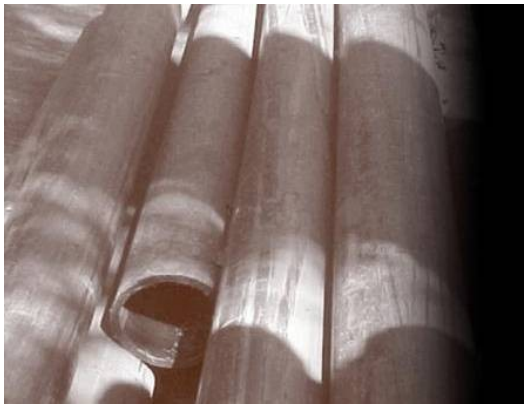


HIDRÁULICA DE CONDUTOS FORÇADOS

Profa. Cali Laguna Achon
email: cali@sc.usp.br

2014

Hidráulica 1 – SHS0409
HIDRÁULICA DOS CONDUTOS FORÇADOS

Sistemas Elevatórios – Curvas características

(Aula 13)

CONTEÚDO AULA 13

26/05/14

Sistemas Elevatórios ou de recalque

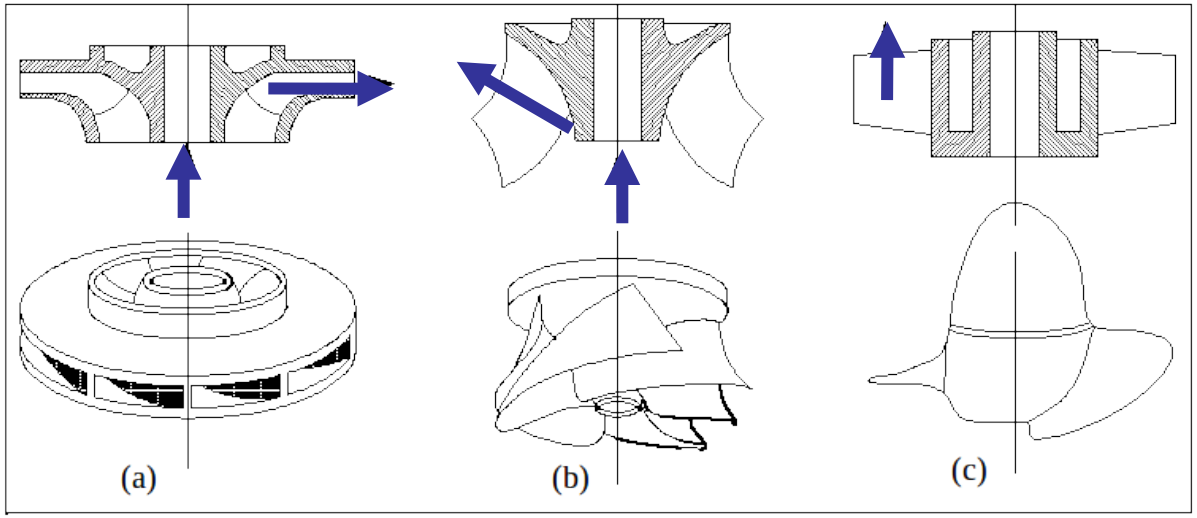
Hidráulica dos sistemas de recalque

- Bombas: tipos e características – rotação específica (5.5)
- Curvas características (associações de bombas e tubulações) (5.7)
- Escolha do conjunto motor-bomba (5.8)

2º Exercício Prático (**em sala**)-diâmetro econômico e bombeamento (entrega em 15 dias, junto com T2 dia 09/06/14)

SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

- Tipos de bombas → de acordo com a trajetória da água através do rotor:
  a) Bombas centrífugas ou de escoamento radial: para H grande e Q baixa.
  b) Bombas de escoamento misto ou diagonal: para H média.
  c) Bombas de escoamento axial: para Q alta e H baixa



Múltiplos estágios:

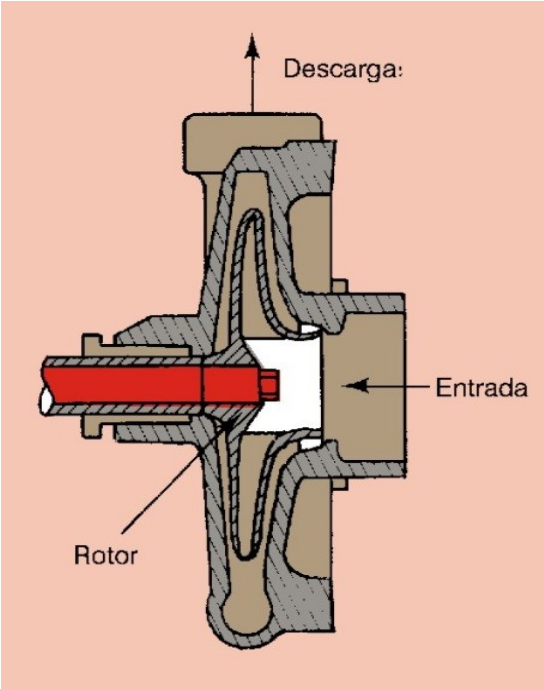
1 ou mais rotores em série

Bombas de poços

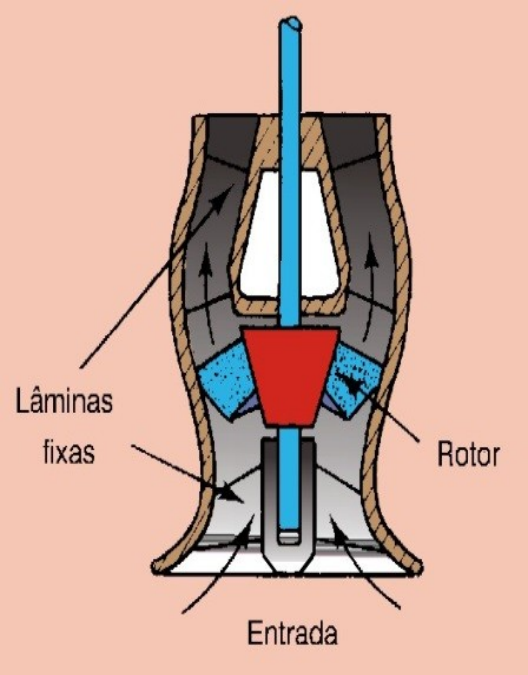
SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Bombas - Classificação segundo a Trajetória do Líquido no Rotor

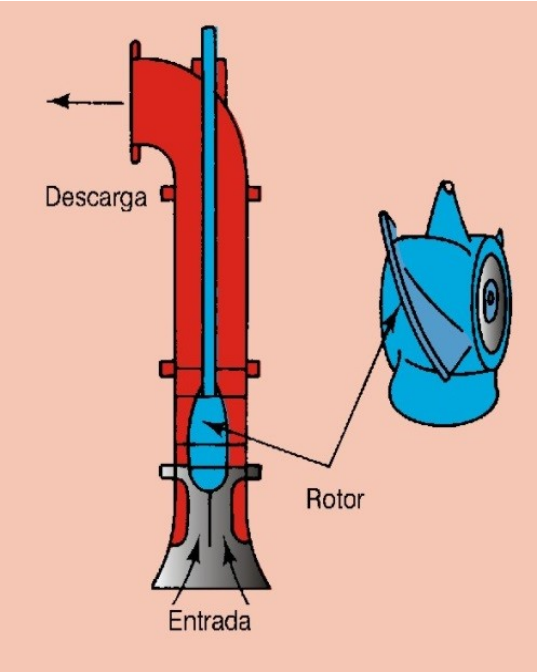
Bombas de fluxo radial



Bomba de fluxo axial



Bombas de fluxo misto

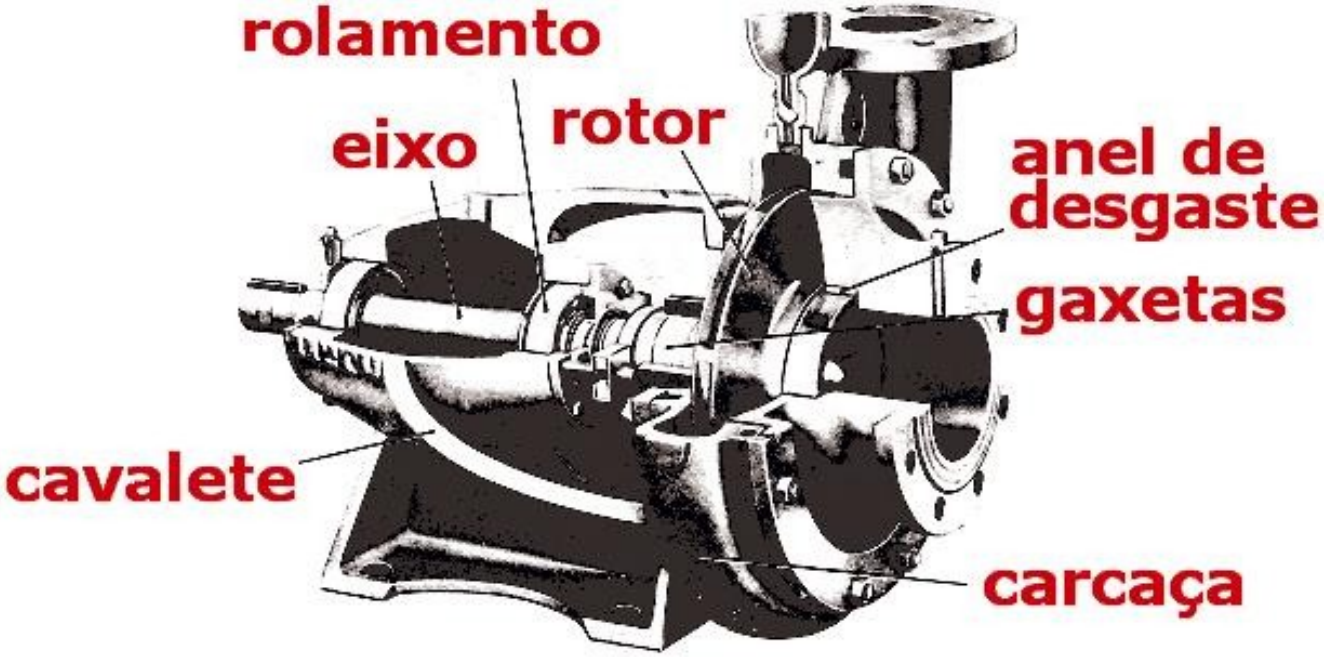


SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Principais Componentes das Bombas Centrífugas

Os principais componentes das bombas centrífugas são:

- Carcaça;
- Rotor;
- Vedação;
- Mancal.



