

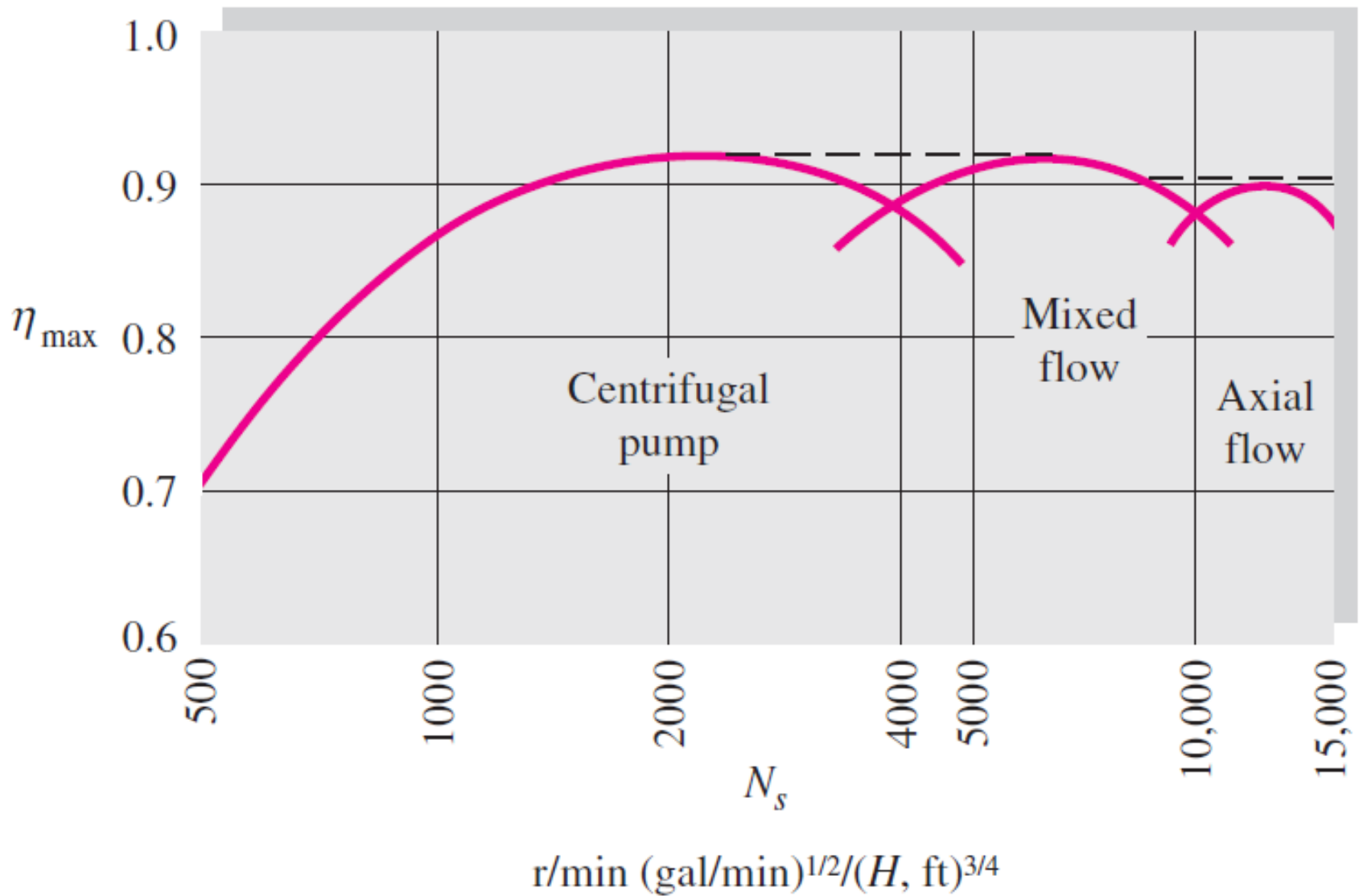
Introdução às Máquinas de Fluxo

Parte 3

Ref. White F.M., Mecânica dos Fluidos,
McGraw-Hill

Design combinado de bombas

- Em alguns casos se deseja uma carga relativamente elevada e baixa vazão
 - Nesses casos, uma bomba puramente centrífuga é a ideal
- Em outros casos, desejamos carga relativamente baixa e elevada vazão
 - Uma bomba puramente centrífuga deveria então ter um rotor muito grande (verifique).
 - A solução ideal passa a ser uma bomba mista: uma parte axial e uma parte centrífuga
 - Ex: rotor mostrado em aula



Seleção de tipo de bomba

- Como saber, de forma objetiva, se necessitamos de bomba centrífuga, mista ou axial?
- Quando selecionamos para dada aplicação, normalmente conhecemos:
 - Carga
 - Vazão
 - Faixa de rotações (limitadas pelo motor elétrico)
- Um grupo adimensional que relacione estes parâmetros facilitaria a seleção
 - Ele teria que envolver os 3 parâmetros listados acima
 - Este parâmetro existe: ele relaciona C_Q e C_H no BEP
 - Este parâmetro é o N'_s (velocidade específica)

Velocidade específica

- Forma adimensional:

$$N'_s = \frac{C_{Q^*}^{1/2}}{C_{H^*}^{3/4}} = \frac{n(Q^*)^{1/2}}{(gH^*)^{3/4}}$$

- Este parâmetro está relacionado com o projeto mais eficiente de bomba para dada aplicação
 - N'_s baixo \Rightarrow baixo Q e elevado H \Rightarrow bomba centrífuga é a ideal
 - N'_s alto \Rightarrow elevado Q e baixo H \Rightarrow bomba axial é a ideal
 - N'_s moderado \Rightarrow bomba mista é a ideal
- A título de exemplo:
 - $0,03 \leq N'_s \leq 0,23 \Rightarrow$ Bomba centrífuga
 - $0,23 \leq N'_s \leq 0,58 \Rightarrow$ Bomba mista
 - $0,58 \leq N'_s \Rightarrow$ Bomba axial

Velocidade específica

- Há também fórmulas dimensionais para a velocidade específica.

- Por exemplo, em Sistema Inglês:

$$N_s = \frac{(\text{r/min})(\text{gal/min})^{1/2}}{[H (\text{ft})]^{3/4}}$$

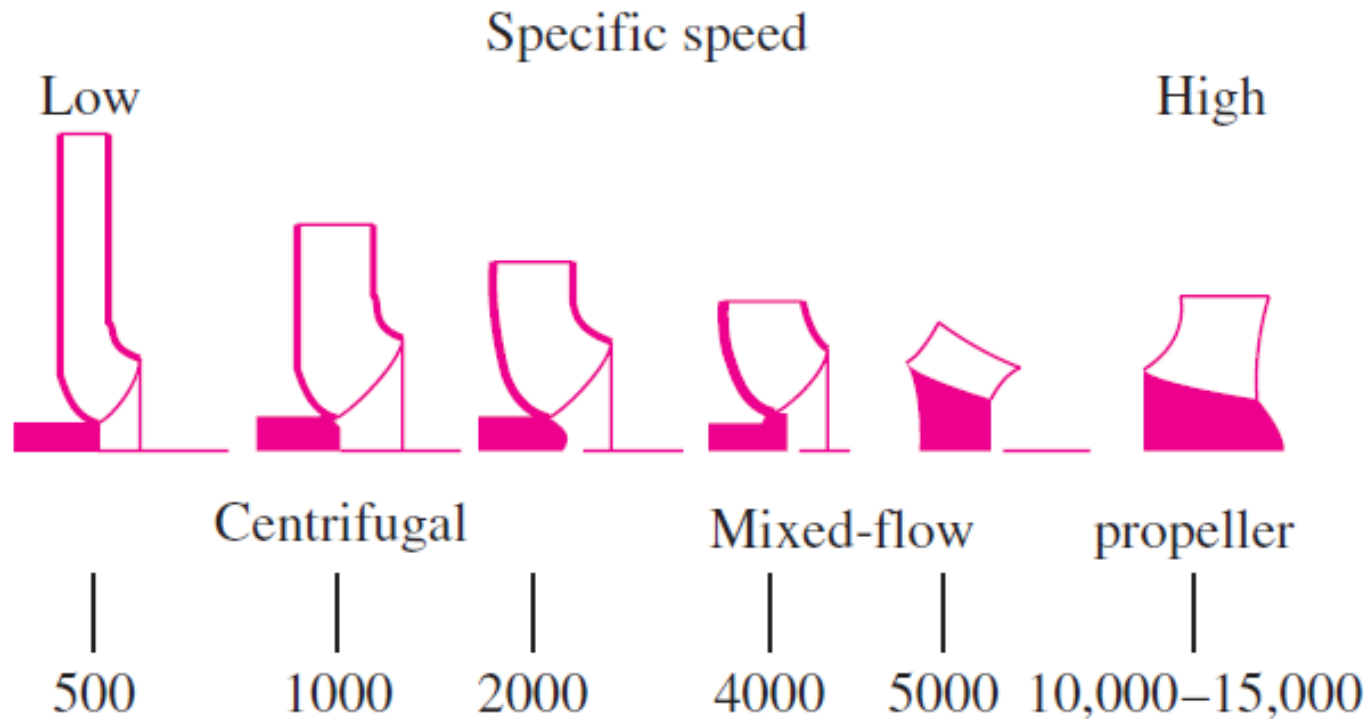
- Onde, neste caso: $N_s = 17,182N'_s$

- De forma que:

- $500 \leq N_s \leq 4000 \Rightarrow$ Bomba centrífuga
- $4000 \leq N_s \leq 10000 \Rightarrow$ Bomba mista
- $10000 \leq N_s \Rightarrow$ Bomba axial

Velocidade específica

- De forma que:
 - $500 \leq N_s \leq 4000 \Rightarrow$ Bomba centrífuga
 - $4000 \leq N_s \leq 10000 \Rightarrow$ Bomba mista
 - $10000 \leq N_s \Rightarrow$ Bomba axial



