

Dimensionamento das tubulações e perda de carga.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot d_t}{\nu} \quad v \text{ em cm/s; } d_t \text{ em cm; } \nu \text{ é a viscosidade em Stokes}$$

Em sistemas óleo-hidráulicos recomenda-se que o fluido escoe laminarmente para reduzir a perda de carga e o aquecimento nas tubulações. Recomenda-se também:

- Comprimento da tubulação $L < 12 \text{ m}$
- Vazões entre 20 e 200 litros por minuto
- Variações moderadas de temperatura

Tubulação	Pressão (bar)				Velocidade (cm/s)
	20	50	100	>200	
Tubulação de Pressão	300	400	500	600	
Tubulação de Retorno	300				
Tubulação de Sucção	100				

Tabela 4.2 - Velocidades recomendadas.

A - Linha de Sucção
 B - Linha de Pressão
 C - Linha de Retorno

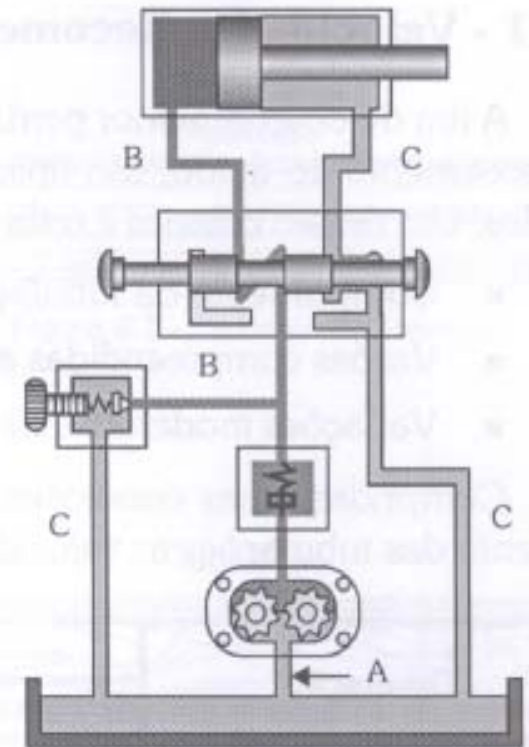


Figura 4.4 - Circuito hidráulico (tubulações).

pode-se também utilizar:

$$v = 121,65 \cdot P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} \quad v \text{ em cm/s; } P \text{ em bar}$$

Da continuidade estabelecemos o diâmetro interno mínimo.

$$d_t = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} \quad d_t \text{ em cm; } Q \text{ em } \ell / \text{min; } v \text{ em cm/s}$$

Deve-se adotar o 1º diâmetro comercial acima do calculado (tabela 4.3)

SISTEMAS FLUIDOMECÂNICOS

Diâmetro Externo		Espessura da Parede (cm)	Diâmetro interno (cm)	Pressão Máxima (bar)	Peso por 100m (kg)
cm	in				
0,40		0,10	0,20	601,35	7,0
0,50		0,10	0,30	400,24	10,0
0,60		0,10	0,40	300,18	12,0
0,60		0,15	0,30	601,35	17,0
0,64	1/4	0,11	0,42	294,30	12,0
0,64	1/4	0,15	0,34	588,60	17,0
0,80	5/16	0,10	0,60	294,30	15,0
0,80	5/16	0,15	0,50	412,02	24,0
0,95	3/8	0,16	0,63	319,81	28,0
0,95	3/8	0,20	0,55	490,50	37,0
1,00		0,15	0,70	294,30	31,0
1,00		0,20	0,60	458,13	40,0
1,20		0,15	0,90	228,57	39,0
1,20		0,20	0,80	343,35	49,0
1,27	1/2	0,20	0,87	343,35	52,0
1,27	1/2	0,15	0,97	228,57	41,0
1,40		0,15	1,10	209,93	46,0
1,40		0,20	1,00	306,01	59,0
1,50		0,15	1,00	192,28	50,0
1,50		0,20	1,10	280,57	64,0
1,60	5/8	0,15	1,30	177,56	54,0
1,60	5/8	0,25	1,10	331,58	83,0
1,80		0,15	1,50	154,02	61,0
1,80		0,25	1,30	280,57	96,0
1,90	3/4	0,15	1,60	137,34	64,0
1,90	3/4	0,25	1,40	264,87	100,0

