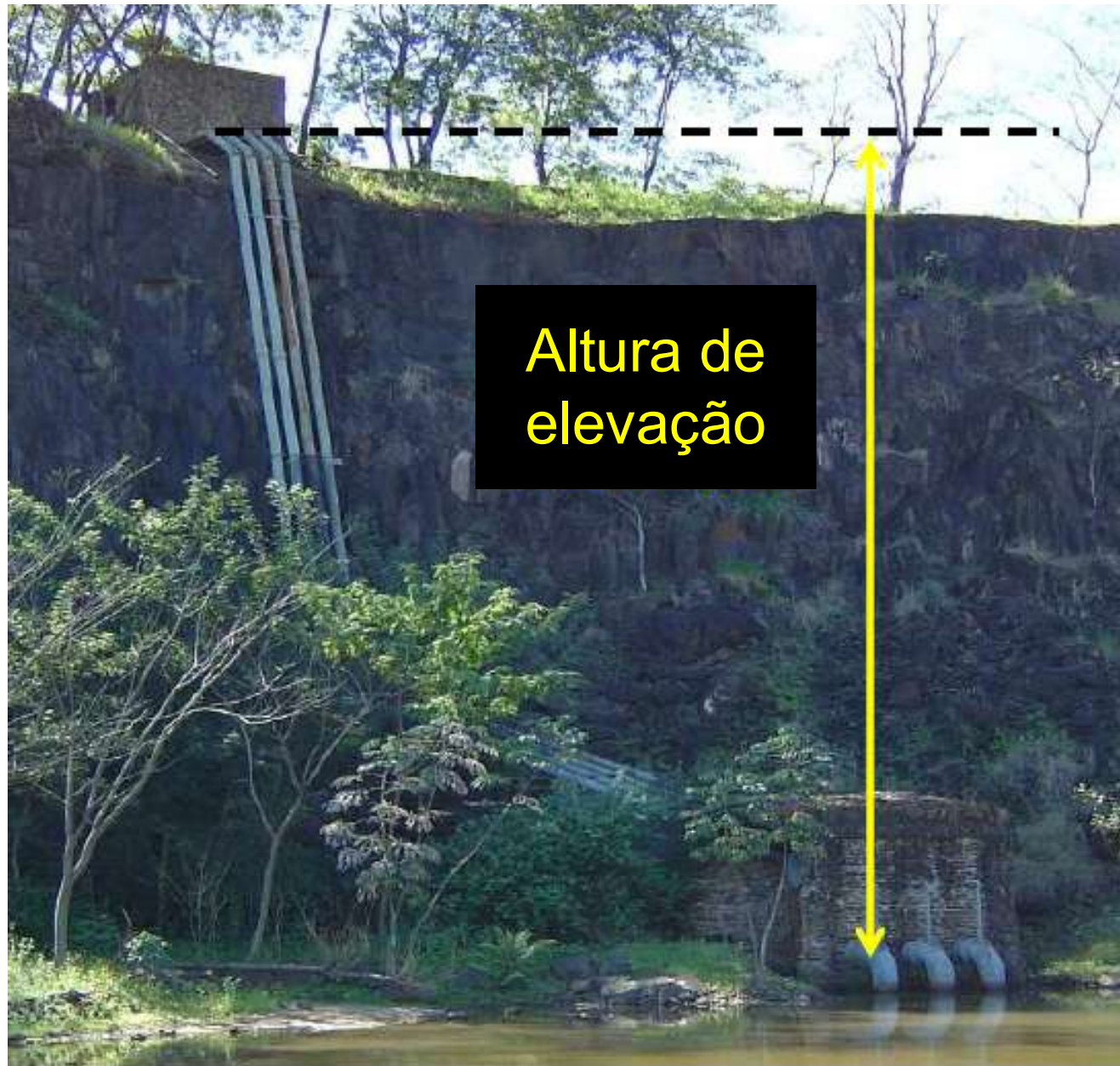
$$NPSH_{disponível} = \frac{P_{atm}}{\gamma} + (z_o - z_B) - \frac{v_{asp}^2}{2g} - \Delta H_T - \frac{e_s}{\gamma}$$

Para obter valores elevados de $NPSH_{disponível}$

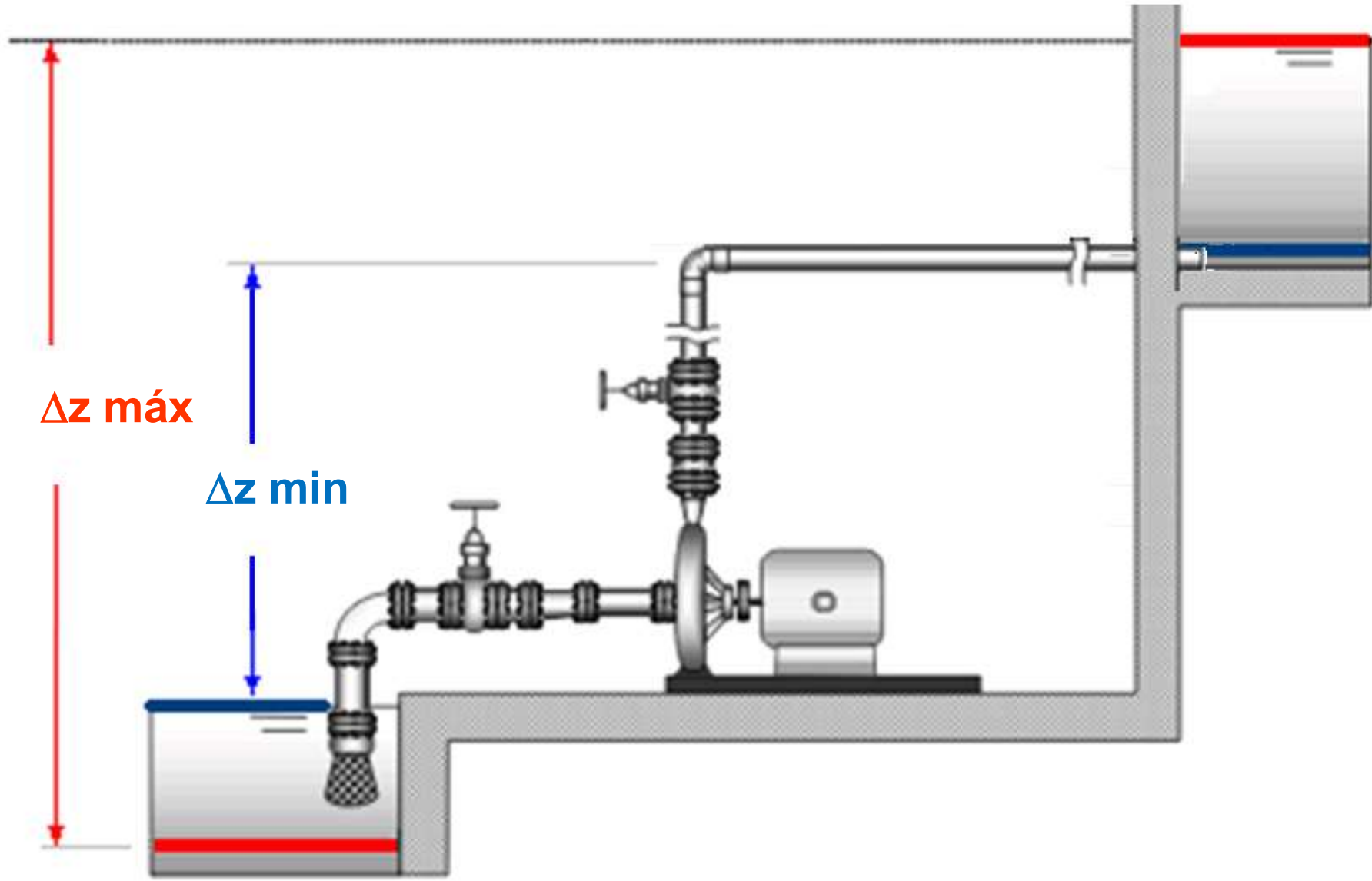
- a) diminuir z_B
- b) diminuir ΔH_T na tubagem de aspiração:
 - utilizar tubagens curtas
($<$ perda de carga contínua) (L)
 - aumentar o diâmetro da tubagem
($<$ **velocidade** $\rightarrow$ $<$ perda de carga contínua) (j)
 - diminuir o número de acessórios (curvas, válvulas, etc...) ($<$ perdas de carga acidentais)
- c) diminuir a temperatura do fluido ($<$ e_s)



Altura geométrica de elevação (Δz_{elev})







Necessidade de pressão no final da tubagem – pressão de funcionamento de aspersores ou agulhetas (h_p)

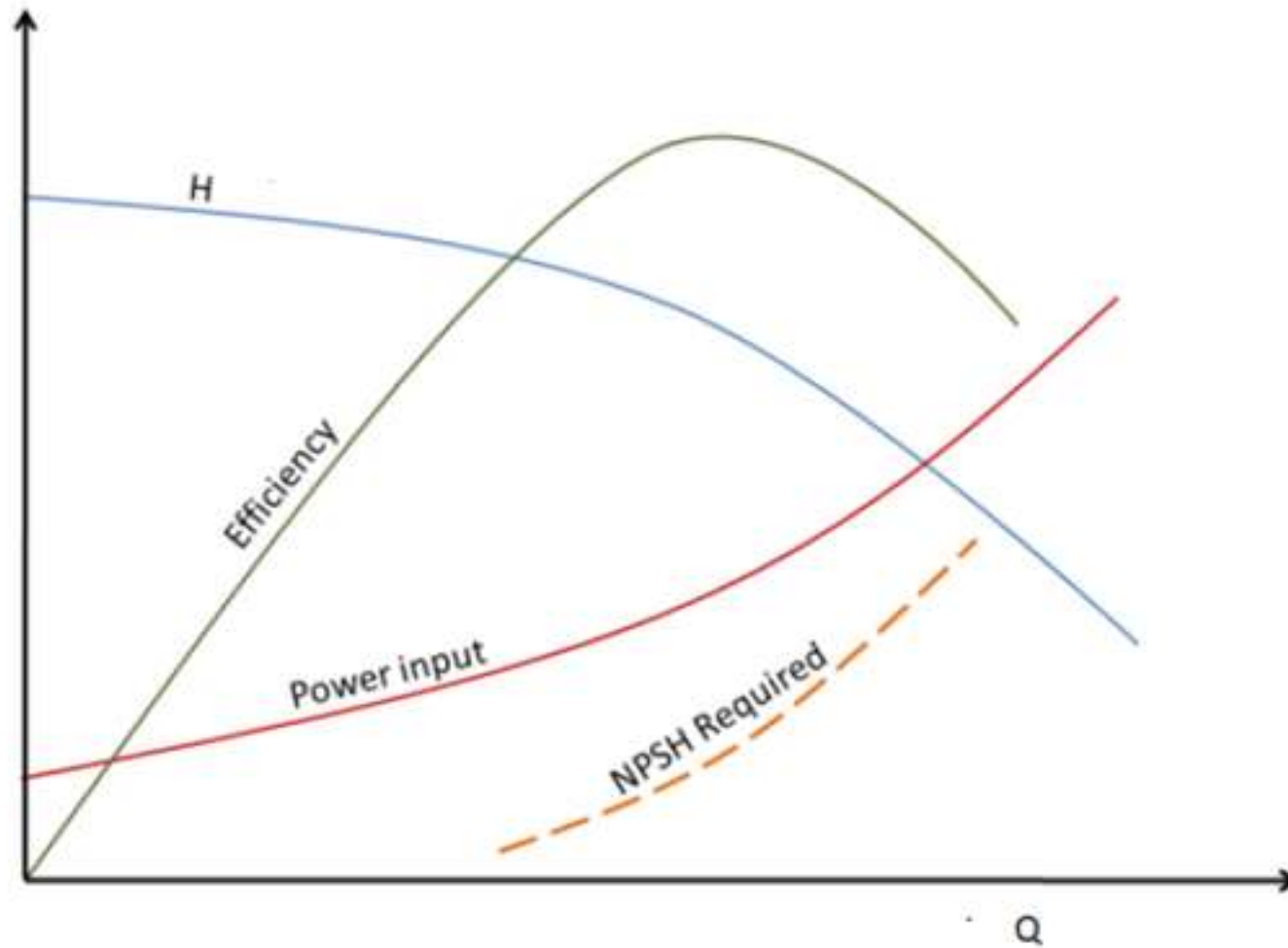
NY 25 3/4"

