

# **Sistemas hidráulicos industriais**



**AUTOMAÇÃO**

# **Sistemas hidráulicos industriais**

Ilo da Silva Moreira

**SENAI-SP** editora

**SENAI-SP editora**

*Conselho editorial*

Paulo Skaf (Presidente)  
Walter Vicioni Gonçalves  
Débora Cypriano Botelho  
Ricardo Figueiredo Terra  
Roberto Monteiro Spada  
Neusa Mariani

*Editor*

Rodrigo de Faria e Silva

*Editora assistente*

Juliana Farias

*Editoração e produção gráfica*

Paula Loreto  
Camila Catto  
Valquíria Palma

*Revisão*

Entrelinhas

© SENAI-SP Editora, 2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

Moreira, Ilo da Silva

Sistemas hidráulicos industriais / Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (São Paulo). -- 2.ed. -- São Paulo: SENAI-SP editora, 2012.

352 p. : il.

**Bibliografia**

ISBN 978-85-65418-08-9

1 . Mecânica dos fluidos 2. Sistemas hidráulicos 3. Bombas hidráulicas 4. Atuadores hidráulicos 5. Válvulas hidráulicas I. Título

CDD – 627

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Mecânica dos fluidos : Sistemas hidráulicos

Bibliotecárias responsáveis: Elisângela Soares CRB 8/6565

Josilma Gonçalves Amato CRB 8/8122

# Sumário

|   |     |
|---|-----|
| Prefácio,                                   | 7   |
| Introdução,                                 | 9   |
| Princípios físicos da mecânica dos fluidos, | 11  |
| Fluidos hidráulicos,                        | 43  |
| Reservatórios de óleo,                      | 57  |
| Condutores hidráulicos,                     | 63  |
| Bombas hidráulicas,                         | 75  |
| Atuadores hidráulicos,                      | 107 |
| Válvulas,                                   | 157 |
| Válvulas de controle direcional,            | 159 |
| Válvulas reguladoras de vazão,              | 209 |
| Válvulas controladoras de pressão,          | 227 |
| Servoválvulas,                              | 265 |
| Válvulas proporcionais,                     | 267 |

Válvulas de cartucho (elemento lógico), 273

Acumuladores de pressão, 291

Filtros, 301

Instrumentos de medição hidráulica, 311

Trocadores de calor, 319

Circuitos hidráulicos, 323

Referências bibliográficas, 351

# Prefácio

A coleção Informações Tecnológicas, contribuição da Editora SENAI-SP, busca reduzir a escassez da literatura técnica no Brasil, e pretende também revelar novos autores. O professor Ilo da Silva Moreira abre esta série de publicações com três importantes estudos, a começar com Sistemas Pneumáticos, seguido pelos Sistemas Hidráulicos Industriais e Técnicas de Comando Pneumático e, ainda este ano, voltará ao público leitor para brindá-lo com mais algumas obras de referência nessas áreas tecnológicas.

As obras do professor Ilo repassam métodos, técnicas e procedimentos através dos quais os esquemas de comandos pneumáticos e hidráulicos podem ser elaborados, abordando, especialmente, os métodos intuitivo, cascata e passo a passo.

Fica aqui registrado o nosso reconhecimento ao professor Ilo pela tarefa empreendida na elaboração destes livros, escritos com concisão e de forma inteligível a diferentes tipos de leitores. O autor saiu-se admiravelmente bem desse desafio, tendo em vista sua larga experiência no ensino, tanto em Escolas SENAI como na Indústria, sempre ministrando cursos na área da Pneumática, atividade esta que o acostumou a falar a alunos, técnicos, instrutores, enfim, aos jovens e adultos interessados nesse assunto.

Confiamos que esta obra alargará o círculo inicial da sua clientela para abranger, além das Escolas SENAI, outras instituições que têm a seu encargo ações no campo da formação profissional.

Walter Vicioni Gonçalves  
Diretor Regional SENAI-SP



# INTRODUÇÃO

Os sistemas hidráulicos industriais são meios utilizados na transmissão de energia ou movimento em máquinas e equipamentos, sob controle preciso.

O uso do fluido confinado é um dos modos mais versáteis para modificar movimentos e transmitir forças. É tão rígido quanto o mais puro aço e, ao mesmo tempo, infinitamente flexível. Pode assumir instantaneamente todas as formas possíveis e imaginárias e penetrar em qualquer passagem, por mais estreita que seja. Pode ser dividido em partes, cada qual realizando uma operação determinada e, novamente, se agrupar para trabalhar como um todo. Pode se movimentar rapidamente em um trecho da instalação e lentamente em outro, de acordo com a necessidade. É capaz de transmitir um máximo de força, ocupando um mínimo de espaço e peso.

Por essas razões, os sistemas hidráulicos são aplicados em larga escala na transmissão de movimentos e multiplicação de força em praticamente todos os setores industriais. Desde máquinas operatrizes, de conformação, de embalagem, gráficas, têxteis, dentre outras, até equipamentos móveis utilizados em automóveis, caminhões, veículos industriais e agrícolas, aeronaves e embarcações.

Os símbolos gráficos e as nomenclaturas adotadas neste manual foram fundamentadas em Norma da *International Organization Standardization for Fluid Power Systems and Components*, mais especificamente na ISO 1219-1. A codificação de cores para identificação de fluxo e pressão, aplicadas nos desenhos de componentes e nas linha hidráulicas, segue a Norma A.N.S.I. (*American National Standards Institute*), apresentada a seguir.

| Codificação de cores  |          |                                |
|---|----------|--------------------------------|
|  | VERMELHA | linhas de pressão              |
|  | VERDE    | linhas de sucção e de drenagem |
|  | AZUL     | linhas de retorno a tanque     |
|  | AMARELA  | linhas de fluxo controlado     |
|  | LARANJA  | linhas de pressão reduzida     |
|  | VIOLETA  | linhas de pressão ampliada     |
|   | BRANCA   | linhas de fluido inativo       |

# PRINCÍPIOS FÍSICOS DA MECÂNICA DOS FLUIDOS

A Hidráulica é a parte da Física que consiste no estudo do comportamento dos líquidos confinados e de sua utilização na execução de trabalho. A palavra **Hidráulica** provém do grego *hydra*, que significa **água**, e *aulos*, que corresponde a **cano**.

Desde o início de sua existência, o homem serviu-se dos fluidos para facilitar seu trabalho e, enfim, sua vida. A história antiga registra que dispositivos engenhosos, como bombas e rodas-d'água, já eram conhecidos desde épocas bem remotas.

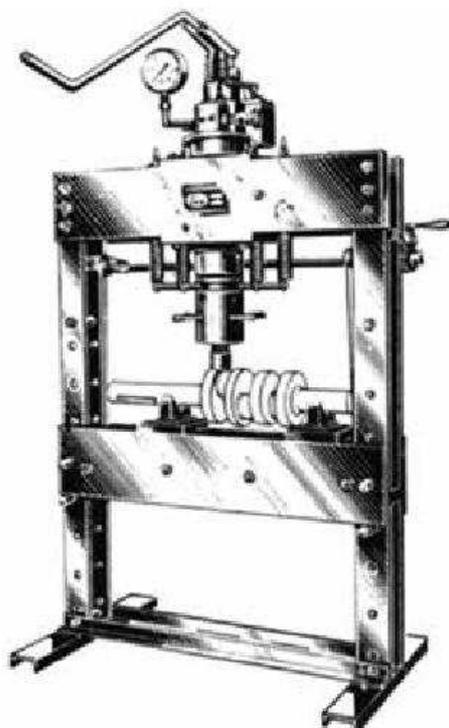
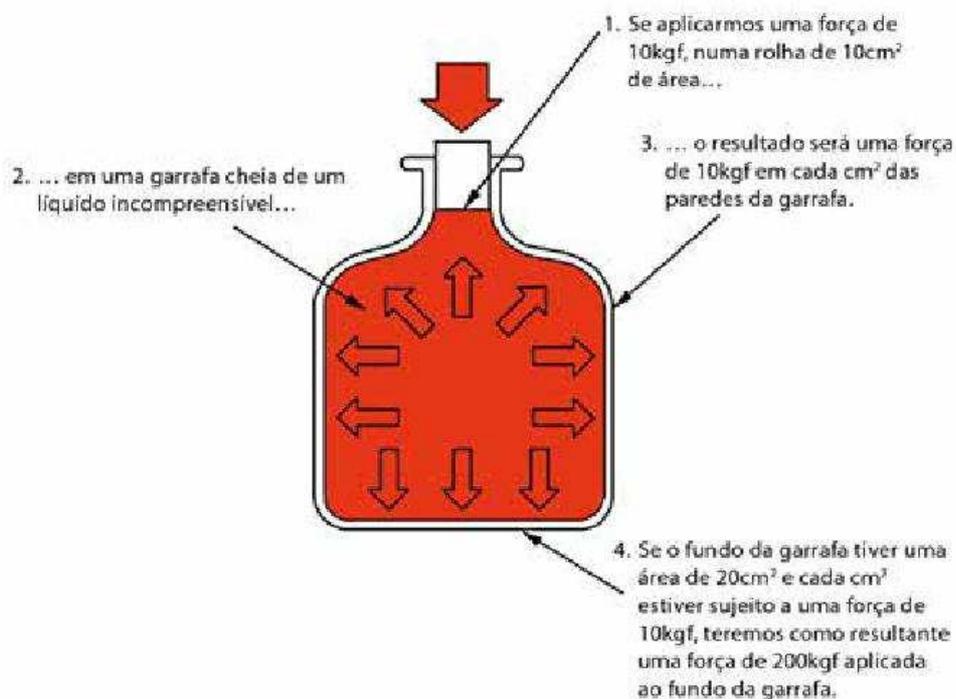
Entretanto, o ramo da hidráulica que nos interessa somente passou a ser utilizado a partir do século XVII. Baseava-se no princípio descoberto pelo cientista francês Blaise Pascal e consistia no uso de fluido confinado para transmitir e multiplicar forças e modificar movimentos.

## Lei de Pascal

Segundo Pascal, a pressão exercida em um ponto qualquer de um líquido estático é a mesma em todas as direções, e exerce forças iguais em áreas iguais.

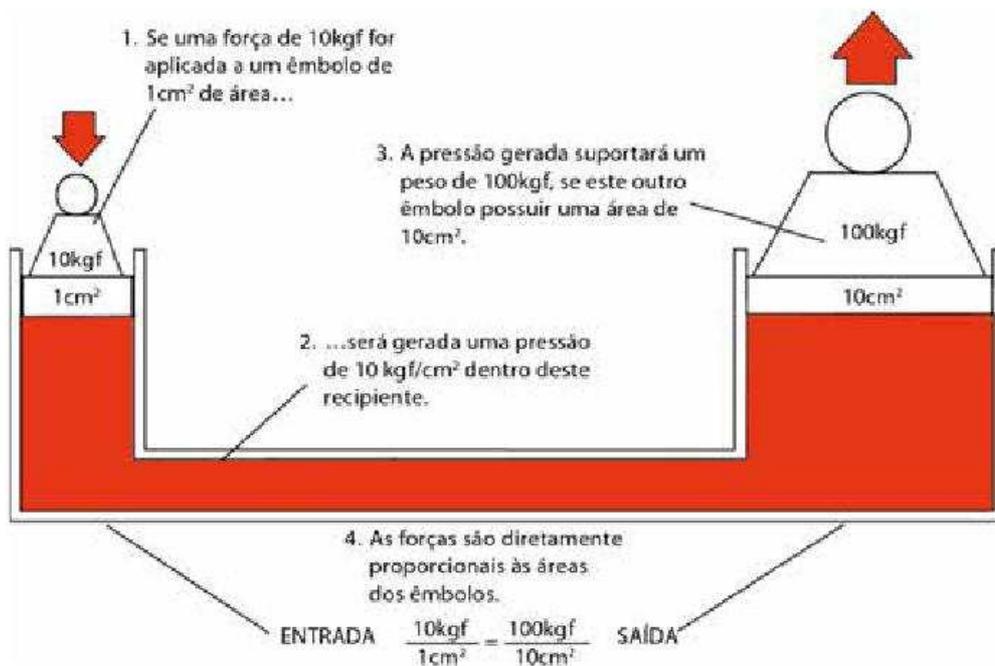
A pressão, originada a partir de uma força aplicada em uma unidade de área, é transmitida em todos os sentidos e direções, através de um líquido confinado. Devido a sua simplicidade, o homem só foi perceber a importância da lei de Pascal depois de dois séculos quando, no princípio da Revolução Industrial, um mecânico, Joseph Bramah, utilizou a descoberta de Pascal para desenvolver a primeira prensa hidráulica.

Bramah percebeu que, se uma força moderada fosse aplicada em uma área pequena, isso gerava, proporcionalmente, uma força grande em uma área maior.



Exemplo de uma prensa hidráulica simples

A figura a seguir demonstra como Bramah aplicou o princípio de Pascal à prensa hidráulica.



Princípio de operação de um macaco hidráulico ou de uma prensa hidráulica

Podemos observar que as forças que equilibram esse sistema são diretamente proporcionais às áreas dos êmbolos. Dessa forma, se o êmbolo de saída possuir uma área 200 vezes maior que a do êmbolo de entrada, este será capaz de suportar uma carga 200 vezes maior que a força aplicada no êmbolo menor.

É interessante notar a semelhança que há entre esta prensa simples e uma alavanca mecânica:



Nesse caso, força e braço de alavanca são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior for o braço de alavanca, menor será o esforço exigido para mover uma carga. Sendo assim, se o comprimento do braço de alavanca em que a força será aplicada for 50 vezes maior que o do braço em que a carga está apoiada, será exigido um esforço 50 vezes menor que o peso da carga para movimentá-la.

## Definição de pressão

A pressão é gerada quando uma força é aplicada sobre uma unidade de área:

$$P = \frac{F}{A}$$

Onde:

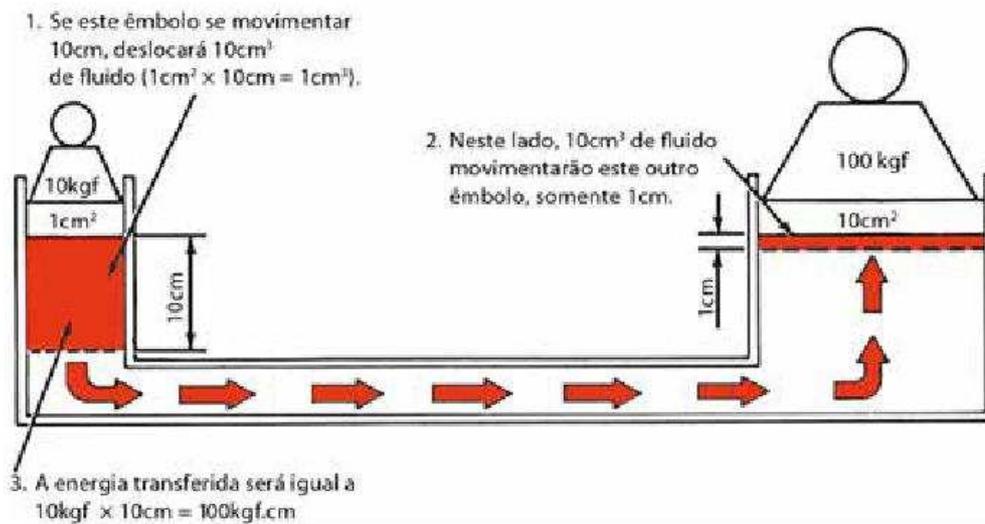
|          |              | sistema métrico       | ou | sistema inglês         |
|----------|--------------|-----------------------|----|------------------------|
| <b>P</b> | = pressão em | kgf / cm <sup>2</sup> |    | lbf / pol <sup>2</sup> |
| <b>F</b> | = força em   | kgf                   |    | lbf                    |
| <b>A</b> | = área em    | cm <sup>2</sup>       |    | pol <sup>2</sup>       |

Conhecendo-se a pressão e a área onde ela é aplicada, podemos determinar a força total:

$$\mathbf{F = P \times A} \Rightarrow \text{Força (kgf)} = \text{pressão (kgf/cm}^2\text{)} \times \text{área (cm}^2\text{)}$$

## Conservação de energia

Uma lei fundamental da Física afirma que a energia não pode ser criada nem destruída. A multiplicação de forças não significa obter algo do nada. No caso da prensa ou do macaco hidráulico, o êmbolo maior, movido pelo fluido deslocado pelo menor, faz com que o curso de movimento de cada um deles seja inversamente proporcional às suas áreas, conforme apresentado na figura da página seguinte.



Portanto, o que se ganha com relação à força, perde-se no movimento, tanto em distância percorrida como em velocidade.

A primeira prensa hidráulica, de Bramah, utilizava água como meio de transmissão de energia. Hoje, entretanto, o líquido mais comum utilizado nos sistemas hidráulicos é o óleo mineral, derivado do petróleo.

O óleo transmite força, quase instantaneamente, por ser quase incompressível, ou seja, por não aceitar a redução do seu volume sob a ação de uma força exterior. A compressibilidade de um óleo é de aproximadamente 0,5% de seu volume a uma pressão de 70 kgf/cm<sup>2</sup>, porcentagem essa que pode ser desconsiderada nos sistemas hidráulicos de baixa e média pressões. Além disso, devido ao seu alto teor lubrificante, o óleo reduz o atrito e, como consequência, o desgaste das peças móveis dos componentes hidráulicos.

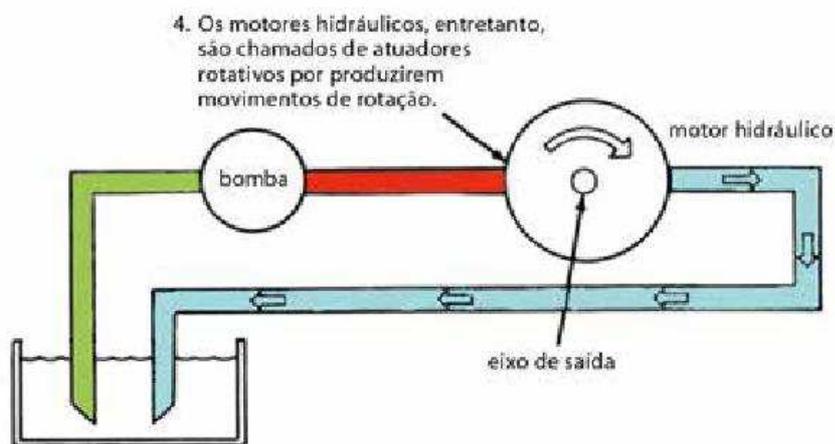
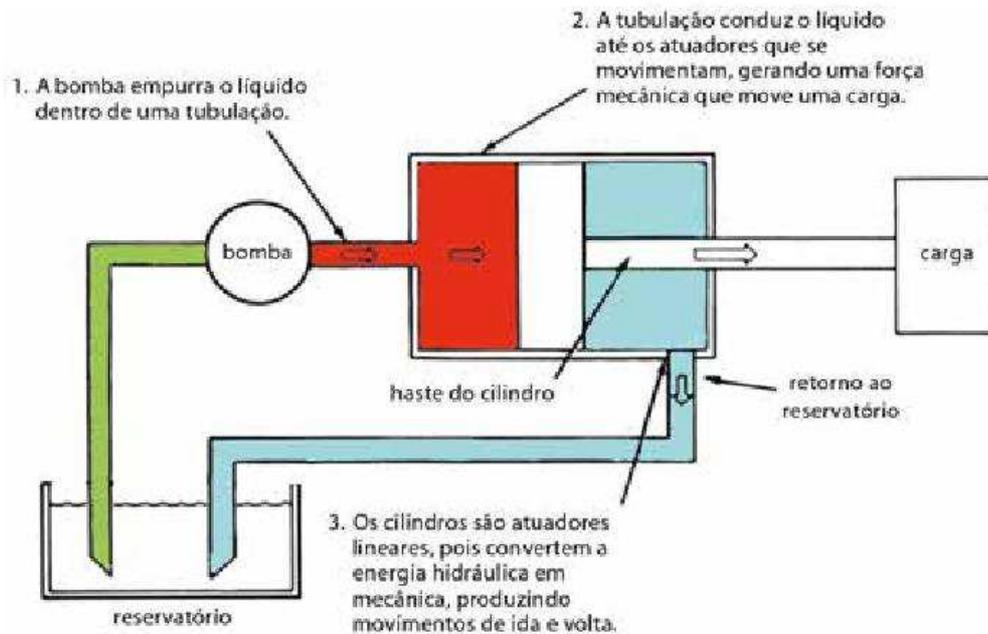
## Transmissão da energia hidráulica

A Hidráulica pode ser definida como um meio de transmitir energia, pressionando um líquido confinado.

Ao componente de entrada de um sistema hidráulico dá-se o nome de bomba e, ao de saída, atuador.

As bombas, conforme estudaremos adiante, são formadas por diversos tipos de componentes mecânicos que, em movimento conjunto, transformam a energia mecânica em hidráulica, transferindo o fluido hidráulico de um lugar ao outro.

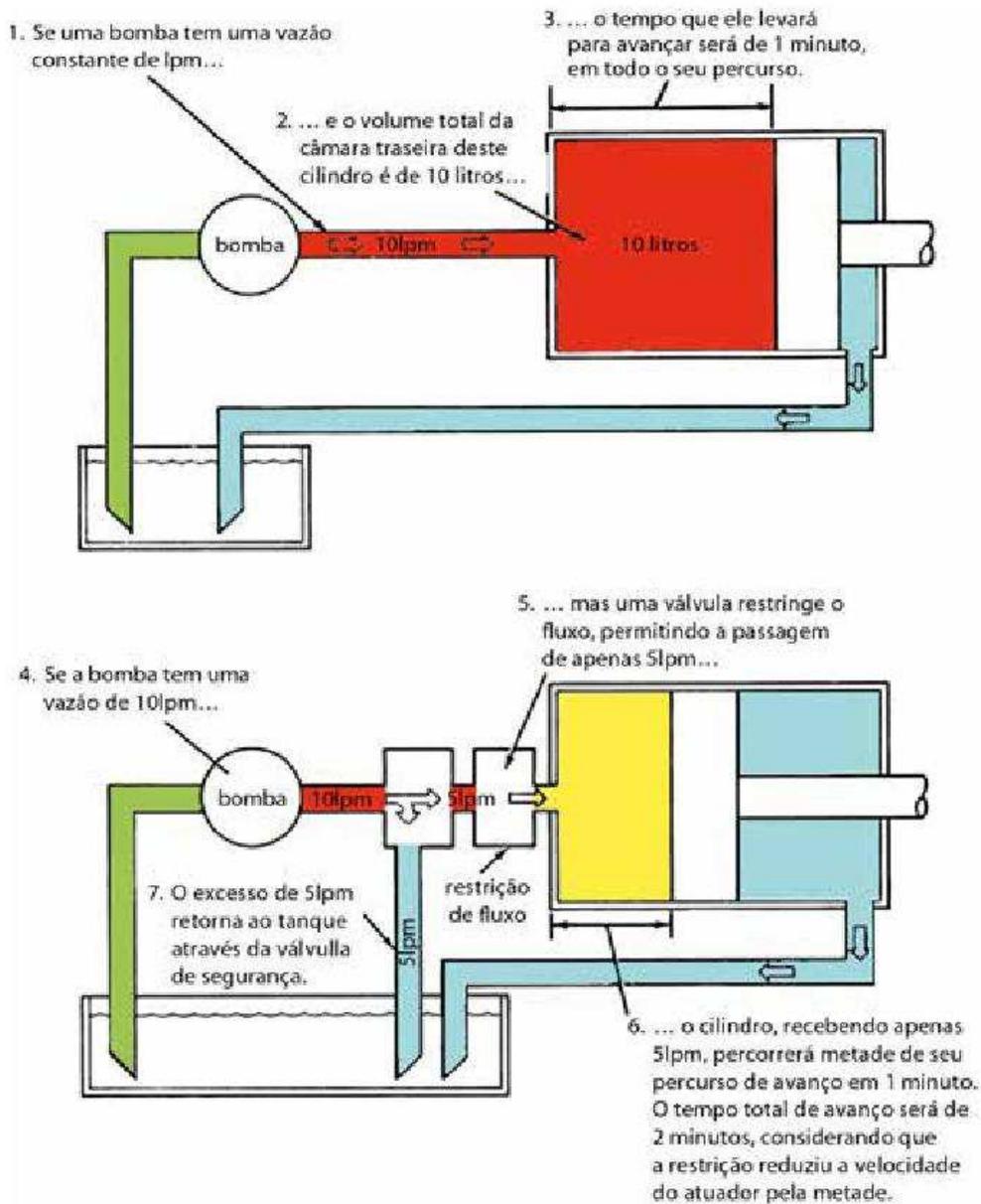
Os atuadores, por sua vez, convertem a energia hidráulica novamente em energia mecânica, produzindo movimento linear, no caso dos cilindros, ou rotativo, no caso dos motores hidráulicos.



Atuador linear (cilindro) e atuador rotativo (motor hidráulico)

## Vantagens do acionamento hidráulico

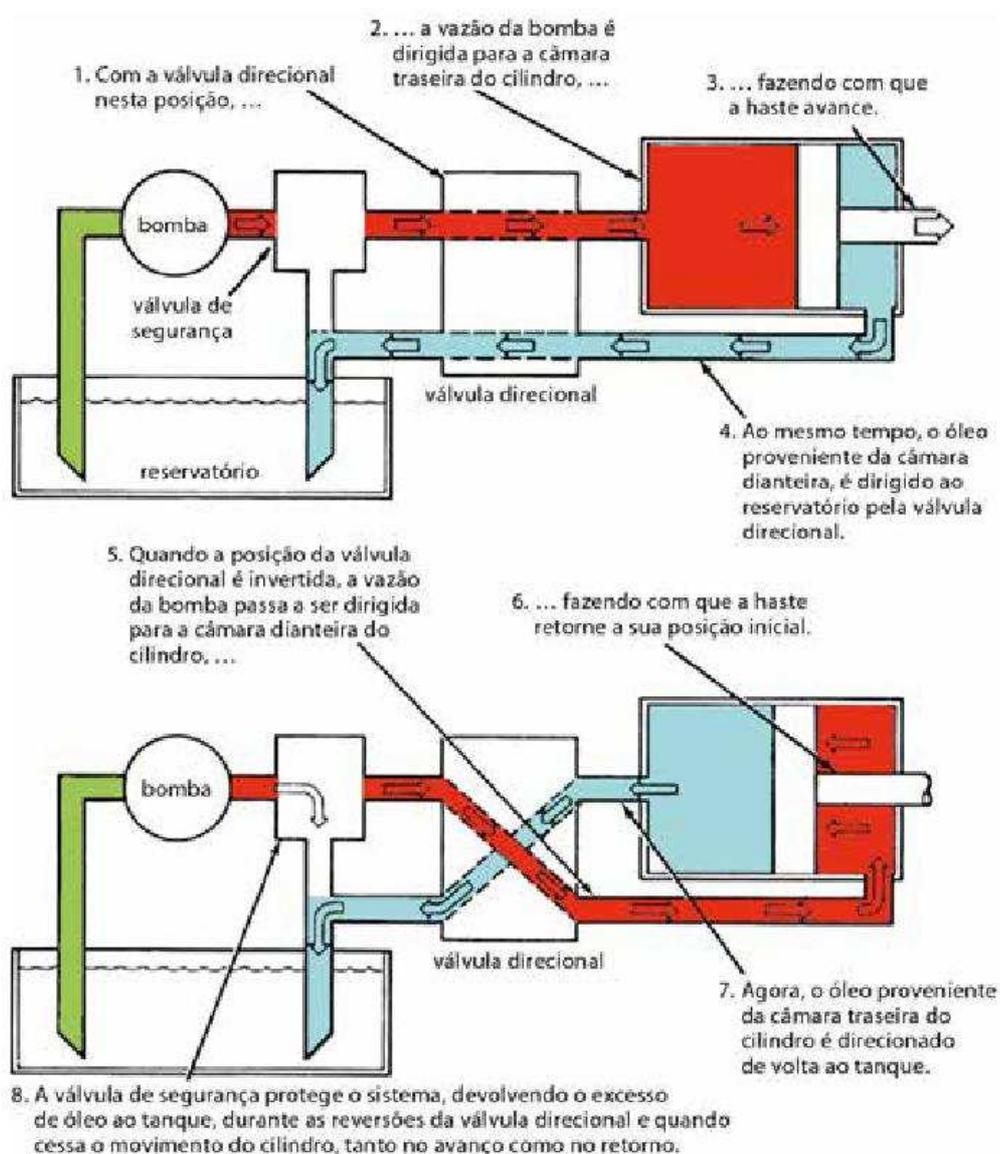
### 1. Velocidade variável:



Os motores elétricos convencionais apresentam uma rotação constante, o que é aceitável quando uma máquina deve operar sempre com a mesma velocidade.