Diâmetro Externo		Espessura da Parede (cm)	Diâmetro interno (cm)	Pressão Máxima (bar)	Peso por 100m (kg)
cm	in				
2,00		0,20	1,60	193,26	86,0
2,00		0,30	1,40	312,94	126,0
2,20		0,20	1,80	171,67	99,0
2,20		0,25	1,70	214,84	120,0
2,50		0,20	2,10	147,15	113,0
2,50		0,30	1,90	230,53	163,0
2,54	1	0,20	2,14	147,15	114,0
2,54	1	0,30	1,94	230,53	164,0
2,80		0,20	2,40	128,51	128,0
2,80		0,30	2,20	199,14	185,0
3,00		0,25	2,50	146,17	170,0
3,00		0,30	2,40	182,47	200,0
3,20	1 1/4	0,25	2,70	132,43	185,0
3,20	1 1/4	0,40	2,40	245,25	270,0
3,50		0,25	3,00	129,49	173,0
3,50		0,40	2,70	215,82	300,0
3,80	1 1/2	0,30	3,20	136,36	359,0
3,80	1 1/2	0,40	3,00	194,24	435,0
4,20		0,20	3,80	81,42	197,0
4,20		0,40	3,40	156,96	300,0

Tabela 4.3 - Diâmetros de Tubos Comercias (ERMETO) (continuação).

Exemplo: Dimensionar as tubulações de sucção, pressão e retorno de um sistema hidráulico que terá uma vazão máxima de 60 litros por minuto e pressão de 120 bar. Adote a viscosidade do óleo como sendo $\nu = 0,45$ St.

Na sucção :

$$d_t = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot \nu}} = \sqrt{\frac{60}{0,015 \cdot \pi \cdot 100}} = 3,57 \text{ cm}$$

da tabela $d_{com} = 3,80 \text{ cm}$ $d_{ext} = 4,2 \text{ cm}$

Verificação do escoamento

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{100 \cdot 3,8}{0,45} = 844,4 \text{ la min ar OK}$$

Na tubulação de pressão :

$$v = 121,65 \cdot p^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} = 121,65 \cdot 120^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} = 519 \text{ cm/s}$$

$$d_t = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{60}{0,015 \cdot \pi \cdot 519}} = 1,57 \text{ cm}$$

da tabela $d_{\text{com}} = 1,60 \text{ cm}$ $d_{\text{ext}} = 1,90 \text{ cm} = 3/4''$

Verificação do escoamento

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{519 \cdot 1,6}{0,45} = 1845,3 \text{ la min ar OK}$$

Na tubulação de retorno :

$$d_t = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{60}{0,015 \cdot \pi \cdot 300}} = 2,06 \text{ cm}$$

da tabela $d_{\text{com}} = 2,10 \text{ cm}$ $d_{\text{ext}} = 2,50 \text{ cm}$

Verificação do escoamento

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{300 \cdot 2,10}{0,45} = 1400 \text{ la min ar OK}$$

Perda de Carga

$$\Delta P_T = \Delta P + dP$$

dP = perda de carga nas válvulas da linha de pressão (tabelado)

ΔP = perda de carga na tubulação (distribuída + localizada)

Deve – se também satisfazer a seguinte condição :

$$P_N = P_{tb} + \Delta P_T$$

P_N = pressão no minimal

P_{tb} = pressão de trabalho

Perda de carga na tubulação

$$\Delta P = \frac{\psi \cdot 5 \cdot L_T \cdot \rho \cdot v^2}{d_i \cdot 10^{10}} \text{ (bar)}$$

$$\psi = \text{fator de atrito} \left\{ \begin{array}{l} \frac{64}{\text{Re}} \text{ tubo r\u00edgido e temperatura constante} \\ \frac{75}{\text{Re}} \text{ tubo r\u00edgido e temperatura vari\u00e1vel} \\ \frac{90}{\text{Re}} \text{ tubo flex\u00edvel e temperatura vari\u00e1vel} \end{array} \right.$$

