UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

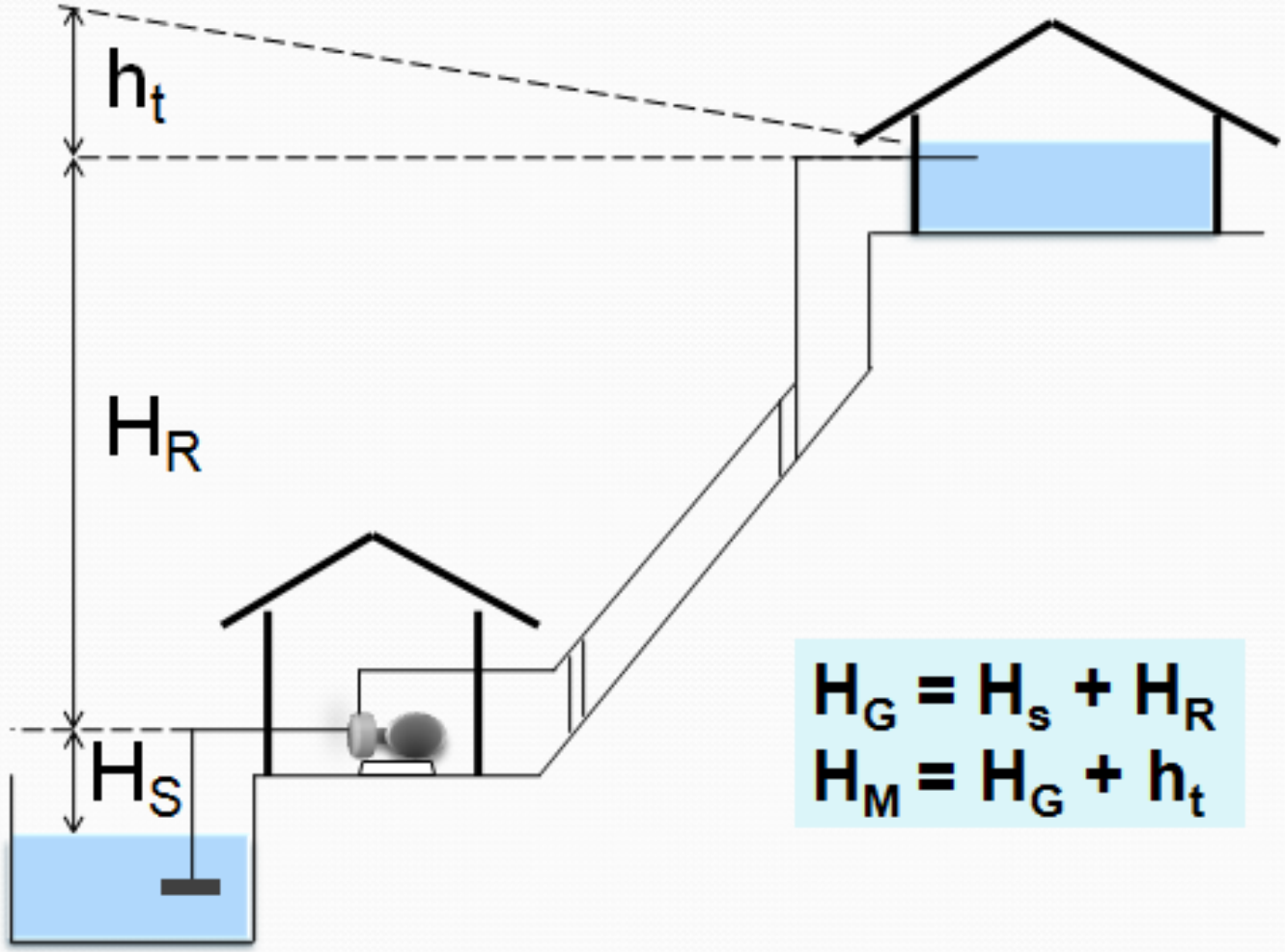
CENTRO DE ENGENHARIAS

curso de ENGENHARIA CIVIL UFPel

DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÃO DE BOMBEAMENTO

Prof. Hugo Alexandre Soares Guedes
E-mail: hugo.guedes@ufpel.edu.br
Website: wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/

INSTALAÇÃO DE BOMBEAMENTO



$$H_G = H_s + H_R$$
$$H_M = H_G + h_t$$

DIMENSIONAMENTO

Dados conhecidos:

- População: 500 habitantes;
- Quota diária *per capta*: 200 $L.hab^{-1}.dia^{-1}$;
- Desnível de sucção: 4,0 m;
- Tubulação: PVC (C = 140);
- Jornada de trabalho da bomba: 8 $h.dia^{-1}$;
- Comprimento da tubulação de sucção: 10,0 m;
- Comprimento da tubulação de recalque: 300 m;
- Coeficiente de reforço (k_1k_2): 1,25; e
- Desnível de recalque: 11,5 m.

Peças especiais:

Tubulação de sucção:

- 1 válvula de pé; e

-1 curva de 90º.

Tubulação de recalque:

- 2 curvas de 90º;

- 2 curvas de 45º;

- 1 válvula de gaveta;

- 1 válvula de retenção; e

- Saída livre.