O atuador de um sistema hidráulico, seja ele linear ou rotativo, pode ser acionado a velocidades variáveis e infinitas, sem escalonamentos como no caso de transmissões por engrenagens, simplesmente variando o deslocamento da bomba ou utilizando uma válvula controladora de vazão.

## 2. Reversibilidade:



Poucos são os acionadores mecânicos ou elétricos reversíveis. Os que o são precisam ser quase parados, antes de inverter o sentido de movimento ou rotação. Um atuador hidráulico, por sua vez, pode ser invertido instantaneamente sem quaisquer danos, mesmo que esteja em pleno movimento.

Uma válvula direcional ou uma bomba reversível efetuam esse controle enquanto uma válvula de segurança protege os componentes do sistema de pressões excessivas.

### 3. Parada instantânea:

Se pararmos bruscamente um motor elétrico, poderemos queimá-lo ou danificar os componentes do comando elétrico.

As máquinas operatrizes, da mesma forma, não podem ser paradas instantaneamente nem ter seus sentidos de movimento invertidos, sem a necessidade de uma nova partida.

Já os movimentos de um atuador hidráulico, linear ou rotativo, podem ser invertidos ou parado por completo, sem qualquer dano, mesmo com carga.

Na parada, a válvula de segurança do sistema hidráulico desvia para o tanque a vazão total ou parcial da bomba.

### 4. Proteção contra sobrecarga:

A válvula de segurança protege o sistema hidráulico de eventuais sobrecargas de pressão. Quando a pressão do sistema ultrapassa o valor de sua regulagem, a válvula de segurança abre e descarrega para o tanque o excesso de óleo proveniente da bomba, impedindo, dessa forma, que a pressão suba acima do limite pré-ajustado.

A válvula de segurança possibilita, portanto, ajustar as condições de trabalho de uma máquina hidráulica de acordo com a força ou o torque exigidos na operação a ser realizada.

### 5. Dimensões reduzidas:

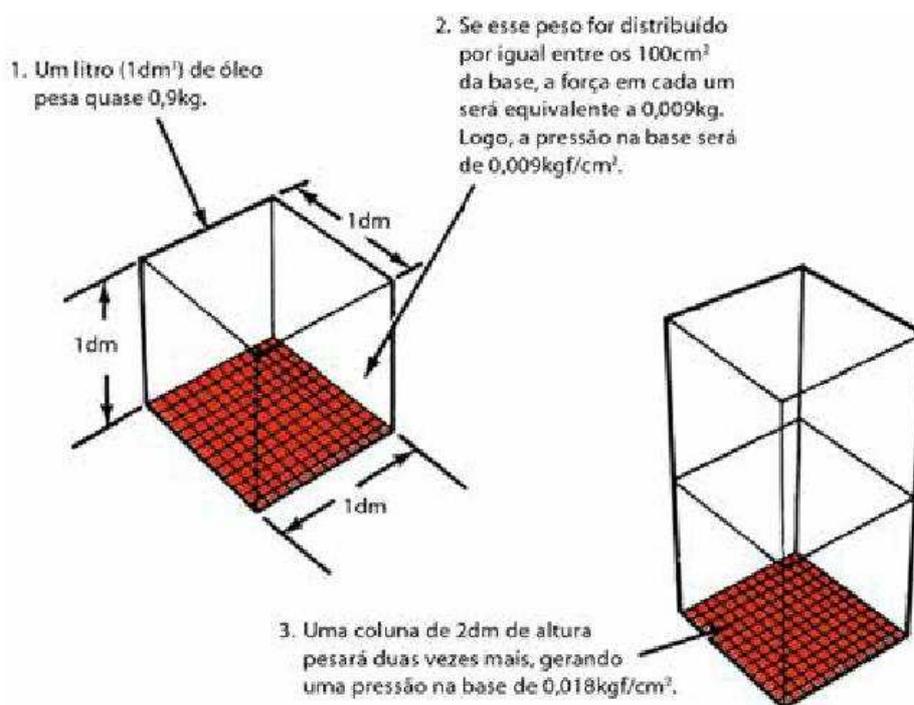
Devido às condições de alta velocidade e pressão, os componentes hidráulicos permitem transmitir um máximo de força com a utilização mínima de espaço e peso.

## Pressão no fundo de uma coluna de fluido

O peso de um óleo varia em função de suas características, composição e viscosidade. Nas condições normais de uso, o peso de um litro, da maioria dos óleos hidráulicos, é de aproximadamente 0,9 kg.

Um fato importante relacionado ao peso do óleo é o efeito causado por ele na entrada de uma bomba. Para cada decímetro de altura em relação à entrada da bomba, de uma coluna de óleo de  $1 \text{ dm}^2$  de área, o peso do óleo gera uma pressão de  $0,009 \text{ kgf/cm}^2$ .

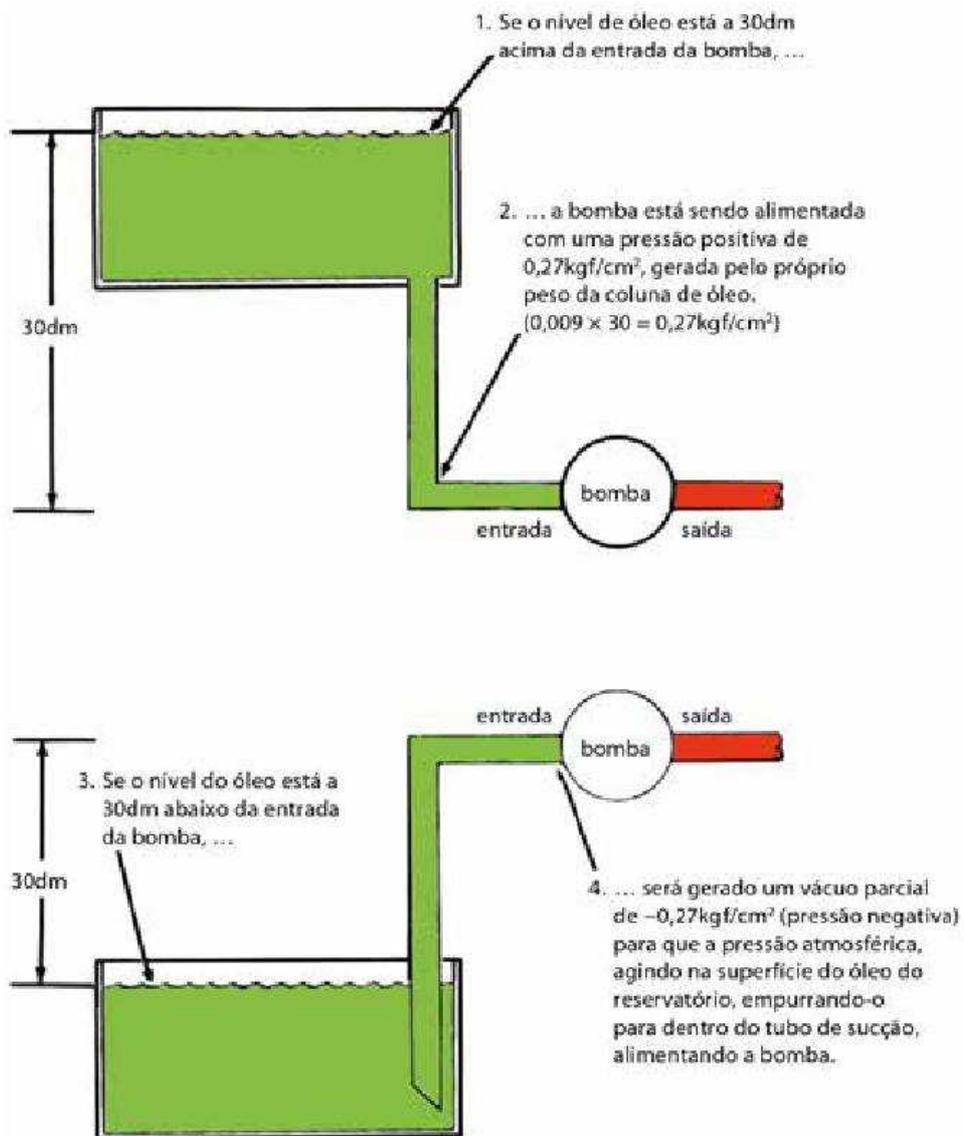
Assim, para calcular a pressão no fundo de uma coluna de óleo, basta multiplicar a altura dessa coluna, em decímetros, por  $0,009 \text{ kgf/cm}^2$ .



Partindo desse princípio, vamos ver o que acontece com a pressão na entrada de uma bomba, quando o reservatório de óleo está posicionado acima ou abaixo do nível da bomba.

Quando o nível do óleo no reservatório está acima da entrada da bomba, uma pressão positiva, gerada pelo seu próprio peso, empurra o óleo para dentro da bomba. Por outro lado, se o nível do óleo no reservatório estiver localizado abaixo

da entrada da bomba, ela deverá gerar uma pressão negativa (vácuo) na tubulação de sucção, para que a pressão atmosférica empurre o óleo para dentro da bomba.



Localização da entrada da bomba em relação ao nível do óleo do reservatório

### Observação

A água e os vários fluidos hidráulicos que resistem ao fogo são mais pesados do que o óleo mineral e, portanto, requerem mais vácuo por metro de levantamento.

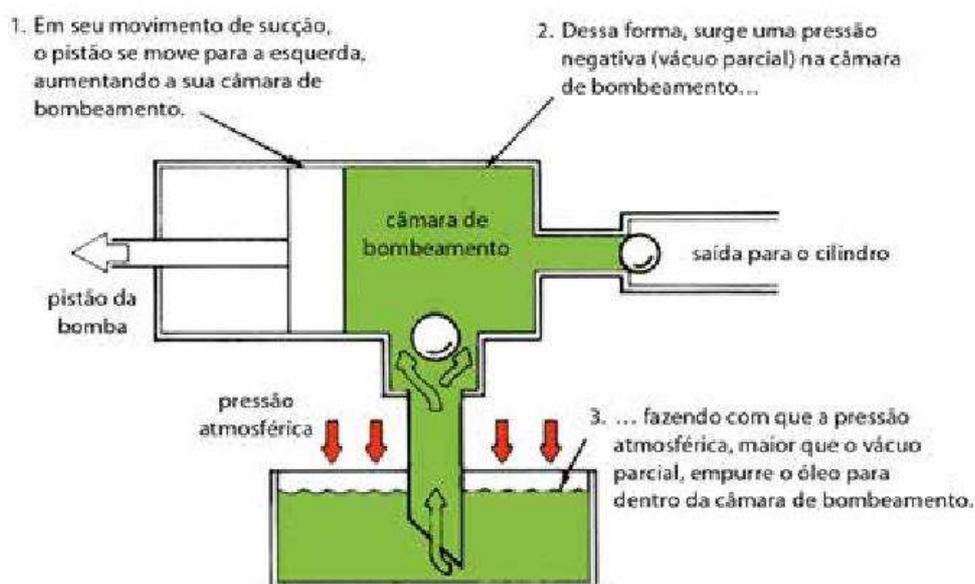
## Pressão atmosférica

A bomba é normalmente alimentada pelo diferencial de pressão do óleo entre a superfície do reservatório e seu pórtico de entrada ou de sucção.

No geral, a superfície do óleo do reservatório está submetida à pressão atmosférica que, ao nível do mar, mede em torno de  $1 \text{ kgf/cm}^2$ .

Sendo assim, quando o pórtico de entrada da bomba está acima da superfície do óleo do reservatório, faz-se necessária a geração de um vácuo parcial ou uma pressão negativa para que haja fluxo de óleo do tanque para a bomba. Como já vimos, esse vácuo precisa ser um pouco maior que a pressão formada pelo peso da coluna de óleo a ser bombeada.

A figura a seguir demonstra o funcionamento de uma bomba de pistão de movimento alternado, empregada em um macaco hidráulico convencional.



Puxando o pistão para a esquerda, cria-se um vácuo parcial na câmara de bombeamento. A pressão atmosférica, agindo na superfície do reservatório, empurra o óleo para dentro da câmara, preenchendo a bomba.

Já em uma bomba de conjunto rotativo, as câmaras sucessivas aumentam em tamanho ao passarem pelo pórtico de entrada, criando, da mesma forma, uma condição idêntica.

Se for possível formar um vácuo completo no pórtico de entrada da bomba, haverá, então, uma pressão de  $1 \text{ kgf/cm}^2$ , ou equivalente à pressão atmosférica local, a fim de empurrar o óleo para dentro da câmara.

Entretanto, para evitar problemas de cavitação que podem danificar a bomba, reduzindo consideravelmente sua vida útil, o vácuo não deve ser maior que  $-0,85 \text{ kgf/cm}^2$ .

Considerando que os líquidos se vaporizam ao serem submetidos a um vácuo total, isso provoca a formação de bolhas no óleo. Essas bolhas atravessam a bomba e, ao serem expostas à pressão de saída, implodem com força considerável, danificando a parte interna da bomba.

Mesmo que o óleo tenha boas características de vaporização, como as do óleo hidráulico, por exemplo, um alto índice de vácuo na entrada permitirá que o ar passe pela bomba, misturando-se ao óleo.

Além disso, quanto mais rápido a bomba girar, maior será o vácuo gerado, aumentando a possibilidade de cavitação.

## Cavitação

A cavitação é, portanto, a situação em que o líquido não preenche inteiramente o espaço interno da bomba, dando lugar à formação de bolhas de ar. Em geral, a cavitação está associada ao nível elevado de vácuo no pórtico de entrada da bomba.

Por essa razão, a maioria dos fabricantes de bombas recomenda um vácuo máximo equivalente a uma pressão negativa de  $-0,85 \text{ kgf/cm}^2$  absoluto, no pórtico de entrada da bomba.

Dessa forma, considerando uma pressão atmosférica de  $1 \text{ kgf/cm}^2$ , ativa na superfície do óleo do reservatório, resta ainda uma diferença de  $0,15 \text{ kgf/cm}^2$  para empurrar o óleo para dentro da bomba.

Evitando uma altura excessiva do pórtico de entrada da bomba, em relação ao nível do óleo do reservatório, as linhas de sucção permitem uma suavidade no fluxo com o mínimo de atrito.

Outro aspecto que merece destaque é que, se as conexões da linha de sucção não forem bem vedadas, o ar atmosférico concentra nas áreas de baixa pressão, podendo entrar na bomba, misturando-se ao óleo. A essa mistura, inconveniente e barulhenta, dá-se o nome de aeração.

Devido principalmente à compressibilidade, característica típica dos gases, quando o ar é exposto à pressão, no pósito de saída da bomba, ele se comprime causando operações irregulares, vibrações, aquecimento e ruído excessivo no sistema hidráulico.

## Aeração

A aeração se caracteriza, portanto, pela presença indesejada de ar no fluido hidráulico. A aeração excessiva faz com que o fluido tenha aparência leitosa e que os componentes operem irregularmente devido, como já vimos, à compressibilidade do ar retido no óleo.

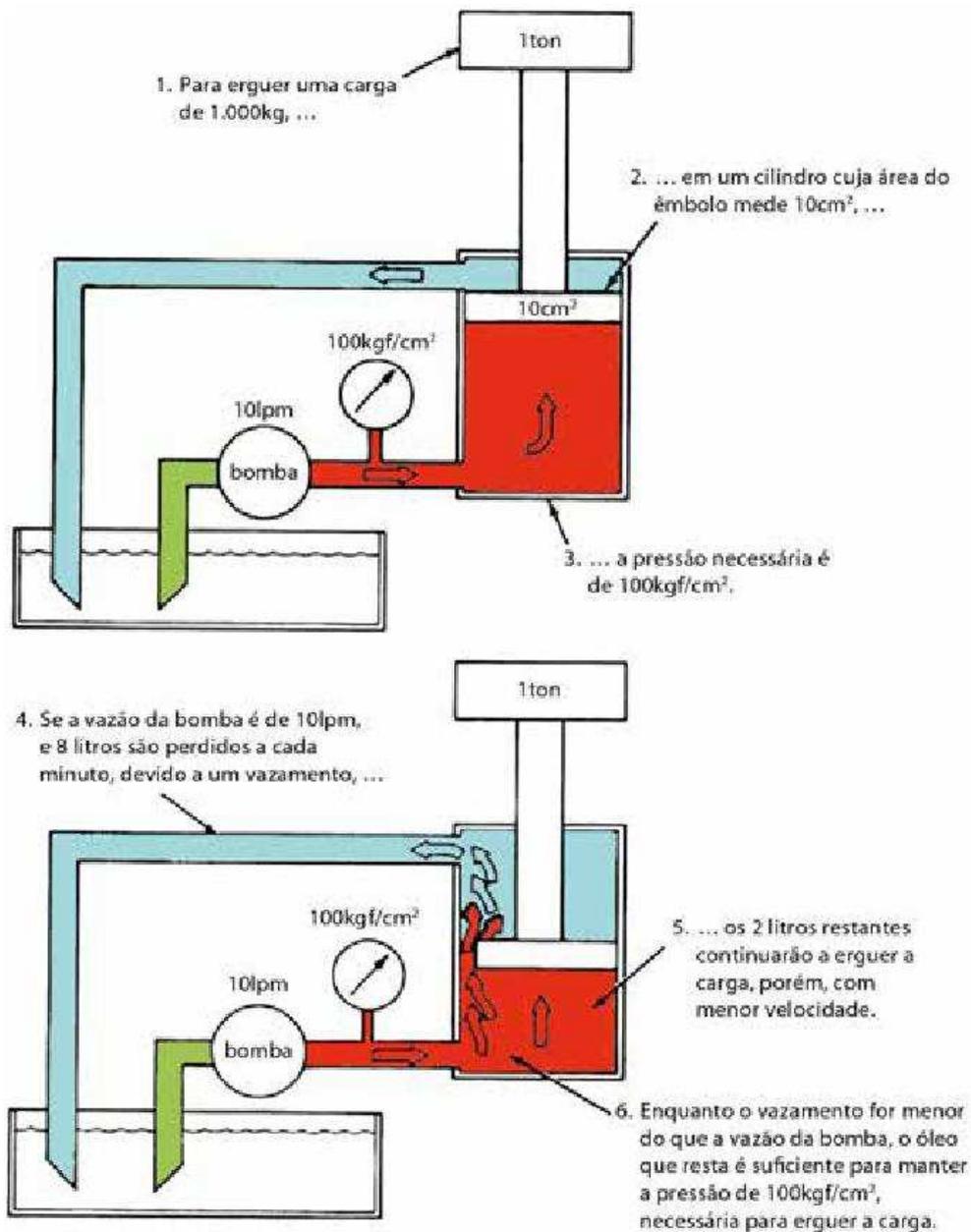
## Geração de pressão

Pela lei física da ação e reação, ao aplicarmos uma força sobre uma superfície, ela reage contra a ação da força. No ponto de contato entre a força e a superfície surge uma pressão. Essa pressão será maior quanto maior for a massa e, conseqüentemente, a reação da superfície.

Hidraulicamente falando, a pressão resulta da resistência à passagem do fluido. Toda vez que o fluxo de óleo é restringido, sua pressão aumenta.

A resistência ocorre em função da carga a ser movimentada por um atuador, linear ou rotativo, ou por restrições ou estrangulamentos nas tubulações e nos componentes hidráulicos.

A figura a seguir exemplifica como a carga de um atuador ou um vazamento influenciam na pressão do sistema hidráulico. Uma bomba desloca para um atuador uma vazão de 10 litros de óleo por minuto. O atuador deve erguer uma carga de 1000 kgf e seu êmbolo tem uma área de 10 cm<sup>2</sup>.

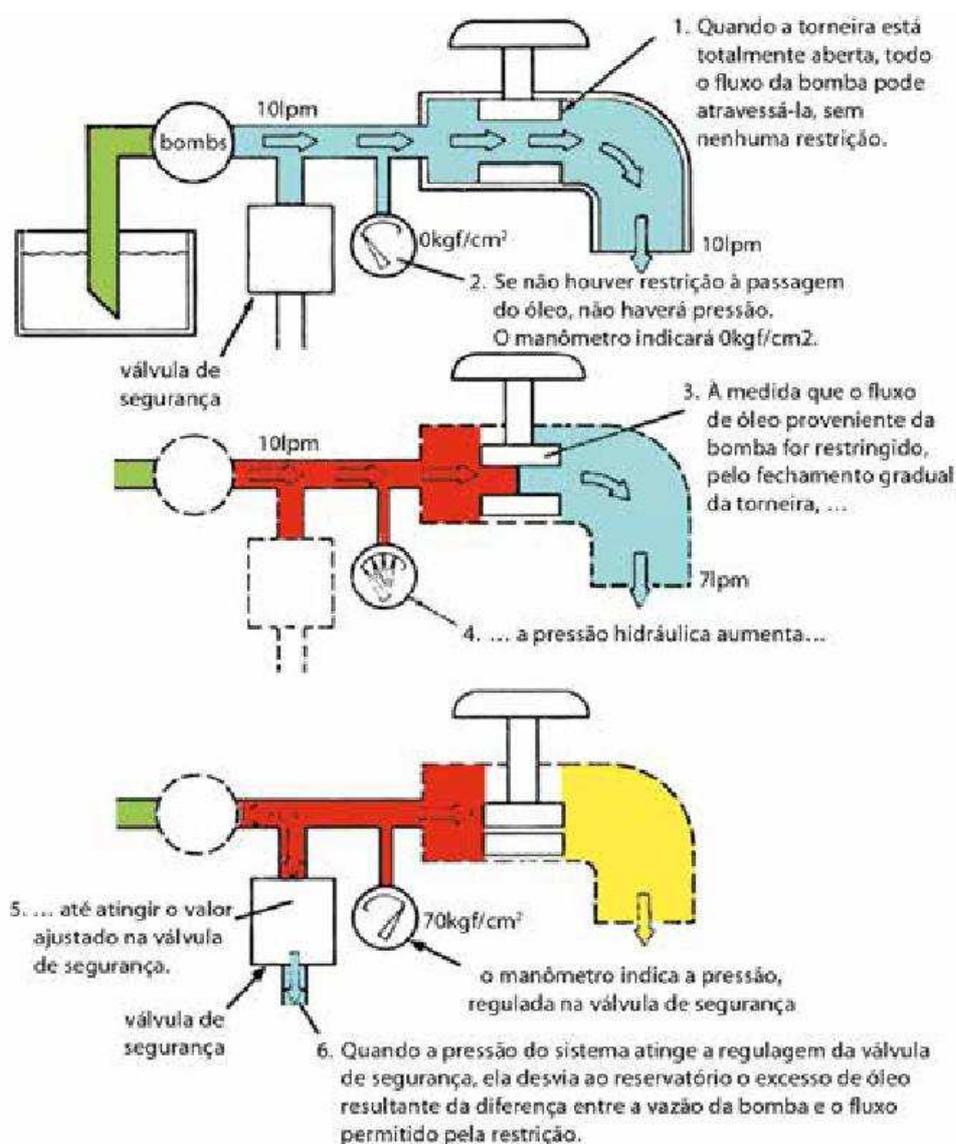


Como já vimos, a pressão necessária para erguer a carga é  $P = \frac{F}{A} = \frac{1000}{10} = 100 \text{ kgf/cm}^2$ .

Se houver um vazamento de vazão inferior ao deslocamento da bomba, a pressão será mantida e o cilindro continuará elevando a carga, embora com menor velocidade. Entretanto, se o vazamento for igual ou maior que a vazão da bomba,

não haverá pressão, pois todo o óleo poderá fluir livremente através do vazamento, sem nenhuma restrição.

Na figura seguinte, uma bomba com deslocamento de 10 lpm (litros por minuto) tem, ligadas a sua saída, uma válvula de segurança, regulada para operar a  $70 \text{ kgf/cm}^2$ , e uma torneira.



Se essa torneira estiver totalmente aberta, o deslocamento do fluxo da bomba se processa sem nenhuma restrição e, dessa forma, o manômetro não registra pressão.

À medida que a torneira é fechada, gradativamente, reduz-se a passagem do óleo, aumentando a resistência ao fluxo normal do fluido proveniente da bomba e, como consequência, a pressão no sistema.

Quanto maior for a restrição provocada pelo fechamento da torneira, maior será a pressão para empurrar os 10 lpm de óleo, enviados pela bomba.

A válvula de segurança, por sua vez, tem a função de limitar essa pressão. Como, nesse caso, a válvula de segurança está regulada para uma pressão máxima de  $70 \text{ kgf/cm}^2$ , ao atingir esse valor ela abre, desviando para o tanque o excesso de óleo e evitando que a pressão no sistema hidráulico ultrapasse sua regulagem.

Na teoria, sem a válvula de segurança no circuito não haveria limite para o acréscimo de pressão. Na prática, alguma coisa teria de se romper como, uma tubulação, uma mangueira ou até mesmo um dos componentes hidráulicos do sistema.

Nesse exemplo, se forem necessários  $70 \text{ kgf/cm}^2$  de pressão para empurrar o óleo através da abertura da torneira, a válvula de segurança se abrirá neste valor, não permitindo que a pressão suba acima dele.

Se o registro estiver completamente fechado, toda a vazão da bomba terá de ser desviada para o tanque, pela válvula de segurança, somente quando a pressão no sistema atingir os  $70 \text{ kgf/cm}^2$ , ajustado na válvula.

Pode-se concluir, então, que o uso de uma válvula de segurança é obrigatório, dentro de um sistema hidráulico, para limitar a pressão e, com isso, garantir a integridade dos componentes nele utilizados.

## Bombas de deslocamento positivo

A maioria das bombas utilizadas nos sistemas hidráulicos é classificada como **bombas de deslocamento positivo**.

Isso significa que sua vazão ou deslocamento é constante, independentemente da pressão do sistema com a qual a válvula de segurança foi regulada.

Os pórticos de entrada e de saída ocupam posições opostas na carcaça da bomba, de modo que o fluido que entra por um lado é forçado a sair pelo outro.

Muito embora haja uma tendência em responsabilizar a bomba quando ocorrerem quedas ou perdas de pressão no sistema hidráulico, a única função da bomba

é gerar fluxo. Ao contrário do que muita gente pensa, **bomba não cria pressão**. Como vimos, a pressão é causada pela resistência à passagem do fluxo.

Com raras exceções, as perdas ou quedas de pressão no sistema hidráulico só ocorrem provocadas por vazamentos. Sendo assim, uma bomba poderá estar desgastada, perdendo praticamente toda a sua eficiência porém, a pressão no sistema será mantida.