L_T = comprimento real + comprimento equivalente em cm

ρ = massa espec\u00edfica do fluido = 881,1 kg / m³ para \u00f3leo SAE 10

v = velocidade do escoamento em cm / s

d_i = di\u00e2metro interno cm

$\frac{5}{10^{10}}$ fator de convers\u00e3o

Perda T\u00e9rmica

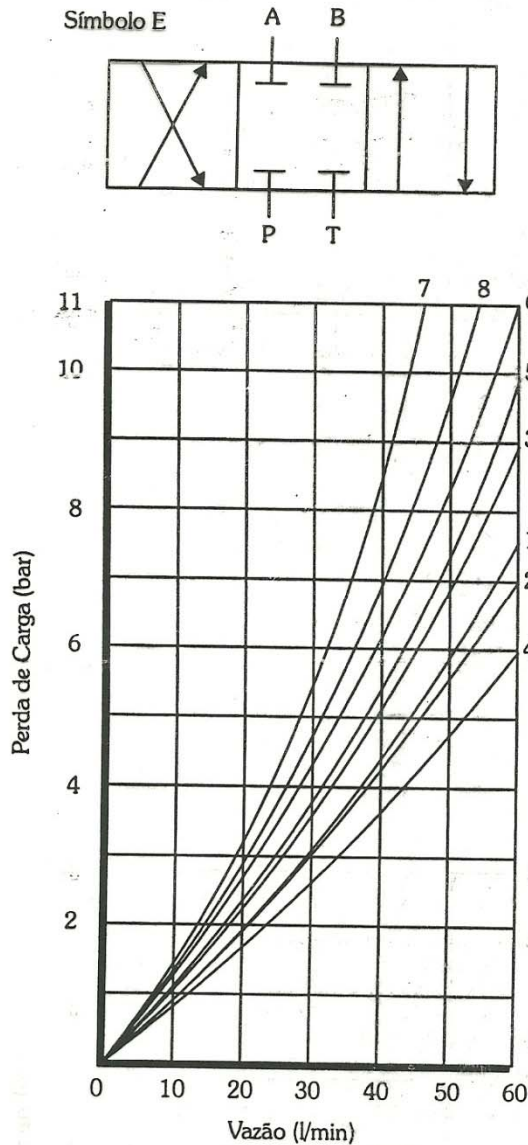
$$q(\text{kcal} / \text{h}) = 1,434 \cdot \Delta P_T(\text{bar}) \cdot Q_B(\ell / \text{min})$$

Diâmetro		Cotovelo 90° R. Longo	Cotovelo 90° R. Médio	Cotovelo 90° R. Curto	Cotovelo 45°	Curva 90° R. Longo	Curva 90° R. Curto	Curva 45°
Cm	Pol.	Comprimento equivalente - L_2 (Cm)						
0,32	1/8	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01
0,64	1/4	19,99	20,24	30,00	10,01	10,01	19,99	10,01
0,95	3/8	19,99	30,00	40,01	19,99	19,99	19,99	19,99
1,27	1/2	30,00	40,01	50,01	19,99	19,99	30,00	19,99
1,59	5/8	30,00	50,01	59,99	19,99	19,99	30,00	19,99
1,91	3/4	40,01	59,99	70,00	30,00	30,00	40,01	19,99
2,22	7/8	40,01	59,99	70,00	30,00	30,00	40,01	40,01
2,54	1	50,01	70,00	80,01	40,01	30,00	50,01	19,99
2,86	1.1/8	60,02	80,01	100,00	50,01	40,01	59,99	30,00
3,18	1.1/4	70,00	89,99	110,01	50,01	40,01	59,99	30,00
3,49	1.3/8	80,01	100,00	119,99	59,99	50,01	69,85	30,00
3,81	1.1/2	88,58	110,01	181,18	59,99	50,01	69,85	30,00
4,13	1.5/8	100,00	119,99	140,00	70,00	50,01	80,01	30,00
4,45	1.3/4	108,28	130,00	150,01	70,00	59,99	80,01	40,01
4,76	1.7/8	110,01	130,00	159,99	83,16	59,99	89,99	40,01
5,08	2	108,28	140,00	170,00	83,16	59,99	84,91	40,01

Tabela 4.4 - Comprimentos equivalentes (Perda de carga por singularidades).

Diâmetro		Tê de passagem direta	Tê de saída lado	Tê de saída bilateral	Registro de gaveta	Registro de globo	Registro de ângulo	Válv. de pé e crivo
Cm	Pol.							
Comprimento equivalente - L_2 (Cm)								
0,32	1/8	10,01	30,00	30,00	10,01	80,01	70,00	89,99
0,64	1/4	10,01	50,01	50,01	10,01	240,00	130,00	180,01
0,95	3/8	19,99	80,01	80,01	10,01	370,00	200,00	270,00
1,27	1/2	30,00	100,00	100,00	10,01	489,99	259,99	359,99
1,59	5/8	30,00	119,99	119,99	10,01	580,01	310,01	459,99
1,91	3/4	40,01	140,00	140,00	10,01	670,00	436,19	559,99
2,22	7/8	40,01	152,97	150,01	10,01	740,00	410,01	640,00
2,54	1	50,01	170,00	170,00	23,14	819,48	459,99	730,00
2,86	1.1/8	60,02	200,00	200,00	23,14	980,01	559,99	870,00
3,18	1.1/4	70,00	230,00	230,00	23,14	1130,00	559,99	1000,00
3,49	1.3/8	80,01	270,15	270,15	30,00	1240,00	670,00	1080,01
3,81	1.1/2	89,99	280,01	280,01	30,00	1340,00	719,99	1159,99
4,13	1.5/8	100,00	300,00	300,00	30,00	1440,00	759,99	1219,99
4,45	1.3/4	100,00	319,99	319,99	40,01	1540,00	810,01	1250,14
4,76	1.7/8	110,01	330,00	330,00	40,01	1640,00	850,01	1300,00
5,08	2	110,01	350,01	350,01	40,01	1740,00	930,00	1300,00