Corte de uma bomba centrífuga horizontal de simples estágio

Tipo de Bomba – posição EIXO

Bomba de eixo horizontal.

Corte de uma bomba de eixo vertical.

Rotores

Foto: Schneider Moto bombas

Esquemas de rotores fechado (a), semi-aberto (b) e aberto (c).

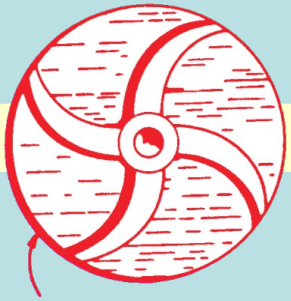
SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Bombas -Tipos de Rotores

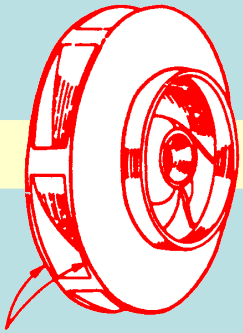
TIPOS DE ROTOR

Aberto

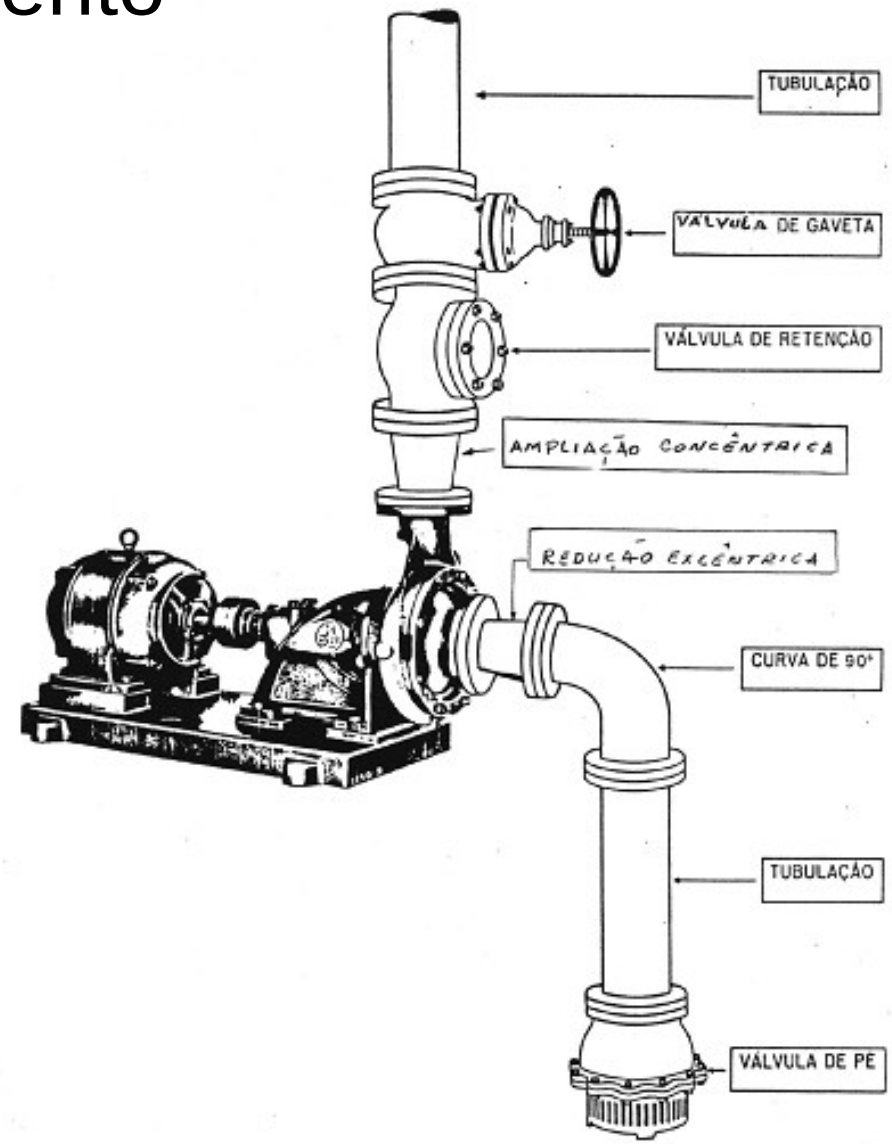
Semiaberto



Fechado



Peças especiais em uma instalação típica de bombeamento



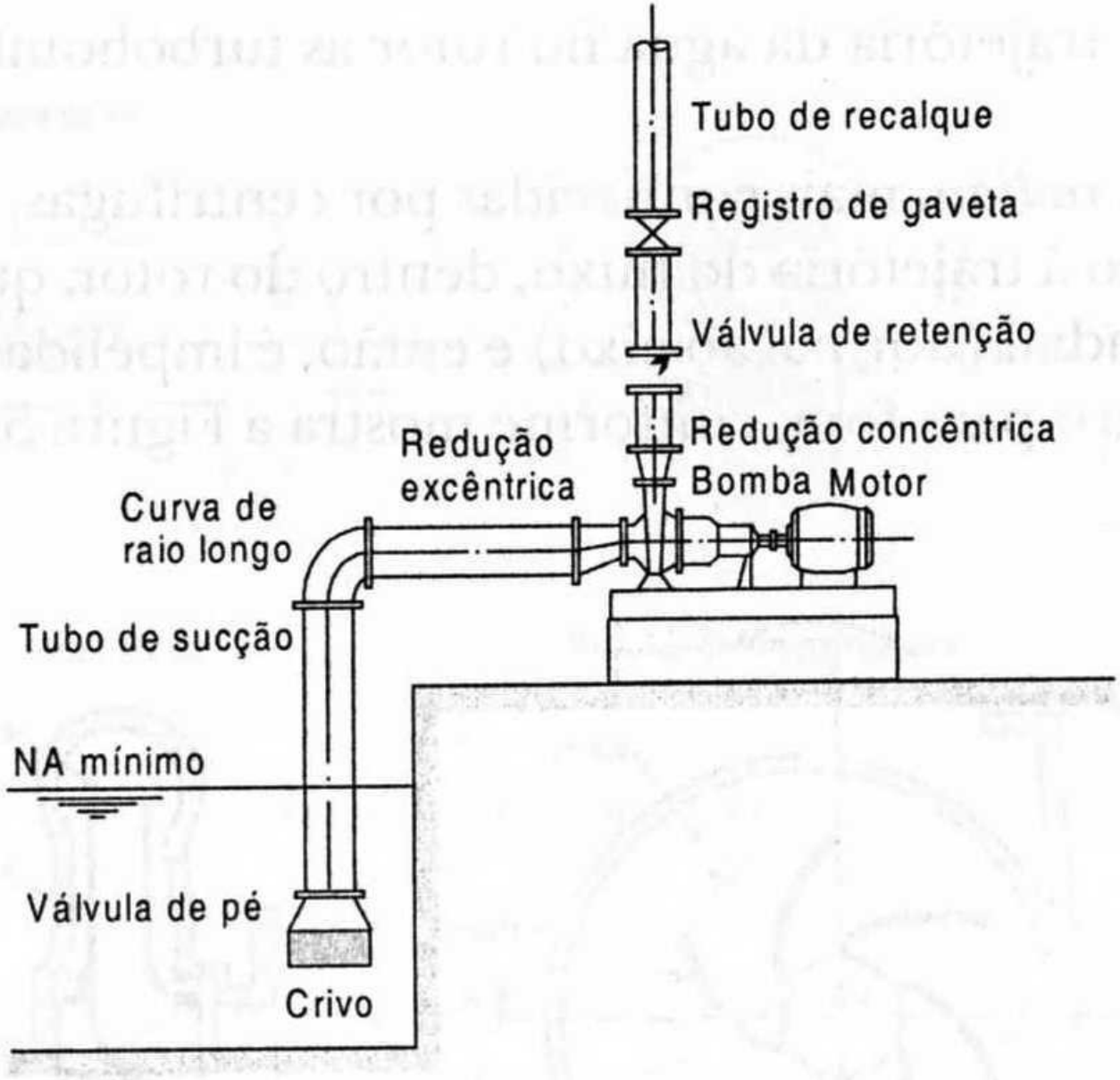
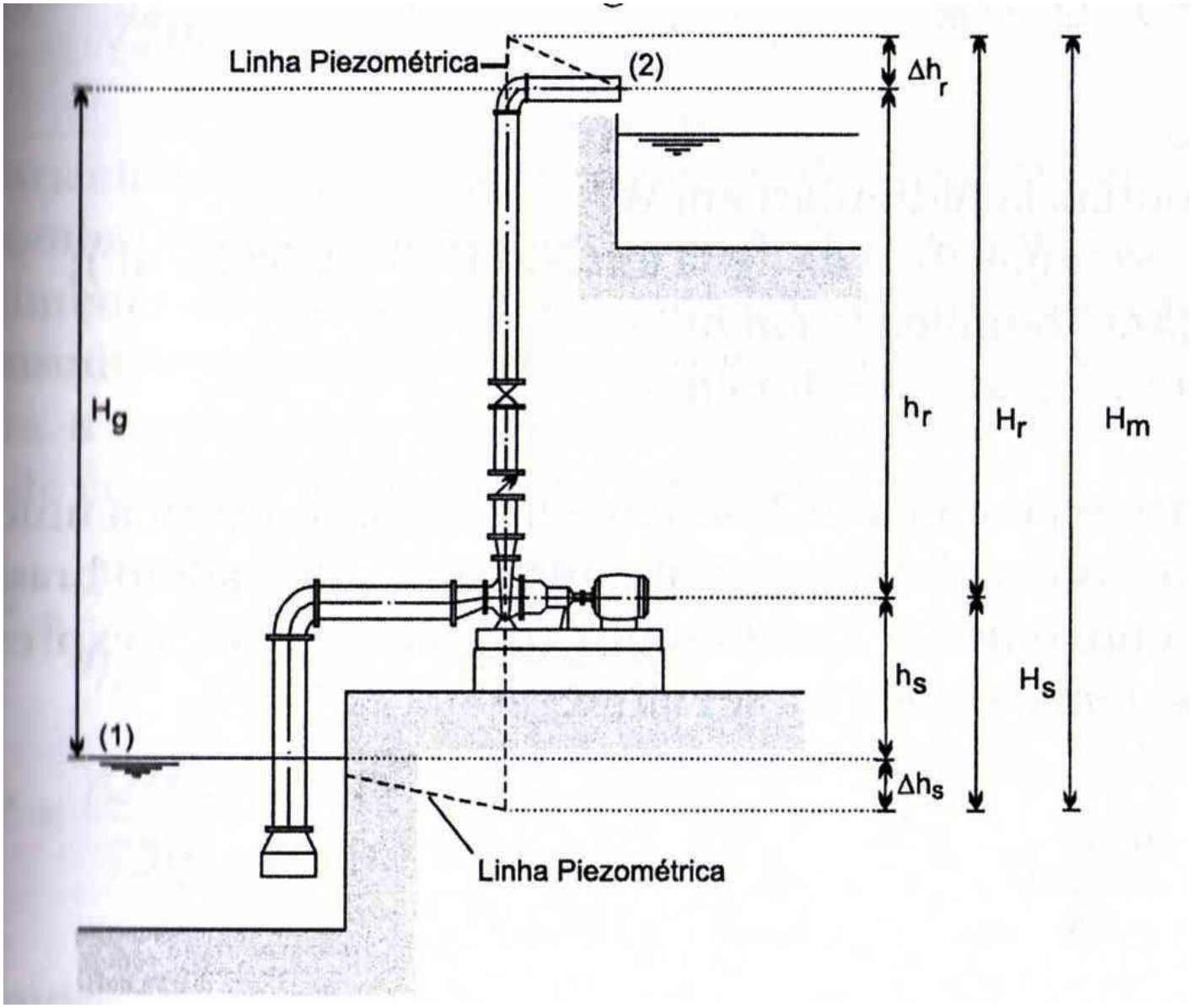