## Unidades de pressão

Existe um infinidade de unidades de pressão. Dentre elas, as mais comumente encontradas em sistemas hidráulicos industriais, e já mencionadas, são o  $\text{kgf/cm}^2$ , no sistema métrico, e a  $\text{lbf/pol}^2$ , no sistema inglês. Além dessas unidades, podemos mencionar ainda:

- **$\text{kgf/cm}^2$**  unidade métrica que corresponde a  $14,2233 \text{ lbf/pol}^2$
- **$\text{lbf/pol}^2$**  unidade inglesa, também chamada de **PSI (Pound-force per Square Inch)**, que equivale a  $0,0703 \text{ kgf/cm}^2$
- **bar** corresponde a  $1,0197 \text{ kgf/cm}^2$  ou  $100000 \text{ Pa}$
- **Pa (Pascal)** equivale a  $1,0197 \cdot 10^{-5} \text{ kgf/cm}^2$  ou  $0,00001 \text{ bar}$
- **atm** provém da palavra “atmosfera” que, ao nível do mar, mede  $1,0333 \text{ kgf/cm}^2$
- **mmHg** milímetro de mercúrio ou **Torr (Torricelli)**, corresponde a  $0,0013 \text{ kgf/cm}^2$

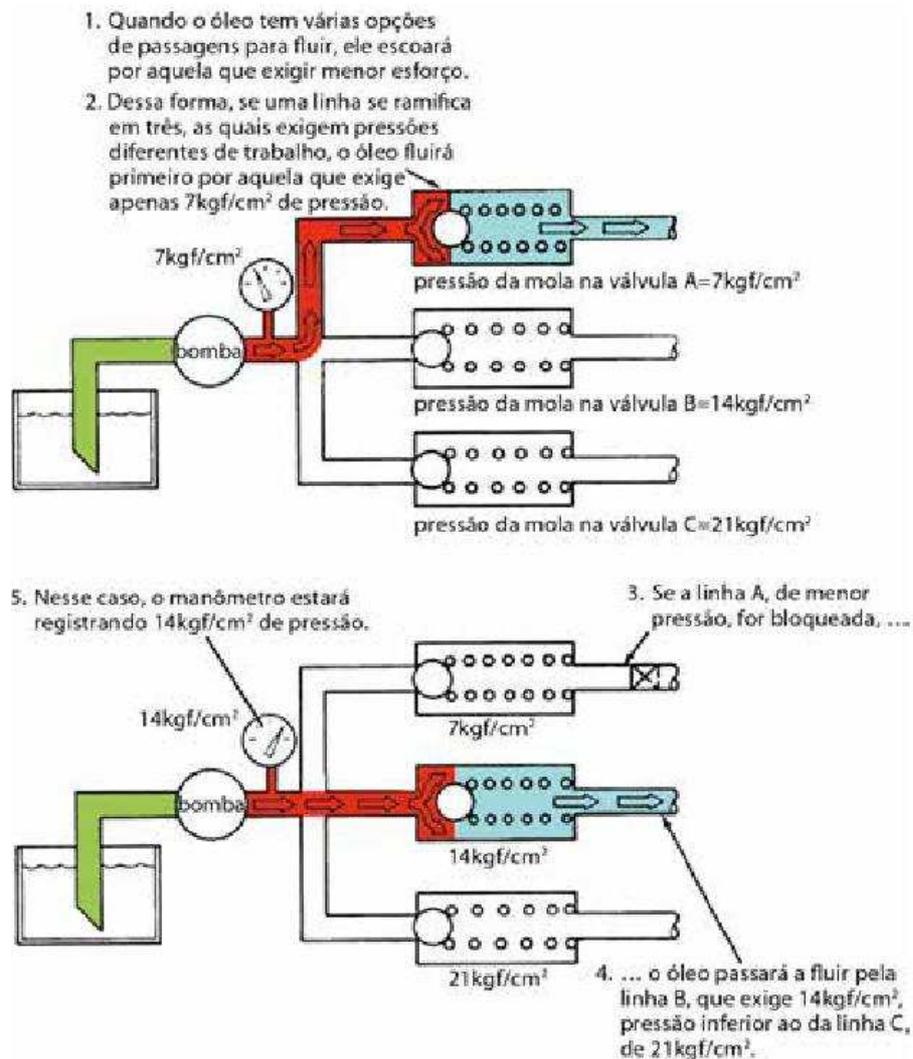
## Tabela de conversão de unidades de pressão

| Multiplique | por       | para obter               |
|-------------|-----------|--------------------------|
| atm         | 1,01325   | bar                      |
| atm         | 1,033227  | $\text{kgf/cm}^2$        |
| atm         | 14,69595  | $\text{lbf/pol}^2$ (PSI) |
| atm         | 760       | mmHg (Torr)              |
| atm         | 101325    | Pa (Pascal)              |
| bar         | 0,9869233 | atm                      |

| Multiplique                | por             | para obter                 |
|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| bar                        | 1,019716        | kgf/cm <sup>2</sup>        |
| bar                        | 14,50377        | lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) |
| bar                        | 750,0617        | mmHg (Torr)                |
| bar                        | 100000          | Pa (Pascal)                |
| kgf/cm <sup>2</sup>        | 0,9678411       | atm                        |
| kgf/cm <sup>2</sup>        | 0,980665        | bar                        |
| kgf/cm <sup>2</sup>        | 14,22334        | lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) |
| kgf/cm <sup>2</sup>        | 735,5592        | mmHg (Torr)                |
| kgf/cm <sup>2</sup>        | 98066,5         | Pa (Pascal)                |
| lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) | 0,06804596      | atm                        |
| lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) | 0,06894757      | bar                        |
| lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) | 0,07030696      | kgf/cm <sup>2</sup>        |
| lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) | 51,71493        | mmHg (Torr)                |
| lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) | 6894,757        | Pa (Pascal)                |
| mmHg (Torr)                | 0,001315789     | atm                        |
| mmHg (Torr)                | 0,001333224     | bar                        |
| mmHg (Torr)                | 0,00135951      | kgf/cm <sup>2</sup>        |
| mmHg (Torr)                | 0,01933677      | lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) |
| mmHg (Torr)                | 133,3224        | Pa (Pascal)                |
| Pa (Pascal)                | 0,0000098693233 | atm                        |
| Pa (Pascal)                | 0,00001         | bar                        |
| Pa (Pascal)                | 0,00001019716   | kgf/cm <sup>2</sup>        |
| Pa (Pascal)                | 0,0001450377    | lbf/pol <sup>2</sup> (PSI) |
| Pa (Pascal)                | 0,007500617     | mmHg (Torr)                |

## Fluxo em paralelo

Uma característica peculiar a todos os líquidos é que eles procuram sempre os caminhos que oferecem menor resistência.



Assim sendo, quando houver duas vias de fluxo, ligadas em paralelo, cada qual com uma resistência diferente, a pressão aumenta o suficiente para exercer o menor esforço, fazendo com que o fluxo procure sempre o caminho mais fácil.

Da mesma forma, quando a saída de uma bomba for dirigida a dois atuadores iguais, avançará primeiro aquele que oferecer menos resistência ao movimento, ou aquele submetido a uma carga menor. Por outro lado, se os atuadores forem diferentes, avançará primeiro aquele que necessitar de menor pressão, obtida da divisão da carga a ser movimentada pela área de atuação da pressão de cada atuador.

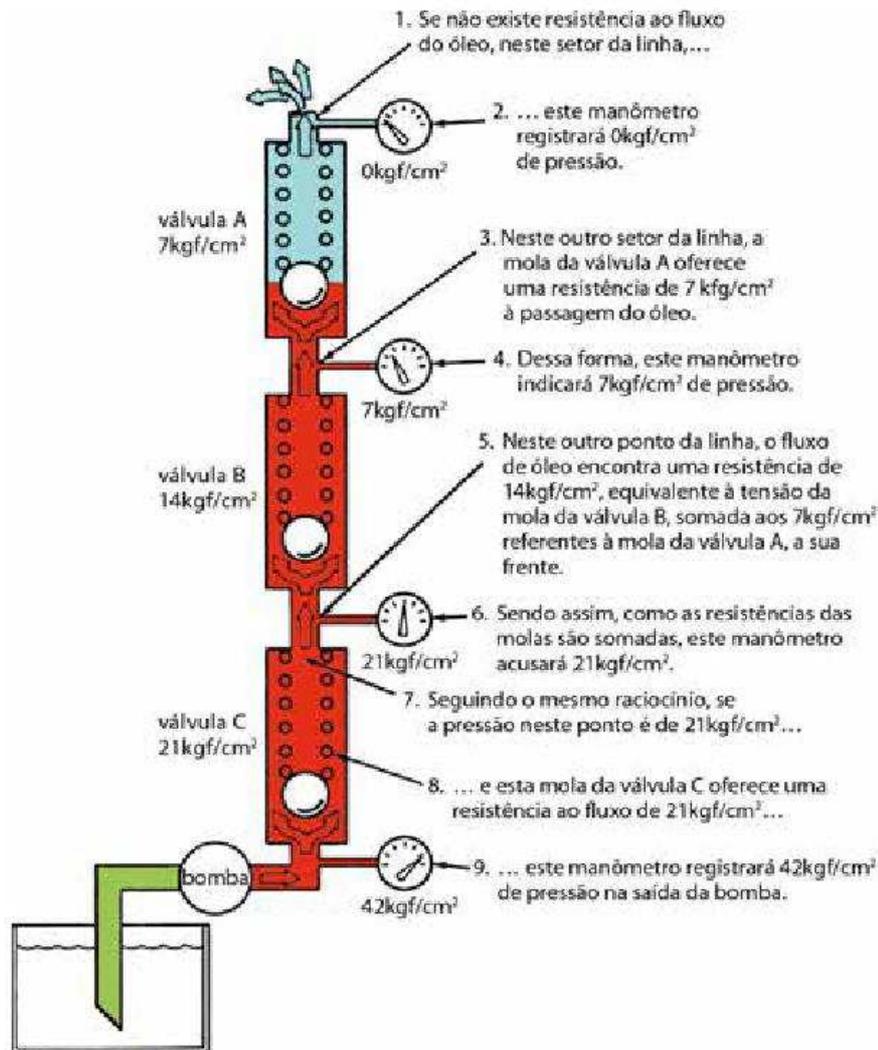
Considerando que é muito difícil balancear cargas com exatidão, quando dois ou mais cilindros precisam ser movimentados ao mesmo tempo, eles devem ser interligados mecanicamente.

## Fluxo em série

Quando as resistências ao fluxo estiverem montadas na mesma linha de passagem do fluxo, ou seja, em série, as pressões exigidas para cada uma delas são somadas de maneira contínua.

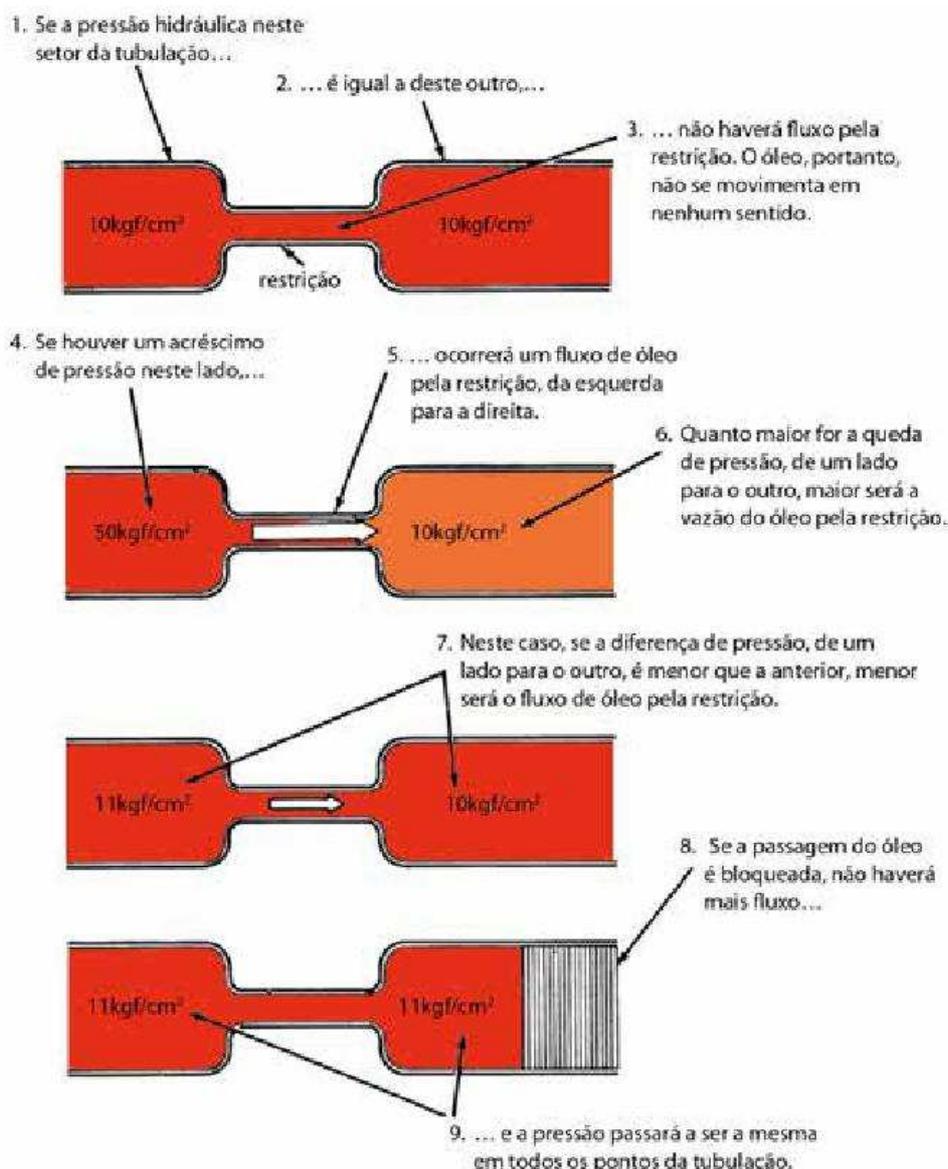
A pressão em determinado ponto da instalação equivale, portanto, à somatória de todas as restrições localizadas a sua frente, uma após a outra.

Sendo assim, conforme demonstrado na figura a seguir, para determinar a pressão em um setor específico do circuito hidráulico, onde as cargas estão em série, basta somarmos os valores de pressão exigidos para cada uma das cargas posicionadas logo à frente do setor onde será efetuada a medição da pressão.



## Queda de pressão através de uma restrição ou estrangulamento

Uma restrição ou estrangulamento é uma passagem estreita para o óleo, em um tubo, conexão ou componente do sistema hidráulico. As restrições, conhecidas por alguns como giclês, são utilizadas para controlar o fluxo hidráulico ou criar uma diferença de pressão, entre a entrada e a saída, chamada de **queda de pressão**.



Para que haja fluxo de óleo por uma restrição, deverá ocorrer, obrigatoriamente, uma diferença ou queda de pressão entre a entrada e a saída do estrangulamento. Se não houver fluxo, não existirá queda de pressão.

Queda de pressão e fluxo, através de uma restrição, são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a diferença de pressão entre a entrada e a saída da restrição, maior será o volume de fluido passando pelo estrangulamento.

Se o fluxo for bloqueado, depois da restrição, a pressão se iguala logo nos dois lados da restrição. De acordo com a lei de Pascal, com o fluido em repouso, a pressão é a mesma em todos os pontos do circuito.

## Força de trabalho em função da pressão e da área de atuação

A força de trabalho de um atuador depende da pressão hidráulica e da área onde ela é aplicada.

Conforme vimos anteriormente:

$$P = \frac{F}{A}$$

Onde, no sistema métrico:

P = pressão em kgf/cm<sup>2</sup>

F = força em kgf

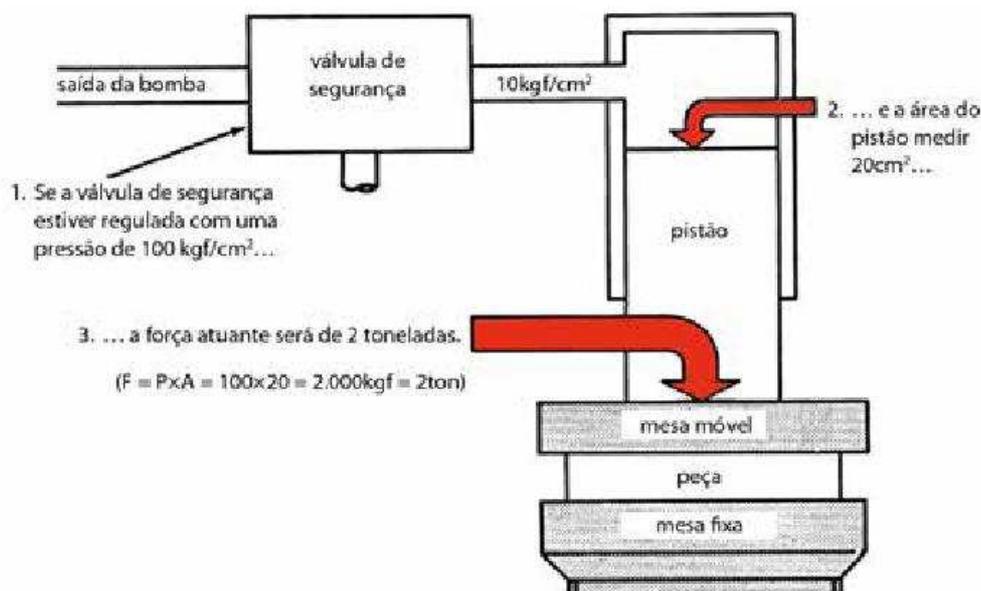
A = área em cm<sup>2</sup>

Então, para se calcular a força de um atuador, conhecendo-se a pressão de trabalho e a área de atuação dessa pressão, teremos:

$$F = P \times A$$

Por outro lado, para se determinar a área de atuação da pressão, em função da força exigida do atuador e da pressão de trabalho disponível, usaremos:

$$A = \frac{F}{P}$$



No exemplo acima, como força e pressão são diretamente proporcionais, dobrando-se o valor de regulação da válvula de segurança para 200 kgf/cm<sup>2</sup>, aumenta-se o dobro a força do pistão:

$$F = P \times A = 200 \times 20 = 4000 \text{ kgf ou } 4 \text{ ton}$$

Da mesma forma, força e área também são diretamente proporcionais. Assim, substituindo-se o pistão por outro de área duas vezes maior, 40 cm<sup>2</sup>, a força do pistão será o dobro para a mesma regulação de 100 kgf/cm<sup>2</sup>, de pressão na válvula de segurança:

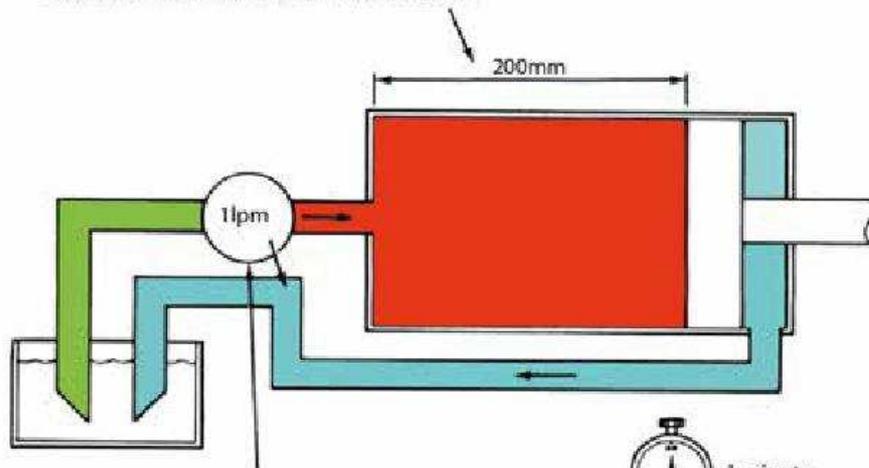
$$F = P \times A = 100 \times 40 = 4000 \text{ kgf ou } 4 \text{ ton.}$$

## Velocidade do fluido hidráulico

### 1. Velocidade de um atuador:

A velocidade com que um cilindro se desloca, ou um motor gira, depende de suas dimensões internas e da vazão de óleo que estão recebendo. Para relacionar o fluxo de óleo com a velocidade do atuador, devemos considerar o volume de fluido que deve preencher o atuador para que ele percorra determinada distância, no caso de um cilindro, ou ângulo de rotação, no caso de um motor hidráulico.

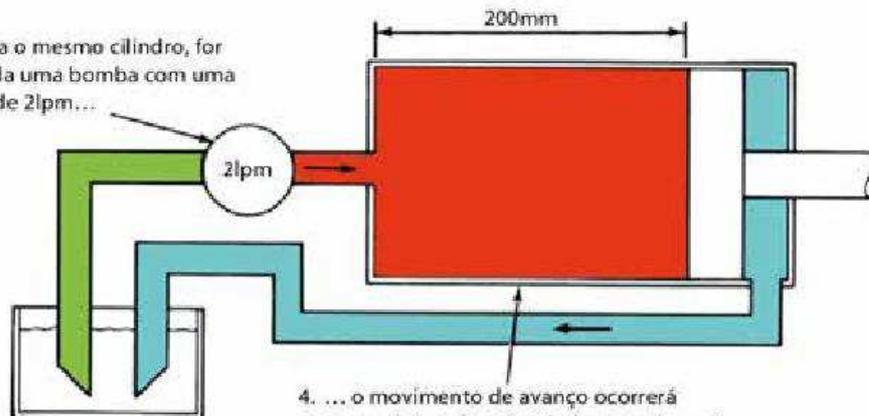
1. Se um cilindro possui uma área de êmbolo de  $50\text{cm}^2$  ( $0,5\text{dm}^2$ ) e um curso de  $200\text{mm}$  ( $2\text{dm}$ ), na sua câmara traseira cabe  $1$  litro de óleo.



2. Se a bomba tiver uma vazão de  $1$  litro de óleo por minuto, ela levará  $1$  minuto para preencher a câmara traseira do cilindro. Isso significa que o cilindro levará  $1$  minuto para completar o seu movimento de avanço.



3. Se, para o mesmo cilindro, for utilizada uma bomba com uma vazão de  $2\text{lpm}$ ...



4. ... o movimento de avanço ocorrerá com o dobro da velocidade, completando seu movimento em apenas  $30$  segundos.

Podemos notar que, embora as câmaras de ambos os cilindros possuam o mesmo volume, o êmbolo do segundo cilindro se movimentará duas vezes mais rápido, considerando que a vazão da segunda bomba é o dobro da primeira.

Se um dos cilindros tivesse um êmbolo de diâmetro menor, sua velocidade seria maior, considerando que o preenchimento da câmara ocorreria mais rapidamente, devido a suas dimensões reduzidas.

Dessa forma, a relação entre a velocidade de um cilindro em função das dimensões de seu êmbolo e da vazão da bomba é a seguinte:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Onde, no sistema métrico:

$v$  = velocidade do êmbolo em dm/min

$Q$  = vazão da bomba lpm ou  $\text{dm}^3/\text{min}$

$A$  = área do êmbolo em  $\text{dm}^2$

Concluimos, então, que:

- a) a força ou torque de um atuador depende diretamente da pressão de operação e independe da vazão da bomba;
- b) já a velocidade de um atuador depende da vazão da bomba, indiferente da pressão de trabalho.

## 2. Velocidade do óleo na tubulação:

A velocidade com que o fluido passa pela tubulação é um fator importante no sistema hidráulico, considerando o atrito que a velocidade acarreta.

No geral, as faixas de velocidade recomendadas para o fluido hidráulico são:

- Linhas de sucção de bombas:

6 a 12 dm por segundo = 0,6 a 1,2 m/s

- Linhas de pressão do circuito hidráulico:

20 a 60 dm por segundo = 2 a 6 m/s

- Linhas de retorno para o reservatório:

30 a 50 dm por segundo = 3 a 5 m/s

Recomendam-se baixas velocidades para a linha de sucção, visto que se pode tolerar pouca queda de pressão afim de se evitar a cavitação.

É importante destacar que:

- a) a velocidade do fluido através de um tubo varia inversamente ao quadrado do seu diâmetro interno;

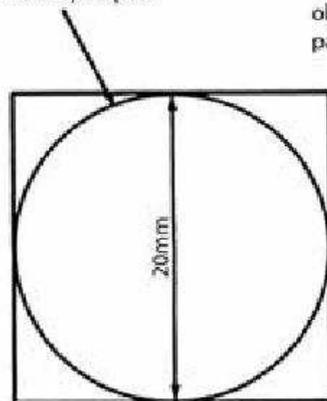
- b) o atrito do fluido, dentro da tubulação, é proporcional a sua velocidade. Normalmente, se o fluxo for turbulento, o atrito varia em função do quadrado da velocidade.

A figura a seguir nos mostra que dobrando o diâmetro interno de um tubo, quadruplicamos a sua área interna, reduzindo em quatro vezes a velocidade do fluxo do óleo em relação ao tubo menor.

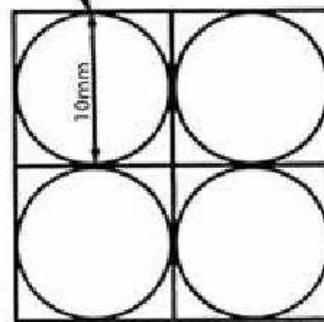
Diminuindo-se o diâmetro do tubo pela metade, a área interna será reduzida em quatro vezes, quadruplicando a velocidade do fluxo de óleo.

O atrito gera turbulência no fluido, oferecendo resistência ao fluxo e resultando na queda de pressão através da linha.

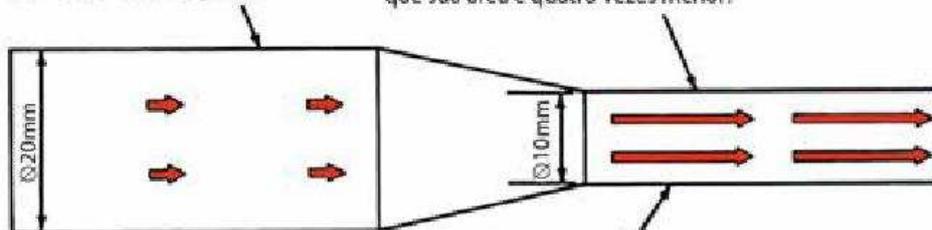
1. Suponhamos que este tubo tenha um diâmetro duas vezes maior que um outro tubo qualquer.



2. Se este outro tubo tem a metade do diâmetro do tubo ao lado, seriam necessários quatro deles para obtermos a mesma área de passagem do óleo.



3. Então, se a vazão de óleo neste tubo for de 5lpm...



4. ... neste outro, a velocidade do óleo deverá ser quatro vezes maior para suportar a mesma vazão de 5lpm, considerando-se que sua área é quatro vezes menor.

5. Portanto, área e velocidade são inversamente proporcionais, ou seja, reduzindo-se o diâmetro do tubo pela metade, reduz-se a sua área quatro vezes, quadruplicando a velocidade do fluxo de óleo.