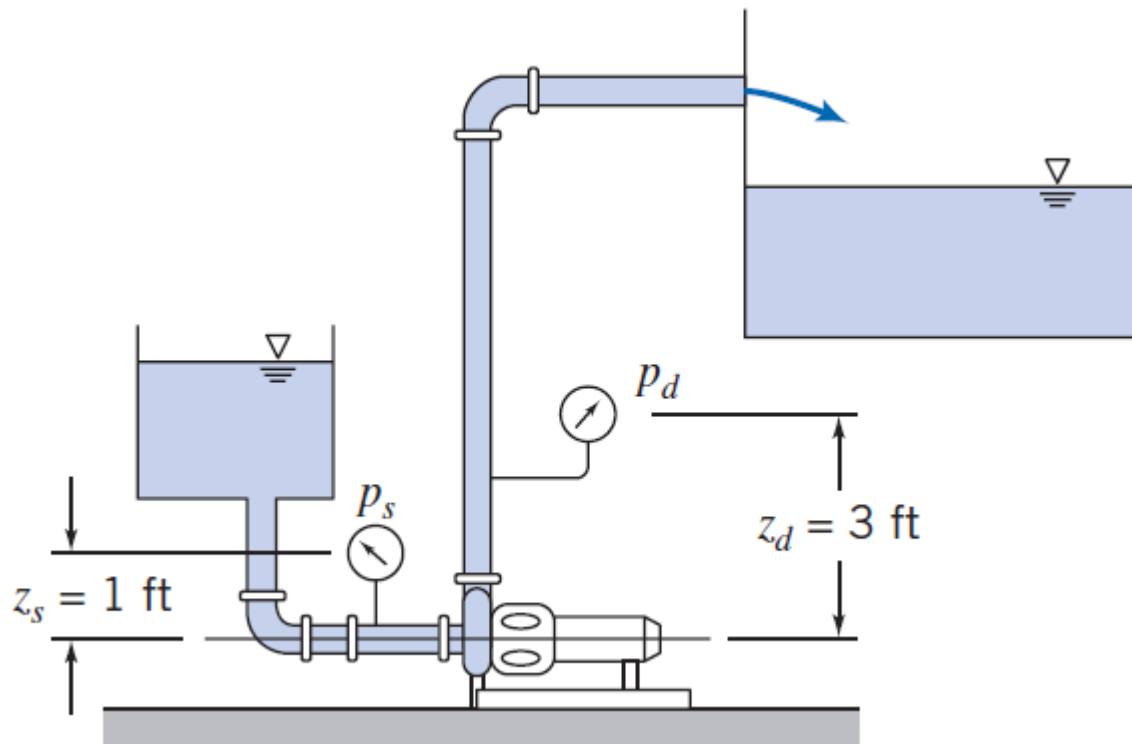
Ponto de operação de bombas

- Uma vez selecionada, a bomba será instalada em um sistema de bombeamento
- Este sistema de bombeamento possui reservatórios, tubos, contrações, expansões, cotovelos, válvulas, etc.
- Isto significa que a bomba terá que “vencer” diferenças e cota, diferenças de velocidade (se houver) e a perda de carga gerada pelos componentes descritos acima.
- Haverá então um equilíbrio entre vazão e pressão tanto da bomba como do sistema.