Figura 5.3. Esquema de uma instalação elevatória típica


Linha Piezométrica
(2)
Δh_r
H_g
h_r
H_r
H_m
h_s
H_s
(1)
Δh_s
Linha Piezométrica

SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

- Rotação específica: rotação em rpm de uma série de bombas geometricamente semelhantes que eleva uma unidade de vazão sob uma altura manométrica total unitária.

n é a rotação nominal (rpm)

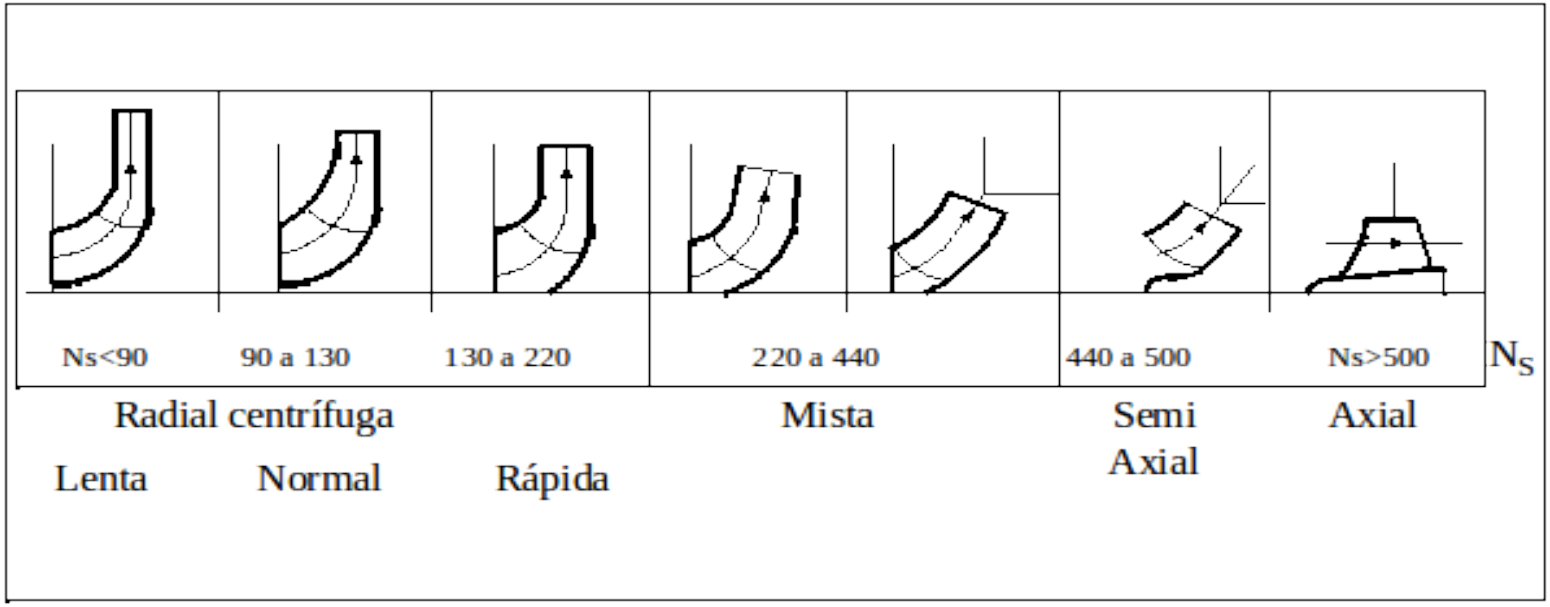
$$N_s = 3{,}65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

com n (rpm), Q (m^3/s) e H (m)

SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

- O valor de **N_s calculado no ponto de rendimento ótimo da bomba caracteriza a sua família** → Assim, **um grupo de bombas geometricamente semelhantes tem o mesmo valor de N_s**
- Para uma **mesma bomba → N_s não varia com sua rotação nominal n** → N_s é um parâmetro característico de uma família de bombas geometricamente semelhantes.

Valores de Ns típicos



SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Curva Característica de uma Bomba

Denomina-se ***curva característica:*** representação gráfica (parâmetros envolvidos funcionamento).

Os **fabricantes de bombas apresentam, nos catálogos**, curvas dimensionais:

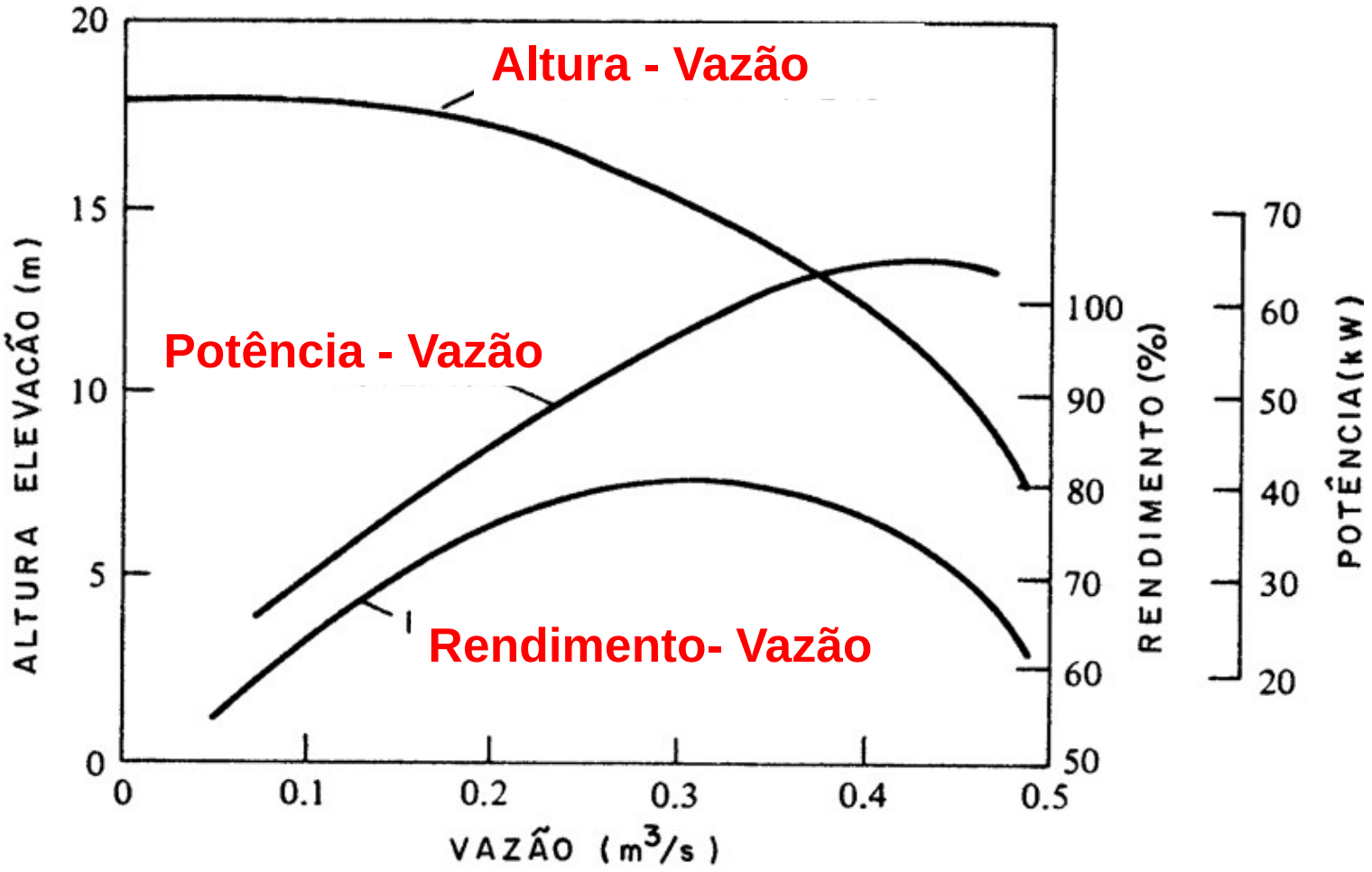
$H=f(Q)$;
$Pot=f(Q)$;
$\eta = f(Q)$.