## Procedimentos para determinação das dimensões da tubulação

Uma vez conhecidas a vazão da bomba e a velocidade do fluxo, utilizadas no circuito hidráulico, emprega-se a seguinte fórmula para calcular a área interna do tubo:

$$A = \frac{Q \times 0,17}{v}$$

Onde:

A = área interna do tubo em  $\text{cm}^2$

Q = vazão da bomba em lpm

v = velocidade do fluxo de óleo em m/s

Para se calcular a velocidade do fluxo de óleo, conhecendo a vazão da bomba e a área interna do tubo, usa-se a mesma fórmula invertida:

$$v = \frac{Q \times 0,17}{A}$$

Fundamentada nesta fórmula, foi estruturada uma tabela nomográfica, apresentada na página a seguir, com o objetivo de facilitar a determinação das dimensões da tubulação hidráulica, em função da vazão da bomba e da velocidade do fluxo do óleo.

Na coluna da esquerda, a tabela apresenta uma escala de vazão de bomba em litros por minuto. Na coluna da direita há outra escala com os valores de velocidade do fluxo de óleo em metros por segundo. Na coluna central, por sua vez, existem três escalas: do lado direito é representada a área interna do tubo em  $\text{cm}^2$ , do lado esquerdo por dentro o diâmetro interno real do tubo em polegadas e, por fora, a bitola nominal.

Para utilizar a tabela, coloque uma régua transparente interligando dois valores conhecidos em duas das escalas e determine a medida desejada na terceira coluna, conforme o exemplo apresentado na tabela.

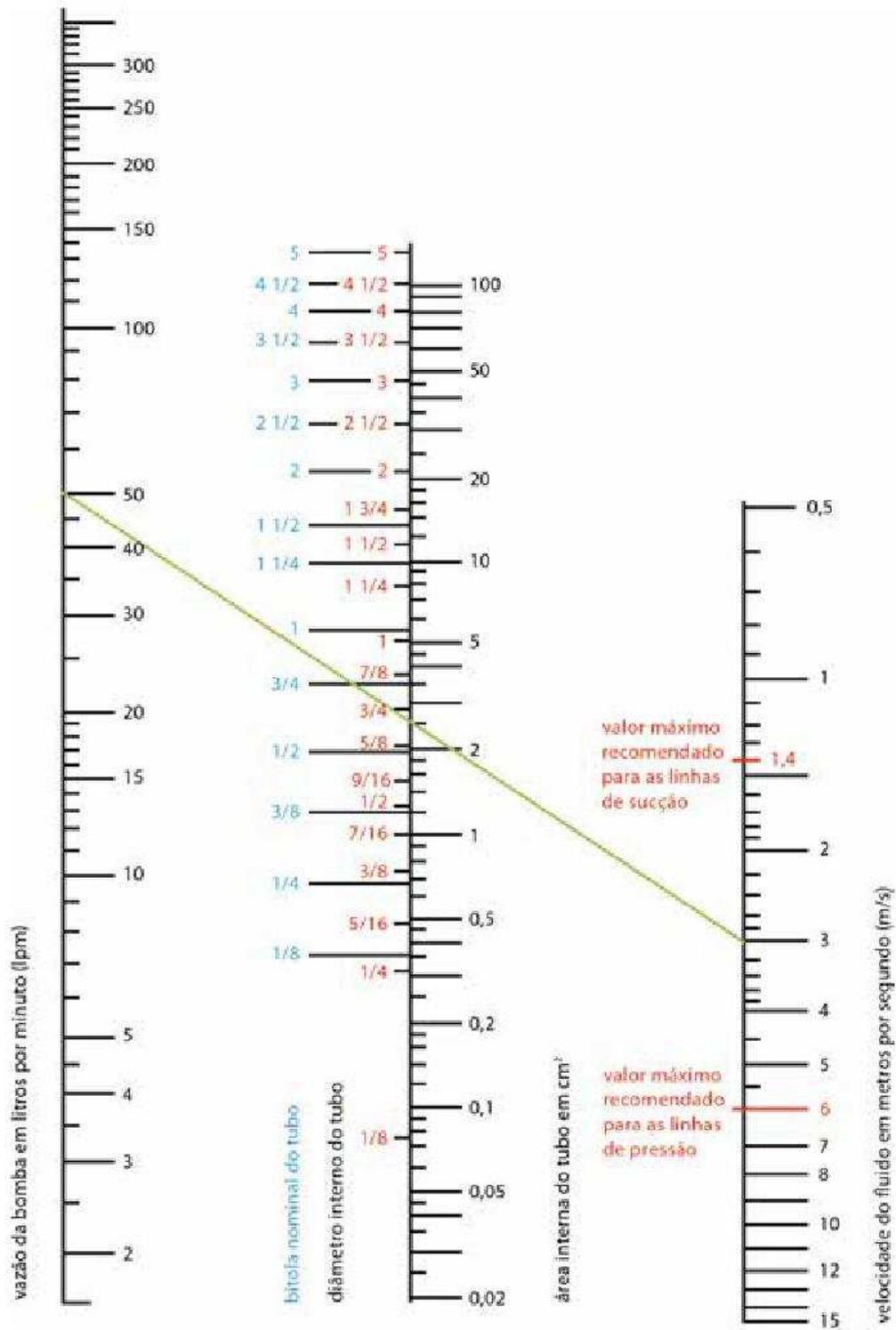


Tabela nomográfica

## Trabalho, potência e torque

### 1. Trabalho:

Trabalho é uma força aplicada a determinada distância.

$$T = F \times d$$

Onde:

T = trabalho em kgm (quilogrâmetros)

F = força em kgf

d = distância em m

Exemplo:

Se um peso de 10 kgf for levantado 10 m, o trabalho realizado será:

$$T = F \times d = 10 \times 10 = 100 \text{ kgm}$$

Essa fórmula não considera a velocidade em que o trabalho é efetuado. Quando se leva em conta a velocidade com que o trabalho é realizado, determina-se a **potência** do sistema.

### 2. Potência:

Potência é, portanto, o trabalho realizado em uma unidade de tempo.

$$E = \frac{F \times d}{t}$$

Onde:

E = potência em kgm/s

F = força em kgf

d = distância em m

t = tempo em segundos

A unidade padrão de potência é o cavalo-vapor (CV), que equivale a levantar 75 kgf a um metro de altura em um segundo.

Assim como ocorre com a pressão, existem inúmeras unidades de potência. As unidades de potência mais utilizadas são apresentadas, a seguir, na tabela de conversão.

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE POTÊNCIA

| <b>Multiplique</b> | <b>por</b>  | <b>para obter</b>                           |
|--------------------|-------------|---|
| kgm/s              | 0,0133333   | CV (cavalo vapor – unidade métrica)         |
| kgm/s              | 0,0131598   | HP (Horse power – unidade inglesa)          |
| kgm/s              | 9,8133333   | W (Watt) (unidade de potência elétrica)     |
| kgm/s              | 0,5573333   | BTU/min (unidade utilizada em refrigeração) |
| CV                 | 75          | kgm/s                                       |
| CV                 | 0,9869922   | HP  |
| CV                 | 736         | W   |
| CV                 | 41,8        | BTU/min                                     |
| HP                 | 75,988442   | kgm/s                                       |
| HP                 | 1,0131792   | CV  |
| HP                 | 745,6999    | W   |
| HP                 | 42,44498    | BTU/min                                     |
| W                  | 0,1019021   | kgm/s                                       |
| W                  | 0,0013586   | CV  |
| W                  | 0,001341022 | HP  |
| W                  | 0,05691965  | BTU/min                                     |
| BTU/min            | 1,7942583   | kgm/s                                       |
| BTU/min            | 0,0239234   | CV  |
| BTU/min            | 0,02355991  | HP  |
| BTU/min            | 17,56863    | W   |

#### POTÊNCIA EM UM SISTEMA HIDRÁULICO

Em um sistema hidráulico, a velocidade e a distância percorrida por um atuador dependem da **vazão** da bomba, enquanto a força depende da **pressão**.

Dessa forma, a potência hidráulica teórica é expressa pela seguinte fórmula:

$$E = Q \times P \times 0,0022$$

Onde:

E = potência hidráulica em CV  
 Q = vazão da bomba em lpm  
 P = Pressão de operação em kgf/cm<sup>2</sup>  
 0,0022 = coeficiente de conversão de unidades

Na prática, considerando que o rendimento de um sistema hidráulico gira em torno de 85%, devido às perdas por atrito, a potência necessária para acionar uma bomba deverá ser um pouco maior. Sendo assim, deve-se aplicar as seguintes fórmulas:

Sistema métrico:

$$Mt = \frac{E \times 725}{rpm}$$

Onde:

E = potência em CV  
 Q = vazão em lpm (litros/minuto)  
 P = pressão em kgf/cm<sup>2</sup>  
 426 = fator de conversão a 85%

Sistema inglês:

$$E = Q \times P \times 0,0007$$

Onde:

E = potência em HP  
 Q = vazão em gpm (galões/minuto)  
 P = pressão em PSI (lbf/pol<sup>2</sup>)  
 0,0007 = fator de conversão a 85%

### 3. Potência e torque:

Em um equipamento rotativo, caso seja necessário converter potência em torque ou vice-versa, sem considerar a pressão e a vazão, pode-se utilizar as seguintes fórmulas:

Sistema métrico:

$$Mt = \frac{E \times 725}{rpm}$$

ou

$$E = \frac{Mt \times rpm}{725}$$

Onde:

Mt = torque em kgm  
 E = potência em CV  
 rpm = rotações por minuto  
 725 = fator de conversão

Sistema inglês:

$$Mt = \frac{E \times 63025}{rpm}$$

ou

$$E = \frac{Mt \times rpm}{63025}$$

Onde:

Mt = torque em lb.pol  
 E = potência em HP  
 rpm = rotações por minuto  
 63025 = fator de conversão

# FLUIDOS HIDRÁULICOS

## Generalidades

A escolha certa e os cuidados a serem observados no uso do fluido hidráulico são fatores preponderantes no desempenho satisfatório da máquina, bem como na vida útil dos componentes do sistema hidráulico.

A formulação e a aplicação dos fluidos hidráulicos é, por si mesma, uma ciência que ultrapassa, em muito, a finalidade desta unidade de estudo.

Aqui, estudaremos apenas os fatores básicos envolvidos na seleção de um fluido adequado e sua aplicação em máquinas e equipamentos hidráulicos industriais.

Fisicamente, um fluido é definido como qualquer líquido ou gás. Entretanto, o termo **fluido**, no uso geral em Hidráulica, refere-se ao líquido utilizado como meio de transmitir energia.

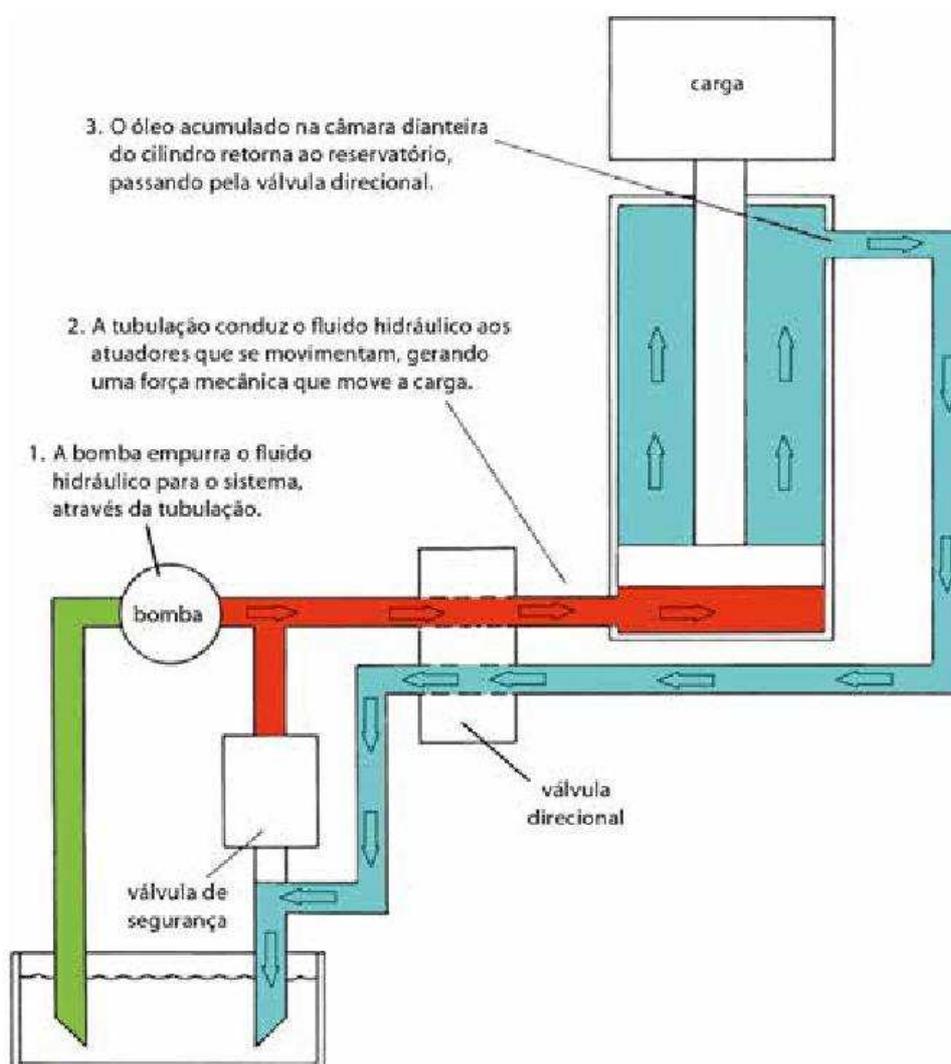
Portanto, nesta unidade, fluido significará o óleo hidráulico, seja ele um produto derivado de petróleo, especialmente composto, ou um fluido em particular, a prova de fogo, que pode ser um composto sintético.

## Funções do fluido hidráulico

O fluido hidráulico tem quatro funções principais:

1. Transmitir energia da bomba para os atuadores:

Como meio de transmitir energia, o fluido hidráulico precisa circular livremente nas linhas e passagens internas dos componentes, evitando resistências excessivas ao fluxo as quais provocam perdas consideráveis de carga.



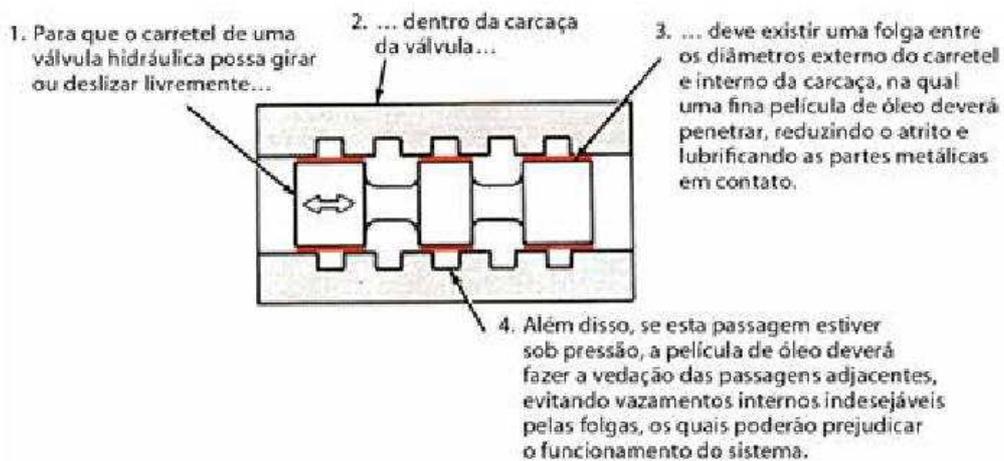
Além disso, o fluido deve ser o mais incompressível possível para que a ação hidráulica seja imediata, reduzindo ao máximo os tempos de resposta quando se liga a bomba ou se aciona uma válvula de comando.

2. Lubrificar as componentes móveis do sistema hidráulico, reduzindo o atrito e o conseqüente desgaste:

Os conjuntos rotativos de bombas e de motores hidráulicos, bem como os carretéis internos de válvulas, deslizam sobre uma película de fluido o qual precisa ter os aditivos necessários para evitar desgastes, além de oferecerem proteção contra a ferrugem.

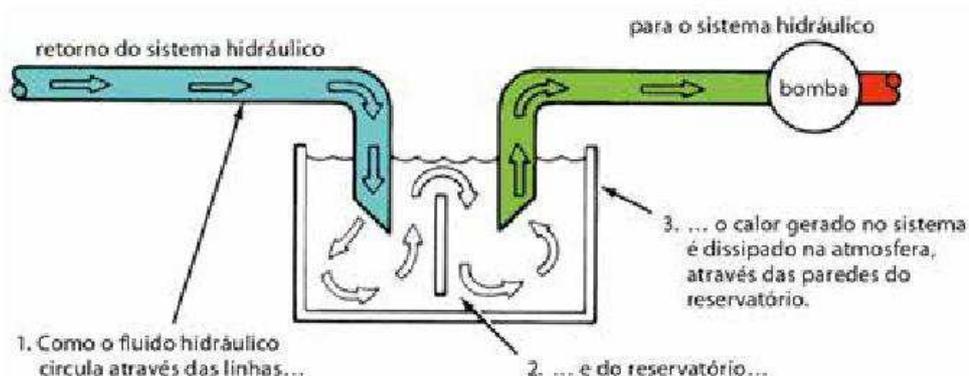
3. Vedar as folgas entre as partes móveis dos componentes hidráulicos, evitando vazamentos indesejáveis:

Muitas vezes, o fluido é a única vedação disponível nas folgas existentes, por exemplo, entre o diâmetro externo do carretel e o diâmetro interno da carcaça de uma válvula. Nesses casos, um ajuste mecânico preciso e a viscosidade adequada do fluido evitam que vazamentos internos possam prejudicar o funcionamento correto do sistema hidráulico.



4. Auxiliar no resfriamento do sistema hidráulico, dissipando o calor gerado durante o funcionamento do circuito:

A circulação do fluido através das tubulações externas e ao redor das paredes internas do reservatório facilita a troca de calor com o ambiente, reduzindo a temperatura do equipamento, gerada durante a operação do sistema.



Complementando essas quatro funções principais, o fluido hidráulico poderá apresentar outros requisitos de qualidade importantes, tais como:

- evitar a ferrugem;
- impedir a formação de lodo, goma ou verniz, prejudiciais ao funcionamento dos componentes hidráulicos;
- reduzir a formação de espuma, um dos fatores responsáveis pelo sintoma de aeração no sistema hidráulico;
- manter-se estável por um longo período de tempo, reduzindo o custo de substituição;
- manter um índice de viscosidade aceitável numa ampla faixa de temperaturas;
- evitar a corrosão e a erosão;
- não se misturar à água;
- ser compatível com os materiais utilizados na construção de gaxetas, retentores e anéis de vedação.

## Propriedades do fluido hidráulico

Para exercer satisfatoriamente suas funções principais, assim como alguns ou todos os requisitos de qualidade mencionados, o fluido hidráulico deve possuir as seguintes propriedades:

### 1. Viscosidade:

Viscosidade é a resistência do líquido a escoar, isto é, uma característica inversa à fluidez. Na forma popular, dizemos que um óleo é mais grosso quando ele apresenta uma viscosidade maior e, ao contrário, mais fino quando sua viscosidade é menor. Assim, um líquido escoar facilmente quando sua viscosidade é baixa, é fino ou pouco encorpado, enquanto um fluido grosso ou muito encorpado possui uma viscosidade alta e, por isso, tem dificuldade em escoar.

O óleo utilizado em máquinas hidráulicas deve apresentar uma viscosidade tal que lhe permita penetrar nas folgas entre as partes metálicas em movimento, efetuando a lubrificação necessária e, ao mesmo tempo, mantendo a vedação nessas folgas, reduzindo ao mínimo a possibilidade de vazamentos.

Quando a viscosidade do óleo é muito elevada, aumenta o atrito, provocando:

- alta resistência ao fluxo;
- elevação do consumo de energia;
- aumento da temperatura do equipamento;
- maior queda de pressão;
- redução da velocidade de operação do sistema;
- dificuldade em separar o ar do óleo no reservatório.

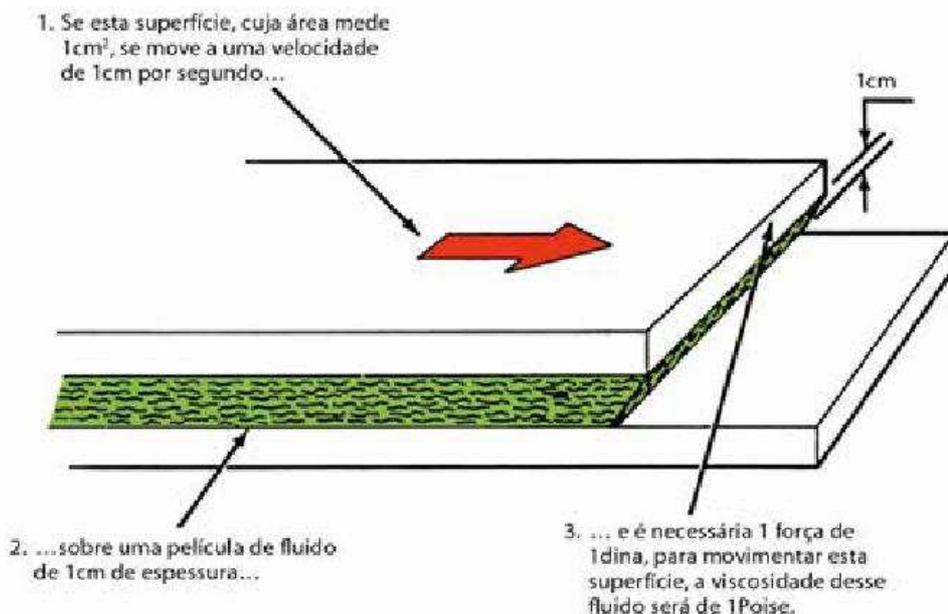
Ao contrário, se a viscosidade do óleo for muito baixa, isto poderá causar:

- aumento dos vazamentos internos nos componentes hidráulicos;
- insuficiência na lubrificação entre as partes metálicas em movimento, provocando engripamentos e desgaste prematuro dos componentes do sistema;
- redução do rendimento da bomba, alterando a velocidade de operação dos atuadores;
- elevação da temperatura do sistema devido às perdas por vazamento.

Há vários métodos empregado na medição da viscosidade de um líquido. Entre eles podemos citar:

a) Viscosidade absoluta (Poise):

A viscosidade em Poise (P) é definida como a força necessária, por unidade de área, para mover uma superfície sobre a outra, paralela, separadas por uma película de óleo de 1 cm de espessura, a uma velocidade de 1 cm/s.



Na viscosidade absoluta, a força é expressa em Dina (dyn) e a área em  $\text{cm}^2$ , sendo o Poise a relação entre o esforço de cisalhamento e a velocidade de escoamento do fluido.

$$1 \text{ P} = 1 \frac{\text{dyn} \times \text{s}}{\text{cm}^2}$$

A viscosidade absoluta pode ser medida, também, em centipoise (cP), equivalente a um centésimo de Poise:

$$1 \text{ centipoise} = 0,01 \text{ poise}$$

**b) Viscosidade cinemática (Stokes):**

O conceito de viscosidade cinemática resulta do peso de uma coluna de líquido para produzir fluxo através de um orifício capilar. O coeficiente da viscosidade absoluta, quando dividido pela densidade do fluido, é chamado de viscosidade cinemática e sua unidade é o Stoke (St).

$$1 \text{ Stoke} = 1 \frac{\text{Poise}}{\text{densidade}}$$

A viscosidade cinemática pode ser expressa em centistoke (cSt), equivalente a um centésimo de Stoke. As conversões entre as viscosidades absoluta e cinemática ficam assim definidas:

$$\text{centipoise} = \text{centistoke} \times \text{densidade}$$

ou

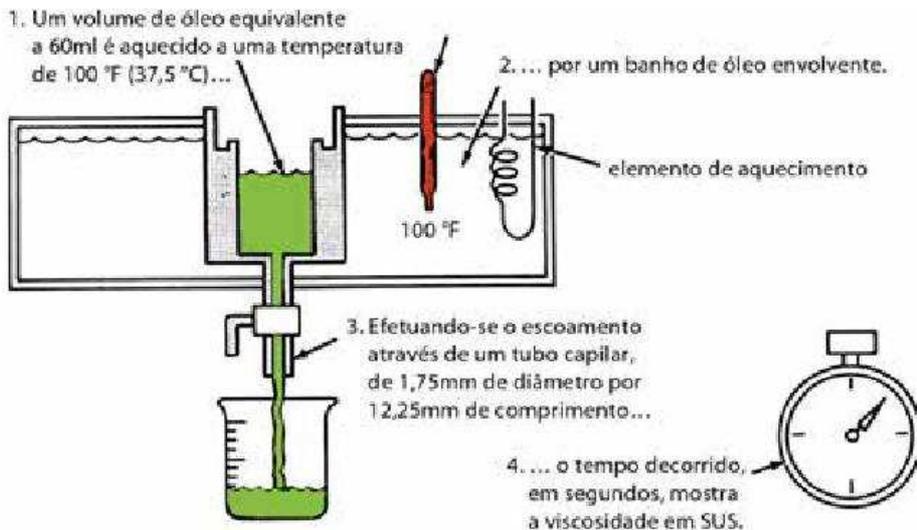
$$\text{centistoke} = \frac{\text{centipoise}}{\text{densidade}}$$

**c) Viscosidade relativa (SUS – Seconds Universal Saybolt):**

A viscosidade relativa é determinada cronometrando o tempo que certo volume de óleo leva para escoar por um orifício capilar, a uma temperatura determinada.

Dos vários métodos de medição em uso, o mais aceito é o utilizado no viscosímetro de Saybolt no qual se cronometra o tempo, em segundos, que 60 ml de óleo levam para escoar por um tubo capilar de 1,75 mm de diâmetro por 12,25 mm de comprimento, a uma temperatura constante de 100 °F (37,5 °C), conforme apresentado na figura a seguir.

Dessa forma, um óleo mais grosso leva mais tempo para escoar, apresentando uma viscosidade SUS mais elevada em relação a outro óleo, mais fino, que flui mais depressa, em um menor espaço de tempo.



Como o óleo é mais espesso a baixas temperaturas e mais fino quando aquecido, para se obter uma medição confiável, a viscosidade SUS deve ser medida a uma temperatura constante. No geral, as medições são efetuadas a 100°F (37,5°C) ou, em alguns casos, a 100 °C (210 °F).

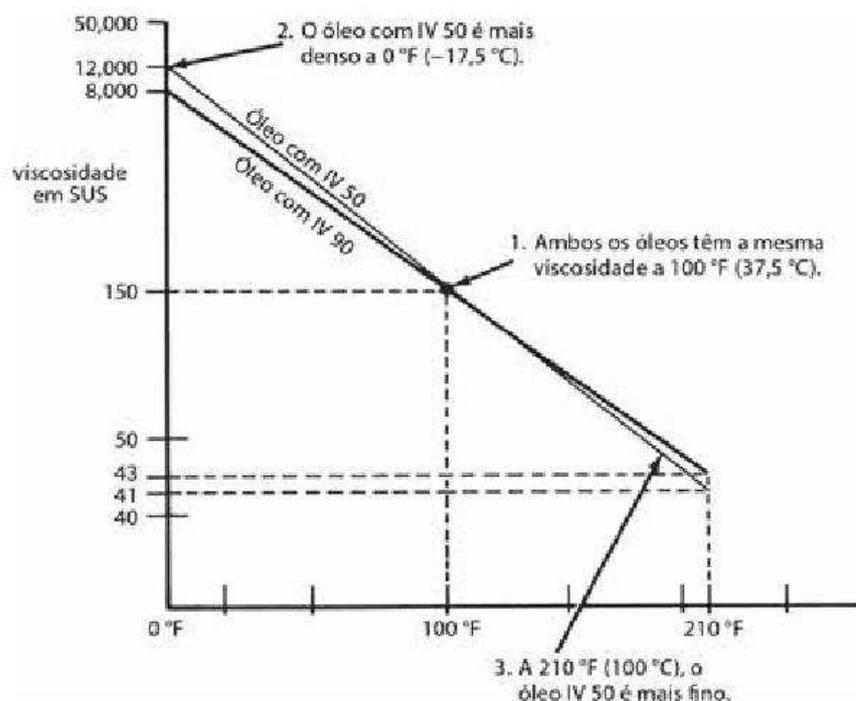
Em máquinas hidráulicas, a viscosidade do óleo deverá ser de aproximadamente 150 SUS.

d) Índice de viscosidade:

O índice de viscosidade é uma medida relativa da mudança da viscosidade de um fluido, de acordo com as variações de temperatura.