DIMENSIONAMENTO

- **Tubulação de Sucção**

Peças	Comprimento (m)
tubos retos	10
1 válvula de pé	25
1 curva de 90º	1,4
Comprimento virtual (L_V)	36,4

- **Tubulação de recalque**

Peças	Comprimento (m)
tubos retos	300
2 curvas de 90º (2 x1,3)	2,6
2 curvas de 45º(2 x 0,7)	1,4
1 válvula de gaveta	0,8
1 válvula de retenção	7,1
Saída livre	3,3
Comprimento virtual (L_V)	315,20

Diâmetro D		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tes 90° Passagem Direta	Tes 90° Saída de Lado	Tes 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canali-zação	Válvula de pé e crivo	Válvula de Retenção		Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro Angulo Aberto
													Tipo Leve	Tipo Pessado			
mm																	
pol.																	
20	(1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	(3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	(1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	3,8	15,0	0,3	8,4
40	(1 ¼)	2,0	1,0	0,7	0,5	4,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	(1 ½)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	(2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	(2 ½)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,3	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	18,0
85	(3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	(4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,7	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	15,0	42,3	1,0	22,1
140	(5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
160	(6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,6	11,1	11,1	3,6	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

DIMENSIONAMENTO

a) Cálculo dos diâmetros das tubulações de sucção e recalque:

- **VAZÃO**

$$Q_1 = \frac{nk_1k_2q}{86400}$$

$$Q_1 = \frac{500.1{,}25.200}{86400} = 1{,}45\ Ls^{-1}$$ (Vazão Contínua)

$$Q = \frac{24}{8}Q_1$$ (Vazão intermitente)

$$Q = \frac{24}{8}.1{,}45 = 4{,}35\ Ls^{-1}$$ (Vazão da bomba)

DIMENSIONAMENTO

a) Cálculo dos diâmetros das tubulações de sucção e recalque:

$$D_R = 1{,}3\left(\frac{T}{24}\right)^{0{,}25}\sqrt{Q}$$ (FÓRMULA DA ABNT)

$$D_R = 1{,}3\left(\frac{8}{24}\right)^{0{,}25}\sqrt{0{,}00435}$$

D_R = 0,065 m = 65 mm (diâmetro não comercial)

D_R = 60 mm (diâmetro comercial inferior)
D_S = 75 mm (diâmetro comercial superior)

Como: Q = AV
V_R = 1,54 $m.s^{-1}$ <2m/s OK! [velocidades econômicas]
V_S = 0,98 $m.s^{-1}$ <1m/s OK!

DIMENSIONAMENTO

b) Cálculo da altura manométrica (H_m):

$$H_m = H_G + h_t = (H_S + h_{tS}) + (H_R + h_{tR})$$

- **Tubulação de Sucção**

Peças	Comprimento (m)
tubos retos	10
1 válvula de pé	25
1 curva de 90º	1,4
Comprimento virtual (L_V)	36,4

$$h_{tS} = \frac{10{,}646 Q^{1{,}852} L_{VS}}{C^{1{,}852} D_S^{\ 4{,}87}} = \frac{10{,}646 (0{,}00435)^{1{,}852} 36{,}4}{140^{1{,}852} 0{,}075^{4{,}87}} = 0{,}53 m$$

$H_{mS} = H_S + h_{tS} = 4{,}0 + 0{,}53 =$ **4,53 m**

DIMENSIONAMENTO

b) Cálculo da altura manométrica (H_m):

- **Tubulação de Recalque**

Peças	Comprimento (m)
tubos retos	300
2 curvas de 90º (2 x1,3)	2,6
2 curvas de 45º(2 x 0,7)	1,4
1 válvula de gaveta	0,8
1 válvula de retenção	7,1
Saída livre	3,3
Comprimento virtual (L_V)	315,20

$$h_{tR} = \frac{10{,}646 Q^{1{,}852} L_{VR}}{C^{1{,}852} D_R^{\ 4{,}87}} = \frac{10{,}646 (0{,}00435)^{1{,}852} 315{,}20}{140^{1{,}852} 0{,}060^{4{,}87}} = 13{,}5 m$$