Ponto de operação de bombas

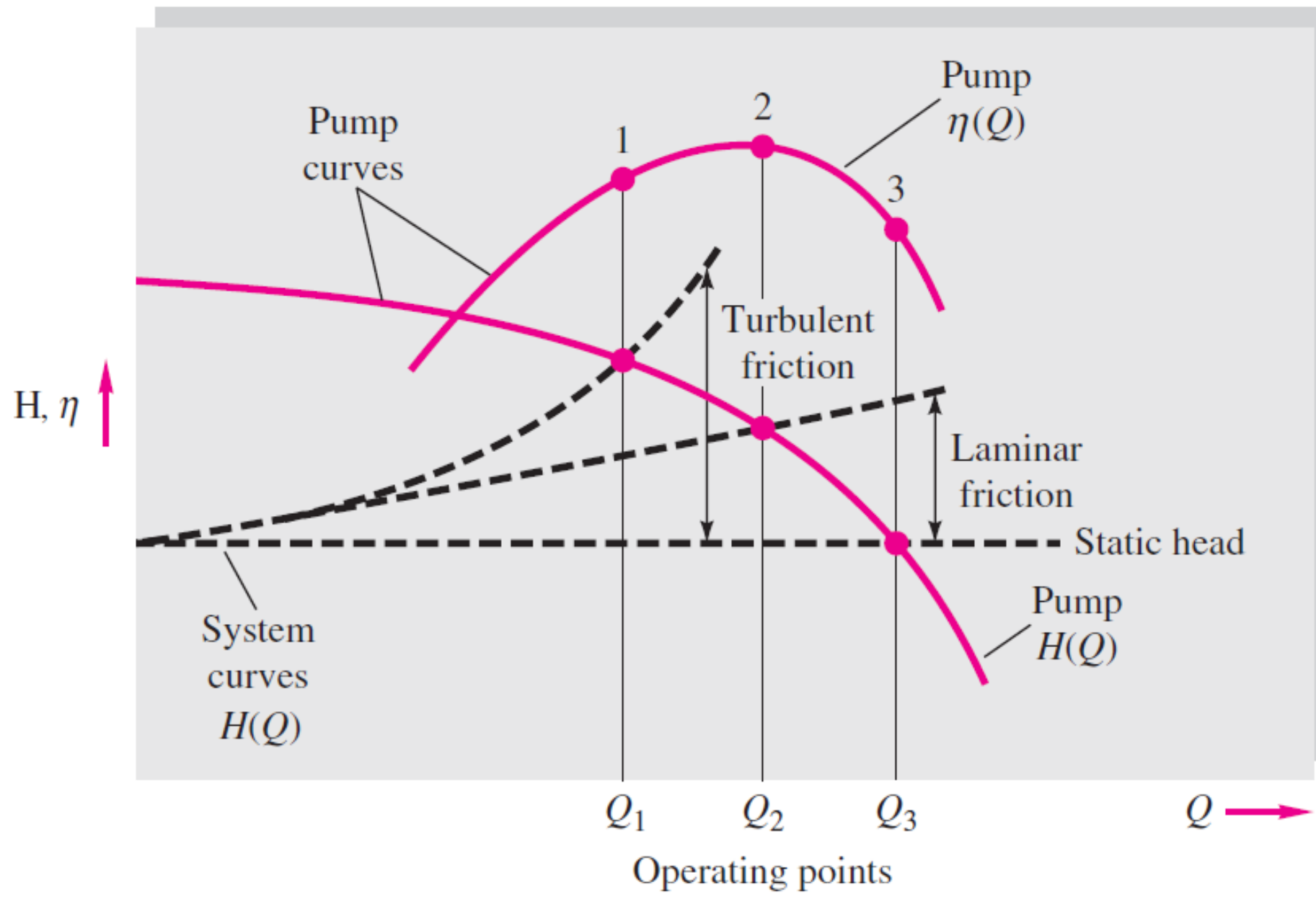
- Normalmente vamos desprezar variações de velocidade entre entrada e saída
- Desta forma, a bomba deve suprir a seguinte carga:

$$H_{\text{sys}} = (z_2 - z_1) + \frac{V^2}{2g} \left(\sum \frac{fL}{D} + \sum K \right)$$