Um óleo que tem uma viscosidade estável quando a temperatura varia, possui um índice de viscosidade elevado. Por outro lado, um outro óleo cuja viscosidade varia sensivelmente, quando se altera a temperatura, possui um índice de viscosidade baixo.

No exemplo a seguir o óleo, que tem um índice de viscosidade 50 apresenta uma variação de viscosidade maior do que o que possui um índice de viscosidade 90, quando se aumenta a temperatura.



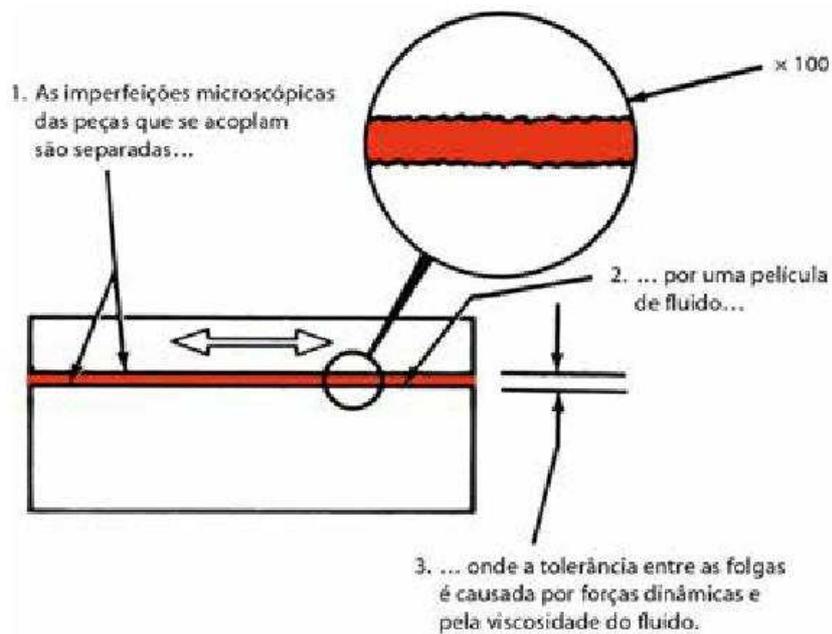
Comparando os dois óleos, podemos verificar que aquele que tem um índice de viscosidade menor é mais espesso que o outro, à temperatura de 0 °F, e mais fino a 210 °F. Isso significa que a variação de sua viscosidade, em relação à mudança de temperatura, é maior que a do outro óleo.

## 2. Capacidade de lubrificação:

As peças móveis dos componentes hidráulicos movimentam-se separadas por um filme de óleo, chamada de película de lubrificação. Se esse óleo tiver uma viscosidade adequada, as imperfeições das superfícies das peças não entram em contato direto, evitando o atrito e o consequente desgaste.

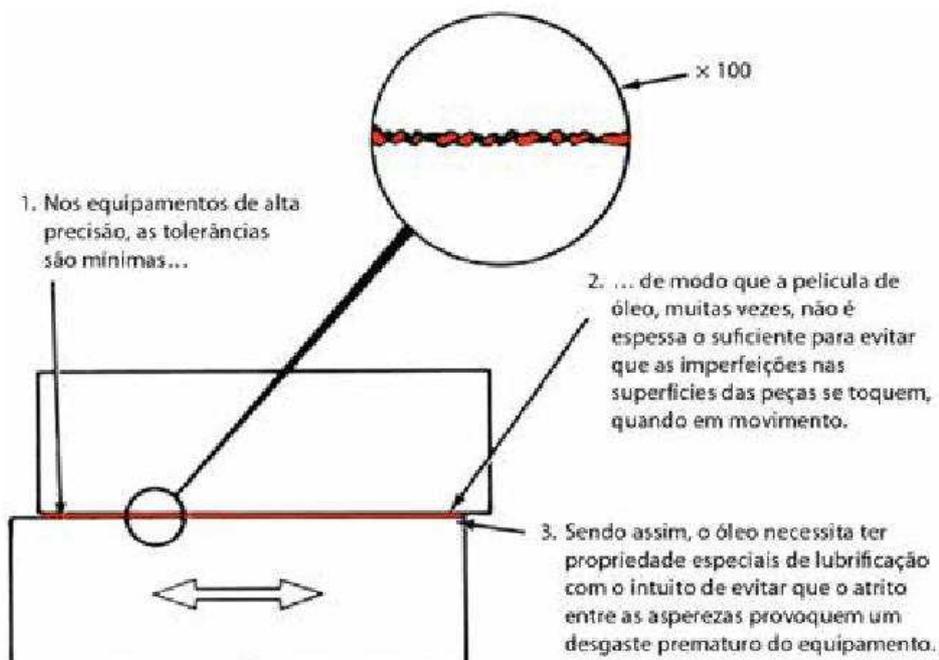
Porém, em algumas situações, com o aumento da velocidade e da pressão, a película lubrificante torna-se reduzida, originando a condição limite de lubrificação.

Nesses casos, poderá ocorrer contato direto entre as imperfeições das superfícies das partes metálicas, provocando atrito e desgastes indesejados, conforme apresentado na figura a seguir.



### 3. Resistência à oxidação:

A oxidação, reação química entre o óleo e o oxigênio, reduz de modo considerável a vida útil do fluido hidráulico. Óleos derivados do petróleo são facilmente



sujeitos à oxidação, considerando que o oxigênio contido na atmosfera se combina rapidamente com o hidrogênio e o carbono presentes na composição desses óleos.

O lodo, a goma e o verniz, encontrados muitas vezes no fundo dos reservatórios, são produtos derivados da oxidação do óleo e muito prejudiciais ao sistema hidráulico pois entopem os orifícios, engripam as válvulas e aumentam o desgaste.

Outra consequência da oxidação do óleo é o aumento do índice de acidez que, além de aumentar a viscosidade do fluido, corrói em todos os componentes do sistema hidráulico.

Os agentes que aceleram ainda mais a oxidação do fluido são o calor, a pressão, os contaminantes presentes no ambiente, a água e as superfícies metálicas dos componentes hidráulicos, além da agitação natural do óleo no sistema.

Para que o óleo hidráulico resista à oxidação e tenha uma vida útil maior, os fabricantes adicionam a ele aditivos cuja função é reduzir a ação dos agentes que aceleram o processo de oxidação.

#### 4. Prevenção contra a ferrugem e a corrosão:

A ferrugem é uma reação química entre o ferro ou o aço e o oxigênio. A corrosão, por sua vez, é outra reação química entre o metal e um ácido. Ambas contaminam o sistema hidráulico provocando desgastes localizados, vazamentos excessivos entre as partes metálicas afetadas e engripamentos das peças móveis do equipamento.

Tanto a ferrugem como a corrosão podem ser inibidas com a adição de aditivos que revestem as superfícies metálicas, evitando que elas sejam atacadas pela química.

#### 5. Demulsibilidade:

O óleo hidráulico deve possuir um alto grau de demulsibilidade, ou seja, capacidade de isolar a água.

Como é quase impossível evitar que a umidade relativa do ar penetre em um sistema hidráulico, utilizam-se alguns aditivos que aumentam o grau de demulsibilidade do óleo, impedindo que a água se assente ou penetre nas partes metálicas, por meio da formação de uma película antiferrugem.

## Uso de aditivos

Como podemos observar, os aditivos comerciais, adicionados aos fluidos hidráulicos, oferecem a eles características desejáveis como: índice de viscosidade, fluidez, resistência à oxidação etc.

Os fabricantes alertam, no entanto, que os aditivos disponíveis no mercado não devem ser utilizados de modo aleatório. Antes de serem adicionados ao óleo, devem ser analisados quanto a sua composição química. Os aditivos devem ser compatíveis entre si e também com o próprio óleo utilizado, afim de evitar possíveis reações químicas entre eles que prejudiquem o funcionamento do sistema hidráulico.

A compatibilidade deve ser determinada pelo fabricante do fluido, que indicará os aditivos adequados a serem utilizados, salvo se houver condições de determinar essa compatibilidade através de análises de laboratório.

## Tipos de fluidos hidráulicos industriais

Os principais fluidos hidráulicos são:

### 1. Óleos minerais:

Os óleos minerais, derivados do petróleo, são os mais utilizados em sistemas hidráulicos. Além de apresentarem um custo mais baixo, se comparados a fluidos especiais produzidos em laboratórios, os óleos minerais são compatíveis com a maioria dos materiais empregados nos sistemas. Suas propriedades lubrificantes são excelentes e a faixa de temperatura para sua aplicação é bastante ampla.

### 2. Fluidos sintéticos:

Os fluidos sintéticos são compostos químicos que podem trabalhar acima dos limites dos óleos minerais, satisfazendo plenamente a todas necessidades dos sistemas hidráulicos. Os fluidos sintéticos empregados com maior frequência são: éteres

complexos, silicatos, silicones e aromáticos de alto peso molecular (polifenilas e éteres de fenila).

Devido principalmente às dificuldades com a produção, apresentam custos mais elevados, se comparados aos óleos minerais.

Ao contrário dos óleos minerais, os fluidos sintéticos podem não ser compatíveis com alguns componentes utilizados nos sistemas hidráulicos, sobretudo, com os materiais empregados na fabricação dos elementos de vedação. Por essa razão, é preciso cuidado na escolha do fluido sintético a ser utilizado.

### 3. Fluidos resistentes ao fogo:

Em máquinas e equipamentos hidráulicos sujeitos a ambientes expostos a altas temperaturas como, por exemplo, em locais de fundição, tratamento térmico ou que apresente riscos de combustão, são utilizados fluidos incombustíveis, isto é, resistentes ao fogo.

Os fluidos hidráulicos resistentes ao fogo em geral encontrados no mercado são:

- glicóis com água;
- emulsões de água em óleo;
- fluidos sintéticos resistentes ao fogo.

## Controle e manutenção do fluido hidráulico

O óleo hidráulico, seja qual for o tipo utilizado, não é um item barato. Trocas constantes do óleo e limpezas inadequadas, além de provocar paradas indesejáveis do equipamento, custam caro. Esses são alguns dos principais motivos para se cuidar bem do fluido hidráulico.

### 1. Armazenamento e manipulação:

Serão apresentadas a seguir algumas regras básicas para prevenir a contaminação do fluido durante os processos de armazenamento e manipulação:

- a) armazenar os tambores de óleo em local coberto e na posição vertical;
- b) limpar o tampão e a parte superior do tambor antes de abri-lo, evitando a penetração de sujeira no seu interior;

- c) usar recipientes limpos na transferência do óleo do tambor para o reservatório hidráulico;
- d) se a transferência do óleo for feita por meio de bomba, ela deve estar equipada com um filtro de 25 microns;
- e) utilizar uma tela de malha 200 no bocal de abastecimento do reservatório hidráulico.

## 2. Cuidados durante a operação:

Estão relacionadas, a seguir, algumas precauções que devem ser tomadas durante a operação do sistema hidráulico:

- a) para evitar a contaminação do fluido, manter o reservatório fechado e usar filtros apropriados, tanto para o óleo como para o ar que entra no tanque através do respiro;
- b) substituir o óleo na frequência recomendada pelo fabricante da máquina ou do equipamento hidráulico;
- c) manter o óleo no nível indicado no reservatório, para facilitar a dissipação do calor e evitar a condensação de umidade nas paredes internas do tanque;
- d) eliminar imediatamente qualquer vazamento, sempre que for constatado;
- e) caso não haja nenhuma informação do fabricante com relação à frequência das trocas de óleo, substituir o fluido hidráulico a intervalos máximos de dois anos, considerando a redução dos teores aditivos do óleo, a partir desse período;
- f) sempre que for realizada uma troca do óleo, efetuar a lavagem do sistema hidráulico com um *flushing oil*, levando-se em conta que um resíduo de 10% de óleo usado pode reduzir em até 75% a vida útil do óleo novo.



# RESERVATÓRIOS DE ÓLEO

Os reservatórios são projetados para comportar todo o fluido do sistema hidráulico e mais uma reserva, mantendo o óleo limpo e as temperaturas de trabalho apropriadas.

## **Funções do reservatório**

Em um sistema hidráulico industrial, o reservatório de óleo tem quatro funções principais:

- acondicionar todo o fluido hidráulico utilizado pelo sistema;
- separar as bolhas de ar presentes no óleo;
- reter os contaminantes sólidos contidos no óleo;
- dissipar o calor gerado pelo sistema.

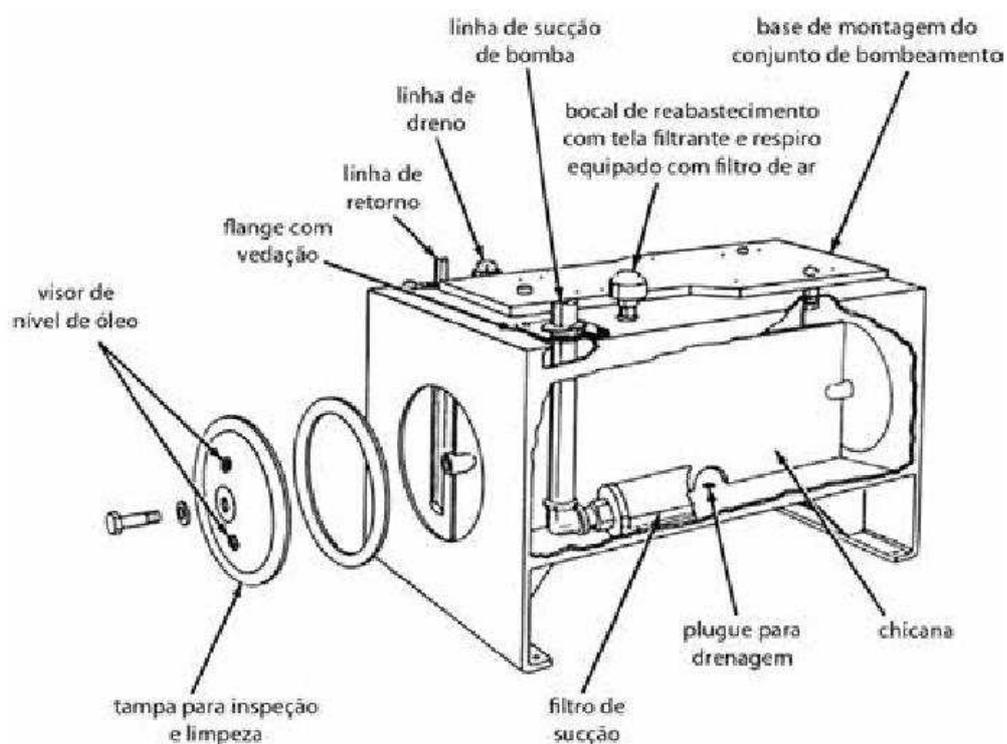
## **Características de construção**

Os reservatórios hidráulicos são construídos com placas de aço soldadas e dispostas de forma a manter o fundo do tanque acima do nível do solo, como mostra a figura da próxima página.

Seu interior é pintado com tinta especial, a base de epóxi, para reduzir a ferrugem que possa resultar da condensação de umidade. É importante destacar, também, que a tinta deve ser compatível com o fluido hidráulico a ser utilizado para evitar que reações químicas possam contaminar o óleo.

O reservatório é projetado de forma a facilitar a manutenção. O fundo do tanque deve ser ligeiramente inclinado, com um plugue para drenagem posicionado na região mais baixa, de modo a permitir o escoamento do óleo nos procedimentos de troca do fluido.

Reservatórios de médio e grande portes devem possuir tampas laterais vedadas, de fácil remoção, que permitam o acesso ao interior do tanque, tanto para limpeza como para eventuais procedimentos de manutenção.

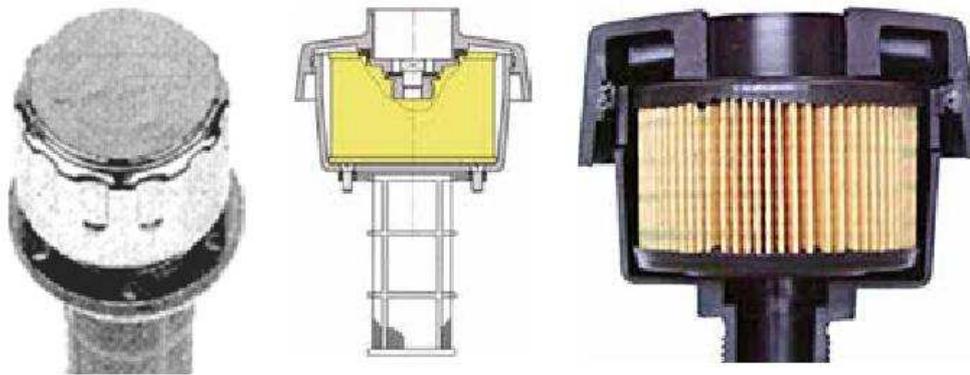


O visor de nível deve ser posicionado no reservatório, em local de fácil visualização, de forma a permitir a verificação diária do volume de óleo contido no interior do tanque.



Tipos de visores de nível

O bocal de reabastecimento de óleo deve possuir uma tela filtrante, de malha 200, para evitar a contaminação do fluido por substâncias sólidas durante o processo de enchimento do tanque.

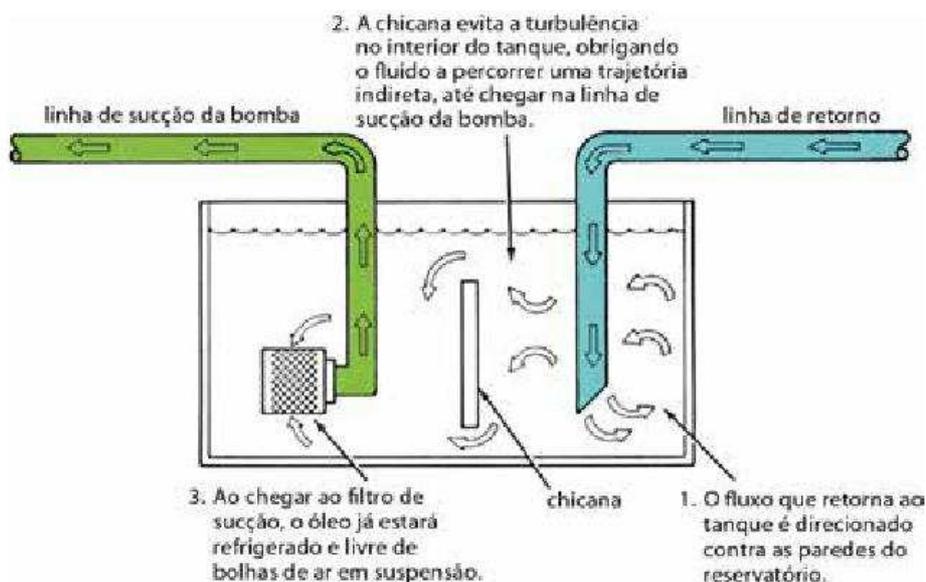


Bocal de abastecimento com tela filtrante

Filtro de ar

Embora o reservatório deva ser totalmente fechado, para não permitir a penetração de impurezas, seu interior não pode estar completamente isolado da atmosfera, considerando-se que a pressão atmosférica é fundamental na alimentação de óleo para a bomba. Sendo assim, é importante que o reservatório possua uma abertura para respiro, equipada com um filtro de ar de tamanho compatível com a vazão da bomba, para manter a pressão atmosférica no interior do tanque. De maneira geral, quanto maior for a vazão da bomba tanto maior deve ser o respiro. No mercado, podem ser encontrados, com certa facilidade, bocais de reabastecimento de óleo já com respiro incorporado, providos de filtro de ar.

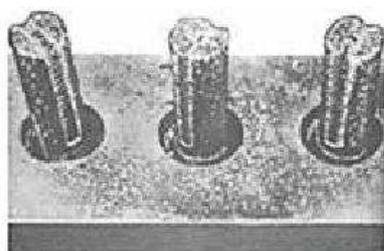
Outra parte integrante do reservatório de óleo, de suma importância no cumprimento de suas funções, é a chicana.



A chicana é formada por uma ou mais chapas de aço, fixadas no interior do tanque, geralmente a uma altura de 70% do nível do fluido, utilizadas para separar a linha de sucção da bomba das linhas de retorno da máquina, fazendo com que o óleo percorra uma distância maior entre o retorno e a sucção, circulando pelo interior do reservatório.

Em geral, o óleo que retorna da máquina para o tanque traz consigo o calor gerado pela operação do sistema sob pressão, impurezas resultantes do desgaste dos componentes hidráulicos, além de bolhas de ar em suspensão. A chicana faz com que o óleo circule dentro do tanque, reduzindo sua turbulência antes de ser succionado novamente pela bomba, dissipando o calor através do contato com as paredes do reservatório, fazendo com que as partículas sólidas decantem e se depositem no fundo do reservatório, além de eliminar as bolhas de ar em suspensão.

Plugues e bastões magnéticos são muito utilizados em reservatórios para reter pequenas partículas metálicas, principalmente no caso de retificadoras que produzem cavaco miudo, em forma de pó.



## Distribuição das linhas de sucção, retorno e dreno

Com exceção das linhas de dreno, todas as tubulações de retorno de óleo da máquina, assim como a linha de sucção da bomba devem ser montadas com suas extremidades mergulhadas do fluido hidráulico. Os tubos que possuem filtros devem ser montados com flanges que facilitem a remoção dos elementos filtrantes para limpeza ou substituição.

As linhas de retorno e de sucção devem estar situadas bem abaixo da superfície do óleo, de preferência, alguns milímetros acima do fundo do tanque, para evitar a formação de espuma gerada pelo contato direto do ar com o fluido em movimento.

Além disso, as extremidades dessas linhas devem ser cortadas a 45 graus, com os respectivos chanfros opostos e voltados em direção às paredes do reservatório, para auxiliar o trabalho da chicana na circulação do óleo pelo interior do tanque.

As linhas de dreno, por sua vez, devem ser montadas com suas extremidades ligeiramente acima da superfície do fluido hidráulico, para evitar contrapressões indesejáveis nos componentes a serem drenados.

## Dimensionamento do reservatório

Em regra geral, um reservatório deve ser grande o suficiente para conter, em volume, de duas a três vezes a quantidade de óleo que a bomba envia para o sistema hidráulico.

$$V_{\text{tanq}} = Q \times 2 \text{ ou } 3$$

Onde:

$V_{\text{tanq}}$  = volume do reservatório em litros

$Q$  = vazão da bomba em lpm

É claro que, quanto maior for o reservatório, mais facilidade ele terá para reduzir a turbulência do óleo, reter suas impurezas, eliminar possíveis bolhas de ar, dissipar o calor e evitar vórtices ou redemoinhos que causem aeração na linha de sucção da bomba. Entretanto, quanto maior for o reservatório, maior será a quantidade de fluido hidráulico necessário para preenchê-lo, o que eleva consideravelmente os custos com as trocas de óleo programadas.



# CONDUTORES HIDRÁULICOS

Os condutores hidráulicos englobam os diversos tipos de tubulações e conexões, disponíveis no mercado, empregados para transportar a energia hidráulica da bomba até os atuadores, passando pelos elementos de comando e controle. Em sistemas hidráulicos, recomenda-se a utilização de tubos de aço sem costura, livres de escamas, sujeira ou ferrugem em seu interior.

Além de transportar o óleo, os condutores têm por finalidade absorver vibrações e facilitar a dissipação do calor, gerados pelos componentes hidráulicos sob pressão.

Existem quatro tipos principais de condutores hidráulicos:

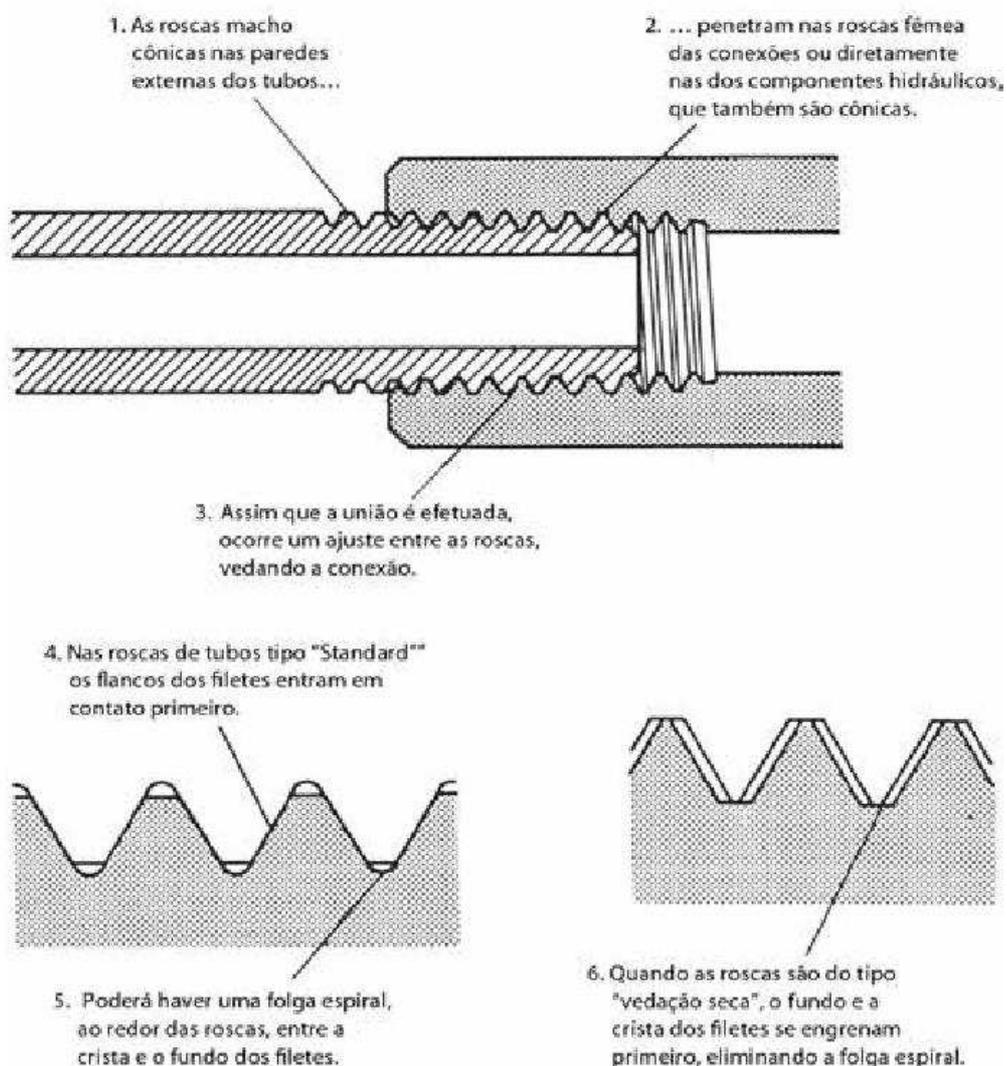
- canos de aço roscados;
- tubos de aço sem costura;
- mangueiras flexíveis;
- blocos de montagem (*manifold*).