NY 25 1"

Características Operacionais do aspersor Agropolo NY 25

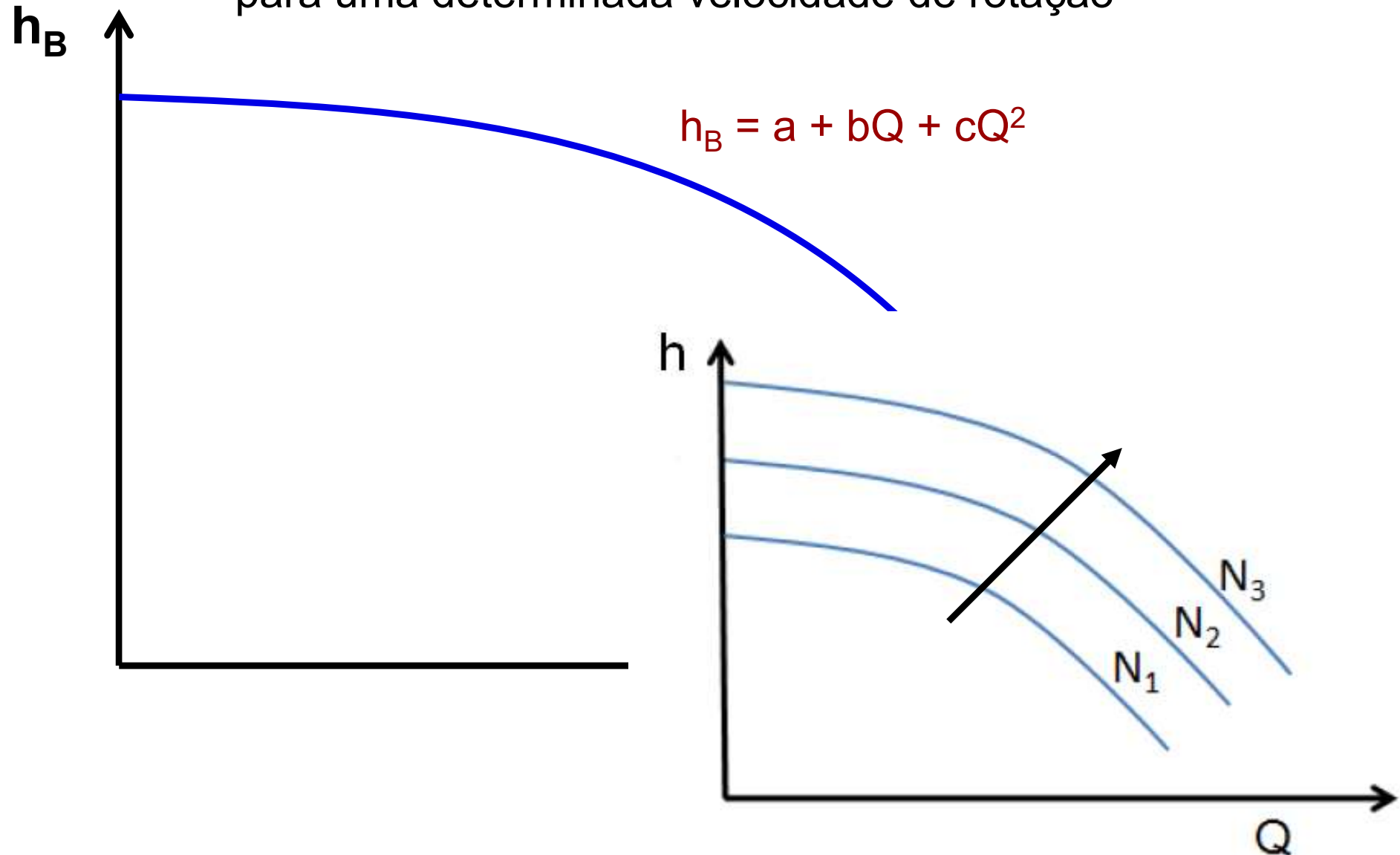
BOCAIS		CÓDIGO	PRESSÃO	DIÂMETRO ALCANÇE	ALTURA MÁXIMA DO JATO	VAZÃO	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)			
DIÂMETRO NOMINAL	6X6						6X12	12X12	12X18	
(mm)	INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (mm/h)									
2,50 X 0,00mm										
	7885-3/4" 8048-1"	20	24	2,00	0,289	8,00	4,00			
		25	24	2,20	0,323	9,00	4,50			
		30	24	2,40	0,354	9,80	4,90	2,50	1,60	
		35	24	2,50	0,382	10,6	5,30	2,70	1,80	
Amarelo x Tampão										
2,80 x 0,00mm										
	7900-3/4" 8051-1"	20	24	2,10	0,360	10,0	5,00			
		25	26	2,30	0,402	11,2	5,60	2,80	1,90	
		30	26	2,50	0,441	12,3	6,10	3,10	2,00	
		35	24	2,60	0,476	13,2	6,60	3,30	2,20	
Verde x Tampão										
3,00 x 0,00mm										
	7926-3/4" 8064-1"	20	24	2,20	0,426	11,8	5,90			
		25	24	2,50	0,476	13,2	6,60			
		30	26	2,70	0,521	14,5	7,20	3,60	2,40	
		35	26	2,80	0,563	15,6	7,80	3,90	2,60	
Vermelho x Tampão										
3,20 x 0,00mm										
	7939-3/4" 8080-1"	20	26	2,20	0,495	13,8	6,90			
		25	26	2,50	0,553	15,4	7,70	3,80	2,60	
		30	26	2,70	0,606	16,8	8,40	4,20	2,80	
		35	26	2,80	0,654	18,2	9,10	4,50	3,00	
Azul x Tampão										
2,50 x 2,50mm										
	7830-3/4" 7984-1"	20	24	2,00	0,528	14,7	7,30	3,70	2,40	
		25	24	2,20	0,591	16,4	8,20	4,10	2,70	
		30	24	2,40	0,647	18,0	9,00	4,50	3,00	
		35	24	2,50	0,699	19,4	9,70	4,80	3,20	

Curvas características

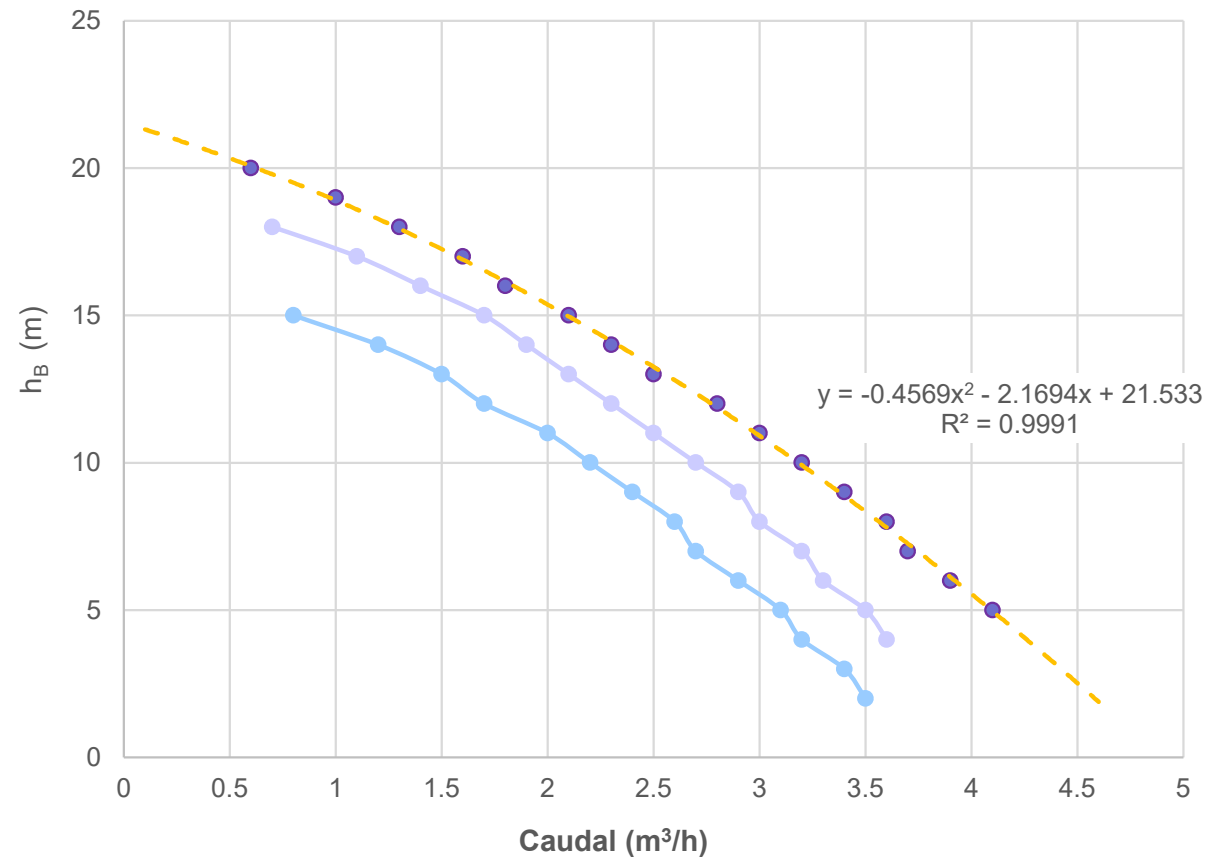


Altura manométrica vs. caudal

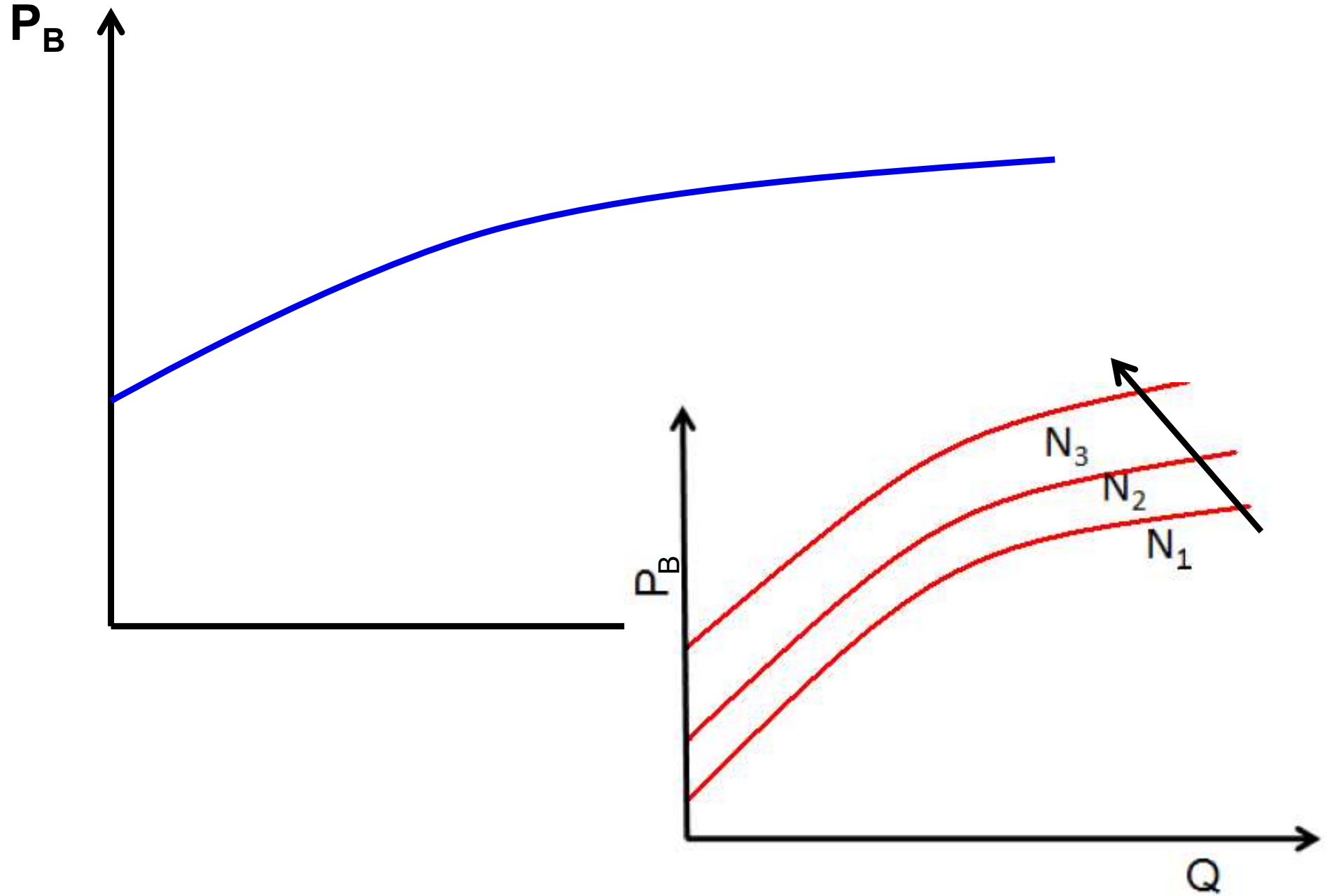
- para um determinado diâmetro
- para uma determinada velocidade de rotação