$H_{mR} = H_R + h_{tR} = 11{,}5 + 13{,}5 =$ **25,0 m**

$H_m = 4{,}53 + 25{,}0 = 29{,}53$ m → **H_m = 30 m**

DIMENSIONAMENTO

- **Ponto de projeto:** **Hm = 30 m**
  Q = 4,35 $L.s^{-1}$ = 15,66 $m^3.h^{-1}$

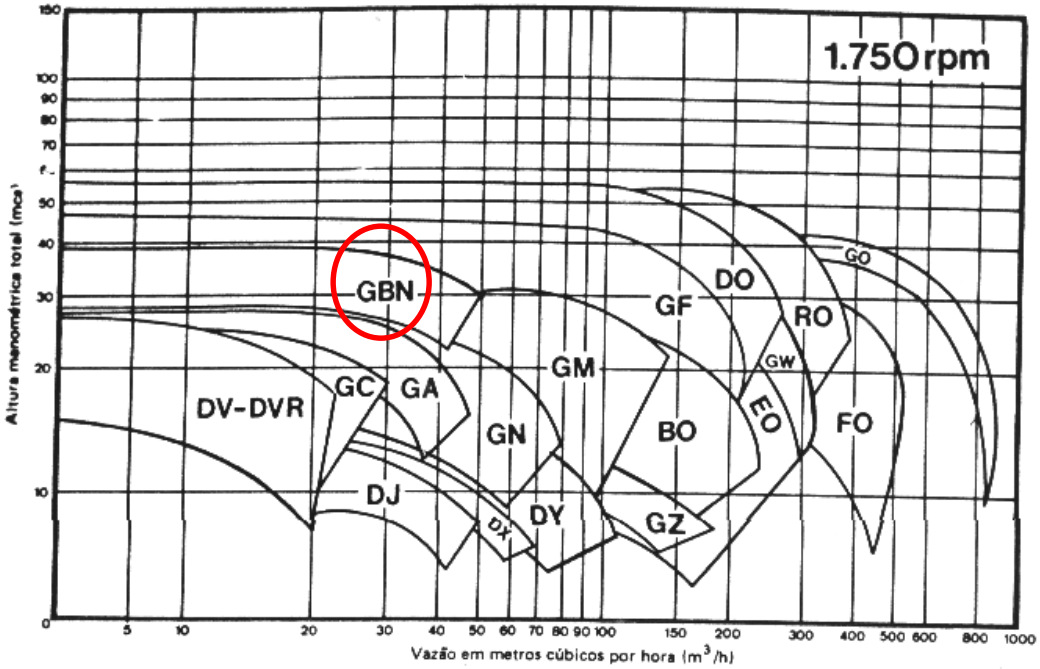
- **Catálogo Mark Peerless**

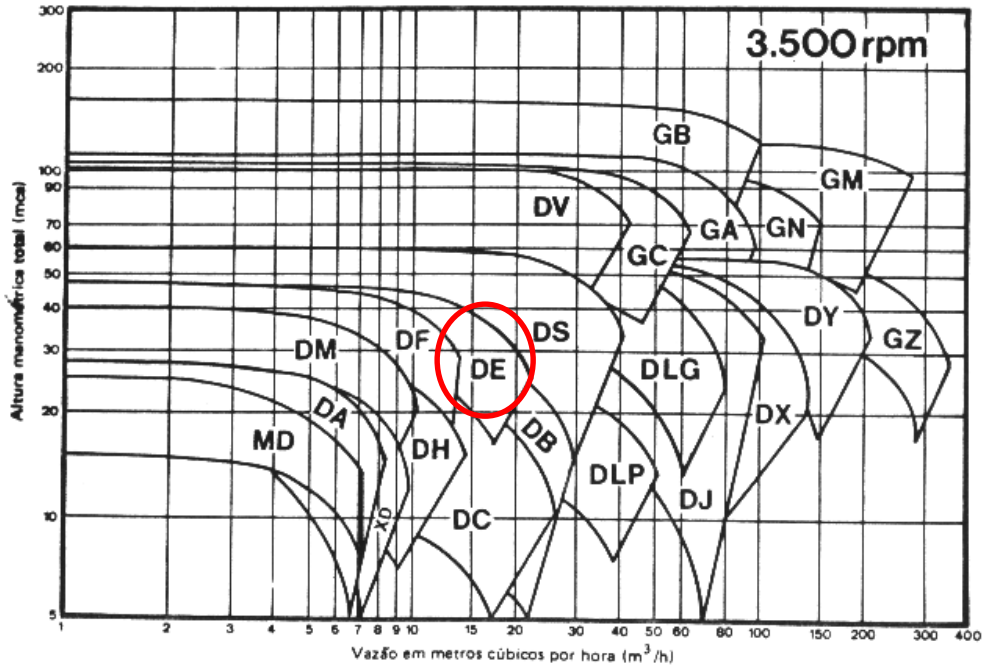
→ **Diagrama de cobertura hidráulica**

Diagrama de Cobertura Hidráulica

Hm = 30 m