Tabela 4.4 - Comprimentos equivalentes (Perda de carga por singularidades) - continuação.

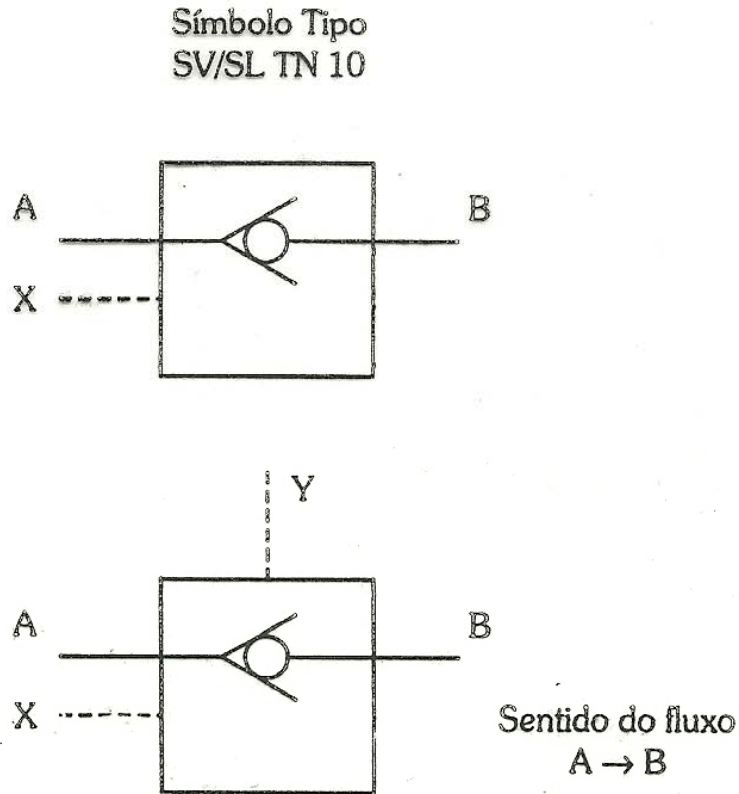


Símbolo
Direção do Fluxo

P - A
P - B
A - T
B - T

A	F	M	U
3	2	2	3
3	3	4	1
-	3	3	3
-	5	3	3
B	G	P	V
3	5	2	1
3	3	3	2
-	6	3	1
-	6	5	1
C	H	Q	W
1	2	1	1
1	4	1	1
3	2	2	2
1	2	1	2
D	J	R	Y
5	1	5	5
5	1	5	5
3	2	4	3
3	1	-	3
E	L	T	
3	1	5	
3	1	3	
1	2	6	
1	2	6	

Figura 4.3 - Gráfico Perda de Carga x Vazão. Fonte: Catálogo REXROTH.



Pressão de Abertura	
Curva 1 → 1,5 bar	Curva 2 → 3 bar
Curva 3 → 6 bar	Curva 4 → 10 bar

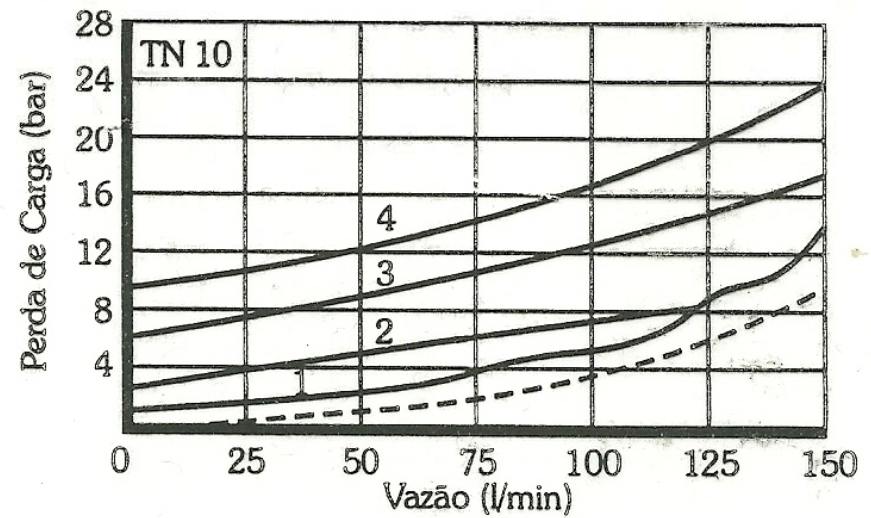


Figura 4.6 - Válvula de Retenção com Desbloqueio Hidráulico. Fonte: Catálogo REXROTH.