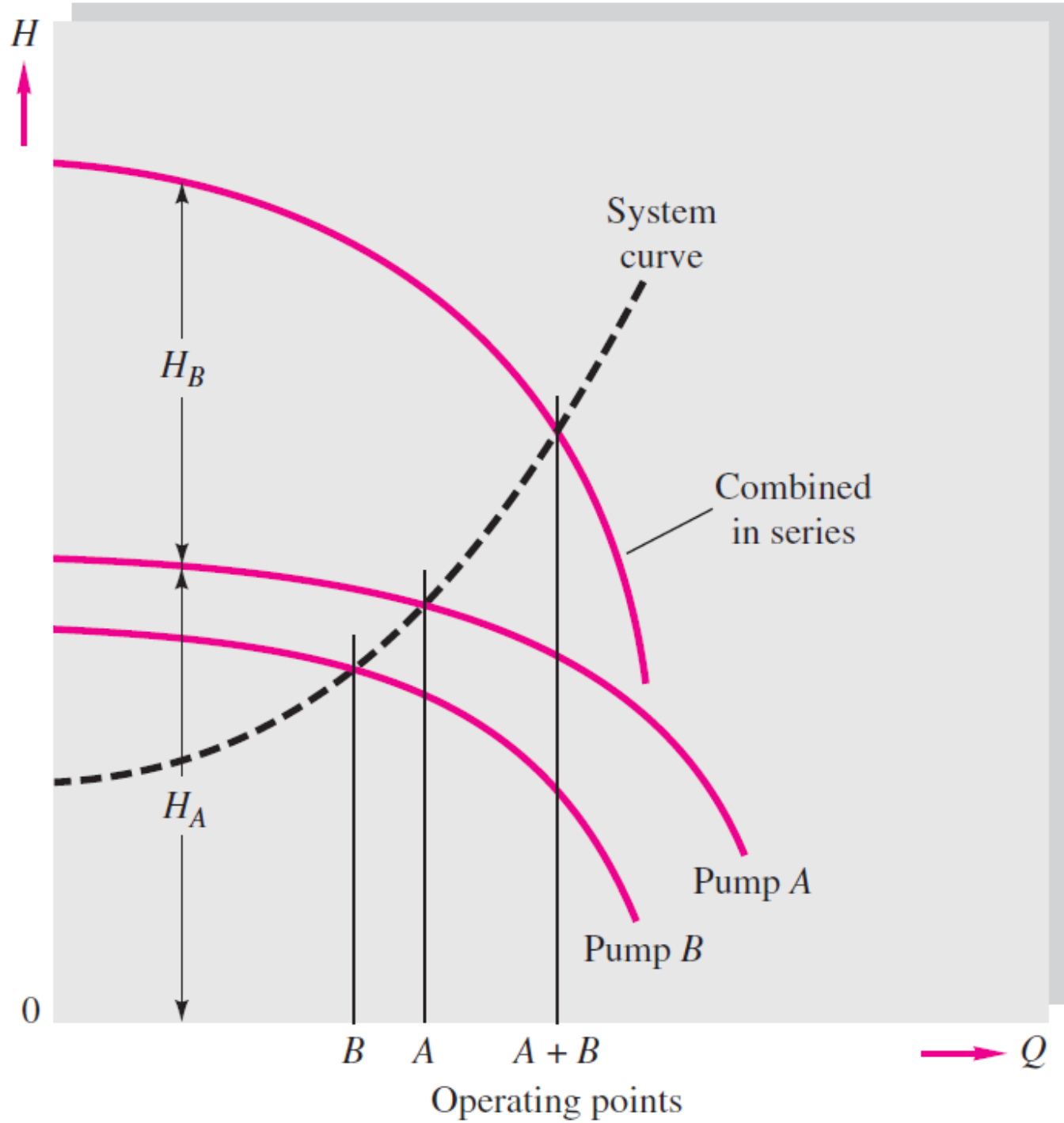
Ponto de operação de bombas

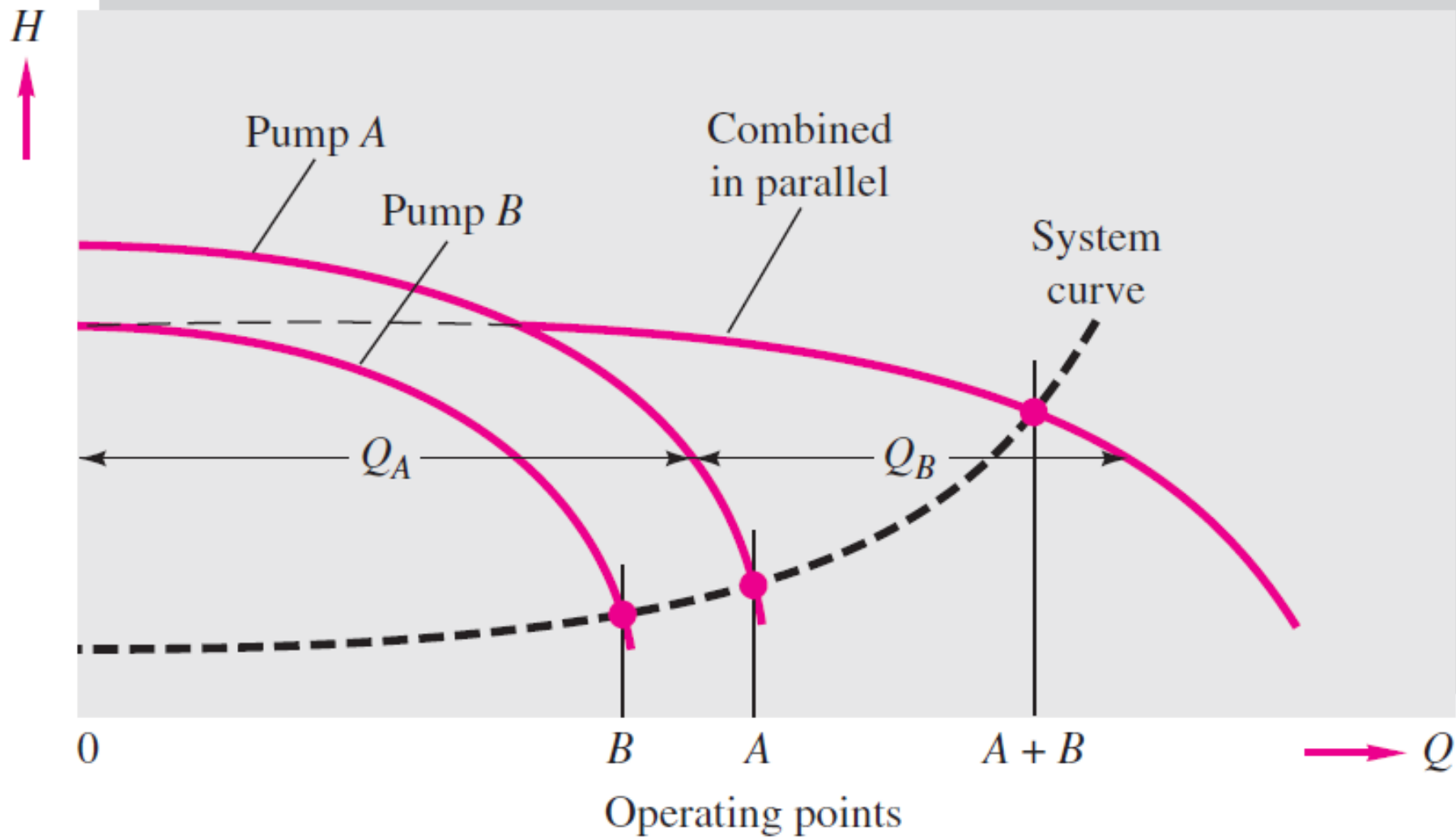
- A carga da bomba diminui com a vazão (curva da bomba)
- A carga da linha aumenta com a vazão
 - Para escoamento turbulento, $h_L \sim Q^2$
 - Para escoamento laminar, $h_L \sim Q$
- O ponto de operação se dá pela interseção das duas curvas H vs Q (bomba e sistema)
 - Pois a carga que a bomba fornece é inserida no sistema.