As curvas características de uma bomba: obtidas **experimentalmente em um banco de ensaio (v**azão recalcada e a altura de elevação).

O conjunto dessas curvas é conhecido como ***Diagrama de Colina***.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Curva Característica de uma Bomba



SISTEMAS ELEVATÓRIOS

Relações Características nas Bombas de mesma família

Variação da rotação da bomba

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Variação do diâmetro do rotor **Dr**

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Dr_1}{Dr_2}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Dr_1}{Dr_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Dr_1}{Dr_2}\right)^5$$

Bombas

1. Determinar: Q e H (altura de total elevação=Hm)

2. Escolha do modelo: catálogo do fabricante de bombas *(atenção para a unidade de vazão)*

3. Curvas características do modelo de bomba escolhido: catálogo do fabricante (3 curvas)

   - H x Q (ϕrotor e η)
   - Pot x Q
   - NPSH x Q

Curva Característica da Tubulação (Sistema)

Então, Hm do sistema é:

$$Hm = H_G + KQ^2 \quad \text{(Eq. de Darcy)}$$

$$Hm = H_G + K'Q^{1,85} \quad \text{(Eq de H.W)}$$

Essas equações, quando representadas graficamente, tem o seguinte aspecto:

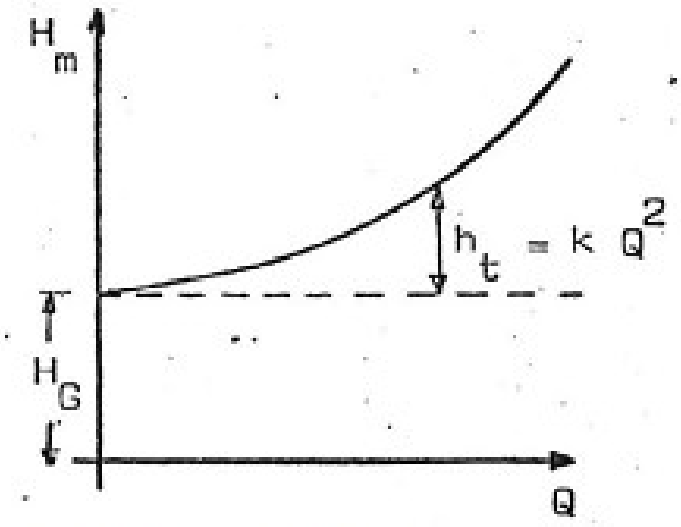
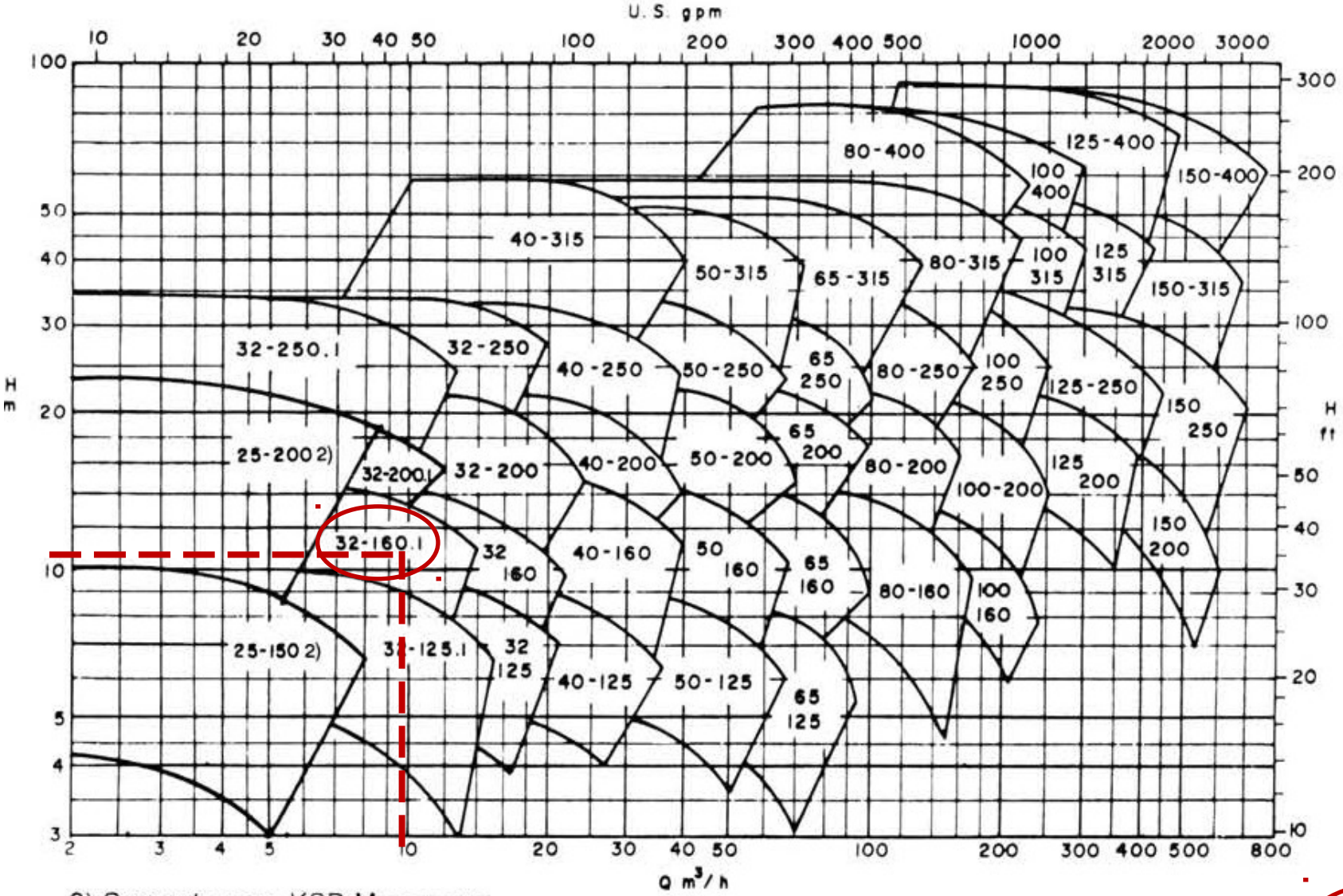


Figura 106 – Curva característica da tubulação.

Escolha do modelo da bomba

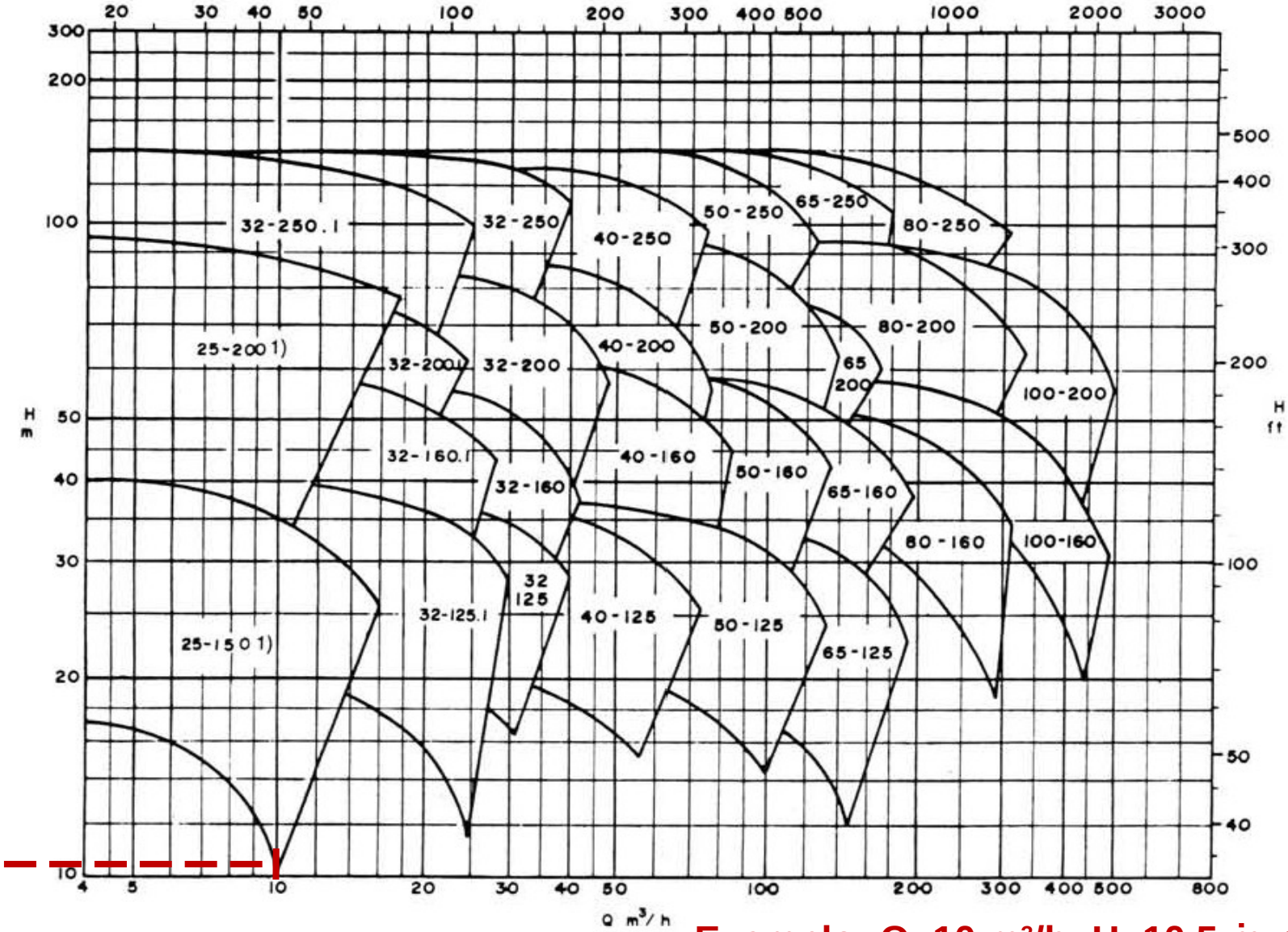


2) Somente para KSB Meganorm
2) Used only for KSB Meganorm
2) Aplicable sólo para las bombas KSB Meganorm