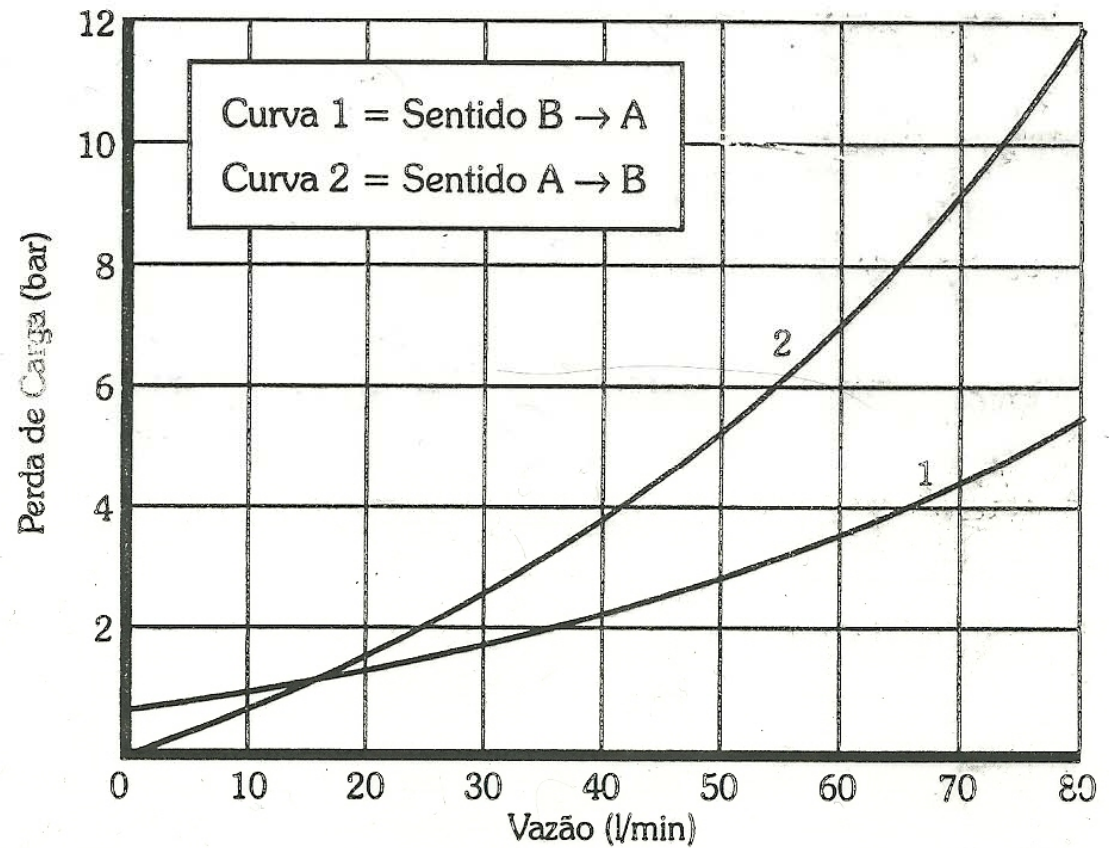
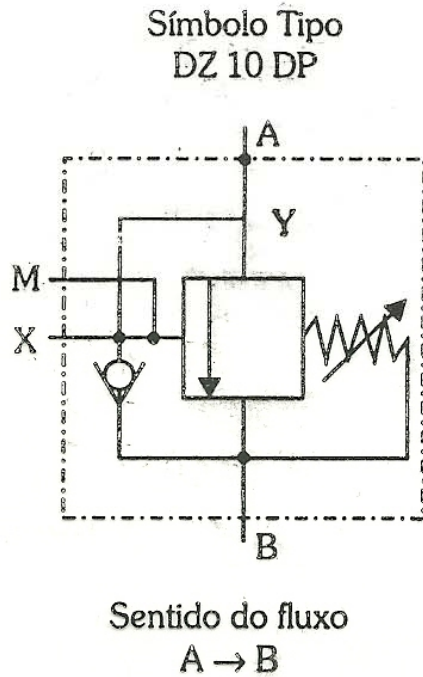


Figura 4.7 - Válvula de seqüência. Catálogo REXROTH.