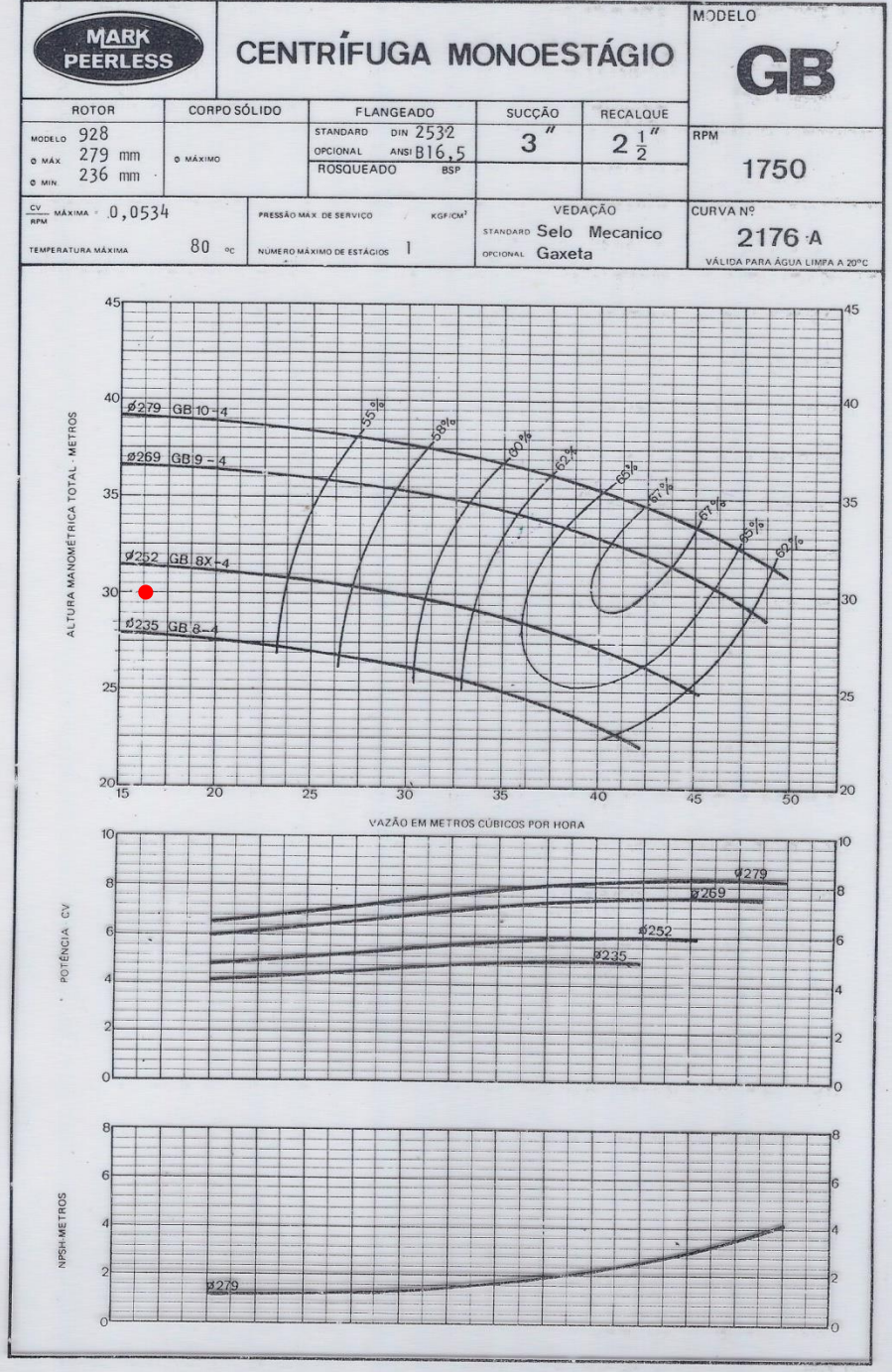
Q = 15,66 $m^3.h^{-1}$





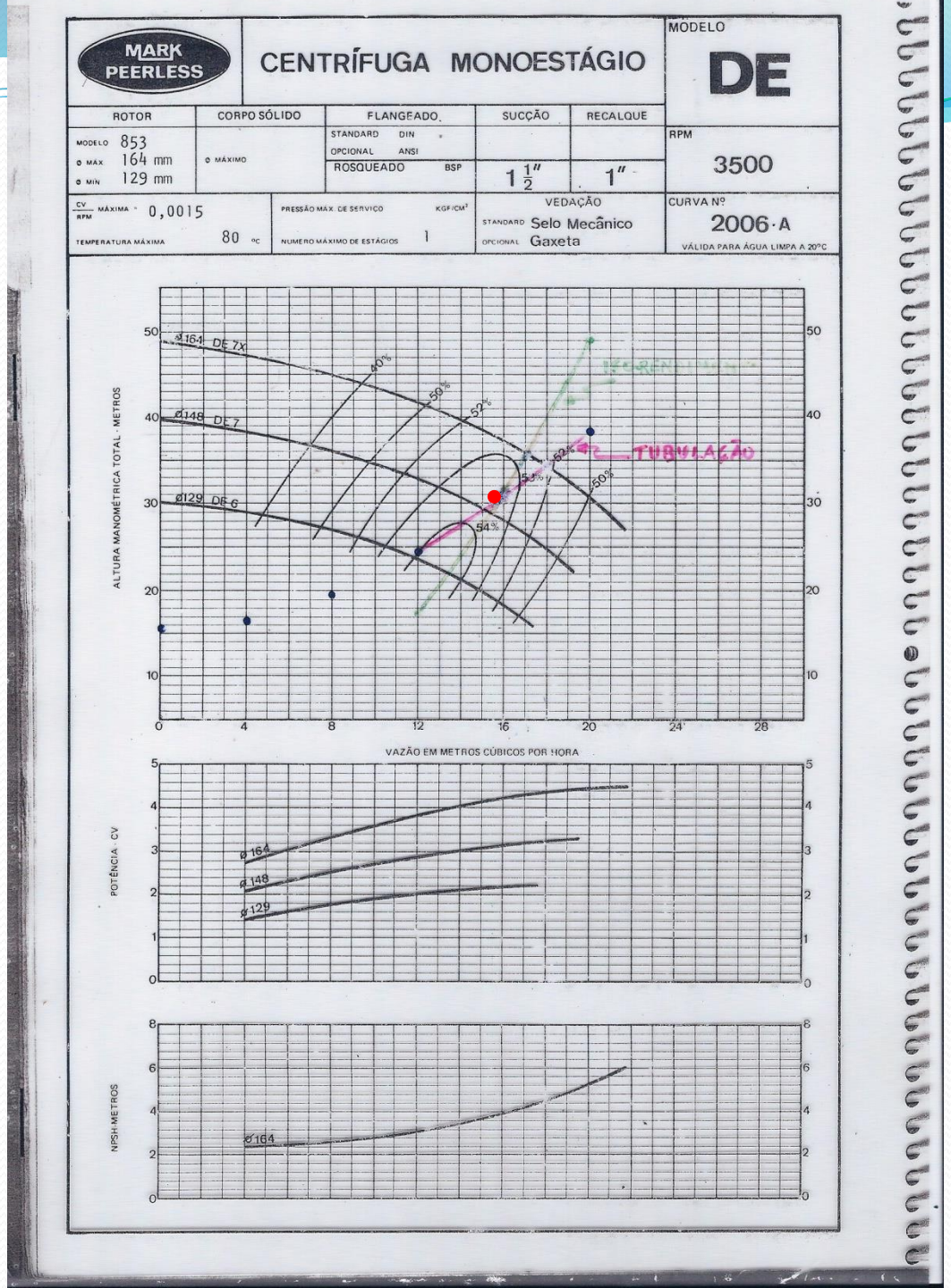
Hm = 30 m

Q = 15,66 $m^3.h^{-1}$



Hm = 30 m

Q = 15,66 $m^3.h^{-1}$



DIMENSIONAMENTO

c) Seleção da bomba

- Modelo GB: D = 252 mm

$n = 1750$ rpm

$\eta = 35$ a 40%

- Modelo DE: D = 164 mm

$n = 3500$ rpm

$\eta = 53{,}5\%$

c.1) Adotar a bomba cuja curva característica se situa imediatamente acima do ponto de projeto

c.2) Adotar o ponto de projeto ($Q = 15{,}66\ m^3.h^{-1}$; $H_m = 30$ m) e encontrar a curva característica que passa por esse ponto.

DIMENSIONAMENTO

d) Cálculo da potência do motor (N)

d.1) Considerando a curva situada acima do ponto de projeto

- Obtenção do novo ponto de funcionamento
- Traçado da C.C. da tubulação

$H_m = H_G + KQ^2$ (fórmula Universal)

$H_m = H_G + K'Q^{1,852}$ (fórmula de Hazen-Williams)