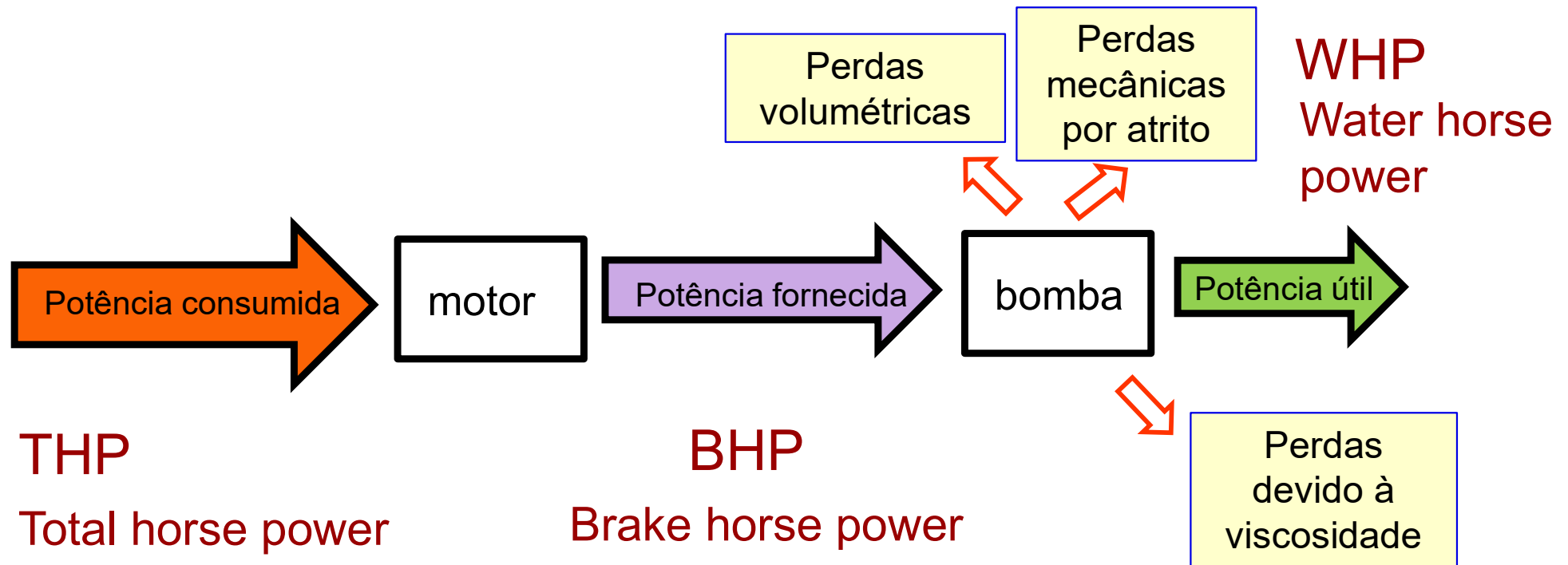


MODELO	Potência (cv)	Monofásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																		
								ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (m c.a.)																		
								2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
								VAZÃO EM m³/h VÁLIDA PARA SUÇÃO DE 0 m c.a.																		
BCR-2000	1/4	x	3/4	3/4	18	8	106	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	0,8					
	1/3	x	3/4	3/4	20	8	113	*	*	3,6	3,5	3,3	3,2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,4	1,1	0,7		
	1/2	x	3/4	3/4	22	8	115	*	*	*	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,5	2,3	2,1	1,8	1,6	1,3	1,0	0,6



Potência vs. caudal





Potência entregue pela bomba ao fluido (potência útil):

$$P_{util} = \gamma Q h_B$$

Potência fornecida pelo motor no eixo da bomba:

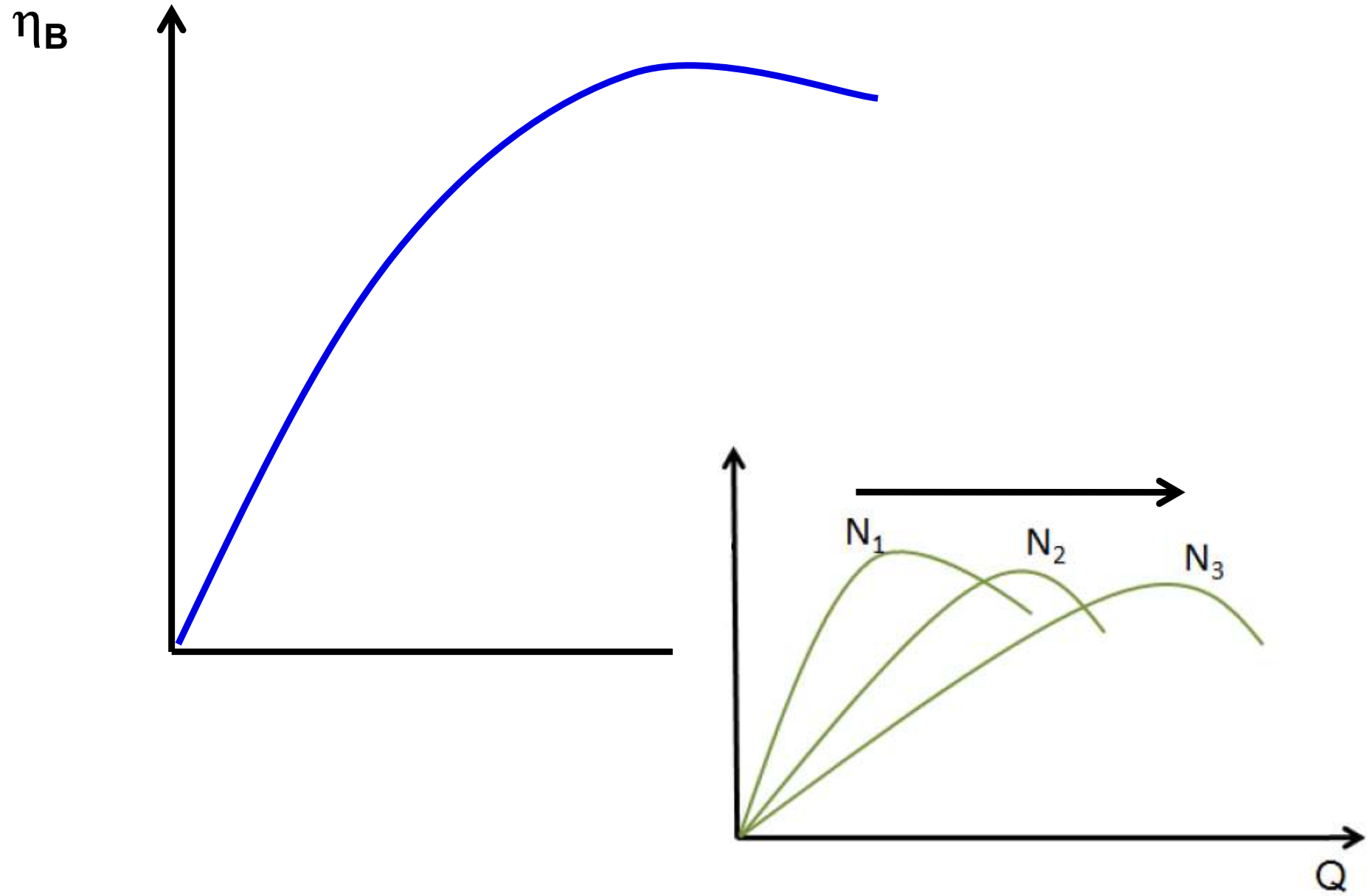
$$\eta_B = \frac{P_{util}}{P_{fornecida}} \quad P_B = \frac{\gamma Q h_B}{\eta_B}$$

$$\eta_B = \frac{WHP}{BHP}$$

Potência eléctrica retirada da rede eléctrica pelo motor:

$$P_{consumida} = \frac{P_B}{\eta_M} = \frac{\gamma Q h_B}{\eta_B \eta_M}$$

Curva rendimento vs. caudal



Curvas características

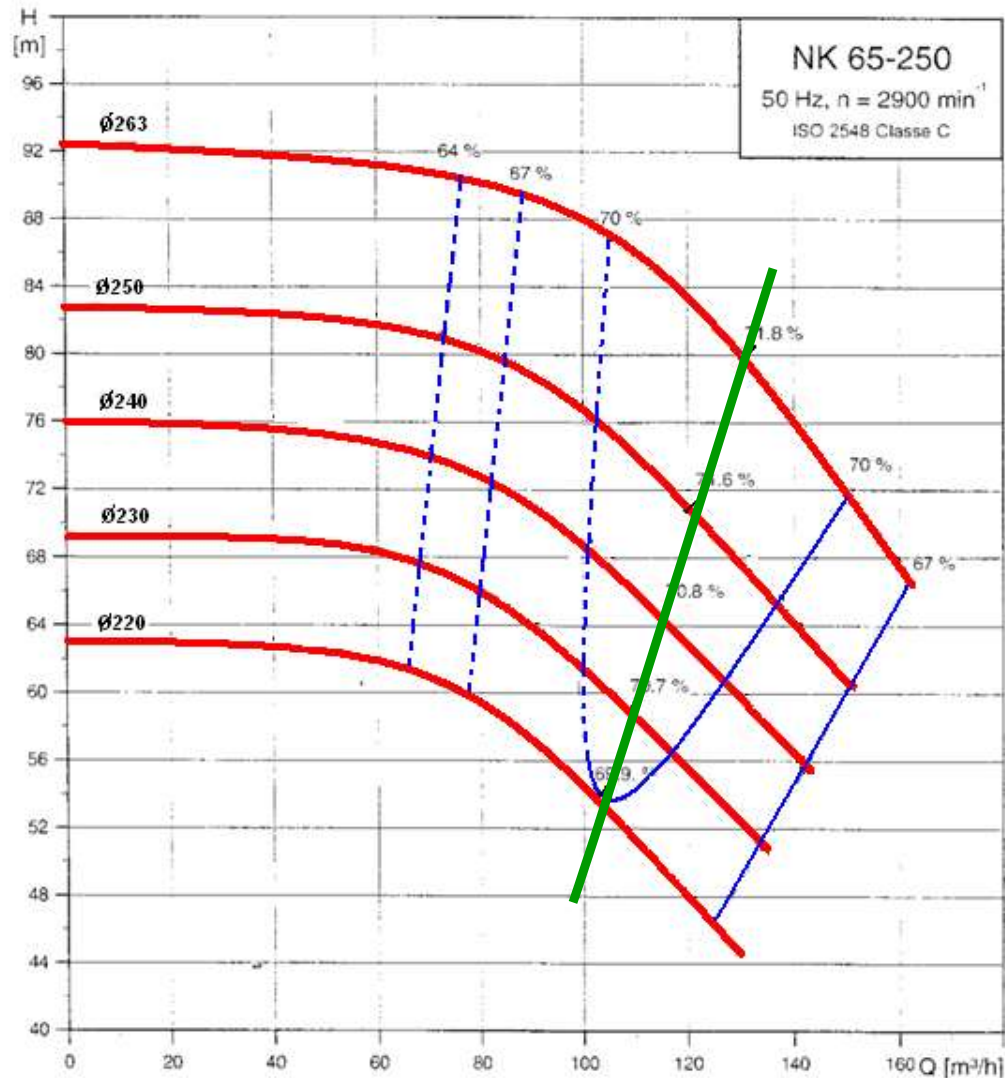


Diagrama em colina

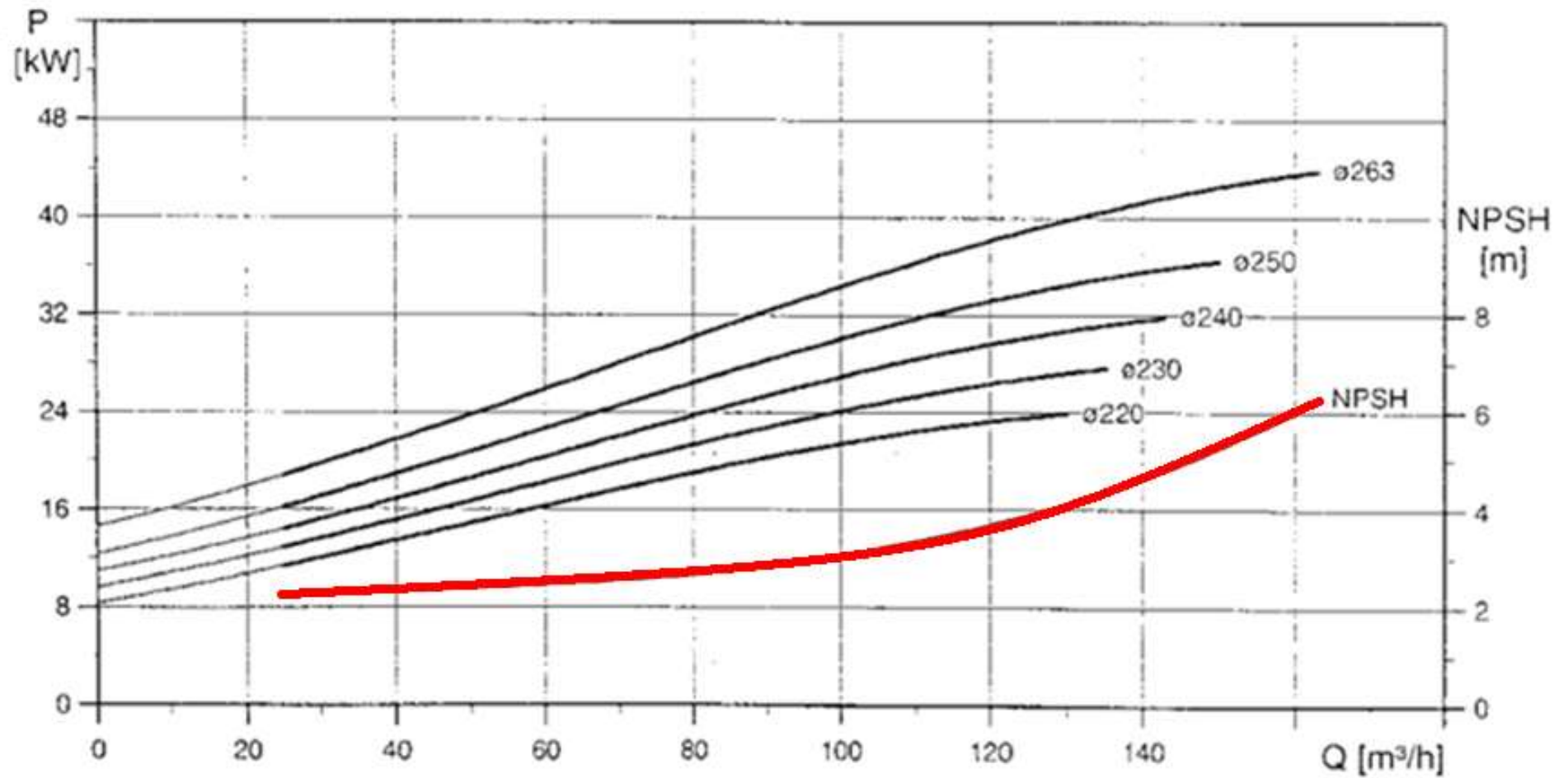


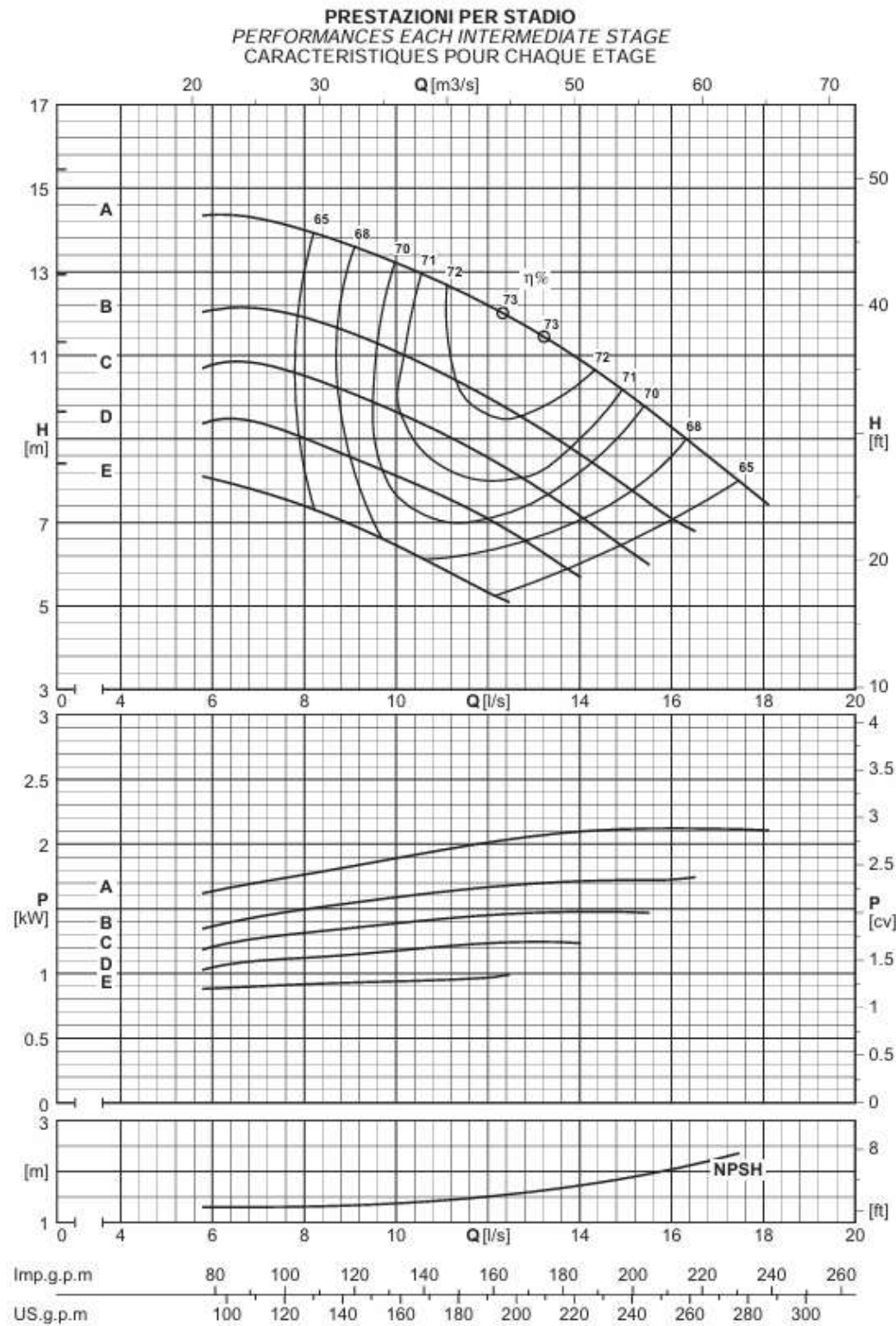
isolinhas de rendimento

curvas características
 $h = f(Q)$

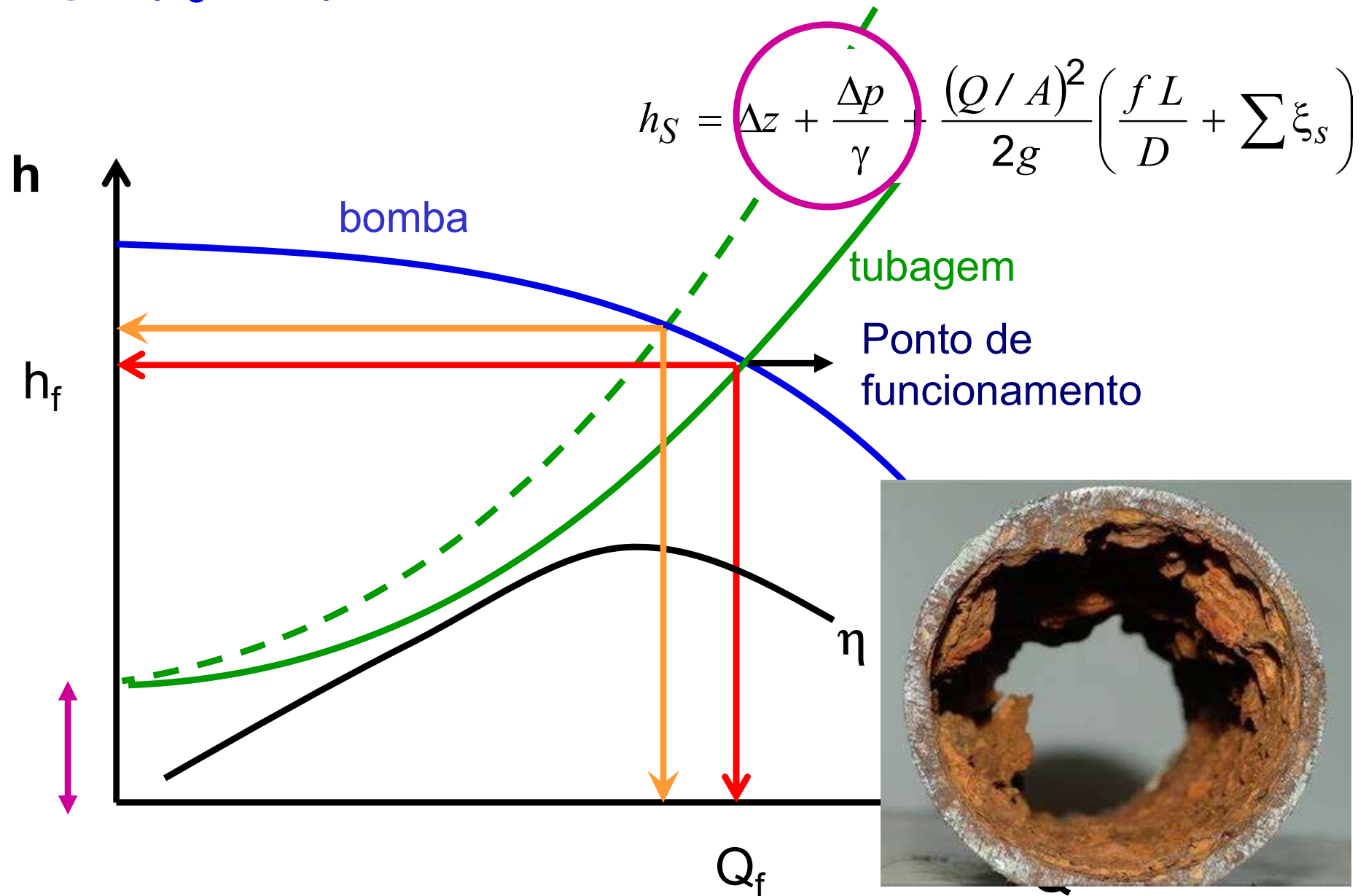
para vários diâmetros
do rotor

Curva NPSH_{requerido} x caudal





Curva característica da bomba (h_B vs Q) + curva característica da instalação (h_S vs Q)