Combinação de bombas em um sistema

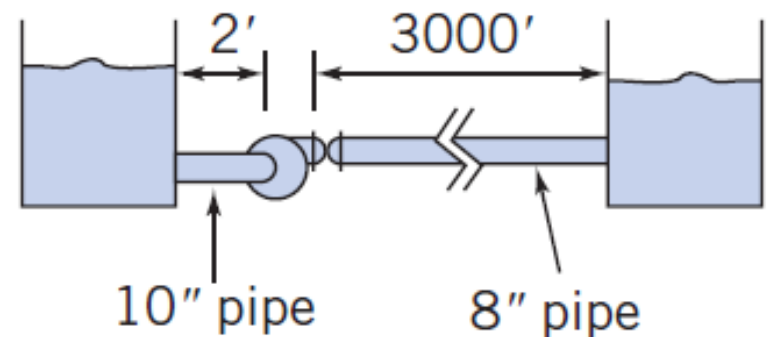
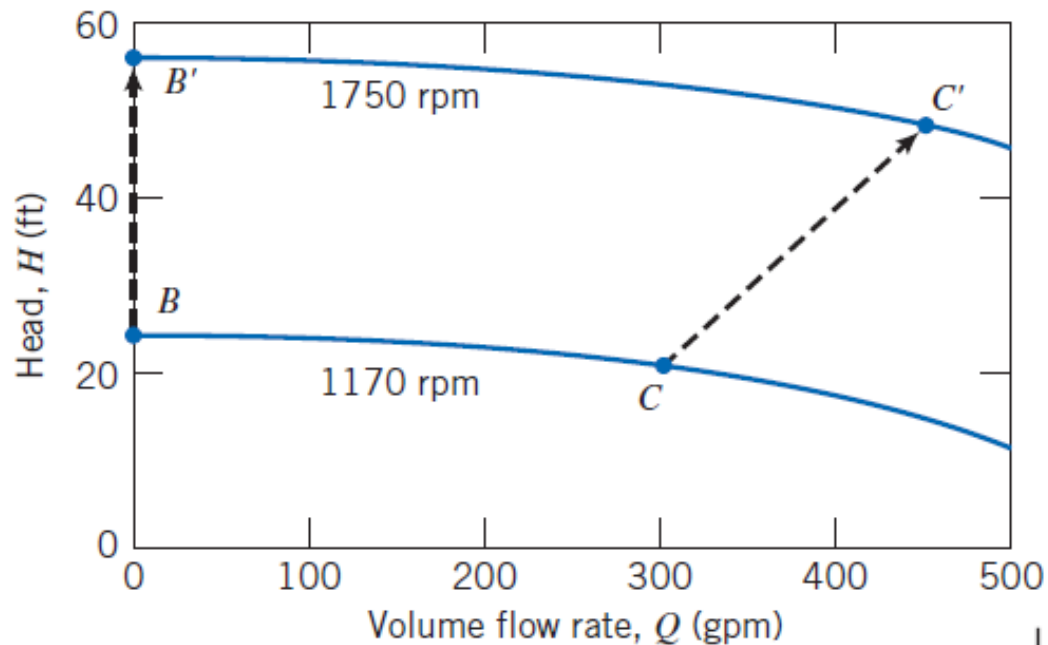
- Podemos utilizar mais de uma bomba se quisermos aumentar a carga, a vazão, ou ambos
- A regra geral é:
 - Para aumentar significativamente a carga, colocamos bombas em série
 - Pois a bomba à jusante irá receber líquido à pressão de saída da bomba à montante
 - Ela irá aumentar uma pressão que já é alta.
 - A vazão irá aumentar um pouco também
 - Para aumentar significativamente a vazão, colocamos bombas em paralelo
 - Isto irá aumentar um pouco a pressão





Exemplo de aplicação

- Considere que a bomba do gráfico esteja montada na linha da figura abaixo e opere a 1750 rpm. Encontre o ponto de operação.



Q (gpm)	\bar{V}_1 (ft/s)	Re_1 (1000)	f_1 (-)	\bar{V}_2 (ft/s)	Re_2 (1000)	f_2 (-)
0	0.00	0	—	0.00	0	—
100	0.41	32	0.026	0.64	40	0.025
200	0.82	63	0.023	1.28	79	0.023
300	1.23	95	0.022	1.91	119	0.023
400	1.63	127	0.022	2.55	158	0.022
500	2.04	158	0.021	3.19	198	0.022
600	2.45	190	0.021	3.83	237	0.022
700	2.86	222	0.021	4.47	277	0.022
800	3.27	253	0.021	5.11	317	0.022
900	3.68	285	0.021	5.74	356	0.021
1000	4.09	317	0.021	6.38	396	0.021
1100	4.49	348	0.020	7.02	435	0.021
1200	4.90	380	0.020	7.66	475	0.021
1300	5.31	412	0.020	8.30	515	0.021
1400	5.72	443	0.020	8.94	554	0.021
1500	6.13	475	0.020	9.57	594	0.021