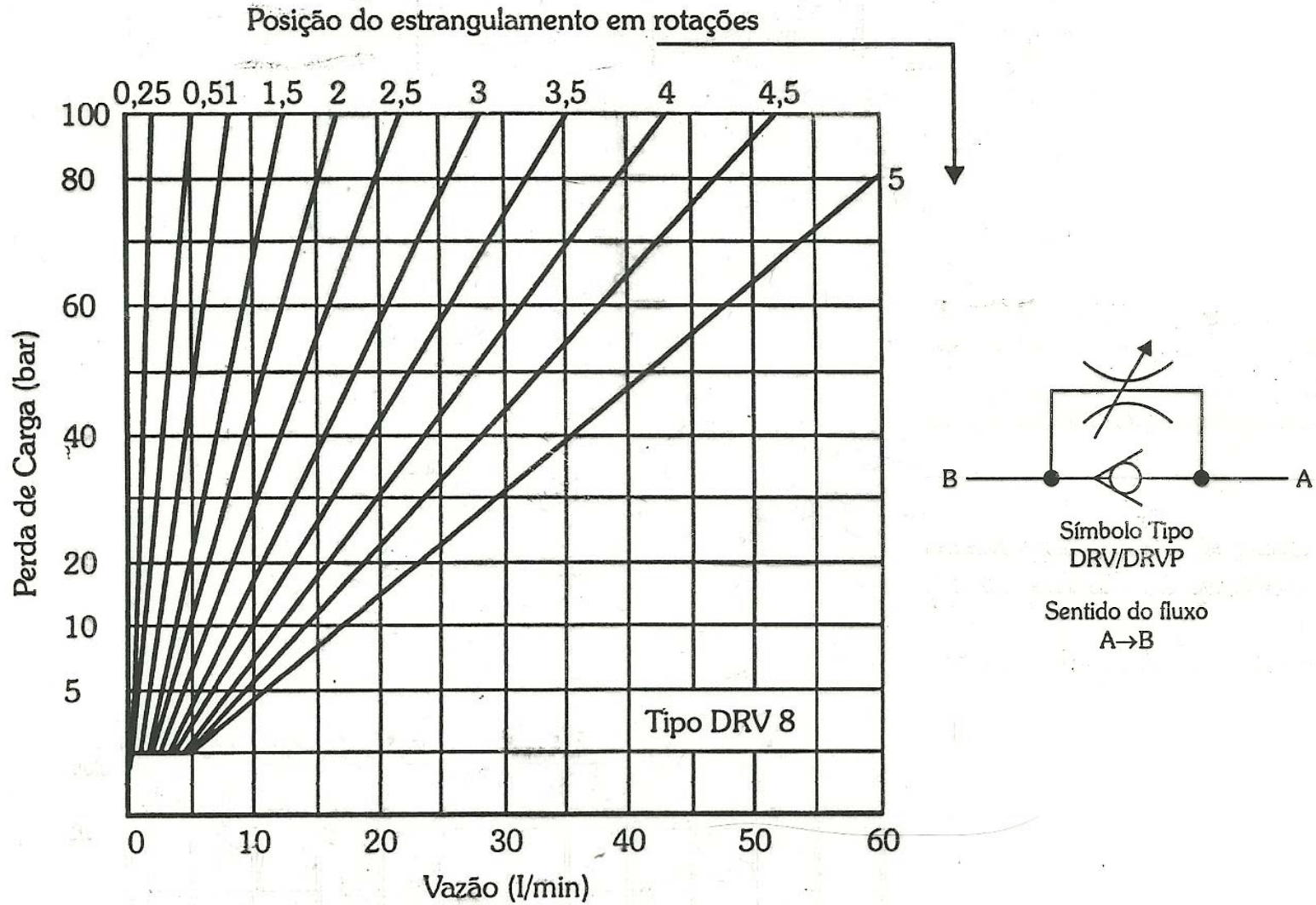


Figura 4.4 - Válvula controladora de vazão com retenção. Fonte: Catálogo REXROTH.