$30 = 15,5 + K'(15,66)^{1,852}$

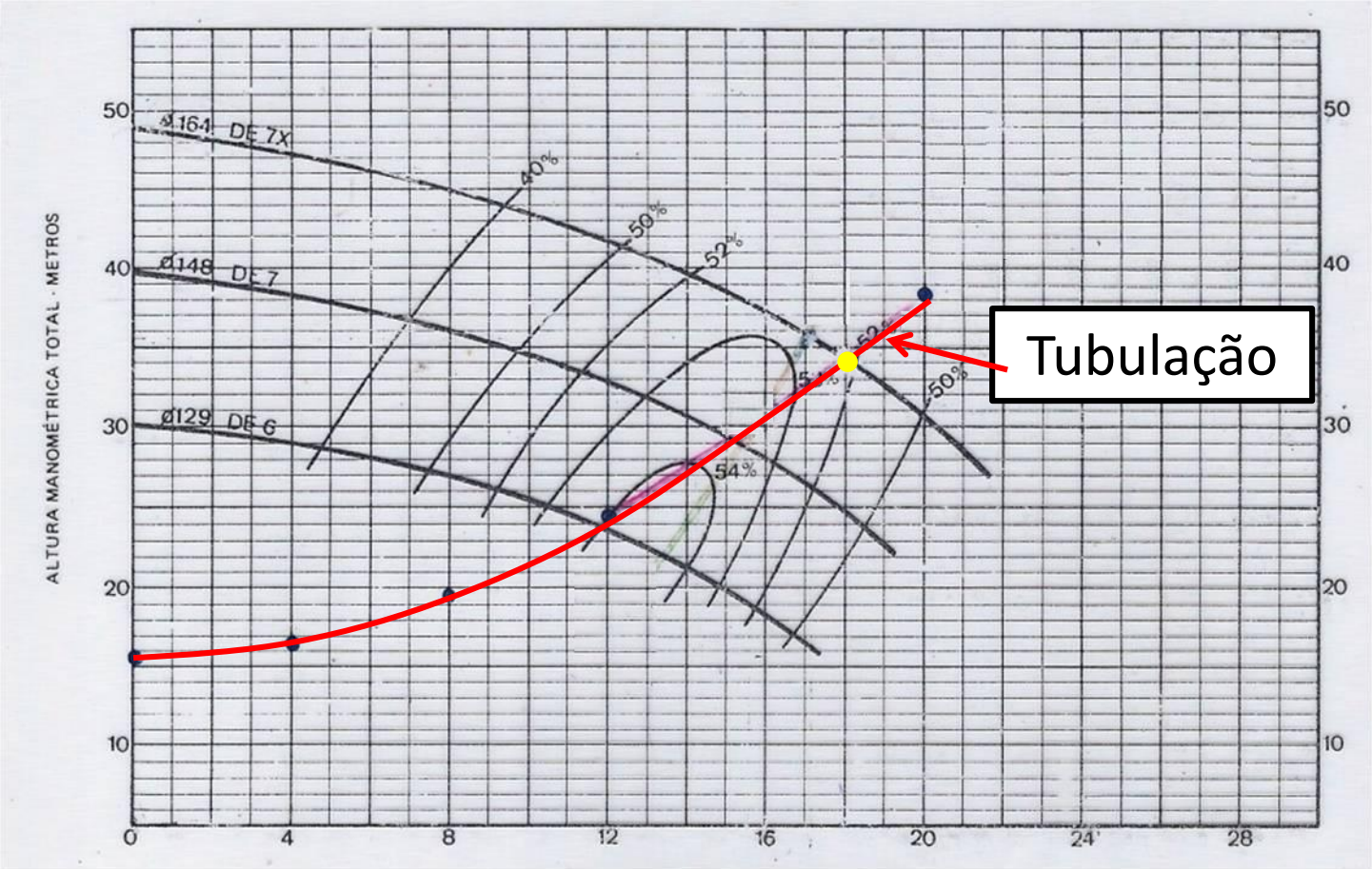
$K' = 0,08884$

$Hm = 15,5 + 0,08884Q^{1,852}$ Q em $m^3.h^{-1}$; H_m em m

DIMENSIONAMENTO

$Hm = 15,5 + 0,08884Q^{1,852}$ Q em $m^3.h^{-1}$; H_m em m

Q (m^3h^{-1})	0	4	8	12	16	20
H_m (m)	15,5	16,6	19,7	24,3	30,6	38,3



DIMENSIONAMENTO

Novo ponto de funcionamento:

$Q = 18\ m^3h^{-1}$

$H_m = 34\ m$

$\eta = 52\%$

$$Pot_B = \frac{\gamma Q H_m}{75\eta} = \frac{1000.18.34}{3600.75.0{,}52} = 4{,}36cv$$

N = 1,30.4,36 = 5,67 cv

→ Motor elétrico comercial = **6,0 cv**

DIMENSIONAMENTO

- MOTORES A ÓLEO DIESEL $\Rightarrow$ Folga = 25%
- MOTORES A GASOLINA $\Rightarrow$ Folga = 50%
- MOTORES ELÉTRICOS:

Potência exigida pela bomba (Pot)	Folga recomendável (%)
até 2,0 cv	50
2,0 a 5,0 cv	30
5,0 a 10,0 cv	20
10,0 a 20,0 cv	15
acima de 20,0 cv	10

DIMENSIONAMENTO

Observações:

• Obtenção da vazão inicial de projeto (Q = 15,66 $m^3.h^{-1}$) fechando-se a válvula de gaveta até que a H_m seja 37,5 m.

• Cálculo da potência caso o novo ponto de funcionamento não tivesse sido obtido:

$$Pot_B = \frac{\gamma Q H_m}{75\eta} = \frac{1000.15{,}66.30}{3600.75.0{,}535} = 3{,}25cv$$

N = 1,30.3,23 = 4,22 cv

→ Motor elétrico comercial = **5,0 cv**

DIMENSIONAMENTO

d.2) Considerando que a curva característica da bomba será mudada pela variação da rotação do rotor

- O diâmetro do rotor, o rendimento e o ponto de funcionamento da bomba ($Q = 15{,}66\ m^3.h^{-1}$; $H_m = 30\ m$) devem ser mantidos constantes.

- Ponto homólogo de funcionamento:

Ponto de funcionamento (conhecido)	Ponto Homólogo (de mesmo rendimento)
$H_1 = 30\ m$	$H_2 = ??$
$Q_1 = 15{,}66\ m^3.h^{-1}$	$Q_2 = ??$
$\eta = 53{,}5\%$	$\eta = 53{,}5\%$
$D_1 = 164\ mm$	$D_1 = 164\ mm$
$n_1 = ???$	$n_1 = 3500\ rpm$

DIMENSIONAMENTO

$$\frac{H_1}{Q_1^{\,2}} = \frac{H_2}{Q_2^{\,2}} = cte$$

$$\frac{H_2}{Q_2^{\,2}} = \frac{30}{15{,}66^2} = 0{,}1223$$

$H_2 = 0{,}1223\ Q_2^2$ (Q_2 em $m^3.h^{-1}$, H_2 em m)