Exemplo: Q=10 m³/h; H=10,5 m

1750 rpm

Escolha do modelo da bomba

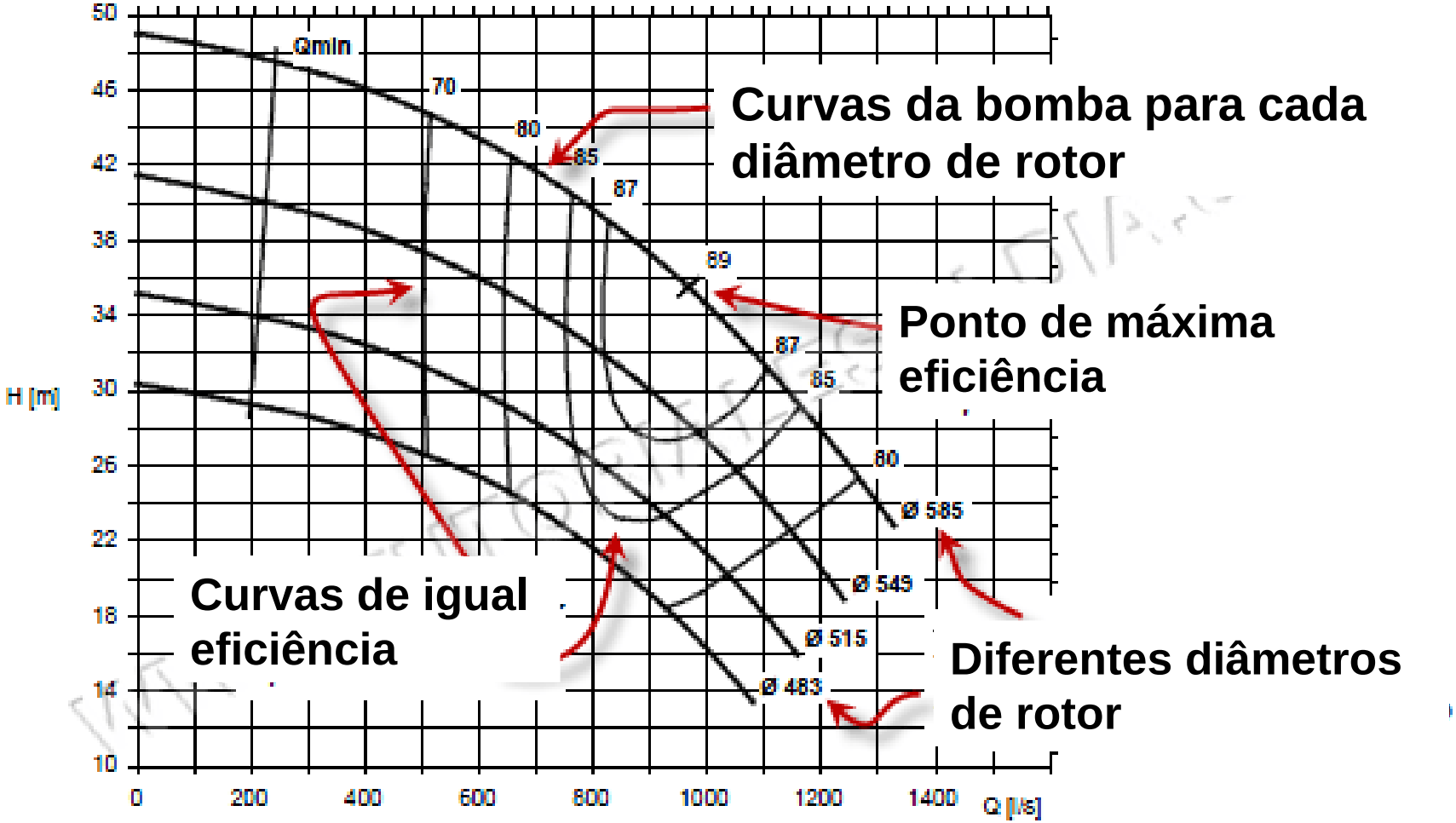


1) Somente para KSB Meganorm e MegaBloc
1) Used only for KSB Meganorm and MegaBloc
1) Aplicable sólo para las bombas KSB Meganorm y MegaBloc