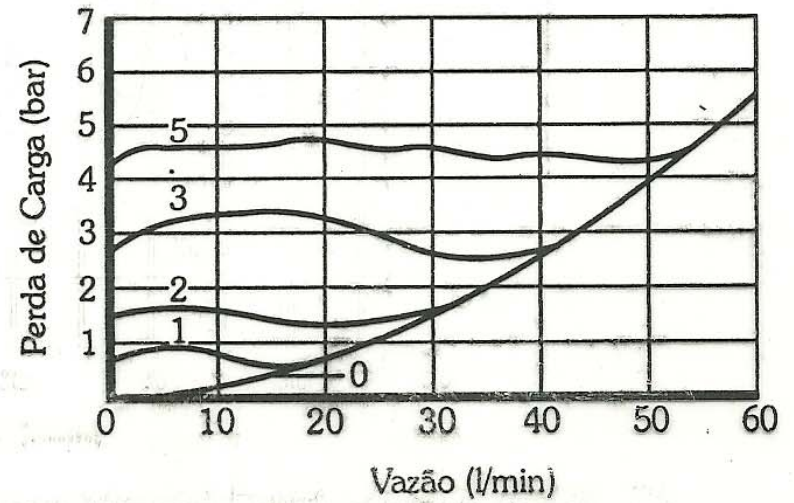
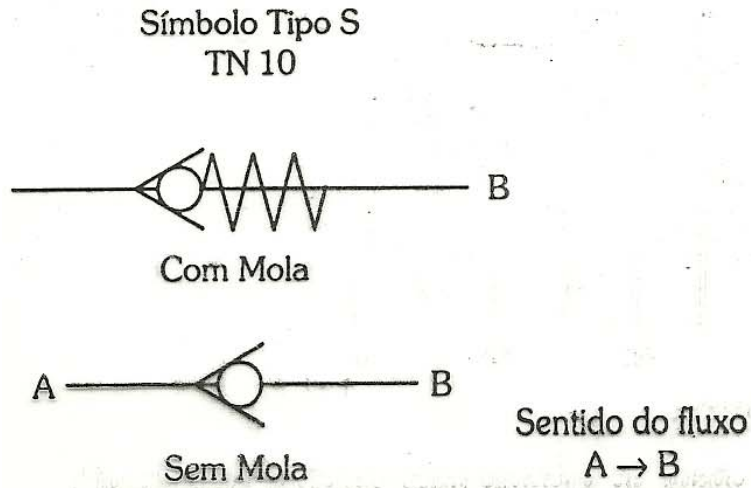


Figura 4.5 - Válvula de Retenção Simples. Fonte: Catálogo REXROTH.

Exemplo: Determinar a perda de carga total e a perda térmica de um circuito que contém as seguintes características:

1 válvula de controle direcional tipo J

1 válvula de seqüência tipo DZ10P (A→B)

1 válvula controladora de fluxo tipo DRV8 (posição 5)

$L = 5 \text{ m}$

$d_{ext} = 5/8''$

1 te de saída bilateral

2 tes de passagem direta

2 curvas de 90° raio longo

2 cotovelos 90° raio médio

$Q = 45 \text{ l/min}$

$P_N = 150 \text{ bar}$

$P_{tb} = 60 \text{ bar}$

Tubos rígidos de temperatura variável

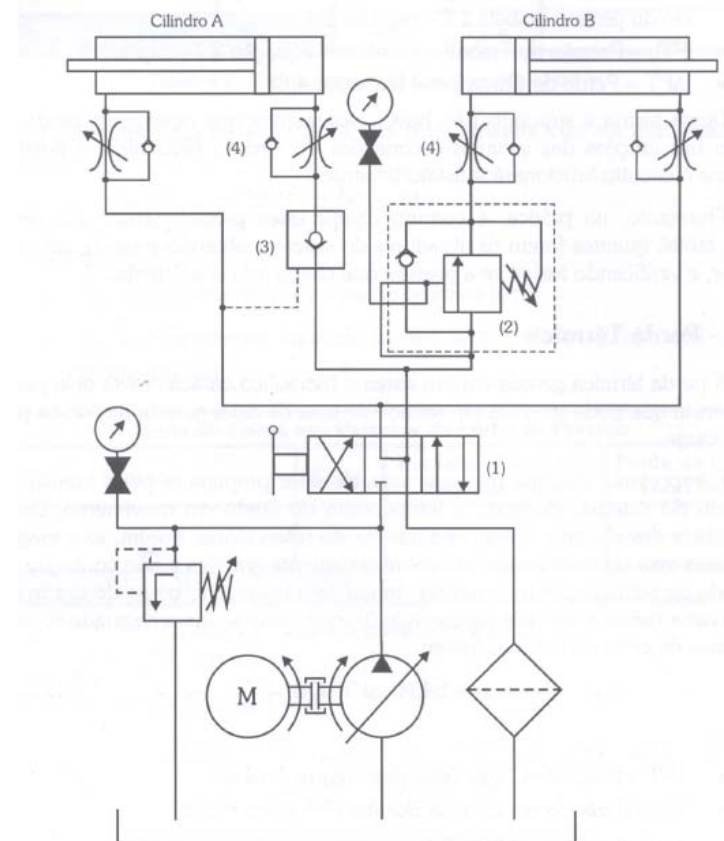


Figura 4.11 - Circuito hidráulico com válvula de seqüência.