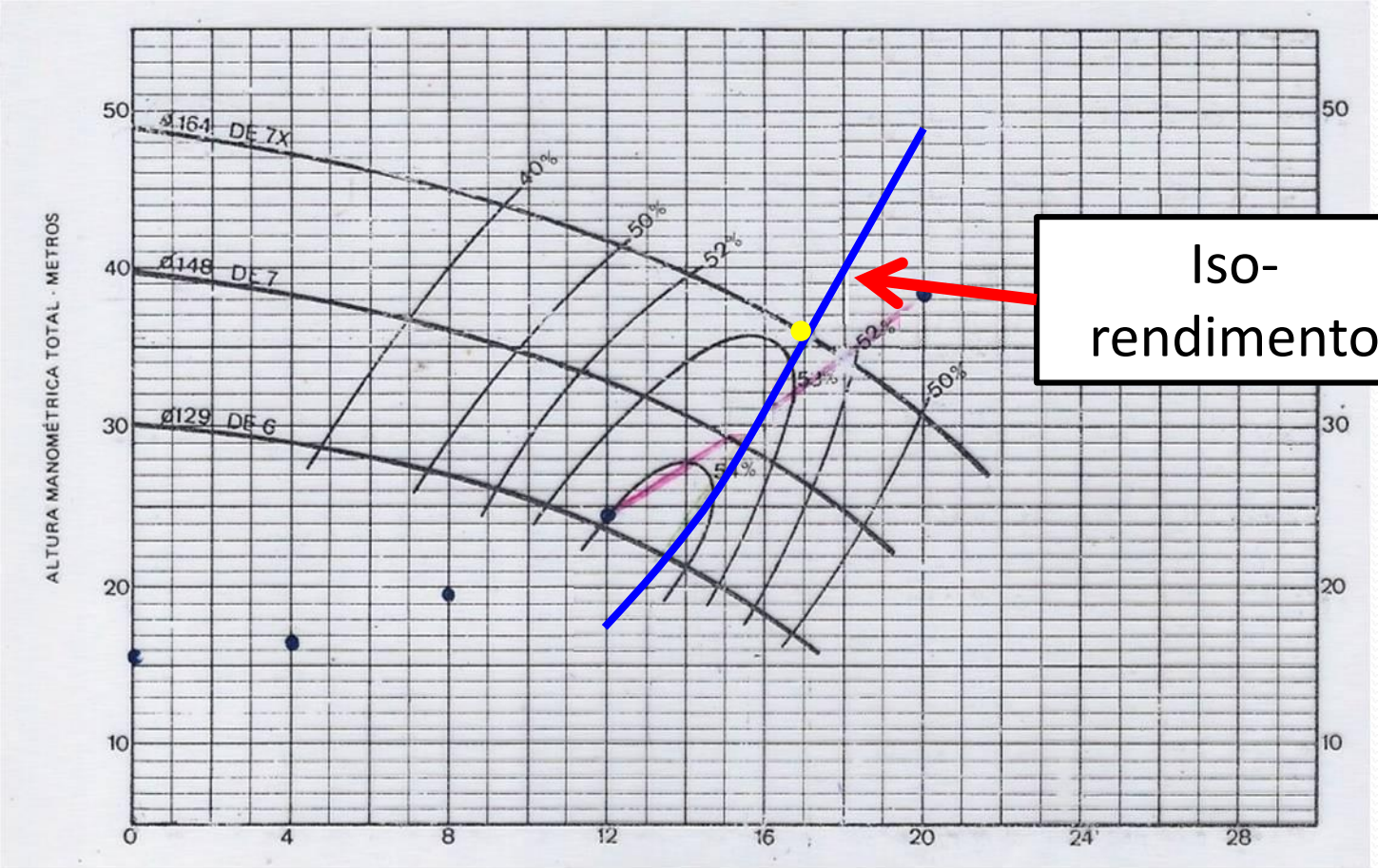
Curva de iso-rendimento

Q_2 ($m^3.h^{-1}$)	0	4	12	16	20	24
H_2 (m)	0	2	17,6	31,3	49,0	70,4

DIMENSIONAMENTO

$H_2 = 0{,}1223\ Q_2^2$ (Q_2 em $m^3.h^{-1}$, H_2 em m)

Q_2 ($m^3.h^{-1}$)	0	4	12	16	20	24
H_2 (m)	0	2	17,6	31,3	49,0	70,4



DIMENSIONAMENTO

Ponto homólogo:

$Q_2 = 17{,}2\ m^3.h^{-1}$

$H_2 = 35{,}5\ m$

$\eta_2 = 53{,}5\%$ (mesmo rendimento)

- Nova rotação da bomba

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_1 = \frac{Q_1}{Q_2} n_2 = \frac{15{,}66}{17{,}20} 3500 = 3187 rpm$$

- Redução da rotação

$n_1 d_1 = n_2 d_2$ (1 bomba, 2 motor)

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{3500}{3187} = 1{,}10$$

DIMENSIONAMENTO

Potência do motor

$$Pot_B = \frac{\gamma Q H_m}{75\eta} = \frac{1000.15{,}66.30}{3600.75.0{,}535} = 3{,}25$$

N = 1,30.3,25 = 4,22 cv

→ Motor elétrico comercial = **5,0 cv**

DIMENSIONAMENTO

d.3) Considerando que a curva característica da bomba será mudada pela usinagem do rotor

- Rotação é mantida constante

Ponto de funcionamento (conhecido)	Ponto Homólogo (de mesmo rendimento)
H_1 = 30 m	H_2 = 35,5 m
Q_1 = 15,66 $m^3.h^{-1}$	Q_2 = 17,2 $m^3.h^{-1}$
η = 53,5%	η = 53,5%
D_1 = ???	D_1 = 164 mm
n_1 = 3500 rpm	n_1 = 3500 rpm

DIMENSIONAMENTO

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^{\ 2}}{D_2^{\ 2}}$$

$$D_1 = D_2\sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}} = 164\sqrt{\frac{15{,}66}{17{,}20}} = 156mm$$

- Usinagem

$$U = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{164 - 156}{2} = 4mm$$

e) Estudo da bomba quanto à cavitação

e.1) Considerando que a C.C. da bomba será mantida

$NPSH_r$ = 4,5 m (Curva)