## Canos de aço roscados

Os canos de ferro ou aço roscados, com costura, foram os primeiros condutores a serem utilizados em sistemas hidráulicos industriais. Como não podem ser dobrados, devido à costura longitudinal, utilizam vários tipos de conexões roscadas para obtenção de curvas e, também, como forma de união e fixação aos componentes do sistema hidráulico.

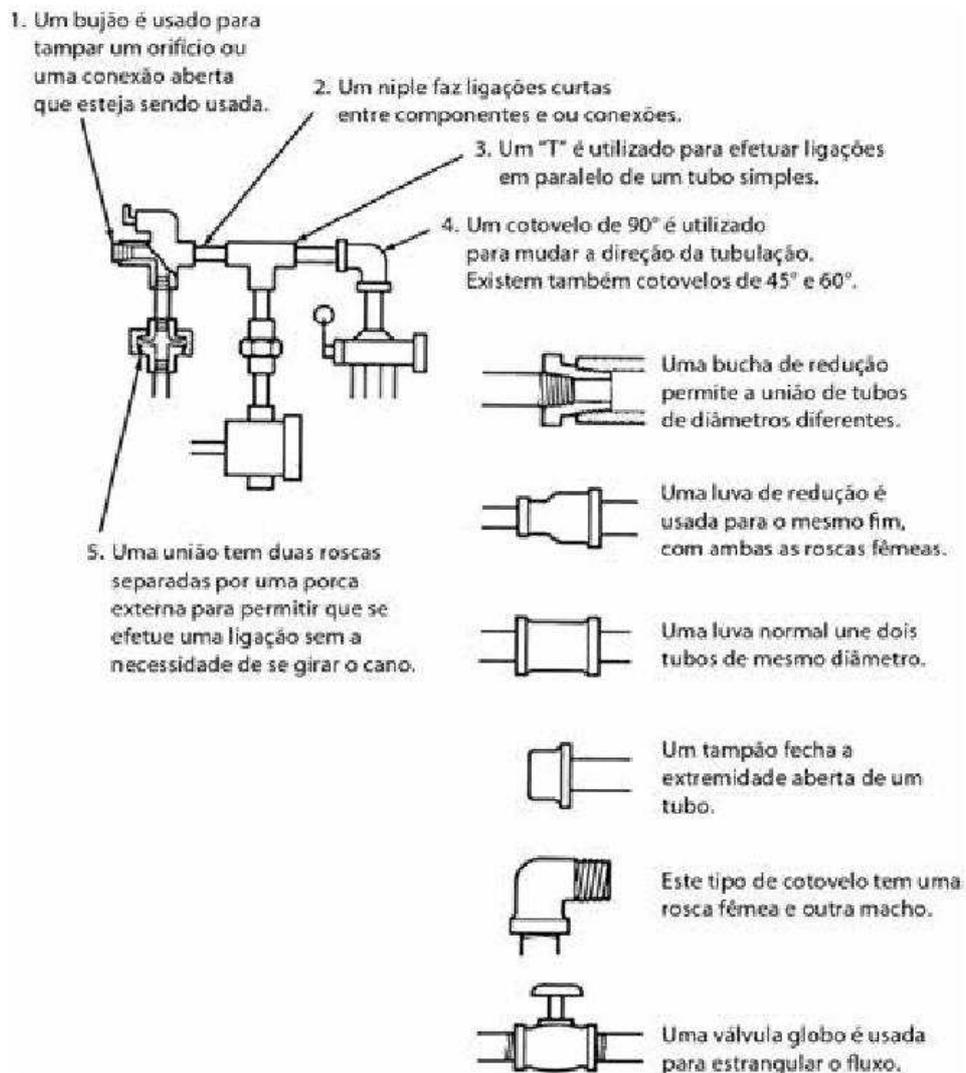
Geralmente, para acoplamento com os canos, as conexões utilizam-se de rosca fêmea, embora existam também conexões com rosca macho para alguns tipos de montagem nos componentes do sistema hidráulico ou, ainda, para interligações entre conexões.

As roscas dos canos são cônicas, acompanhando o padrão NPT, em que a vedação é feita pela adaptação entre os filetes do macho e da fêmea, quando apertadas, como mostra a figura a seguir.



Para confecção das roscas é necessário utilizar machos e tarrachas especiais que permitam a obtenção da rosca cônica. Nas roscas do tipo vedação seca, a crista e o fundo dos filetes se ajustam antes dos flancos, durante o aperto, evitando o uso de teflon para vedar a folga espiral.

Veja, na figura a seguir, alguns tipos de conexões para canos roscados e suas aplicações na montagem de circuitos hidráulicos.



Os canos roscados e suas respectivas conexões apresentam alguns problemas para o sistema hidráulico:

- dificultam a manutenção, tornando as montagens e desmontagens trabalhosas e demoradas;
- aumentam o número de pontos sujeitos a vazamentos, considerando que, quanto maior for o número de curvas necessárias na tubulação, maior será o número de junções empregadas na montagem;

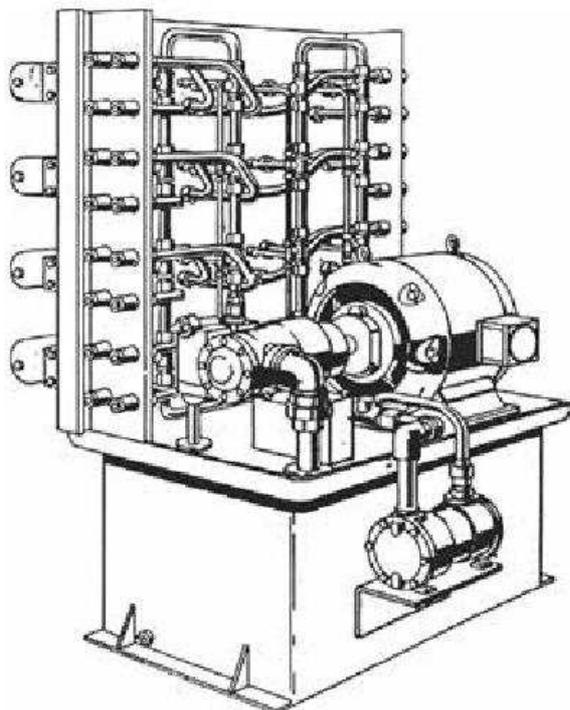
O cano roscado é dimensionado pelo seu diâmetro interno real, geralmente em polegadas, e classificados conforme a bitola nominal e a espessura da parede.

A bitola nominal determina o dimensionamento das roscas para conexões. Para linhas de bitola superior a 1 1/4", exigem a utilização de flanges soldadas às extremidades dos canos, devido à dificuldade de construir roscas acima desse diâmetro.

### Tubos de aço sem costura

Os tubos de aço sem costura oferecem inúmeras vantagens, comparados aos canos roscados:

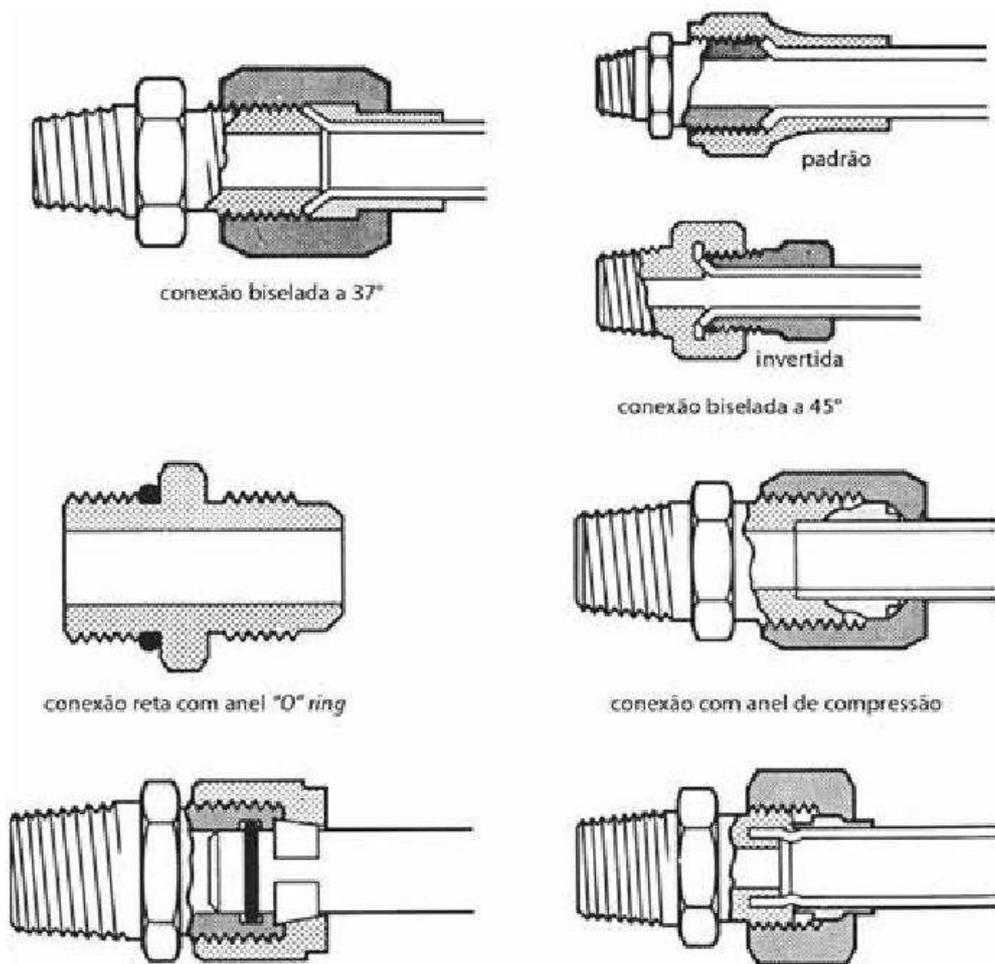
- suportam pressões mais elevadas do que as permitidas nos canos roscados;
- reduzem a turbulência do fluxo hidráulico, pois permitem a construção de curvas suaves na tubulação;
- podem ser curvados a frio, em qualquer direção, reduzindo o número de conexões do circuito e, conseqüentemente, diminuindo o número de pontos sujeitos a vazamento;



- podem ser montados e desmontados com frequência, sem que apresentem problemas de vedação, agilizando os procedimentos de manutenção.

Os tubos de aço sem costura, ao contrário dos canos roscados, são especificados pelo diâmetro externo real.

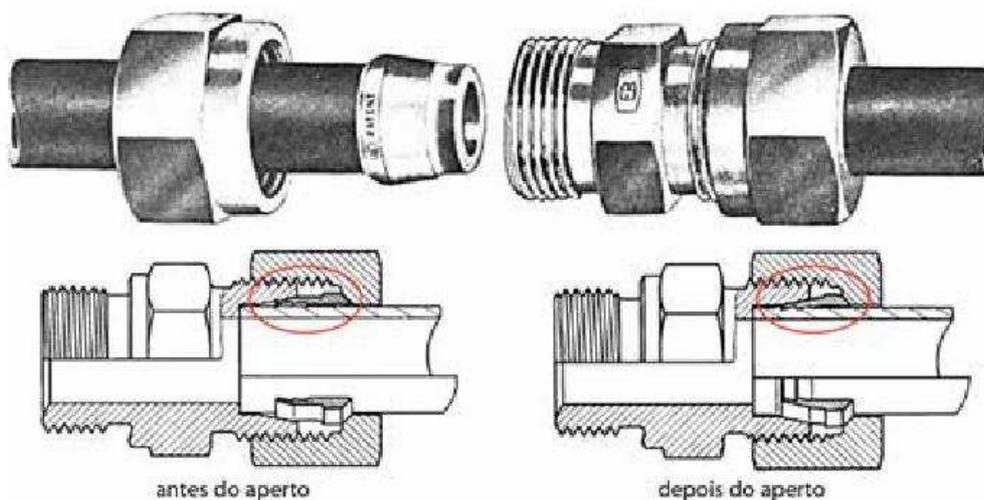
Os tubos de aço sem costura não são vedados pelas roscas de fixação, como nos canos roscados. Geralmente, as vedações são efetuadas pelo contato direto de metal com metal, por meio das extremidades biseladas dos tubos ou de anéis de compressão, conforme apresentado na figura a seguir.



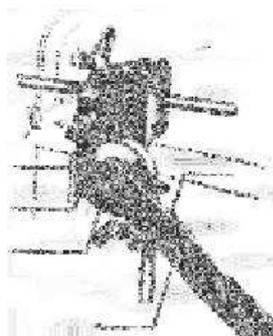
Tipos de conexões para tubos de aço sem costura

Nas conexões biseladas, as extremidades dos tubos são moldadas, em forma de funil, num ângulo de 37 graus, e apertadas contra as faces cônicas das conexões, efetuando a vedação pelo contato direto de metal com metal. Linhas sujeitas a pressões elevadas utilizam-se de conexões biseladas em um ângulo maior, de 45 graus.

O tipo de conexão mais usada hoje é a que utiliza anel de compressão ou de penetração. Trata-se de um anel de aço cujo diâmetro interno adapta-se perfeitamente ao diâmetro externo do tubo. Quando a conexão é apertada, a porca comprime o chanfro do anel que é cravado na superfície externa do tubo, efetuando a vedação e a fixação ao mesmo tempo, como mostra a ilustração a seguir.



A vantagem que as conexões com anel de compressão apresentam, em relação às conexões biseladas é que o tubo precisa apenas ser cortado a 90 graus, sem a necessidade de moldar suas extremidades em forma de funil, agilizando a montagem.

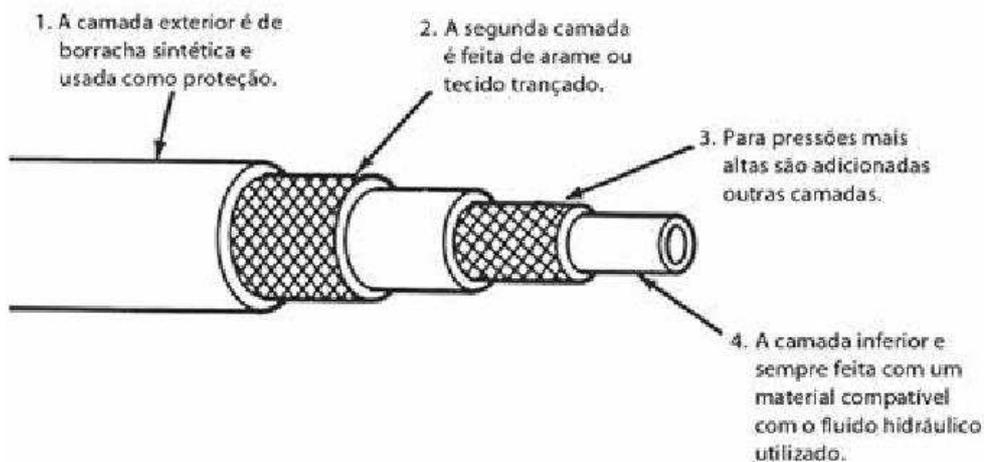


Dispositivo para corte e dobra de tubos de aço sem costura

## Mangueiras flexíveis

A utilização de mangueiras flexíveis é recomendada quando as linhas hidráulicas estão sujeitas a movimentos, causados principalmente por cabeçotes móveis de máquinas operatrizes. Além disso, as mangueiras têm a capacidade de absorver vibrações geradas pela operação do sistema hidráulico sob pressão.

Para poder suportar às pressões hidráulicas, as mangueiras são construídas com camadas de borracha sintética, intercaladas com trançados têxteis ou de fios de aço. É claro que as mangueiras com trama de aço suportam pressões mais elevadas do que as de trançados têxteis.

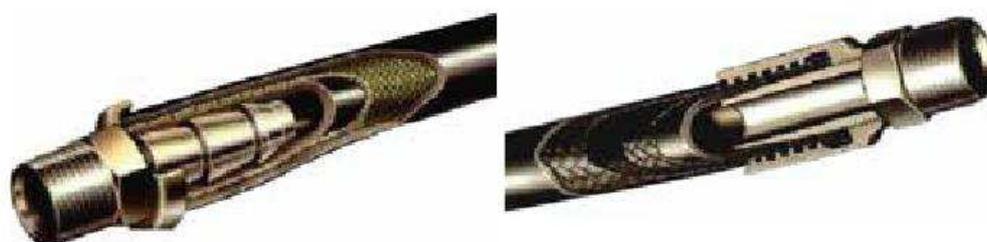


A camada de borracha interna da mangueira deve ser compatível com o fluido hidráulico para evitar que possíveis reações químicas contaminem o óleo ou deteriorem a mangueira. A camada externa, por sua vez, tem a finalidade de proteger os trançados.

Os terminais montados nas extremidades das mangueiras flexíveis lhes permitem ser utilizadas, no circuito hidráulico, com as mesmas conexões empregadas nos tubos de aço sem costura. Esses terminais podem ser prensados ou do tipo reaproveitável.



Terminais prensados



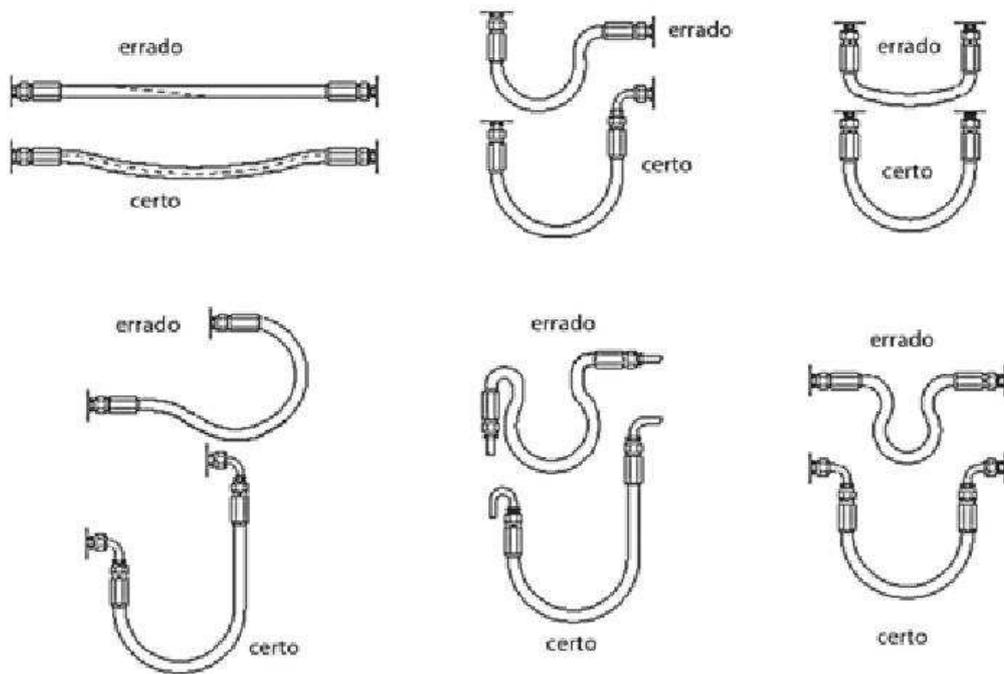
Terminais roscados (reaproveitáveis)

A instalação de mangueiras flexíveis, em sistemas hidráulicos industriais, exige as seguintes precauções:

- reduzir ao mínimo o número de conexões;
- evitar que o movimento da máquina provoque torções, flexões excessivas ou dobras violentas;
- usar um comprimento adequado para cada situação;
- utilizar braçadeiras ou guias para evitar atrito com as partes móveis da máquina ou com o solo;
- evitar contato com superfícies quentes ou arestas cortantes.

A figura a seguir apresenta inúmeras situações de montagem de mangueiras flexíveis, comparando soluções certas e erradas para cada aplicação.

O bom senso, acima de tudo, é uma ferramenta importante na decisão do modo como a mangueira deverá ser instalada, garantindo o perfeito funcionamento do sistema.

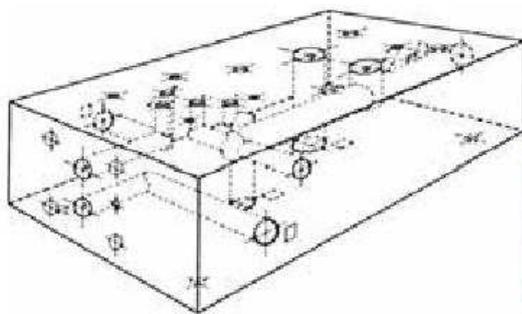


### Blocos de montagem (*manifold*)

Os blocos *manifold*, também conhecidos como blocos de montagem, permitem a interligação dos componentes do sistema hidráulico sem a utilização de canos, tubos ou mangueiras externas, reduzindo ao mínimo os pontos do circuito sujeitos a vazamentos.

Trata-se de blocos de aço com furações internas que, interligadas na sequência estabelecida durante o desenvolvimento do projeto do sistema hidráulico, substituem toda ou grande parte da tubulação externa.

Outro tipo construtivo de bloco de montagem combina uma série de placas de aço sobrepostas. As placas são furadas e rasgadas de acordo com o projeto final do circuito hidráulico. A superfície de cada uma delas é retificada para prevenir vazamentos e, por fim, são unidas por processo de soldagem ou por meio de parafusos, formando o bloco de montagem.



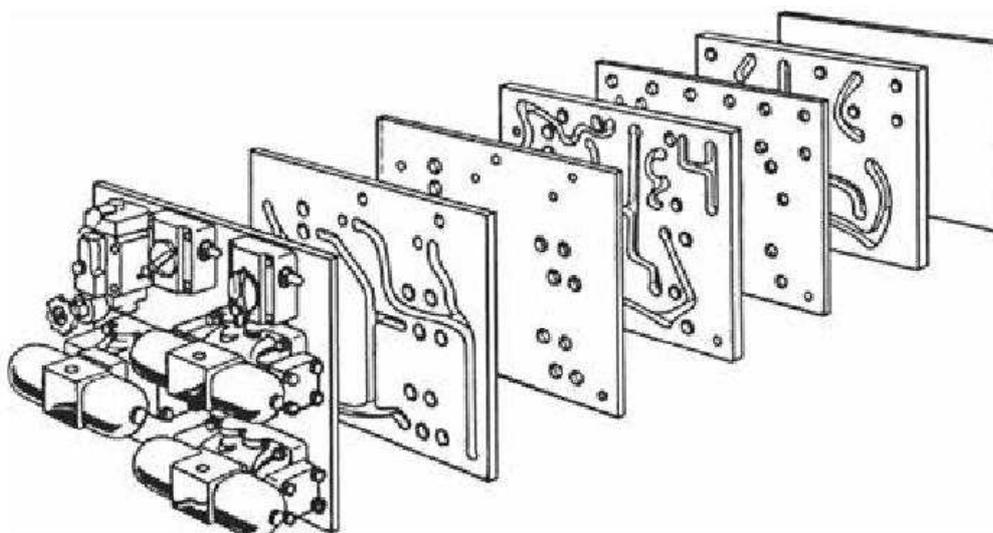
Bloco de aço com furações internas



Montagem em bloco

No geral, os blocos de montagem possuem apenas dois pórticos, sendo um de entrada de óleo proveniente da bomba e outro de saída para os atuadores utilizados no sistema hidráulico, além de pórticos menores, empregados eventualmente para linhas de pilotagem e drenos.

Os blocos de montagem, portanto, reduzem o tamanho do circuito hidráulico, tornando o sistema compacto, ideal para veículos industriais, tratores, máquinas agrícolas e aeronaves, onde os espaços disponíveis para montagem do circuito são bastante reduzidos.



Placas de aço sobrepostas para a montagem do bloco



Montagem em bloco



Montagem tipo torre

É importante destacar que, apesar dos blocos de montagem apresentarem as vantagens de facilitar a montagem e a manutenção, além de reduzir os espaços e as conexões sujeitas a vazamentos, oferecem as seguintes desvantagens se comparados à tubulação convencional:

- aumentam a turbulência do óleo e a perda de carga, provocadas pelos cantos vivos das furações internas que, geralmente, formam ângulos bruscos de 90 graus;
- aumentam a temperatura do sistema hidráulico, podendo causar falhas de funcionamento em alguns de seus componentes;
- são mais pesados do que uma instalação convencional, montada a partir de canos roscados ou de tubos de aço sem costura.



# BOMBAS HIDRÁULICAS

A bomba é, provavelmente, o mais importante componente do sistema hidráulico. Sua função é converter a energia mecânica em energia hidráulica, enviando um fluxo determinado de óleo do reservatório para o circuito hidráulico.

As bombas são construídas em diversos tamanhos e formatos e podem ser manuais ou mecânicas, com diversos tipos de mecanismos de bombeamento, para as mais variadas aplicações.

Em todas elas, a ação mecânica produz um vácuo parcial no pórtico de entrada, fazendo com que a pressão atmosférica empurre o óleo do reservatório para dentro da bomba, através da linha de sucção. Uma vez dentro da bomba, o óleo é, então, forçado para fora, através do mecanismo, gerando um fluxo hidráulico no pórtico de saída.

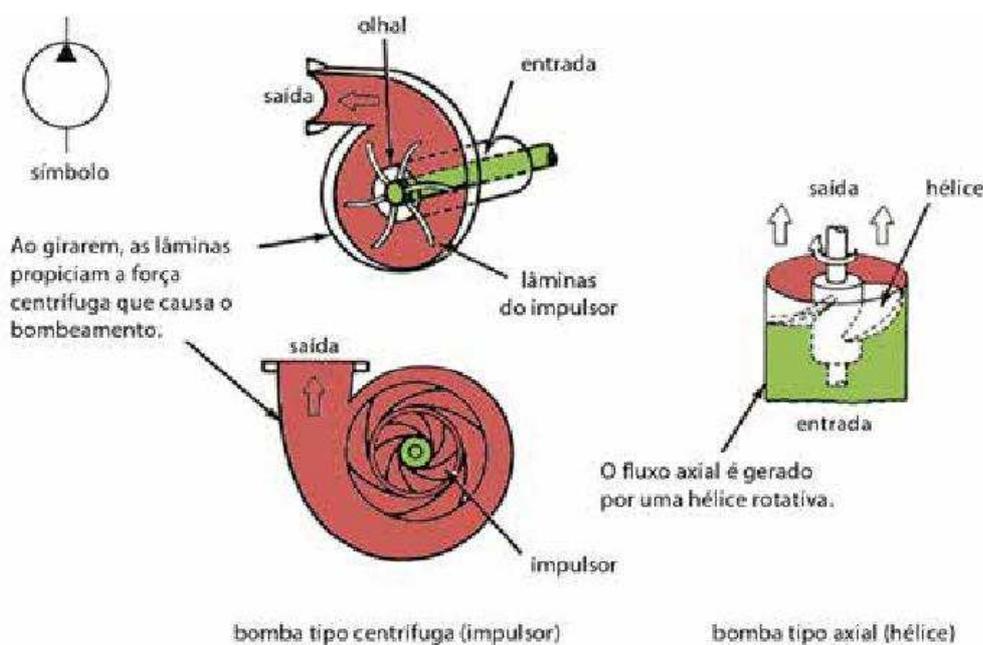
As bombas se classificam em duas categorias:

- hidrodinâmicas;
- hidrostáticas.