1º Passo

Listar as perdas de carga por singularidades de conexões:

Perda de Carga por Singularidade na Linha de Ppressão			
Singularidade	Qtde.	Comprimento por Unidade (cm)	Comprimento Equivalente Total (cm)
Tê de saída bilateral	01	119,99	119,99
Tê de passagem direta	02	30,00	60,00
Curva 90° de raio longo	02	19,99	39,98
Cotovelo 90° de raio médio	02	50,01	100,02
		TOTAL $L_2 =$	819,99

Tabela 4.8 - Tabela de perda de carga por singularidade.

2º Passo

Listar as perdas de carga por singularidades de válvulas:

Perda de Carga nas Válvulas da Linha de Pressão (para o Cilindro B)			
Válvula	Qtde.	Perda de Carga por Unidade (bar)	Perda de Carga Total (bar)
Válvula de Controle Direcional Tipo J	01	4,8	4,8
Válvula de Seqüência Tipo DZ 10 P	01	4,2	4,2
Válvula Controladora de Fluxo Tipo DRV 8	01	55	55
		TOTAL $dP =$	64

Tabela 4.9 - Tabela de perda de carga nas válvulas.

3º Passo

Aplicar a equação 4.5 para achar L_t :

$$L_t = L_1 + L_2 \Rightarrow L_t = 500 \text{ cm} + 319,99 \text{ cm} \Rightarrow L_t = 819,99 \text{ cm}$$

4º Passo

Aplicar a equação 4.4 a fim de determinar a perda de carga na linha de pressão.

$$\Delta P = \psi \cdot \frac{5 \cdot L_t \cdot \rho \cdot v^2}{dt \cdot 10^{10}}$$

Determinar o **Fator de Atrito**

- Diâmetro externo da tubulação = $5/8 \cong 1,6 \text{ cm}$ → Diâmetro interno = $1,3 \text{ cm}$ (tabela 4.3)
- Velocidade Recomendada para o fluido (equação 4.2)

$$v = 121,65 \cdot P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)}$$

$$v = 121,65 \cdot (150 \text{ bar})^{0,30303} \Rightarrow v = 555,307 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

- Número de Reynolds (equação 4.1)

$$Re = \frac{v \cdot dt}{\nu}$$

$$Re = \frac{555,307 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot 1,3\text{cm}}{0,45\text{St}} \Rightarrow Re = 1604,22$$

- Fator de atrito - tabela 4.5 - Tubos rijos e temperatura variável

$$\psi = \frac{75}{Re}$$

$$\psi = \frac{75}{1604,22} \Rightarrow \psi = 0,04675$$

Determinar a **Perda de Carga**

- Determinação a perda de carga distribuída + localizada (equação 4.4).

$$\Delta P = \psi \cdot \frac{5 \cdot L_t \cdot \rho \cdot v^2}{d_t \cdot 10^{10}}$$

$$\Delta P = \frac{75}{1604,22} \cdot \frac{5 \cdot (819,99 \text{ cm}) \cdot \left(881,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot \left(555,307 \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)^2}{(1,3 \text{ cm}) \cdot 10^{10}} \Rightarrow \Delta P = 4,0 \text{ bar}$$

5º Passo

Determinação da **Perda de Carga Total do Sistema** (equação 4.6).

$$\Delta P_T = \Delta P + dP$$

$$\Delta P_T = 4,0 \text{ bar} + 64 \text{ bar} = 68,0 \text{ bar}$$

6º Passo

Verificação da **Condição Funcional do Sistema** (equação 4.7).

$$P_N > P_{Tb} + \Delta P_T$$

$$150 \text{ bar} > 60 \text{ bar} + 68,0 \text{ bar}$$

$$150 \text{ bar} > 128 \text{ bar}$$

7º Passo

Cálculo da **Dissipação Térmica** (Perda de Potência) (equação 4.8).

$$q = 1,434 \cdot \Delta PT \cdot QB$$

$$q = 1,434 \cdot (68 \text{ bar}) \cdot \left(60 \frac{\text{l}}{\text{min}}\right) \Rightarrow q = 5850,72 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$