Exemplo: Q=10 m³/h; H=10,5 m

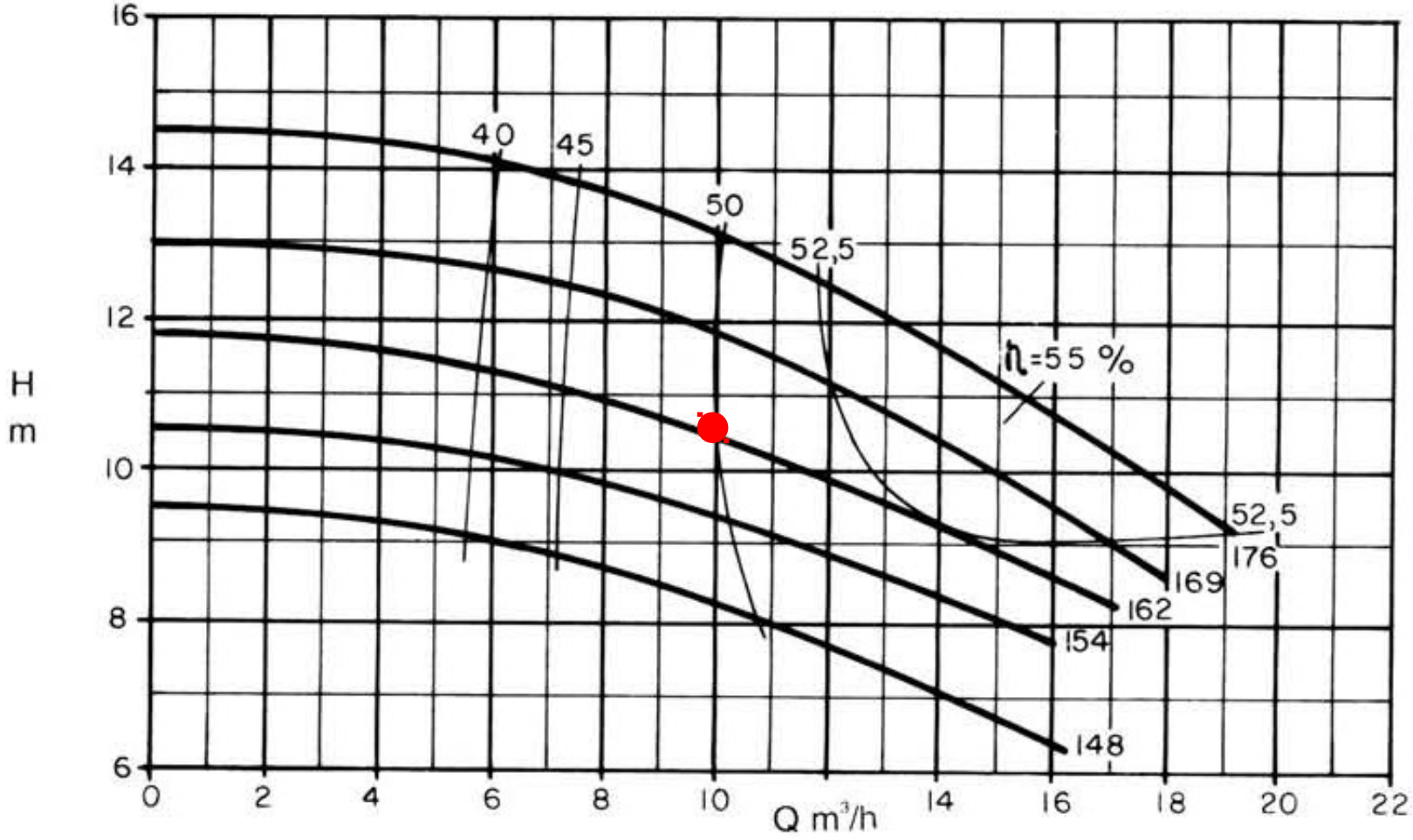
3500 rpm

Curva característica 1 do modelo: H e η x Q



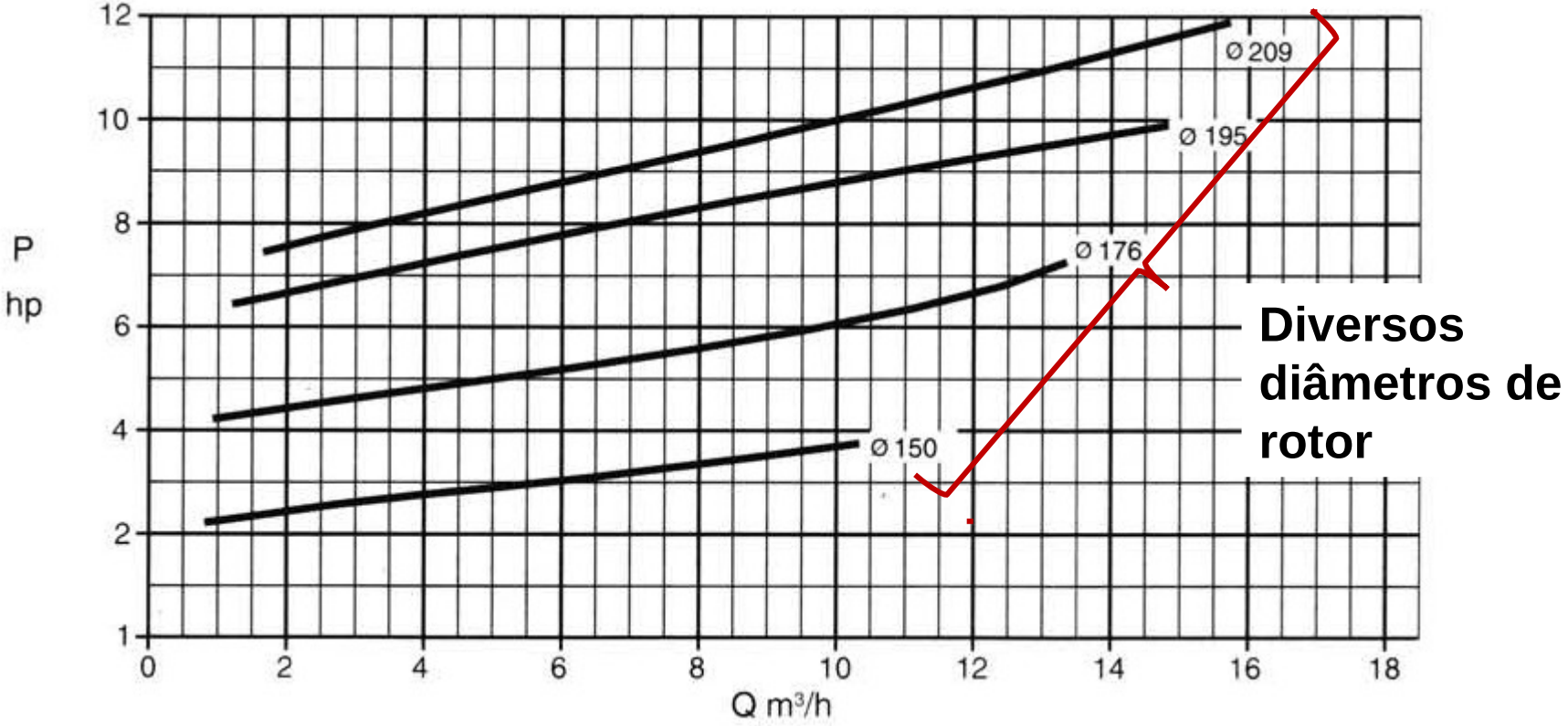
Exemplo: Q=10 m³/h; H=10,5 m

ϕrotor = 162 e η = 50%



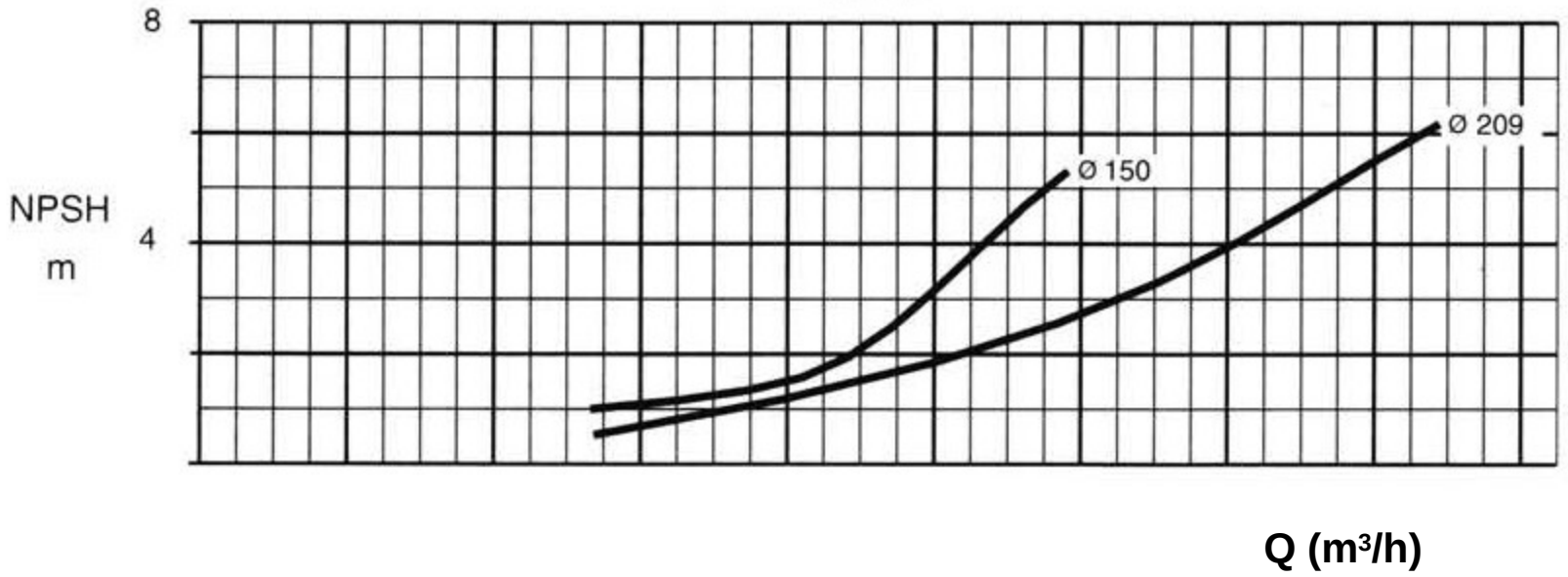
32-160 (bomba KSB MEGANORM modelo 32-160)

Curva característica 2 do modelo: P x Q



$$Pot = \frac{9{,}8 \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (em\ kW) \qquad Pot = \frac{10^3 \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (em\ cv)$$

Curva característica 3 do modelo: NPSH x Q



SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

- Curva característica de uma tubulação:

Para uma tubulação real (ou equivalente):

$\boxed{\Delta H = KQ^n} \rightarrow$ equação de resistência ao escoamento

$\Delta H \rightarrow$ perdas de carga distribuídas e localizadas na sucção e no recalque

Para elevação da água para um reservatório superior deve-se fornecer uma quantidade E de energia por meio da bomba:

$\boxed{E = H_g + KQ^n} \rightarrow$ curva característica de um sistema (tubulação real ou equivalente)

Conhecendo-se L, D e a rugosidade do tubo $\rightarrow$ pode-se traçar $E = f(Q)$

(para fórmula Universal $\rightarrow n = 2$)

$$\therefore H = \boxed{H_m = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r}$$

Curva Característica da Tubulação

Então, Hm do sistema é:

$$Hm = H_G + KQ^2 \quad \text{(Eq. de Darcy)}$$

$$Hm = H_G + K'Q^{1,85} \quad \text{(Eq de H.W)}$$

Essas equações, quando representadas graficamente, tem o seguinte aspecto:

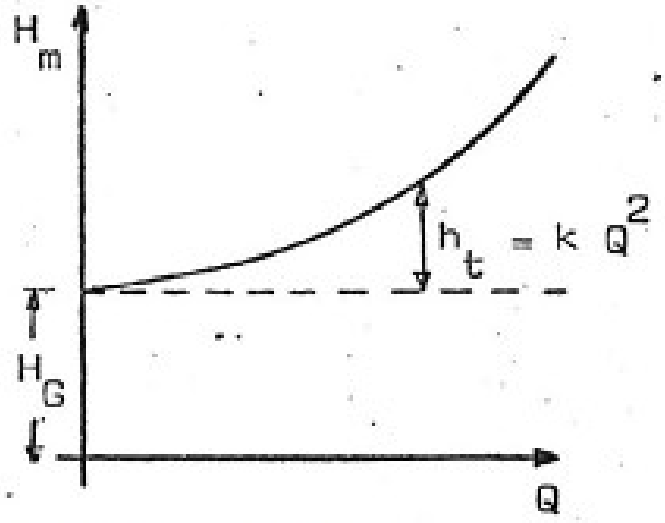


Figura 106 – Curva característica da tubulação.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

$$\therefore H = H_m = H_g + \Delta H_s + \Delta H_r$$

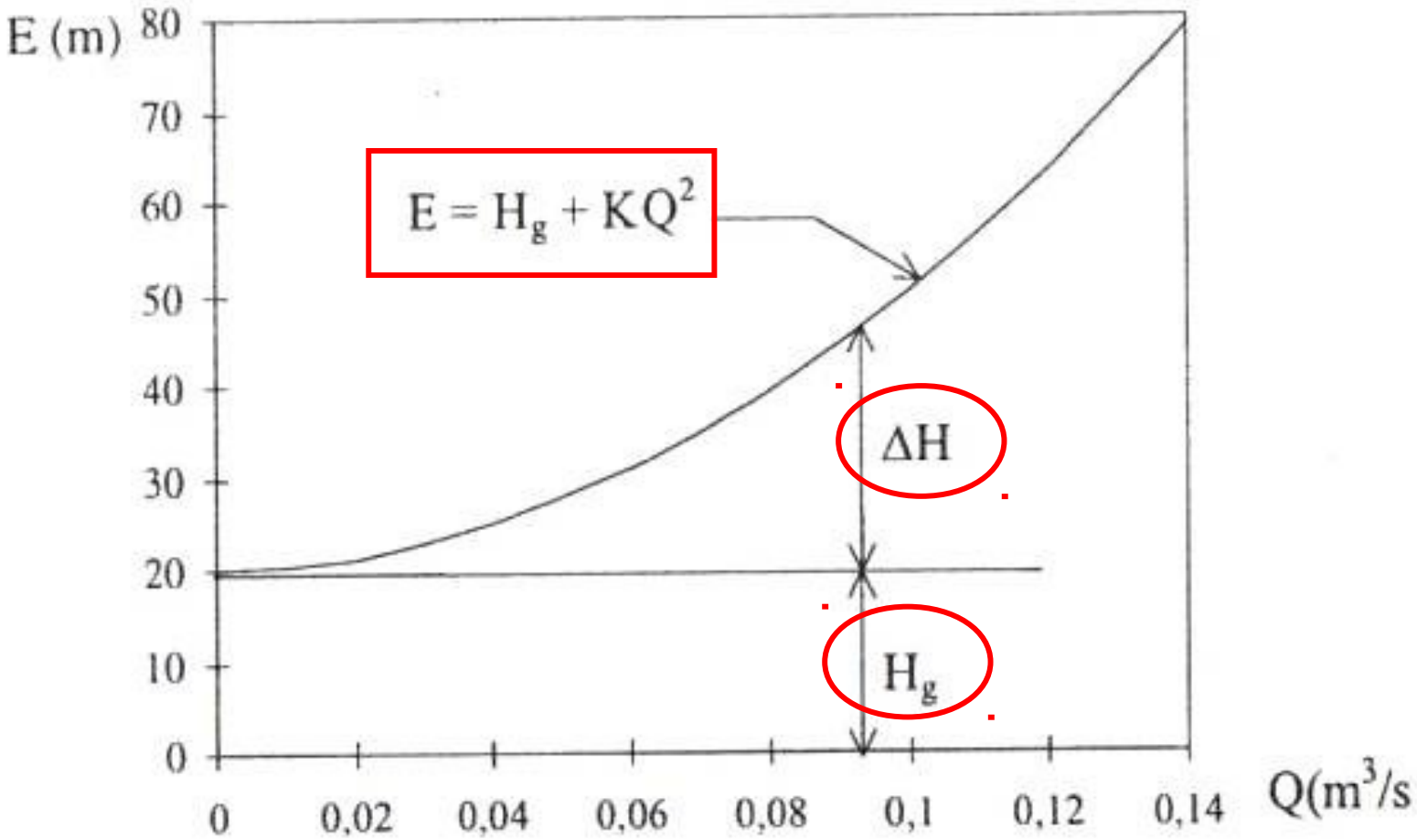


Figura 5.8 Curva característica de um sistema.

SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

- Ponto de operação ou ponto de funcionamento:
  - Cruzamento das curvas características H=f(Q) da bomba com E=f(Q) da tubulação, nas proximidades do ponto “ótimo” da bomba (maior rendimento) e de menor custo da tubulação

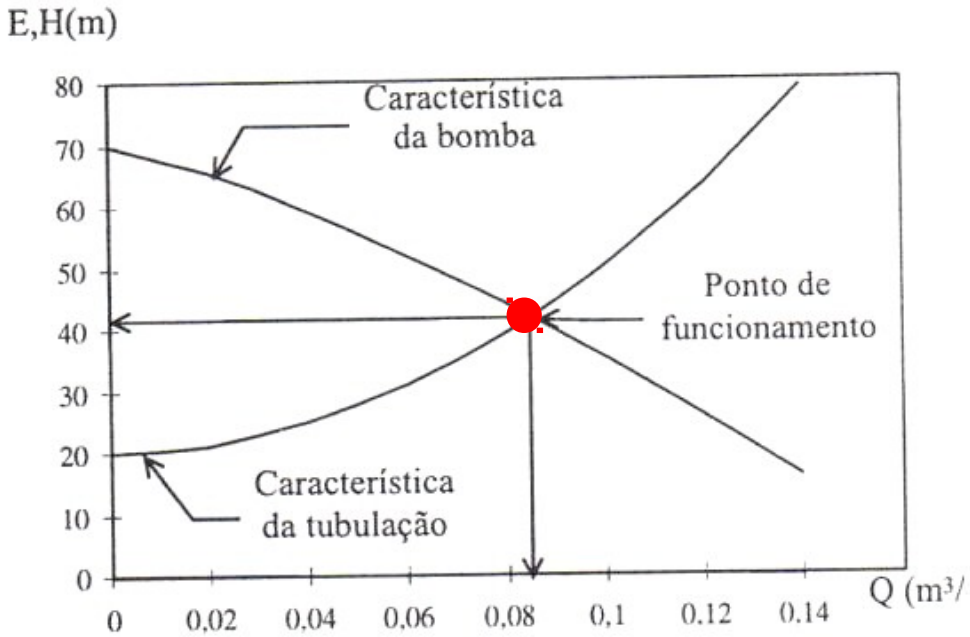


Figura 5.9 Determinação gráfica do ponto de funci namento de uma bomba.

Ponto de Funcionamento do Sistema

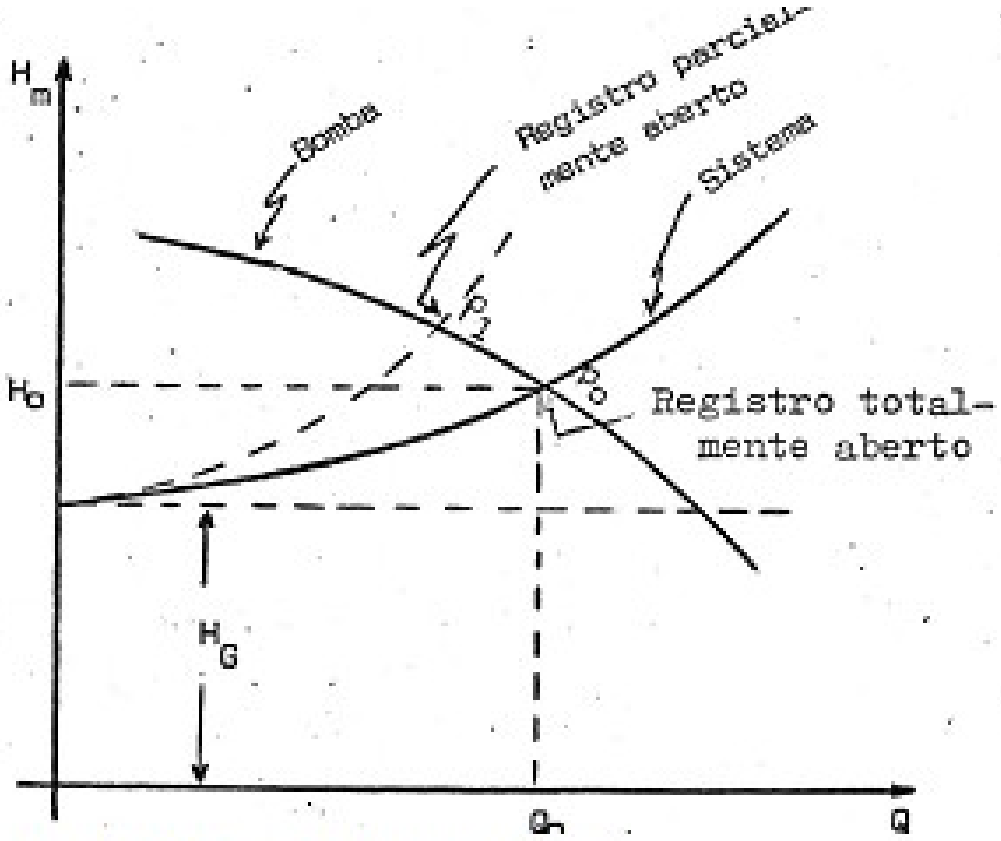


Figura 107 – Ponto de funcionamento do sistema.

Associação de tubulações

- Sistemas de tubulações em série e paralelo:
  - Série → mesma Q e soma-se ΔH de cada trecho:

$$E = H_g + \sum_{i=1}^{N} K_i Q^n$$

N → número de trechos em série com características diferentes (L, D ou rugosidade)

  - Paralelo→ soma-se Q e ΔH é o mesmo → adotar procedimento gráfico: traçar as curvas E=f(Q) para cada tubulação e somar as abscissas (Q):

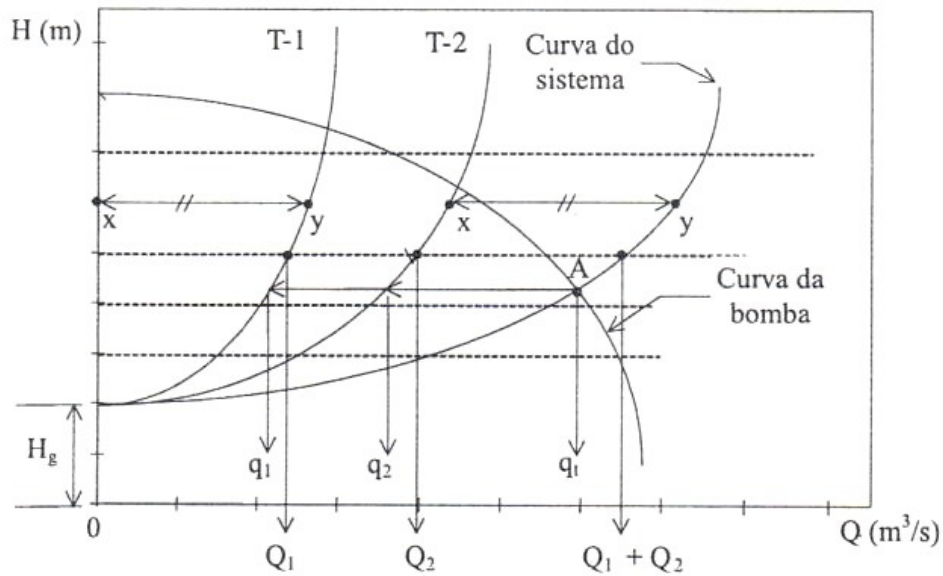


Figura 5.10 Associação de duas tubulações em paralelo.

Associação de Bombas

- Bombas em série e paralelo:
  - Série → quando H é muito grande → Q é a mesmo e <u>soma-se H</u>
  - Paralelo → quando Q é muito grande → H é a mesma e <u>soma-se Q</u>