## Bombas hidrodinâmicas

As bombas hidrodinâmicas, também conhecidas como bombas de deslocamento dinâmico, operam pela ação da força centrífuga cujo fluido, ao entrar na bomba, é expelido para a saída por meio de um rotor ou impulsor que gira à grande velocidade. Essas bombas não possuem uma vedação perfeita entre os pórticos de entrada e de saída, reduzindo a vazão com o aumento da resistência ao fluxo, além de tornar a capacidade de pressão dependente da rotação. Por essa razão, as bombas hidrodinâmicas são empregadas apenas na transferência de fluidos de um local ao outro, onde as únicas resistências ao fluxo são o próprio peso do fluido e o atrito. A figura a seguir apresenta exemplos típicos de bombas hidrodinâmicas,

tais como: bombas centrífugas, turbinas, alguns tipos de motores de embarcações, entre outros.



Bombas hidrodinâmicas

## Bombas hidrostáticas

As bombas hidrostáticas, também denominadas de bombas de deslocamento positivo, possuem uma vedação efetiva entre os pórticos de entrada e de saída, ao contrário das hidrodinâmicas. Por essa razão, são capazes de fornecer volumes constantes de fluido para cada rotação ou ciclo de bombeamento, independentemente da resistência ao fluxo. Dessa forma, a capacidade de suportar pressões aumenta, tornando as bombas hidrostáticas adequadas para a transmissão de força.

Dessa forma, das duas categorias de bombas apresentadas, as hidrostáticas são as mais utilizadas em sistemas hidráulicos industriais, pelas razões mencionadas.

O deslocamento de uma bomba, dado normalmente fornecido pelo fabricante, é o volume de óleo transferido por ela a cada rotação de seu eixo ou a cada ciclo de bombeamento. Assim, conhecendo o deslocamento da bomba e a rotação do motor de acionamento, é possível determinar sua vazão aplicando a seguinte fórmula:

$$Q = D \times n \times 0,001$$

Onde:

Q = vazão em lpm (litros por minuto)

D = deslocamento em  $\text{cm}^3/\text{rotação}$

n = rotação em rpm (rotações por minuto)

0,001 = constante (fator de conversão de  $\text{cm}^3$  para  $\text{dm}^3$ )

As bombas hidráulicas são especificadas, em geral, pela capacidade de pressão máxima de operação e pela vazão de óleo, em litros por minuto, a uma determinada rotação.

A faixa de pressão de operação de uma bomba é determinada pelo seu fabricante, fundamentada numa vida útil razoável, para trabalhar em condições de operação específicas. Sendo assim, não se deve ajustar a pressão de trabalho do sistema hidráulico em faixas de pressão superiores aos limites estabelecidos pelo fabricante da bomba, sob riscos de danos irreparáveis ao equipamento.

Existem diversos tipos construtivos de bombas hidrostáticas. As mais utilizadas em sistemas hidráulicos industriais são:

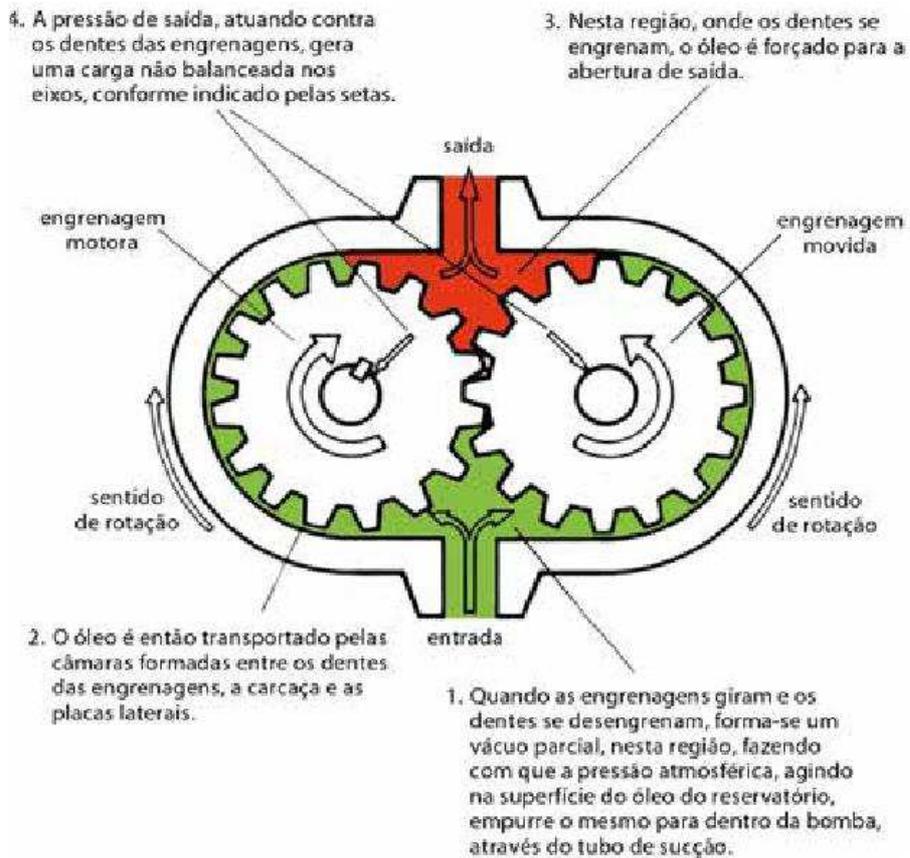
## Bombas de engrenamento externo

As bombas de engrenamento externo, conhecidas simplesmente como bombas de engrenagens, produzem fluxo hidráulico transportando o fluido nos vãos entre os dentes de duas engrenagens, acopladas entre si.

Esse tipo de bomba possui duas engrenagens, uma motora e outra movida, montadas dentro de uma carcaça justa, geralmente em forma de elipse. A engrenagem motora é acionada pelo eixo de saída e arrasta a engrenagem movida no sentido de rotação contrário ao seu.

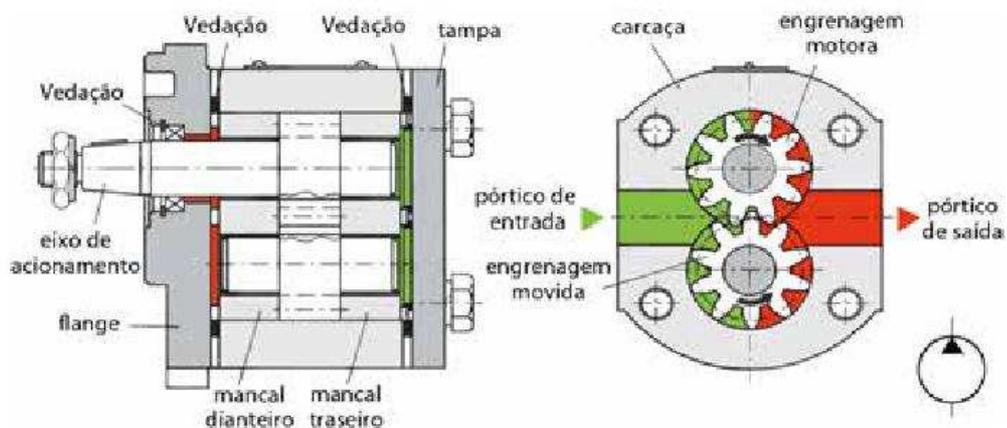
Ao girarem, as engrenagens produzem um vácuo parcial no pórtico de entrada da bomba, fazendo com que a pressão atmosférica empurre o óleo do reservatório para dentro da carcaça da bomba, através da linha de sucção.

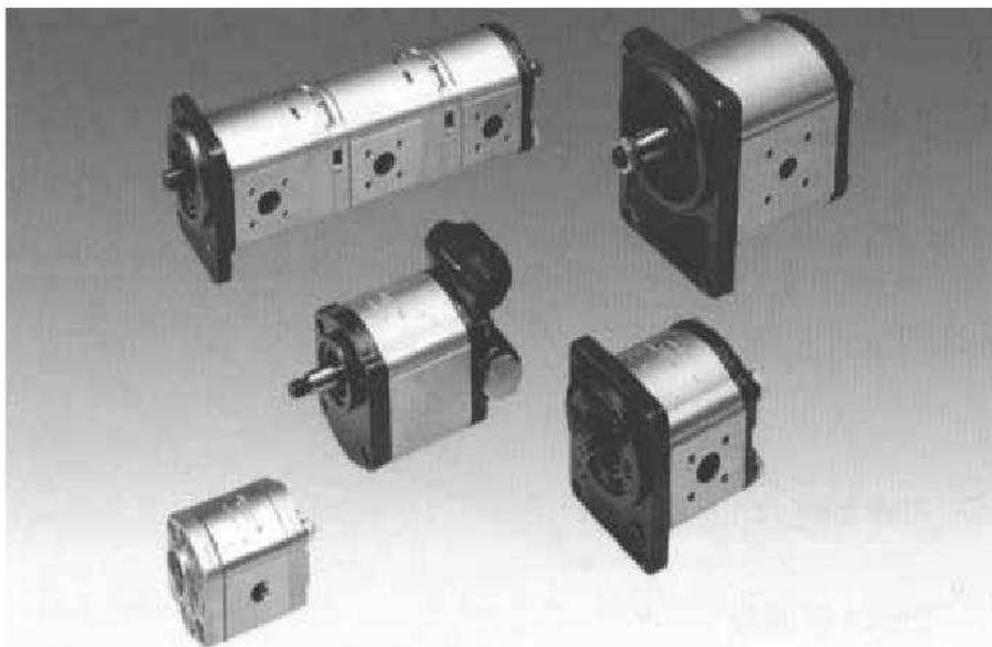
Uma vez dentro da bomba, o óleo é conduzido nos espaços formados entre os dentes das engrenagens e a superfície interna da carcaça até o pórtico de saída, onde é, então, empurrado para o circuito hidráulico.



Bomba de engrenamento externo

Quando a resistência ao fluxo aumenta a pressão no pórtico de saída da bomba, são geradas forças radiais desequilibradas nos eixos das engrenagens e em seus respectivos rolamentos. Essas cargas radiais, não balanceadas, limitam a capacidade de pressão das bombas de engrenagens, comparadas as de outro construtivo.





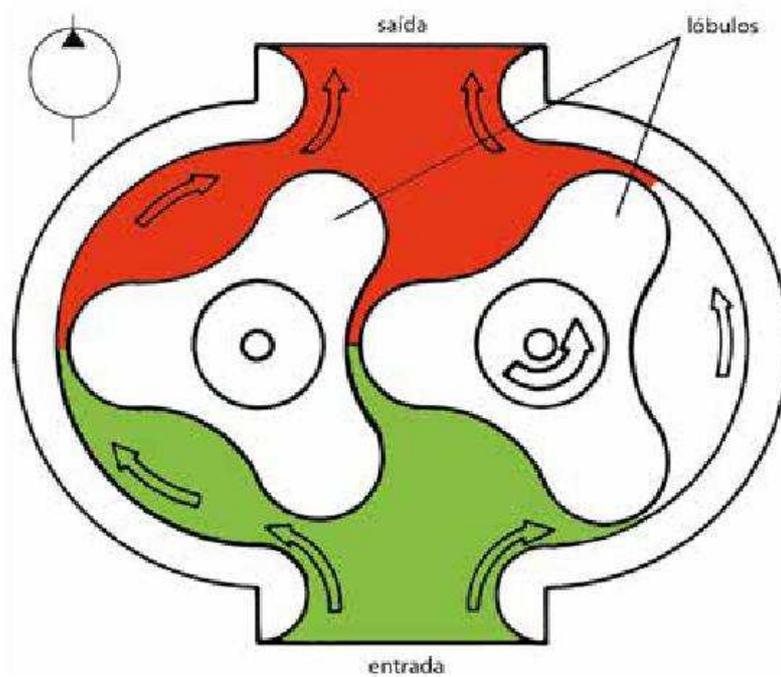
Bombas de engrenamento externo

As bombas de engrenamento externo são bombas de deslocamento fixo, ou seja, acionadas a uma rotação constante, são capazes de enviar ao sistema hidráulico sempre a mesma vazão de óleo.

## Bombas de lóbulos

A bomba de lóbulos é uma derivação da bomba de engrenamento externo, apresentando as mesmas características de construção e de funcionamento. Os lóbulos são como engrenagens de dentes arredondados cujo formato produz um atrito menor, além de permitir maior capacidade de vazão, devido ao aumento das dimensões das câmaras de bombeamento.

Quando o eixo de acionamento da bomba movimenta o lóbulo da direita, no sentido anti-horário, o lóbulo da esquerda é arrastado no sentido oposto. Esse movimento dos lóbulos gera um vácuo parcial no pórtico de entrada, fazendo com que a pressão atmosférica empurre o óleo do reservatório para dentro da bomba, através da linha de sucção.



Bomba de lóbulos

O óleo que entra na bomba é transportado nos vãos formados entre os dentes dos lóbulos e a superfície interna da carcaça até o pórtico de saída, onde é, então, forçado para o circuito hidráulico.

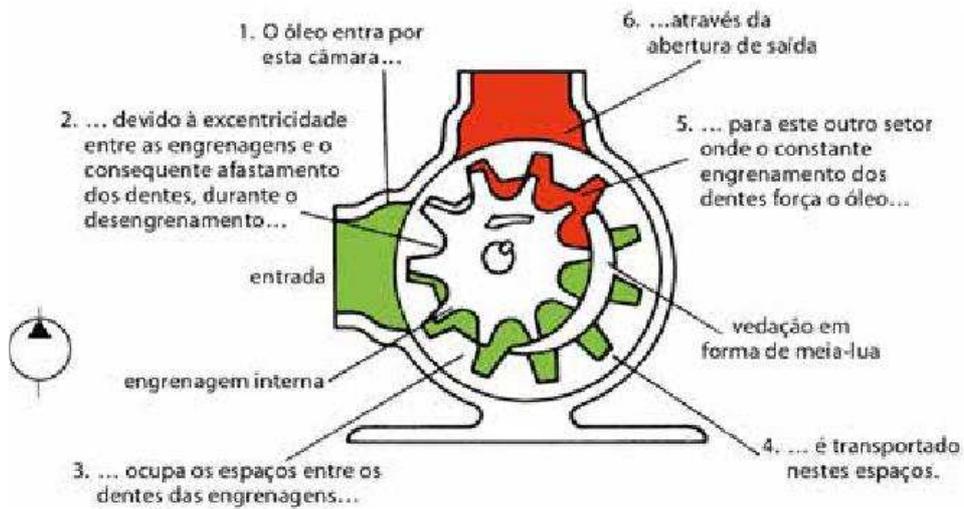
## Bombas de engrenamento interno

As bombas de engrenamento interno são mais silenciosas que as de engrenamento externo. Possuem também duas engrenagens, sendo uma de dentes externos e outra de dentes internos.

A engrenagem de dentes externos, de menor diâmetro, é montada de forma excêntrica dentro da engrenagem de dentes internos e está ligada mecanicamente ao eixo de acionamento da bomba.

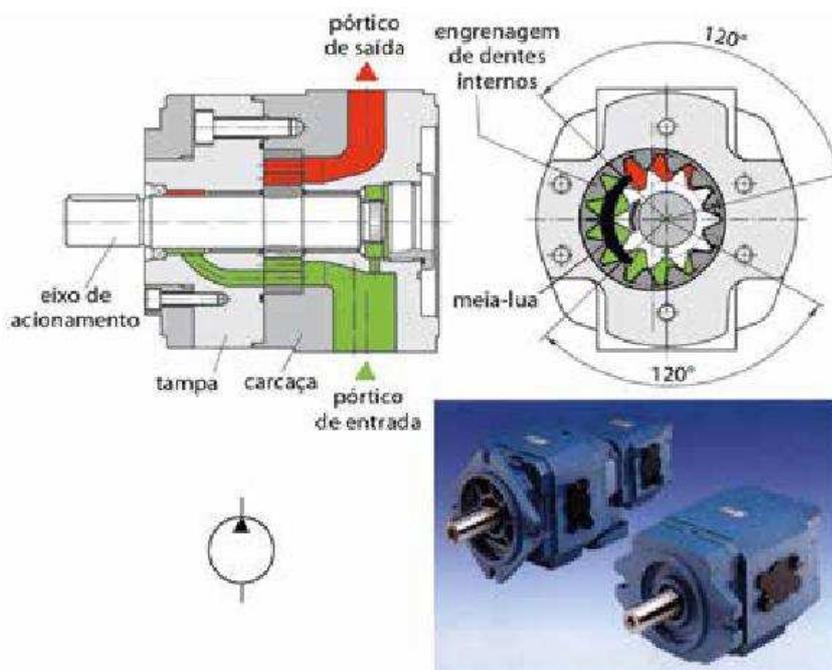
Já a engrenagem de dentes internos é movida pela outra e gira no mesmo sentido de rotação, apoiada na carcaça da bomba.

Uma vedação, em forma de meia-lua, é montada na folga formada pela excêntridade entre as duas engrenagens, separando as aberturas de entrada e de saída da câmara de bombeamento.



Com o movimento das engrenagens, forma-se um vácuo parcial no pórtico de entrada da bomba, na região onde os dentes se desengrenam, fazendo com que a pressão atmosférica empurre o óleo do reservatório para dentro da bomba, através da tubulação de sucção.

O óleo é, então, carregado para o pórtico de saída da bomba, nos vãos formados entre os dentes das duas engrenagens e a vedação em forma de meia-lua, de onde é empurrado para o circuito hidráulico.



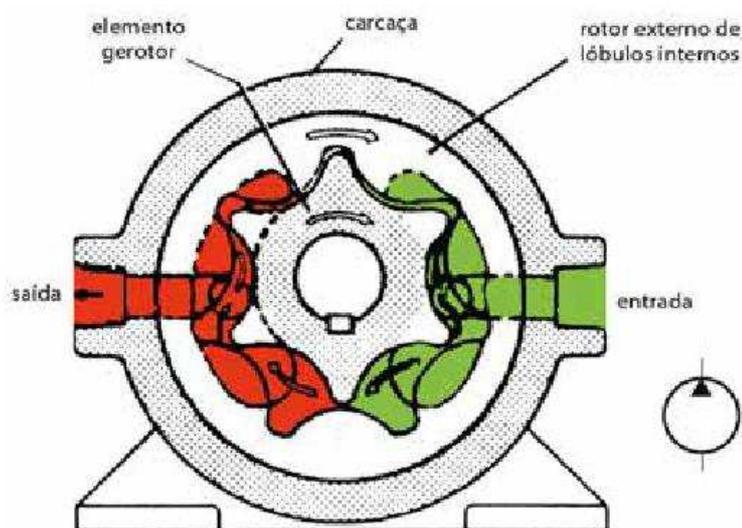
Bomba de engrenamento interno

## Bombas de lóbulos internos (gerotor)

As bombas de lóbulos internos, também conhecidas como bombas de anel dentado ou do tipo gerotor, apresentam as mesmas características de funcionamento das bombas de engrenamento interno.

O elemento gerotor interno, de lóbulos externos, é acionado pelo eixo de saída da bomba e arrasta o anel dentado externo, de lóbulos internos, no mesmo sentido de rotação.

A excentricidade forma, entre os lóbulos, câmaras de bombeamento que transportam o óleo do pórtico de entrada para o de saída, como mostra a figura a seguir.

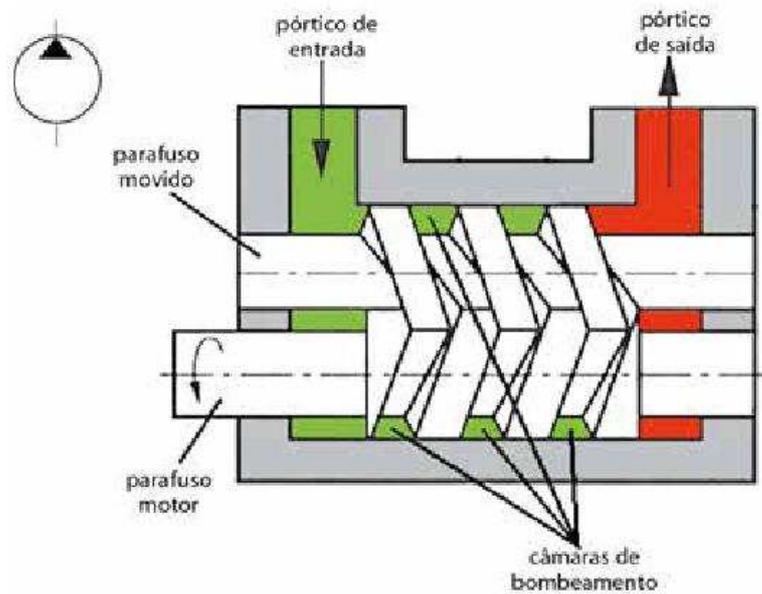


Bomba de lóbulos internos (gerotor)

Neste tipo de bomba, ao contrário das bombas de engrenamento interno, não é necessário utilizar a vedação em forma de meia-lua. Os dentes dos lóbulos de ambos os elementos se ajustam perfeitamente, efetuando a vedação.

## Bombas de parafusos

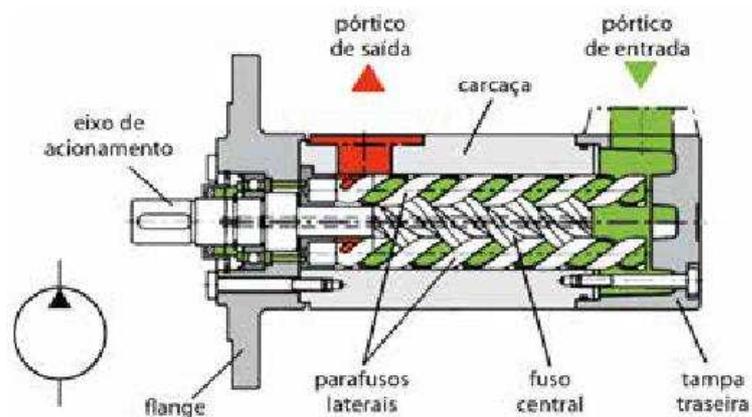
As bombas de parafusos possuem dois ou três parafusos acoplados entre si, através dos filetes das roscas.



Na bomba de três parafusos, o fuso central, com rosca à direita, é acionado pelo eixo e transmite movimento rotativo aos parafusos laterais, que possuem rosca à esquerda.

As câmaras de bombeamento são formadas nos espaços entre os filetes das roscas dos parafusos laterais e a superfície interna da carcaça da bomba.

O movimento rotativo dos parafusos faz com que o óleo seja transportado pelos vãos entre os filetes das roscas, no sentido longitudinal, do pórtico de entrada para o de saída da bomba.

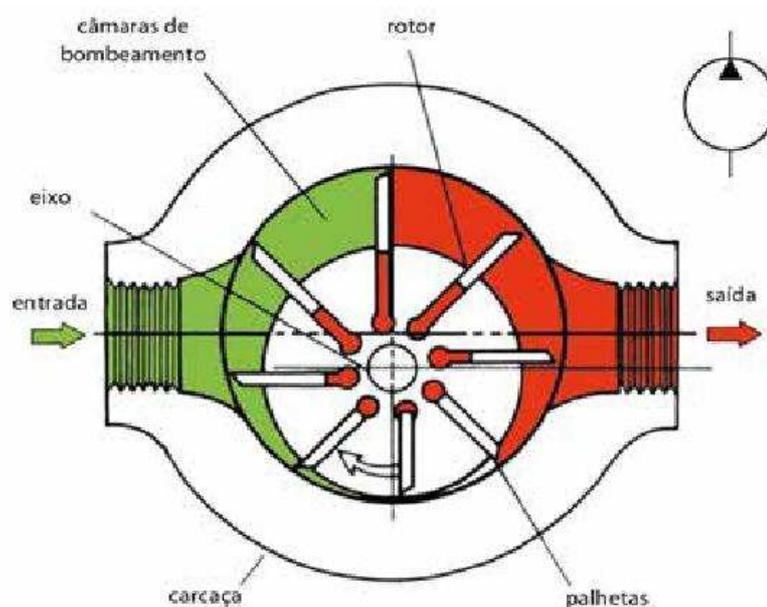


As bombas de parafusos geram pouco ruído e produzem uma vazão regular, praticamente isenta de pulsação.

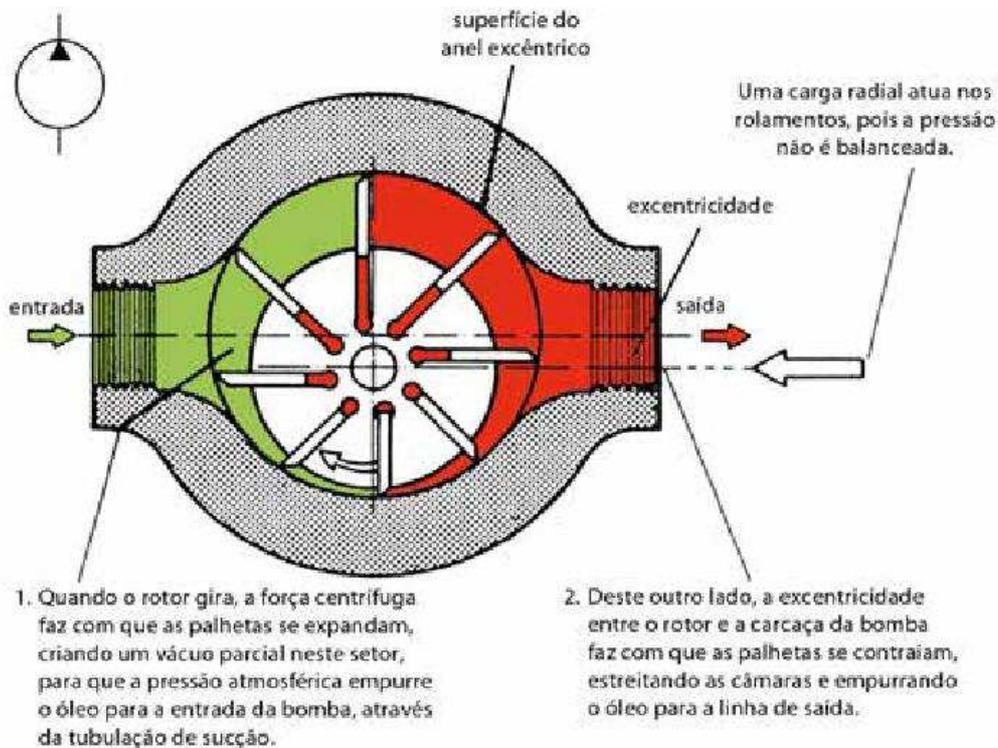
## Bombas de palhetas

As bombas de palhetas possuem um rotor com ranhuras, acoplado ao eixo de acionamento, que gira dentro de um anel circular, excêntrico a ele, localizado no interior da carcaça da bomba. Em alguns casos, o anel de alojamento do rotor possui a forma elíptica.

Quando o rotor gira, a força centrífuga gerada pelo movimento de rotação faz com que as palhetas, posicionadas no interior das ranhuras do rotor, se expandam e se apoiem na superfície interna do anel.



Nas bombas de palhetas, as câmaras de bombeamento são formadas pelos espaços existentes entre as palhetas, a face externa do rotor, a superfície interna do anel e as duas placas laterais. A excentricidade do rotor em relação ao anel faz com que esses espaços variem de tamanho, com o movimento de rotação.