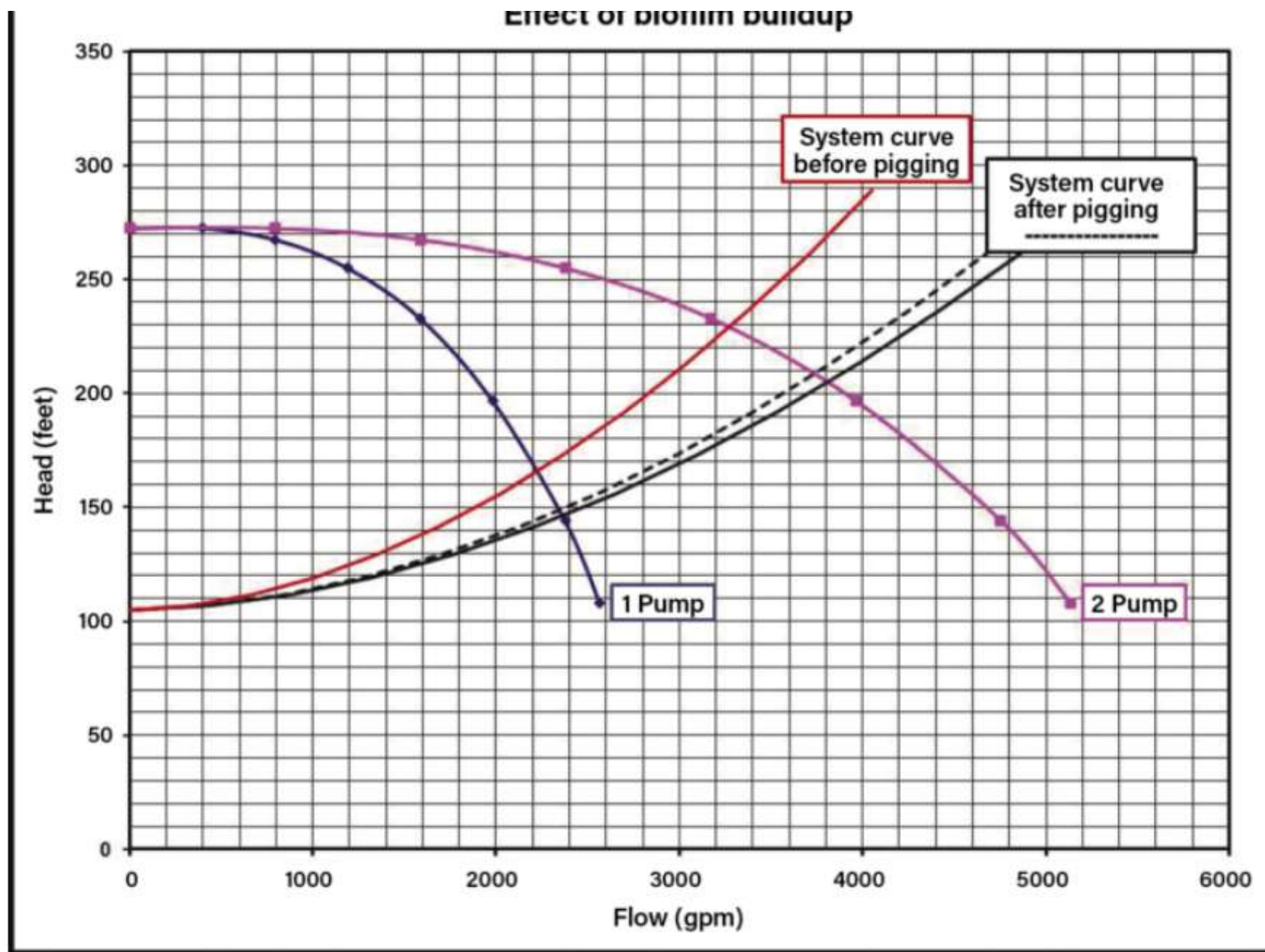
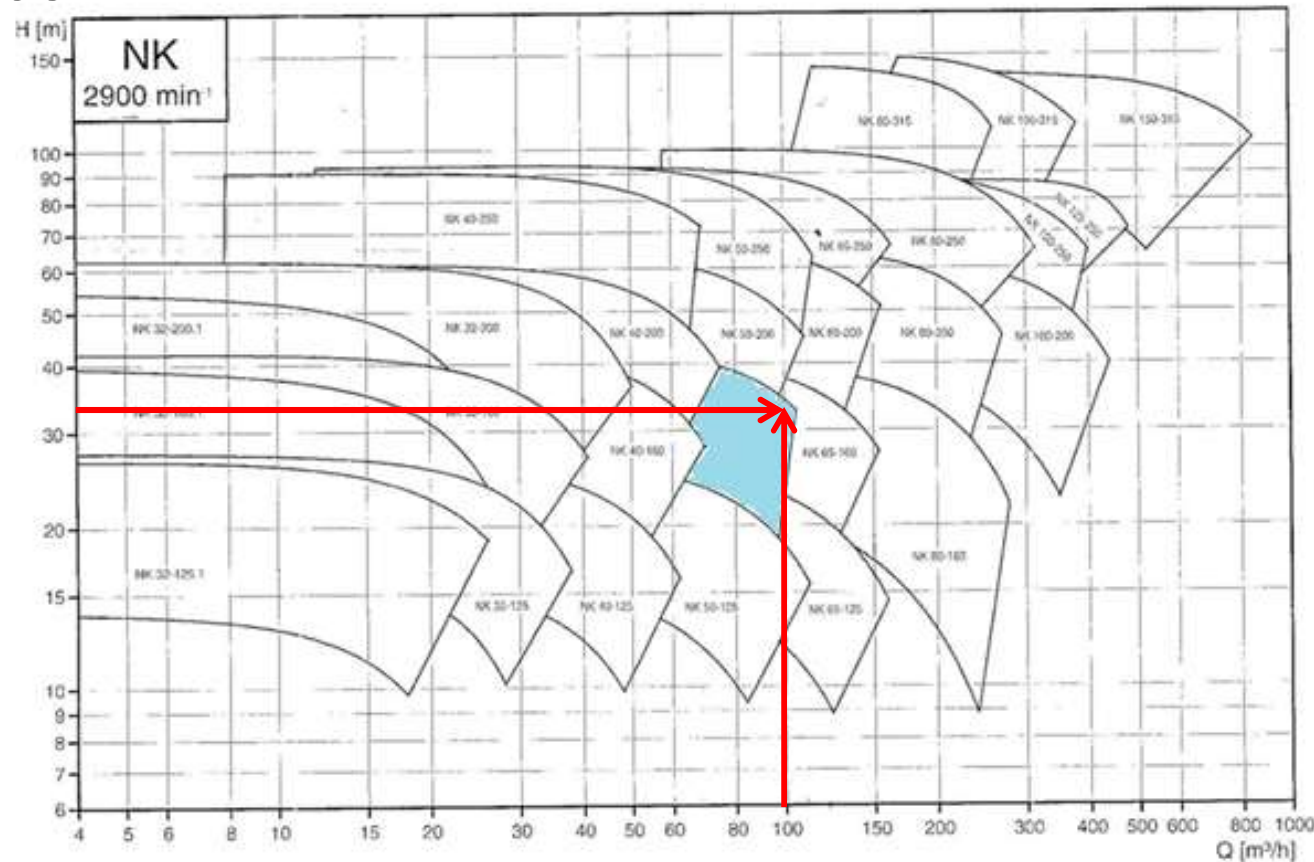


Figure 2. The system curve (red line) indicates a biofilm buildup.