Altitude = 650 m

Temp. média da água = 20ºC

- $$\frac{P_{atm}}{\gamma} = 10 - 0{,}0012A = 10 - 0{,}0012.650 = 9{,}22mca$$

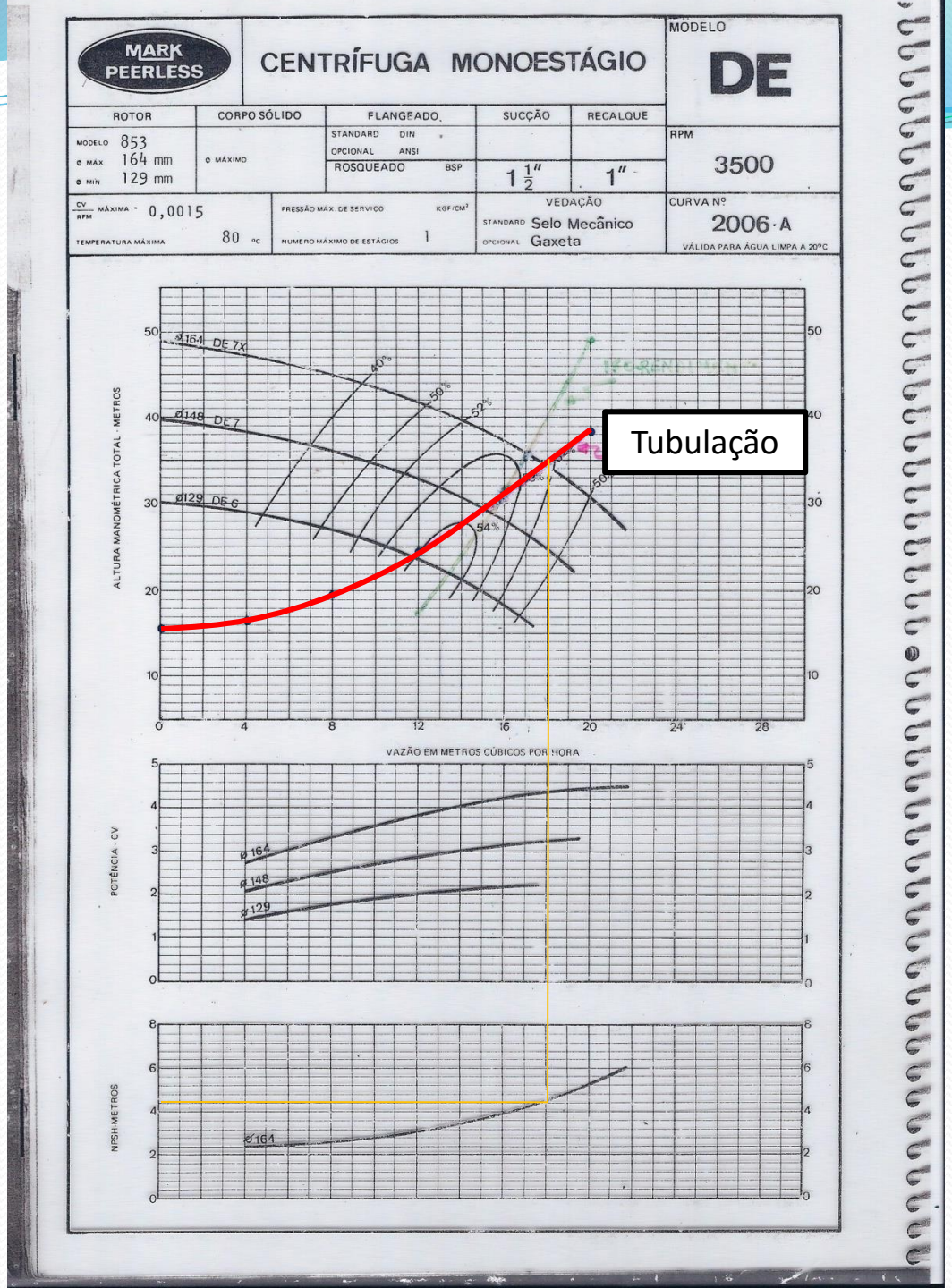
- $$h_{tS} = \frac{10{,}646Q^{1{,}852}L_{VS}}{C^{1{,}852}D_S{}^{4{,}87}} = \frac{10{,}646(18/3600)^{1{,}852}36{,}4}{140^{1{,}852}0{,}075^{4{,}87}} = 0{,}68m$$

- $$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} - (\frac{P_V}{\gamma} + H_S + h_{tS}) = 9{,}22 - (0{,}238 + 4 + 0{,}68) = 4{,}30m$$

$NPSH_d < NPSH_r$ ➡ Bomba cavitará!!

Hm = 34 m

Q = 18 $m^3.h^{-1}$



e) Estudo da bomba quanto à cavitação

e.2) Considerando que a C.C. da bomba será alterada

$NPSH_r$ = 4,0 m (Curva)

Altitude = 650 m

Temp. média da água = 20ºC

- $$\frac{P_{atm}}{\gamma} = 10 - 0{,}0012A = 10 - 0{,}0012.650 = 9{,}22mca$$

- $$h_{tS} = \frac{10{,}646Q^{1{,}852}L_{VS}}{C^{1{,}852}D_S^{\ 4{,}87}} = \frac{10{,}646(15{,}66/3600)^{1{,}852}36{,}4}{140^{1{,}852}0{,}075^{4{,}87}} = 0{,}52\text{m}$$

- $$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} - (\frac{P_V}{\gamma} + H_S + h_{tS}) = 9{,}22 - (0{,}238 + 4 + 0{,}52) = 4{,}47\text{m}$$

$NPSH_d > NPSH_r$ ➡ Bomba não cavitará!!