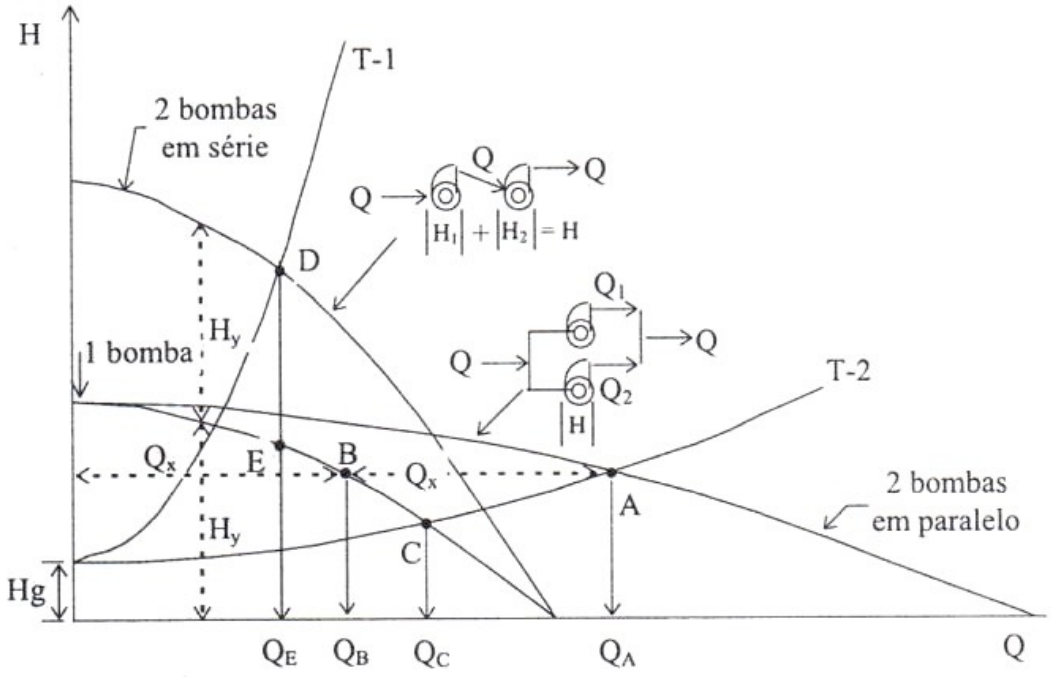


Figura 5.12 Operação de duas bombas iguais em série e em parale

ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS EM UM SISTEMA ELEVATÓRIO

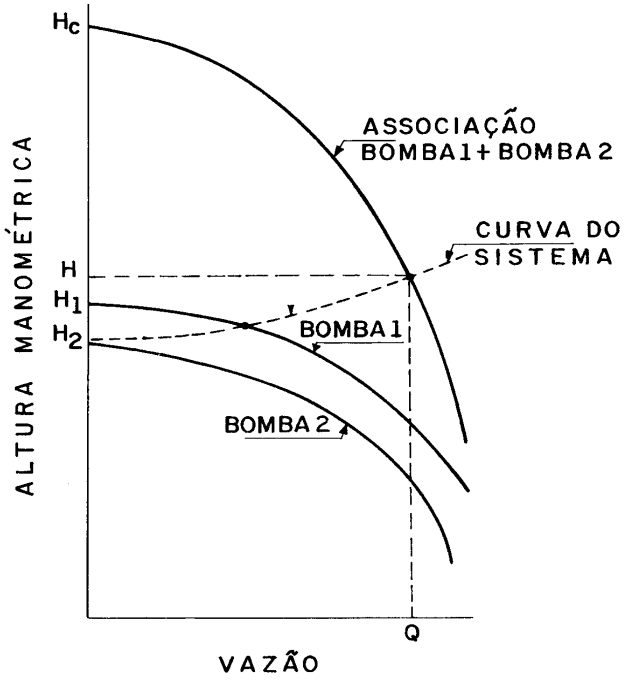


Figura: Associação de 2 bombas em série

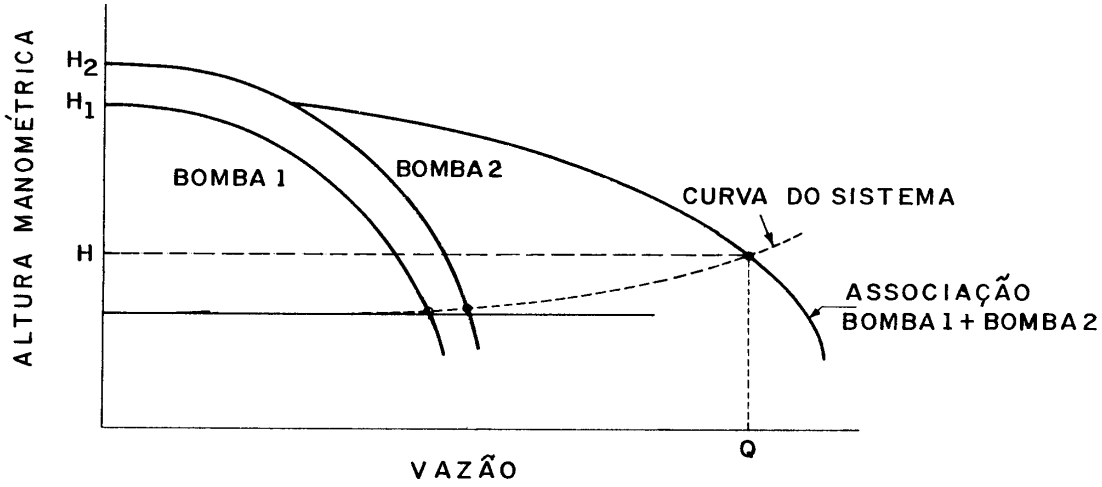


Figura: Associação de 2 bombas em paralelo

SISTEMAS ELEVATÓRIOS - BOMBAS

- Instalação, utilização e manutenção: ler subitem 5.8.1 pág. 149 do livro.

- Ver exemplos: 5.3 (pág. 142) e 5.4 (pág. 146) e 5.5 (pág. 151)

Aplicação

2º Exercício Prático

Vale NOTA: Entrega em 15 dias, *junto com T2 dia 09/06/14*

2º Exercício Prático (em sala)

O esquema de reservatórios e **instalação de bombeamento**, mostrado em anexo, faz parte do anteprojeto do sistema de abastecimento de água do campus USP - São Carlos, localizado no setor sul, junto à creche. As tubulações de sucção e recalque serão de aço galvanizado (C=130 ou ε = 0,15 mm). As vazões de recalque para cada grupo de alunos são as seguintes

Grupo	1	2	3	4	5	6
Q (l /s)	26,70	18,50	11,83	6,665	4,62	3,00

O sistema de bombeamento deverá operar durante 6 horas por dia. **Determinar:**

a) O **diâmetro de recalque** pela expressão recomendada pela ABNT (NBR-5626). Escolha para <u>diâmetro de sucção</u> o diâmetro comercial imediatamente superior ao de recalque. Esta prática é comumente utilizada com o objetivo de diminuir as perdas de carga na sucção, para se prevenir contra a possibilidade de ocorrência de cavitação.

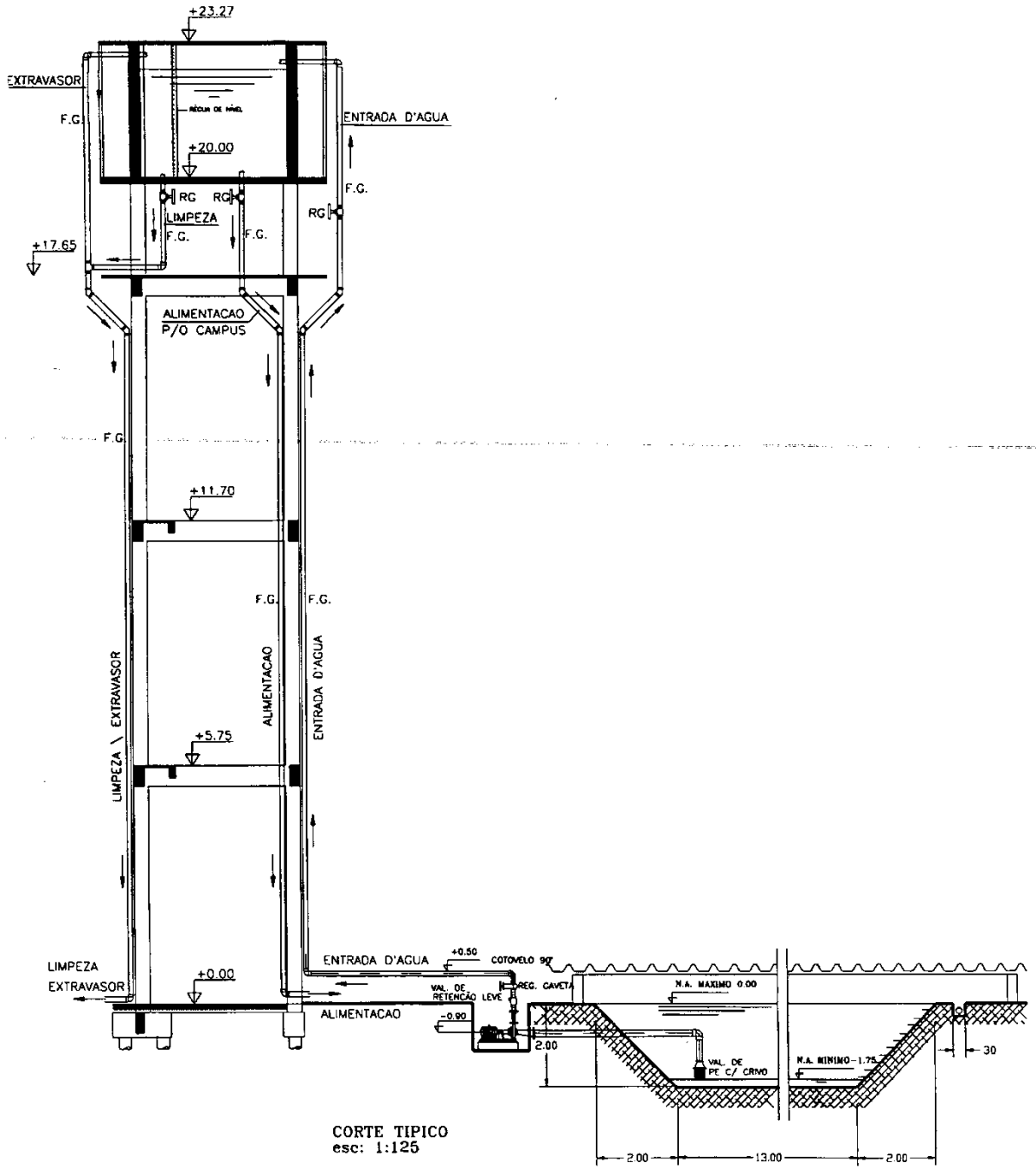
b) A **altura manométrica do sistema**, utilizando a equação de Hazen-Williams e também pela fórmula universal de perda de carga.

c) A **potência necessária á bomba** nos dois casos anteriores, assumindo um rendimento prévio de 70%.

d) A **potência do motor elétrico** necessário, pela adoção de uma **folga (*VER Tabela no final do EXEMPLO 5.5 – pag 153)*** sobre a potência da bomba determinada no item anterior.

e) Para a rotação de 1750 r.p.m. (preferencialmente), **escolha** em alguns **catálogos de fabricantes de bombas**, uma que se adeque ao problema, indicando o ponto de funcionamento (Q, Hman, η e Pot), diâmetro do rotor, diâmetro da sucção e do recalque, tipo e modelo da bomba.

f) Com os valores de rendimento e potência finais, **extraídos do catálogo**, dimensione a **potência do motor elétrico**, verifique e compare os valores dos **itens c e e.**



CORTE TIPICO
esc: 1:125

Obrigada!