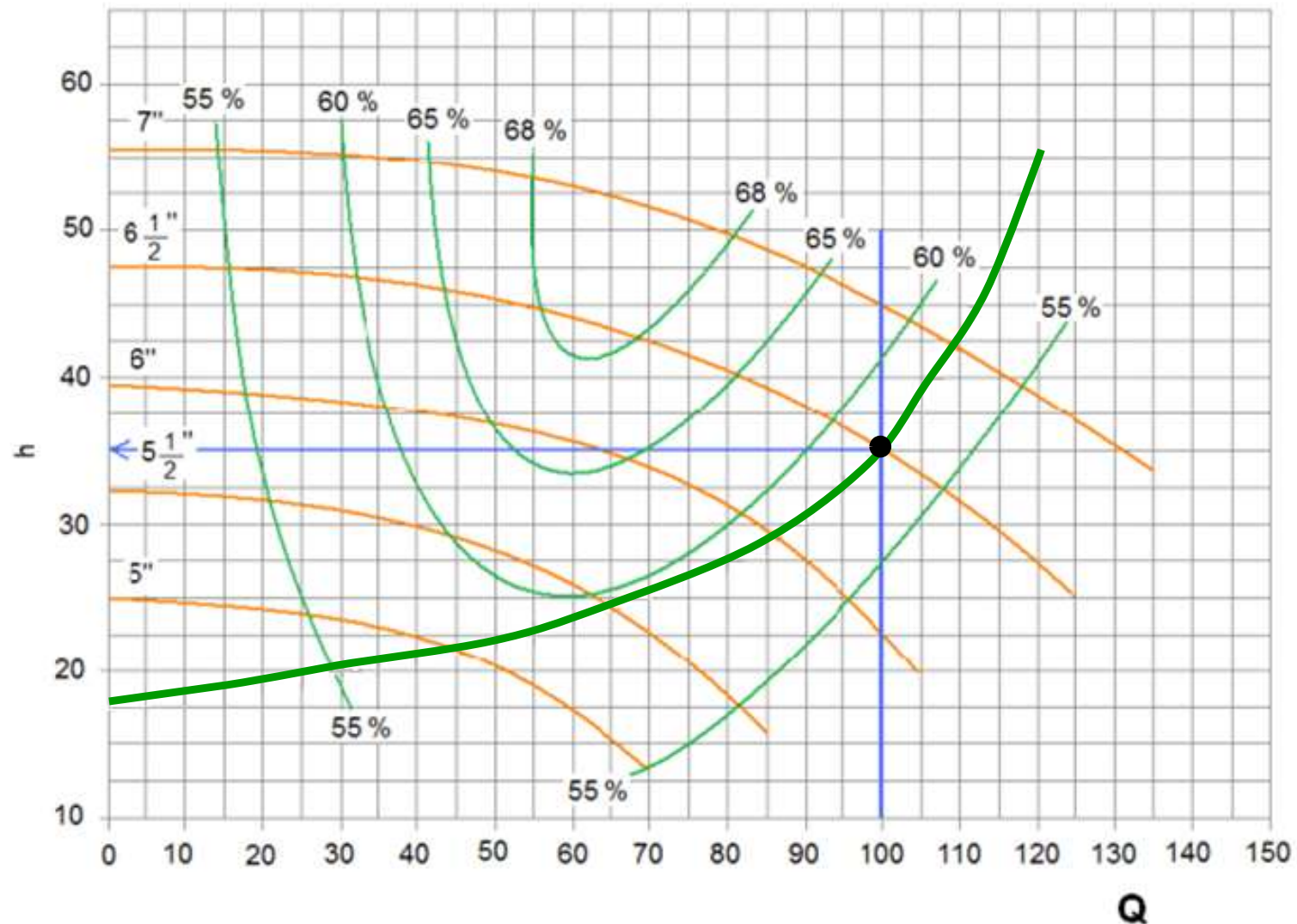
Processo de selecção de uma bomba

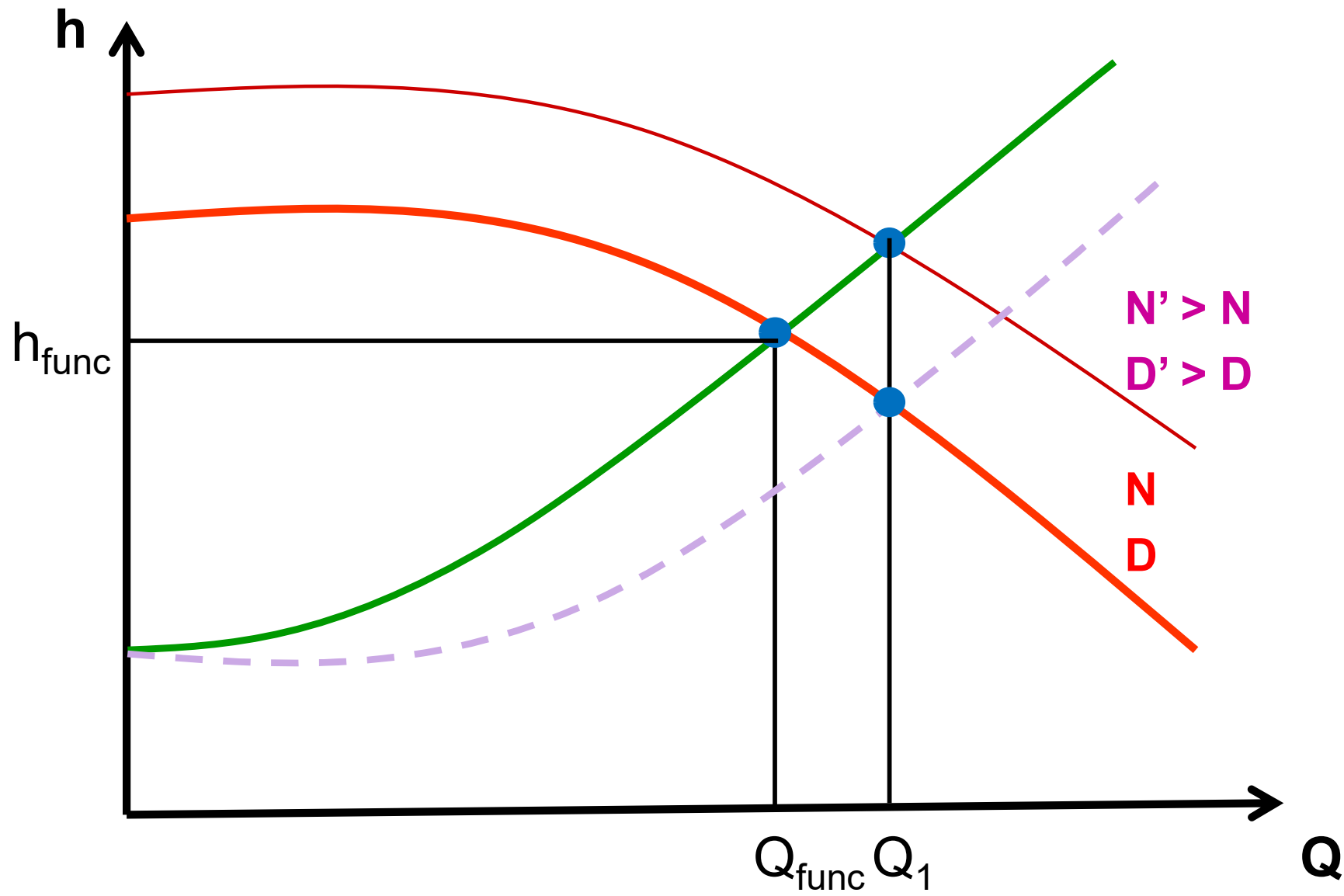
- a) tipo de fluido (água limpa, águas residuais, carga sólida)
- b) definir ou calcular o caudal necessário (Q),
- c) determinar a altura manométrica requerida - h_B
- d) entrar com a altura manométrica (h_B) e o caudal (Q) num diagrama de blocos (= mosaico de utilização) de um catálogo de fornecedor de bombas

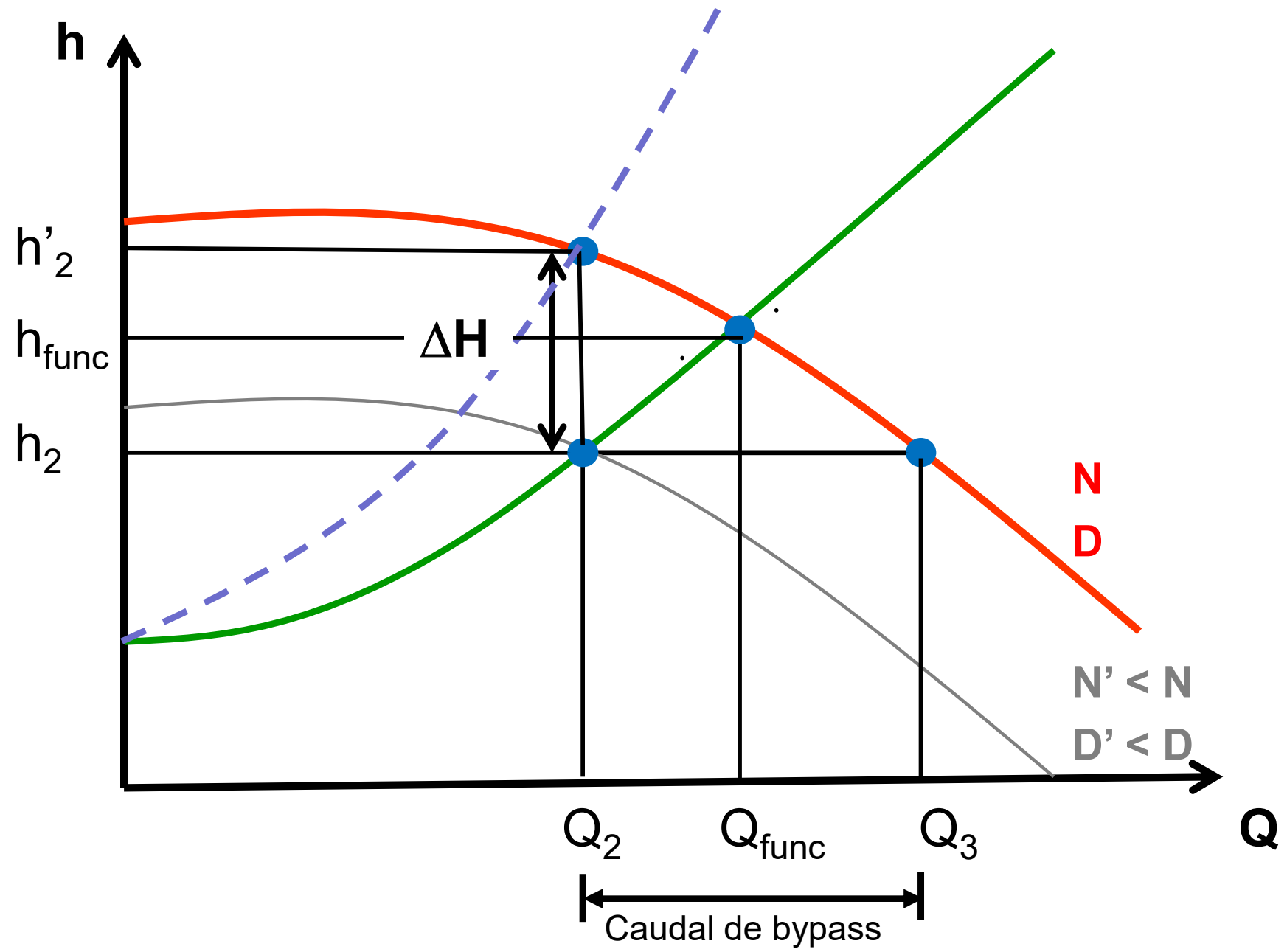


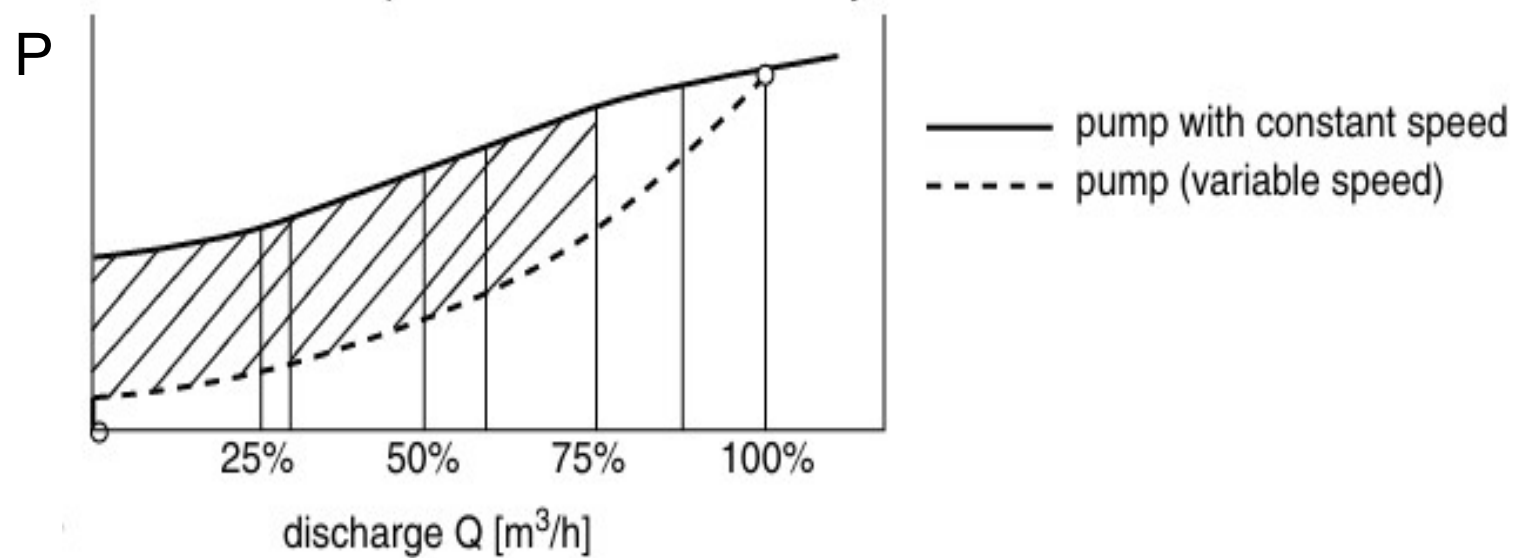
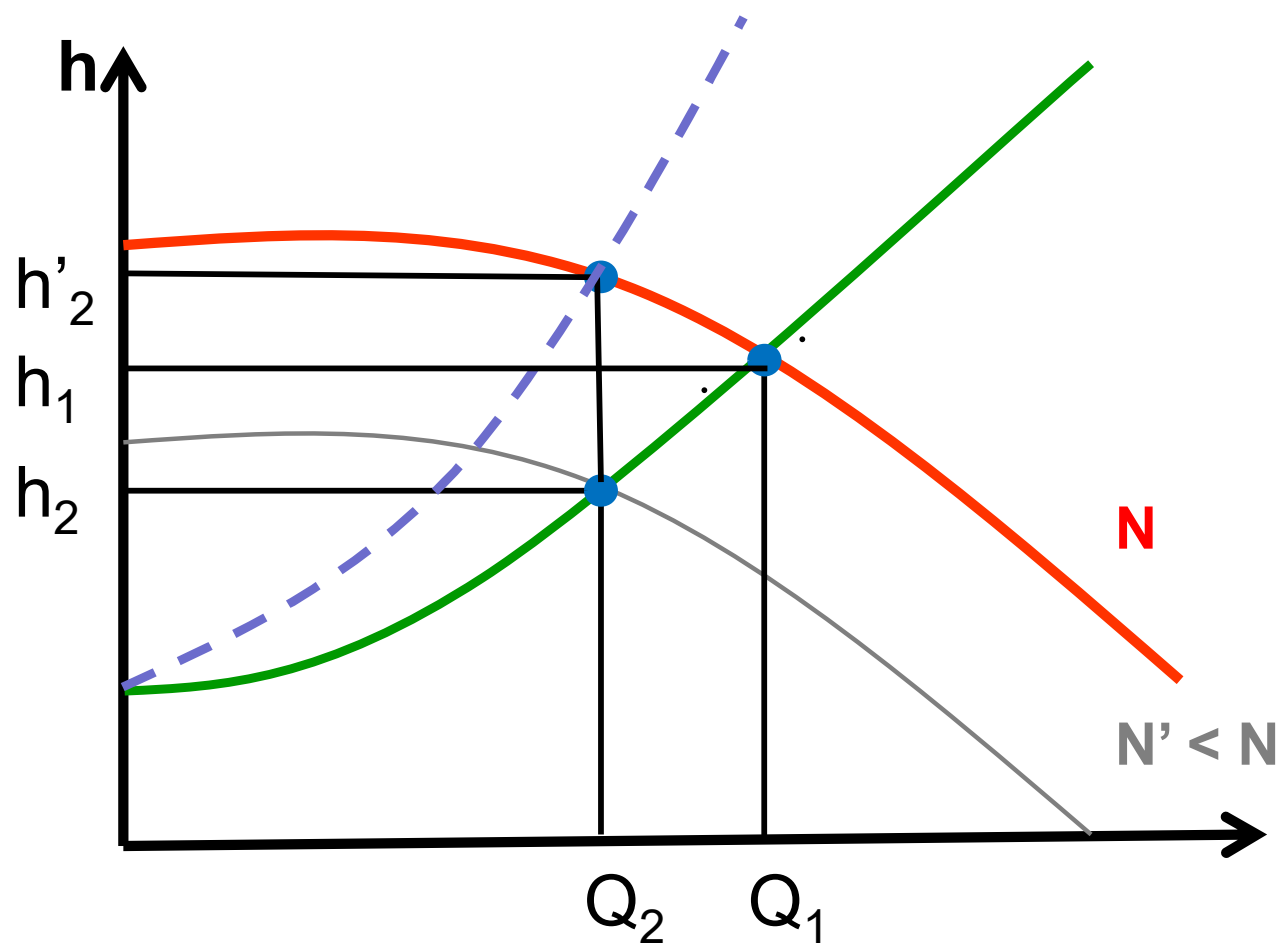
$Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$
 $h_B = 35 \text{ m}$

- e. obter as curvas características da bomba, geralmente no próprio catálogo
- f. construir a curva característica da instalação
- g. determinar as grandezas relativas ao ponto de trabalho para os diversos modelos selecionados (Q , h_B , η_B , $NPSH_{\text{requerido}}$)









Se o ponto de funcionamento não corresponde ao ponto de maior eficiência:

À direita do ponto de maior eficiência

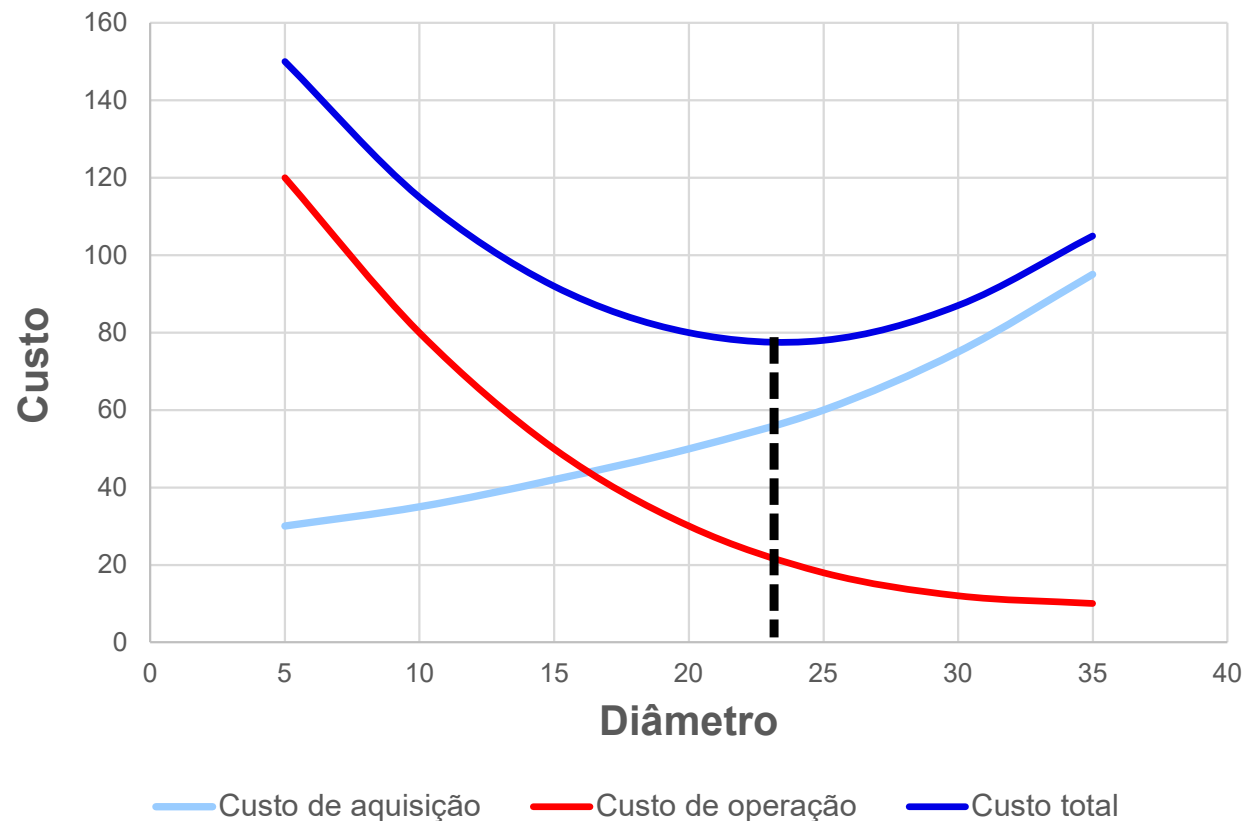
- o NPSH disponível é suficiente?
- velocidades elevadas conduzem a maior vibração e ruído

À esquerda do ponto de maior eficiência

- maiores pressões conduzem a maiores esforços dos rolamentos e outros elementos mecânicos, levando a maior desgaste
- a bomba está sobredimensionada, levando a maiores custos de aquisição

Em ambos os casos, uma menor eficiência conduz a maiores custos de operação

- h. analisar as condições de cavitação para cada modelo seleccionado
- i. análise económica
 - custo de aquisição (período de amortização: 10 anos)
 - custos de manutenção
 - energia $€ = P_{\text{consumida}} \times \Delta t \times €/\text{kWh}$
 - outros



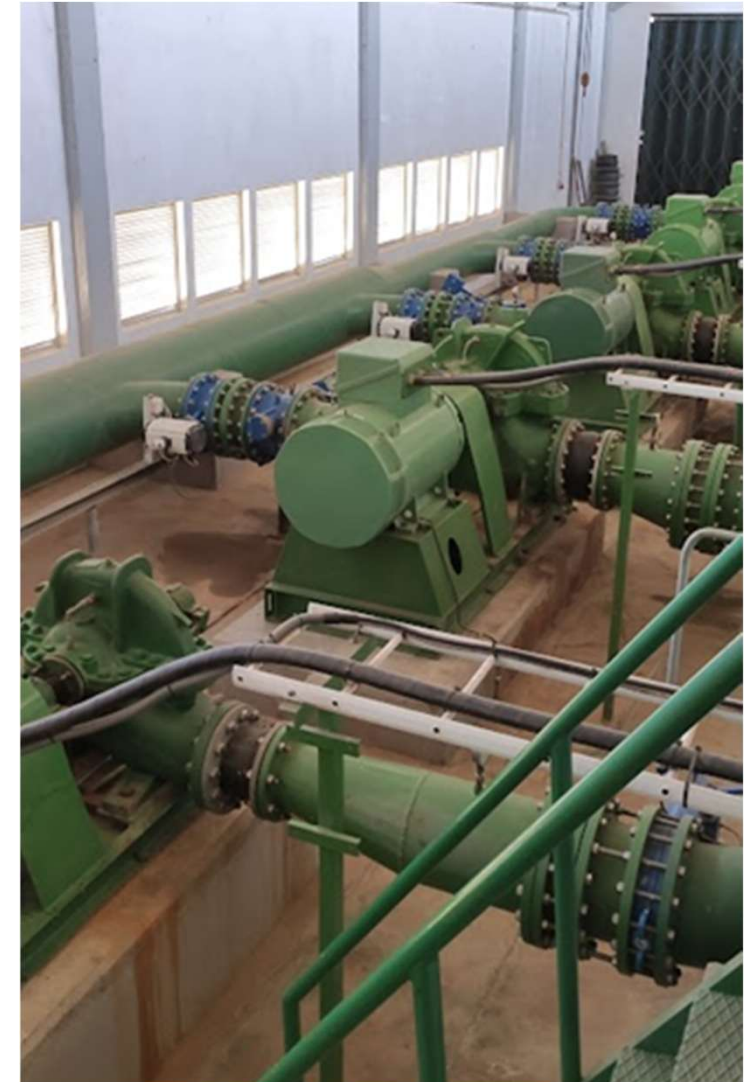
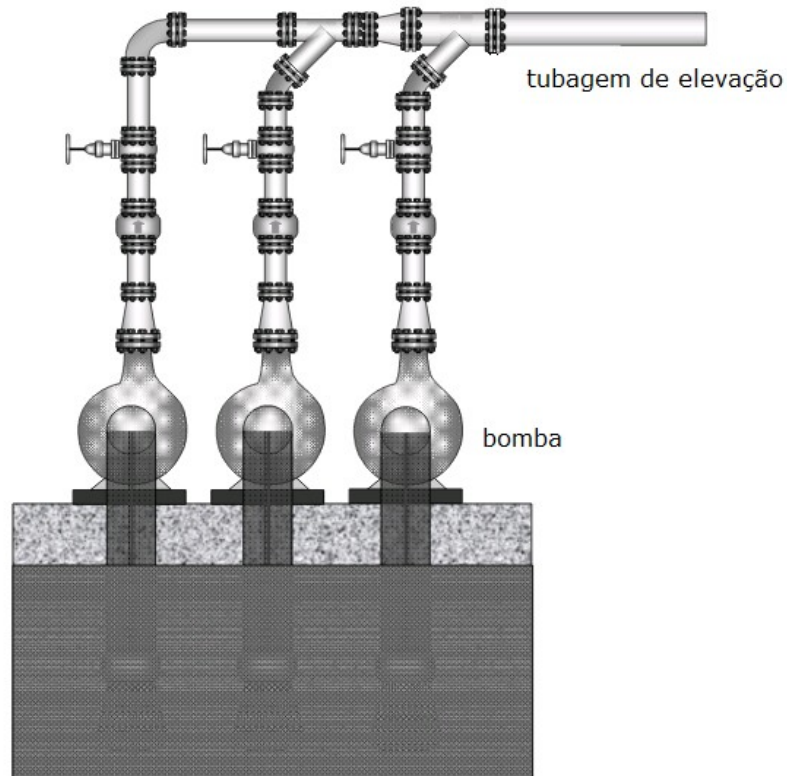
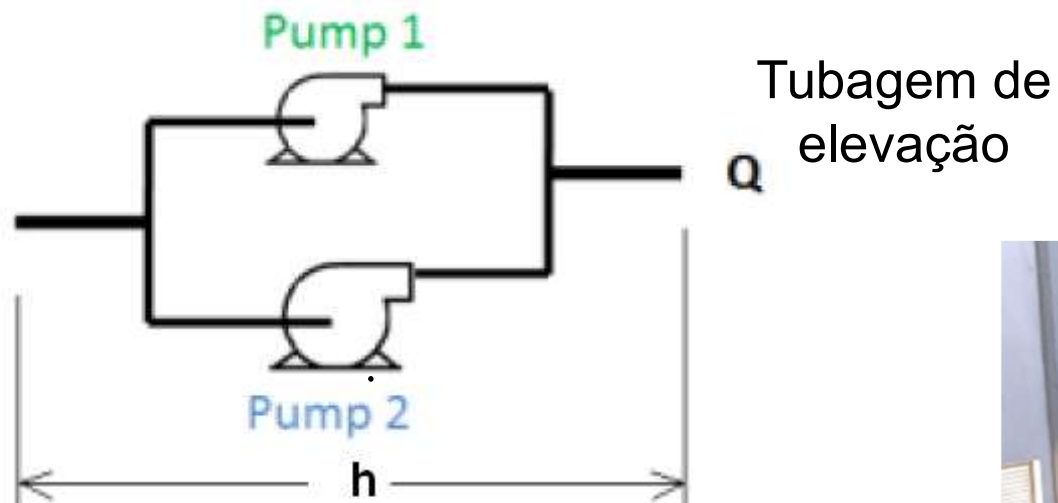
ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

- a) inexistência, no mercado, de bombas que possam, isoladamente, fornecer o caudal necessário;
- b) diferentes caudais necessários em diferentes momentos;
- c) inexistência no mercado de bombas capazes de vencer a altura manométrica de projecto.

(a) e (b) → associação em paralelo

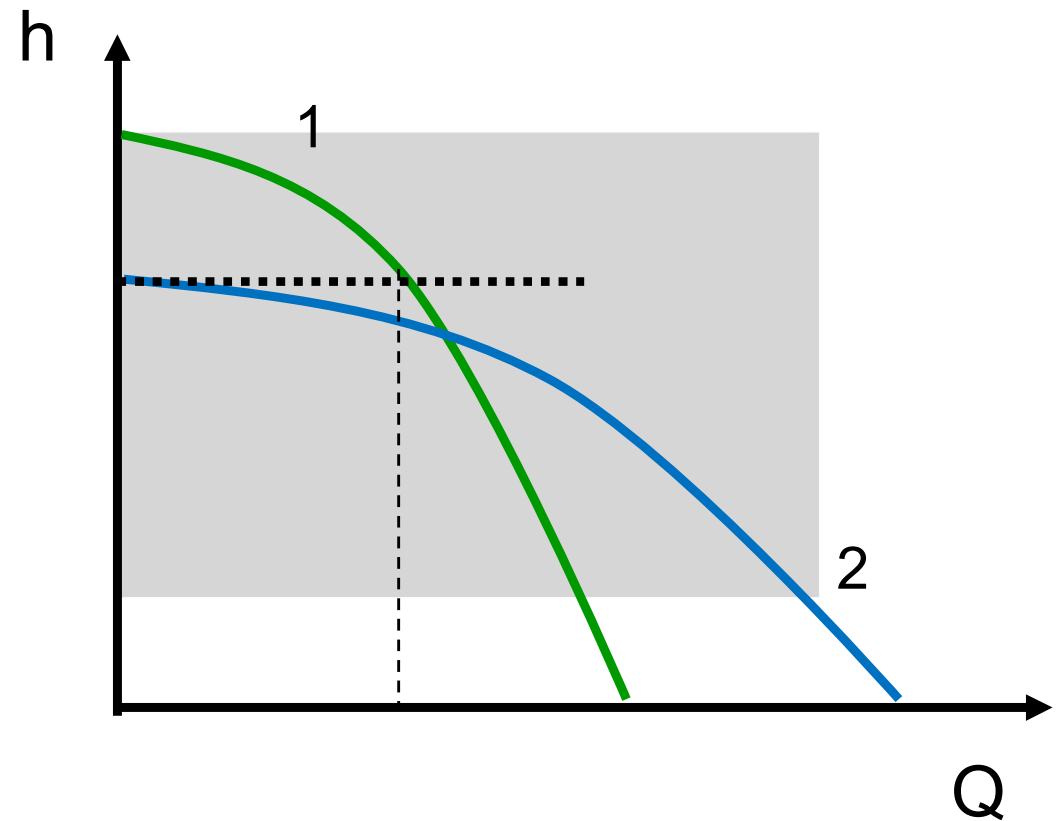
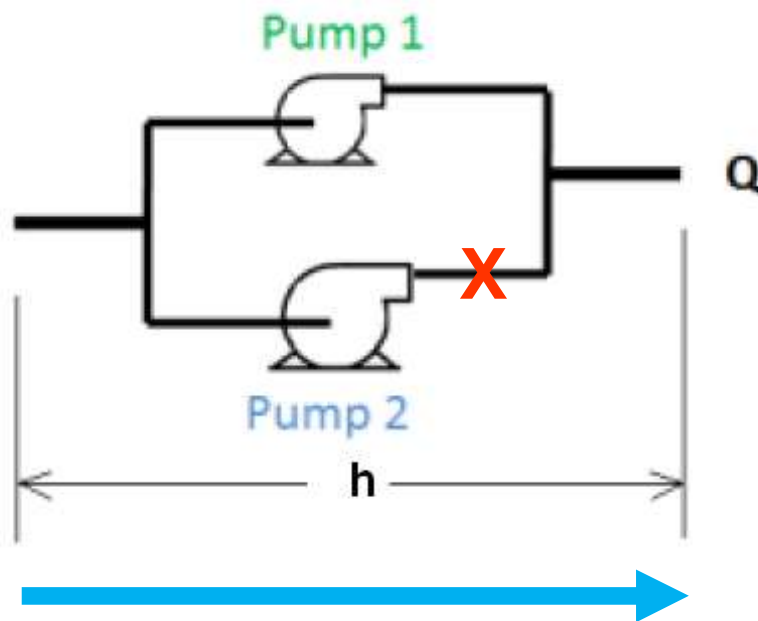
(c) → associação em série

Associação de bombas em paralelo



É recomendável, neste tipo de associação, que as bombas tenham as mesmas características, ou pelo menos muito próximas.

O uso de bombas com curvas diferentes implica a instalação de válvulas anti-retorno



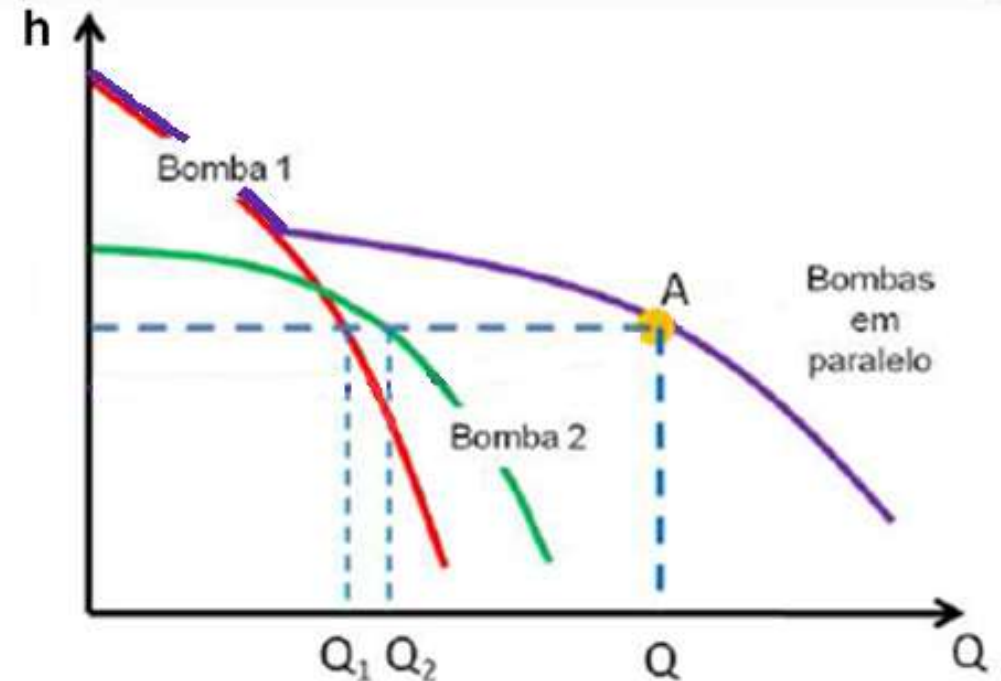
Associação de bombas em paralelo

$$h_{B1} = h_{B2},$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$P = \frac{\gamma Q h_m}{\eta}$$

$$\sum_i \frac{Q_i}{\eta_i} = \frac{\sum Q_i}{\eta_t}$$

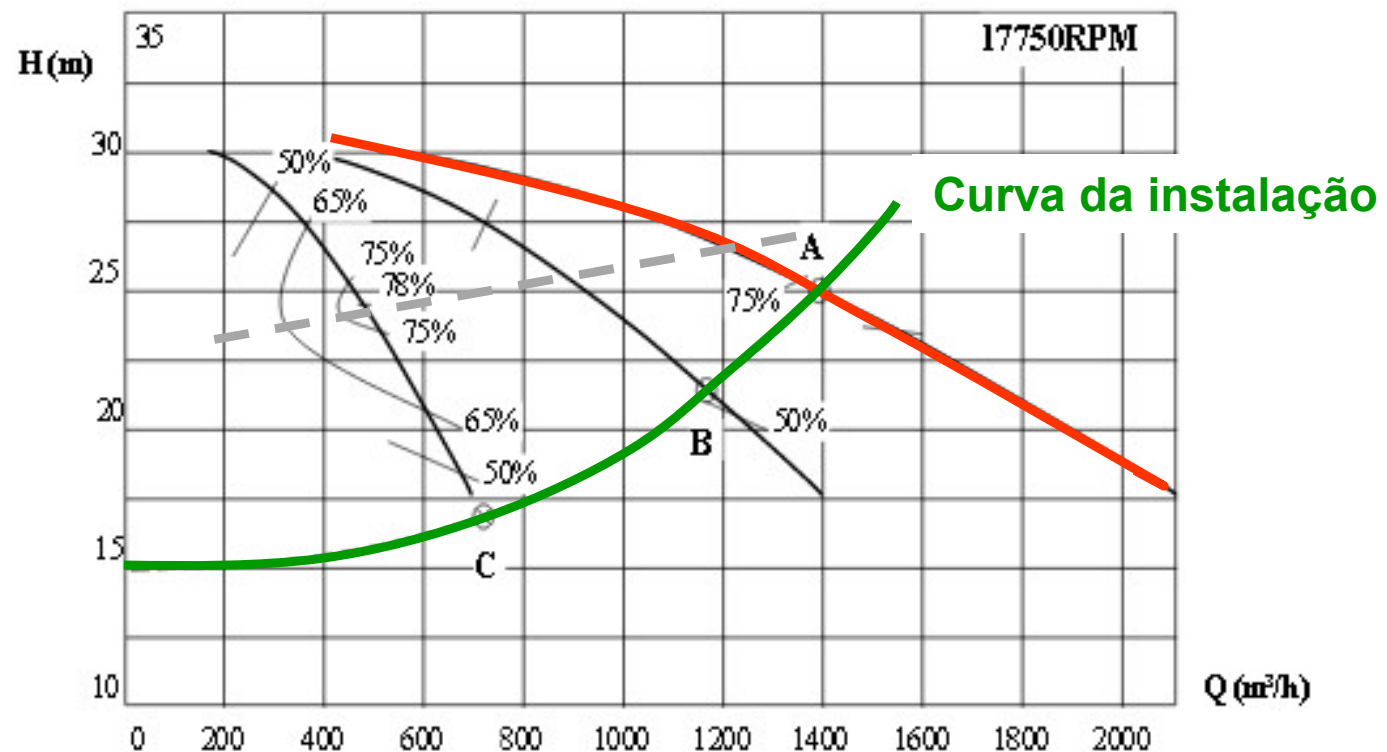


Vantagens da associação em paralelo

- várias bombas podem ser mais baratas e de mais fácil manutenção que uma única bomba grande
- a bomba de reserva terá dimensões menores que no caso de se ter uma única bomba

Desvantagens da associação em paralelo

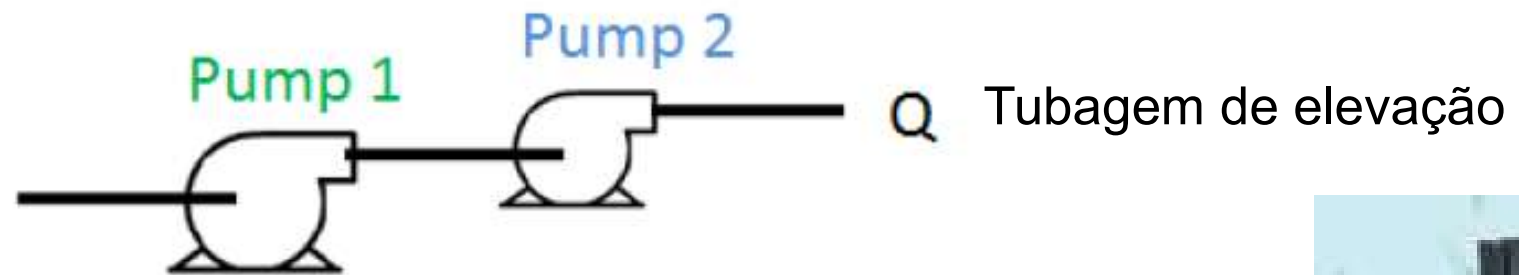
- se o sistema for dimensionado para trabalhar à máxima eficiência quando todas as bombas estiverem a operar (**A**), o rendimento será muito diferente (menor) se operar um número menor de bombas (**B** e **C**)



Necessidade de caudais variáveis

- associação de bombas em paralelo
- variador de velocidade
- válvulas de regulação do caudal
- reservatórios

Associação de bombas em série



Bombas multiandar



Associação de bombas em série

$$h_S = h_{B1} + h_{B2},$$

$$Q_S = Q_1 = Q_2$$

$$\sum_i \frac{H_i}{\eta_i} = \frac{\sum H_i}{\eta_t}$$