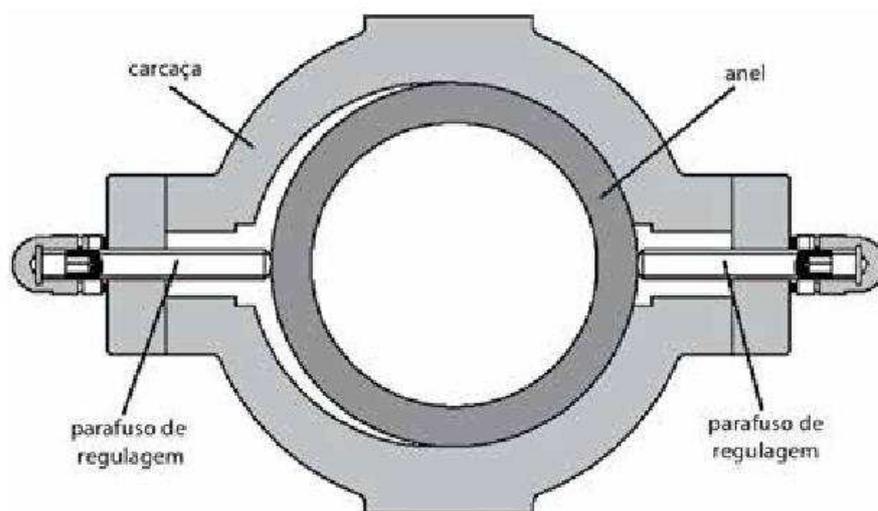


Quando as câmaras aumentam de tamanho, ocorre a sucção, permitindo que a pressão atmosférica empurre o óleo do reservatório para o interior da bomba. Por outro lado, quando as câmaras diminuem, o óleo é forçado para o circuito hidráulico através do pórtico de saída da bomba.

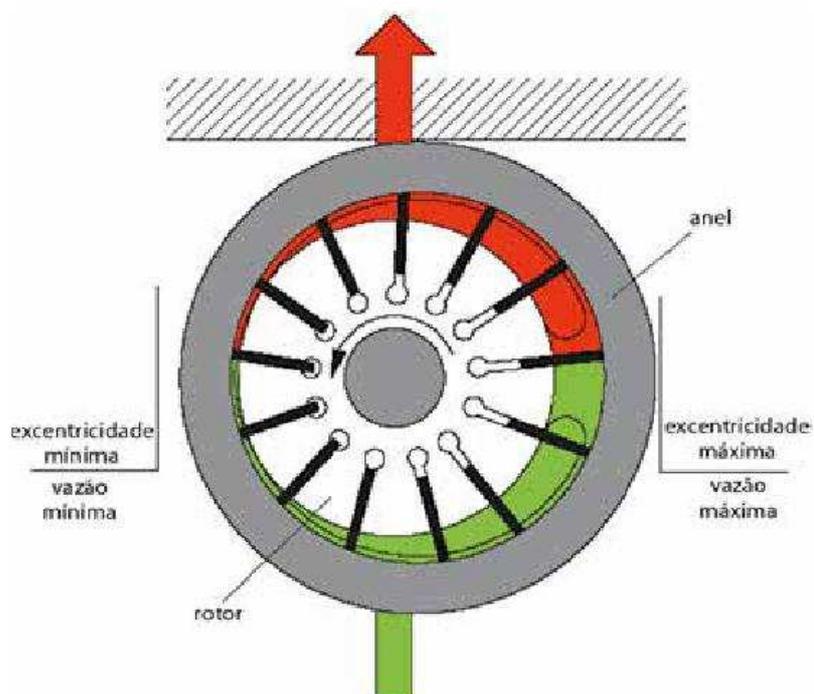
A bomba de palhetas apresentada na figura anterior é de **deslocamento ou vazão fixa** e do tipo **não balanceada**, isto é, aumentando a restrição ao fluxo, a pressão no pórtico de saída aumenta, gerando uma força radial que age no eixo e no rotor, limitando a capacidade da bomba de suportar pressões muito elevadas.

Alguns tipos construtivos de bombas de palhetas, entretanto, permitem a regulagem da excentricidade do anel em relação ao rotor, mediante o ajuste de um parafuso limitador de curso.

Esse recurso permite alterar a altura das câmaras de bombeamento, aumentando ou reduzindo a quantidade de óleo que cabe dentro delas e, portanto, fazendo com que a bomba passe a ter **vazão variável**, como mostram as figuras a seguir.

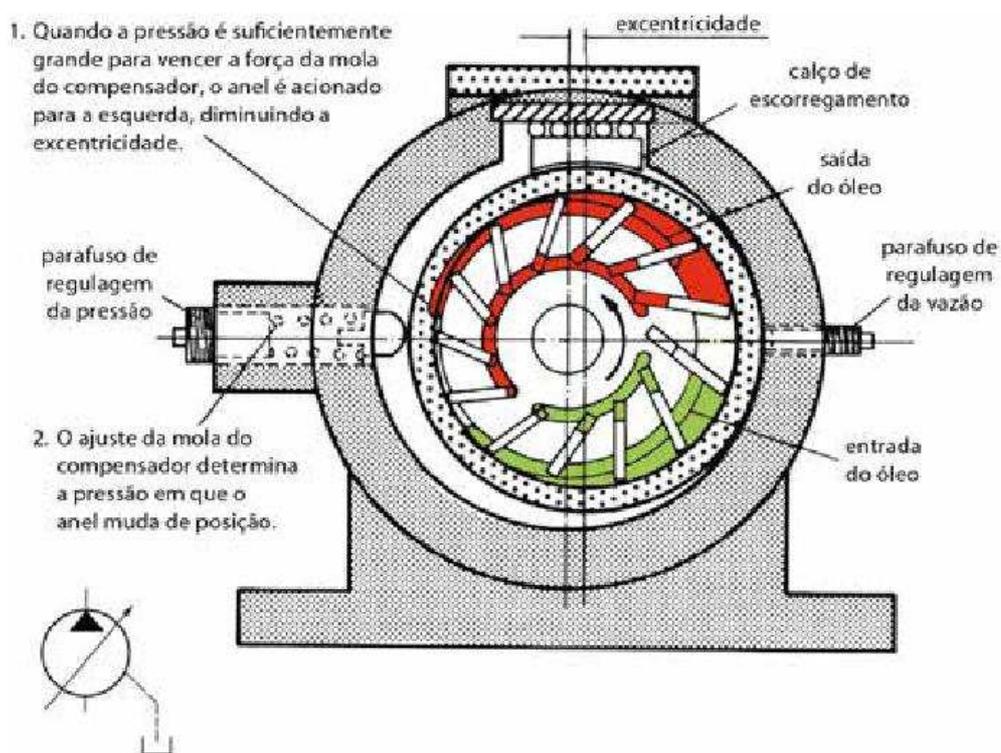


Parafusos de ajuste da excentricidade do anel



Dessa forma, com o eixo de acionamento da bomba girando a uma rotação constante, aumentando-se a excentricidade do anel em relação ao rotor, a vazão aumenta. Por outro lado, reduzindo-se a excentricidade, a vazão diminui.

A bomba de palhetas de **deslocamento variável**, apresentada a seguir, além do parafuso de regulagem de vazão, possui um **compensador de pressão**. Trata-se de um sistema de segurança, incorporado na bomba, que limita a pressão do óleo no pórtico de saída.



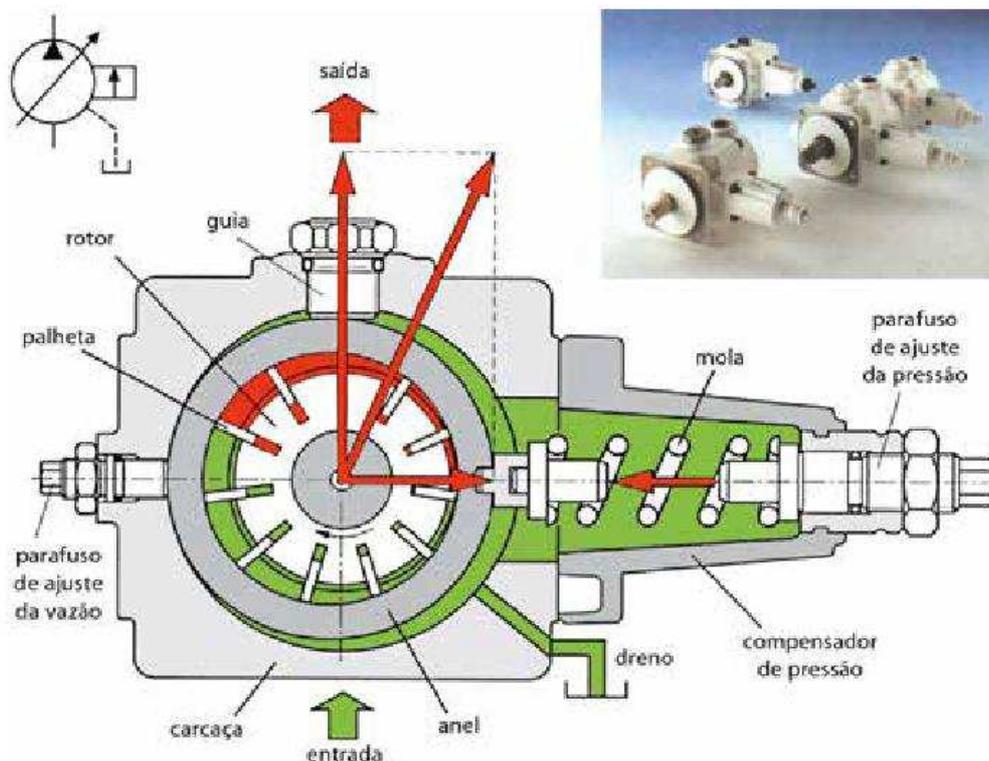
Bomba de palhetas de vazão variável, com compensador de pressão

Nessa bomba, o parafuso de regulagem do compensador de pressão ajusta a tensão de uma mola que empurra o anel para a direita, buscando a excentricidade máxima limitada pelo parafuso de regulagem da vazão.

Quando a pressão do óleo no pórtico de saída da bomba aumenta, acima da tensão regulada na mola do compensador, a própria pressão do óleo empurra o anel para a esquerda, eliminando a excentricidade do anel em relação ao rotor. Em outras palavras, a pressão do óleo centra o anel em relação ao rotor, tornando as câmaras de bombeamento inoperantes.

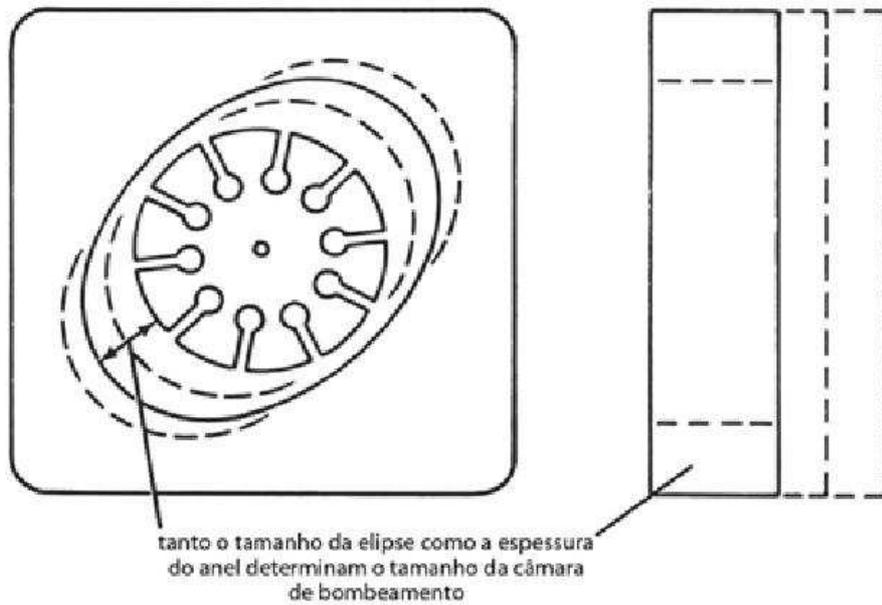
Sem a excentricidade necessária para que haja o bombeamento, a bomba continua a girar livre, até que a pressão no pórtico de saída diminua, abaixo do valor ajustado na mola do compensador.

A figura a seguir apresenta outro modelo de bomba de palhetas de **vazão variável** com **compensador de pressão**, similar ao anterior.



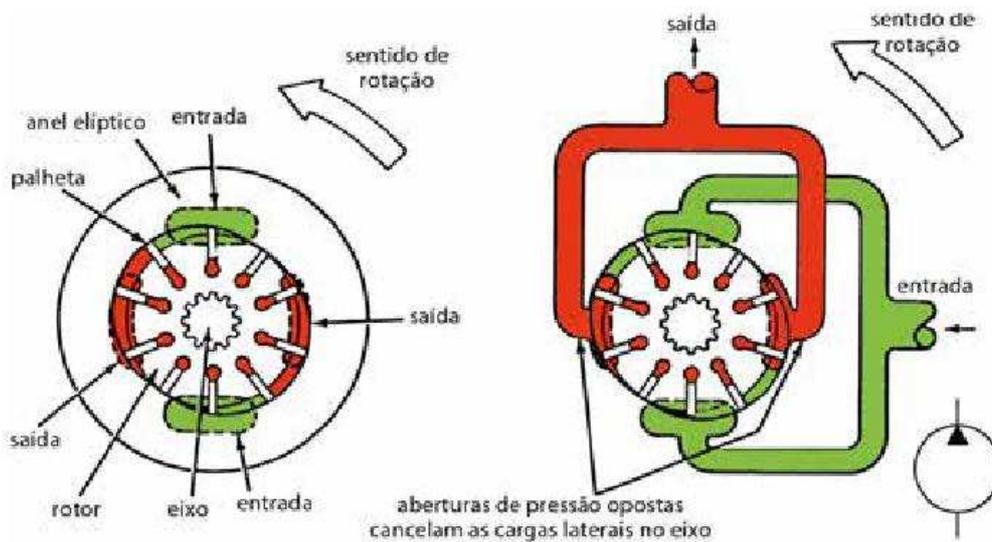
Pode-se notar que as características de construção variam de um fabricante para o outro, porém os princípios de funcionamento são os mesmos.

Outro tipo de bomba de palhetas encontrada no mercado possui, como característica de construção, um **anel em forma de elipse** substituindo o tradicional anel circular. São as chamadas bombas de palhetas hidráulicamente **balanceadas**.



Anel em forma de elipse

O anel elíptico permite que a bomba de palhetas tenha, internamente, duas regiões de bombeamento em um mesmo ciclo de giro, como mostra a figura a seguir.



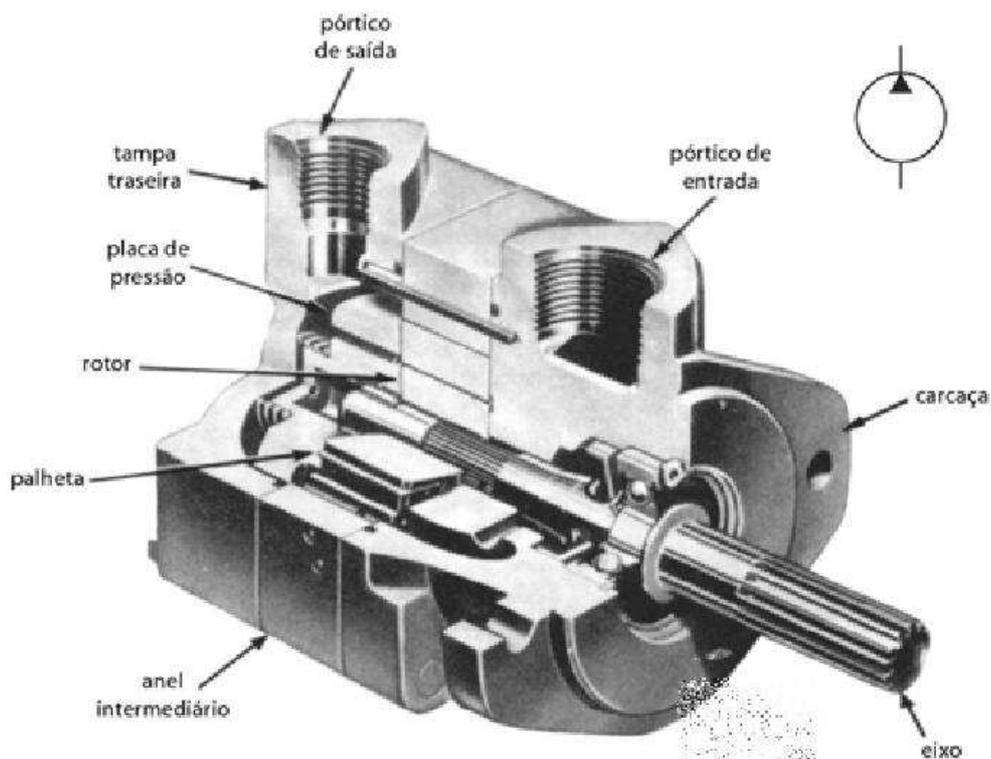
Bomba de palhetas hidráulicamente balanceada

Dentro da bomba de palhetas hidráulicamente balanceada, o pórtico de entrada se divide em dois para alimentar dois conjuntos de bombeamento, separados num ângulo de 180 graus, formados pelo anel elíptico.

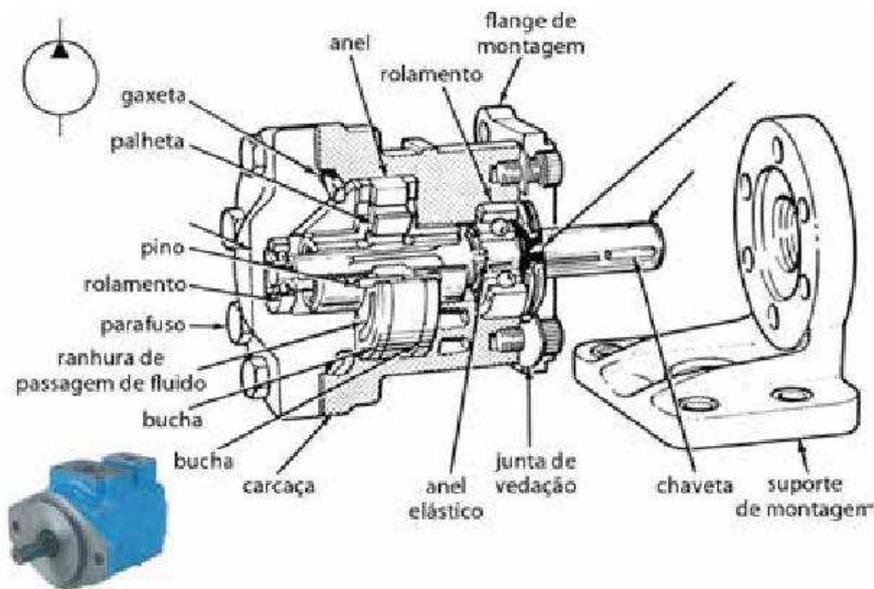
Como consequência, há duas saídas, uma para cada um dos conjuntos de bombeamento, também separadas a 180 graus, as quais se juntam em um único pórtico de saída, dentro da própria bomba.

Quando a pressão aumenta no pórtico de saída da bomba, devido a uma resistência maior ao fluxo do óleo, as cargas radiais geradas no eixo e nos rolamentos da bomba, agindo uma contra a outra, se anulam por estarem dispostas a 180 graus.

Essa característica de construção e de funcionamento permite que as bombas hidráulicamente balanceadas suportem pressões bem mais elevadas que as não balanceadas.



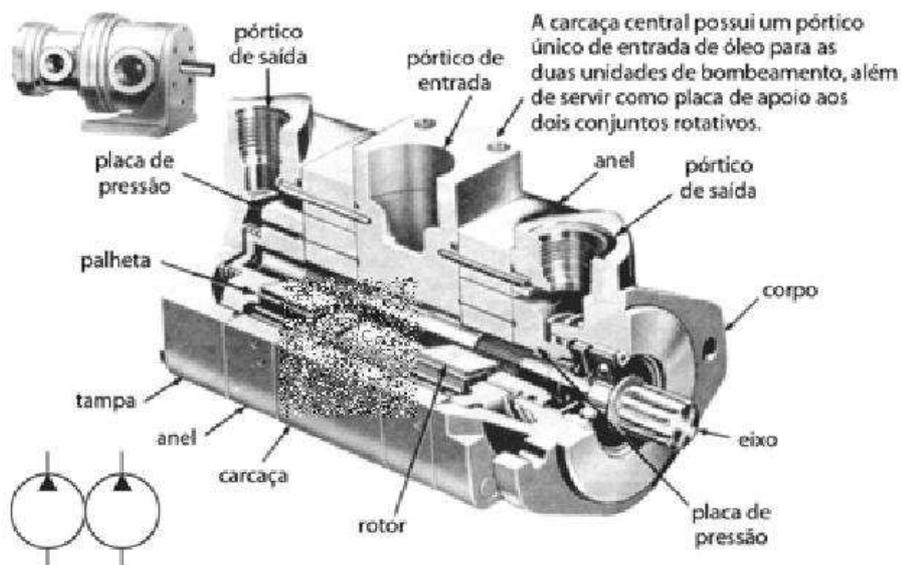
Corte de uma bomba de palhetas hidráulicamente balanceada



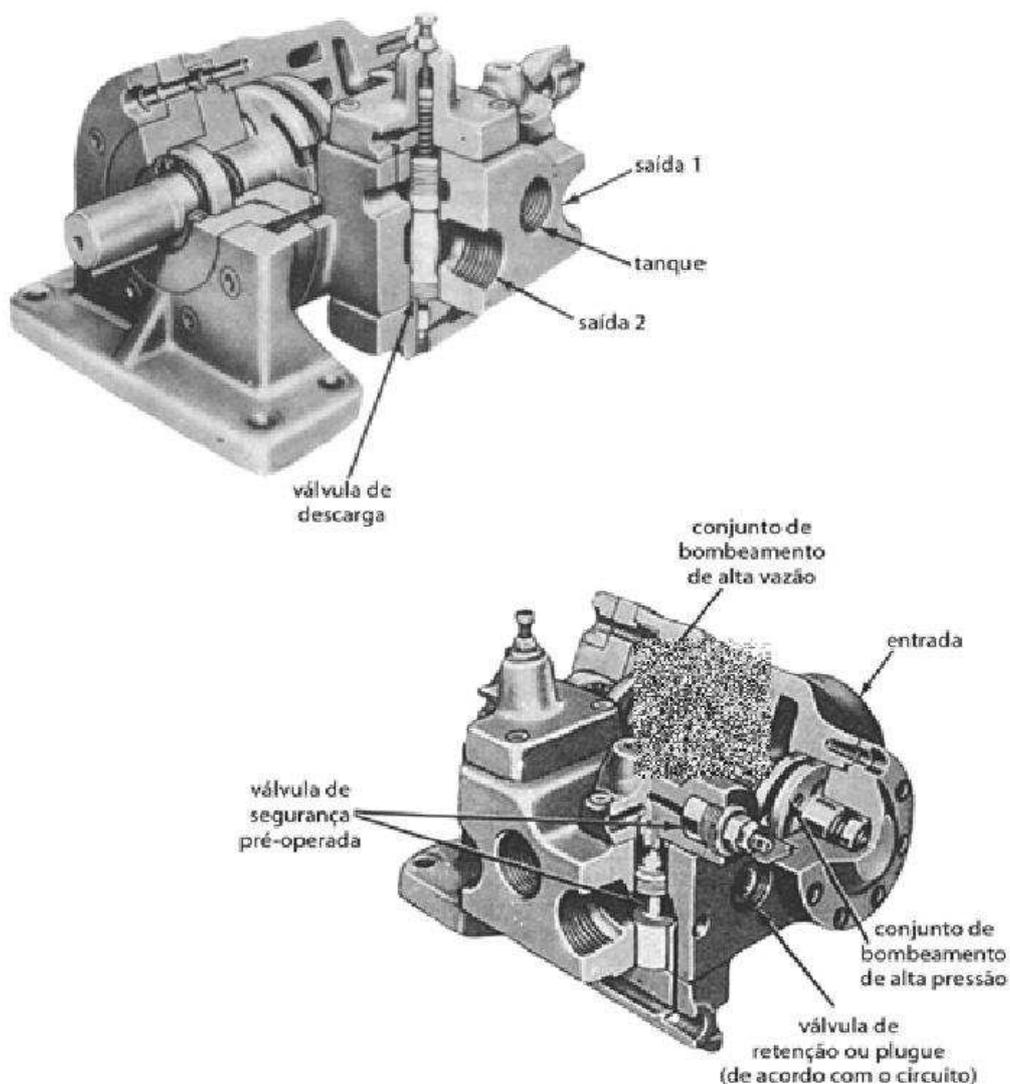
Bomba de palhetas de vazão fixa, hidráulicamente balanceada

Das bombas de palhetas apresentadas até aqui, na versão simples, podem ser encontradas no mercado outras versões, tais como:

- **Bombas duplas:** possuem dois conjuntos rotativos na mesma carcaça, sendo um de alta vazão e outro de alta pressão, com um único eixo de acionamento. Cada um dos conjuntos rotativos, montados em paralelo, possuem uma entrada e uma saída independentes e um eixo de acionamento em comum.



- **Bombas combinadas:** além dos dois conjuntos rotativos em um só corpo, com um único pórtico de entrada comum para os dois conjuntos e pórticos de saída separados e independentes, as bombas combinadas ainda possuem, dentro da mesma carcaça, três válvulas de controle: uma de segurança, uma de descarga e outra de retenção. Com essas válvulas incorporadas, a bomba combinada se transforma em um circuito hidráulico completo, com exceção do reservatório e dos atuadores, que pode ser utilizado em inúmeras aplicações industriais.



## Bombas de pistões

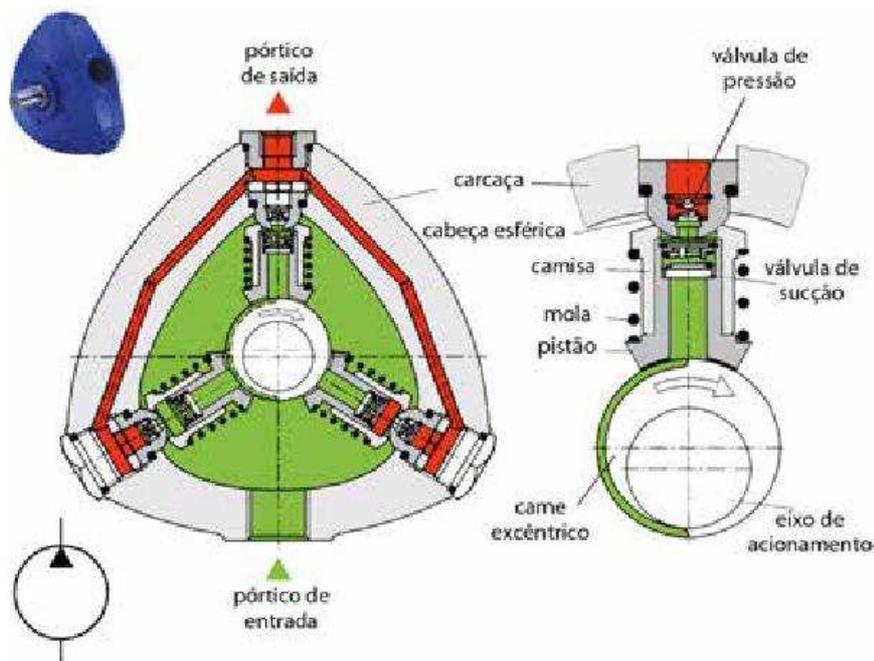
As bombas de pistões possuem êmbolos, montados dentro de uma carcaça, cujos movimentos alternativos succionam o fluido hidráulico num sentido e o expellem no sentido contrário.

As bombas de pistões podem ser de deslocamento fixo ou variável e, basicamente, se dividem em duas categorias principais:

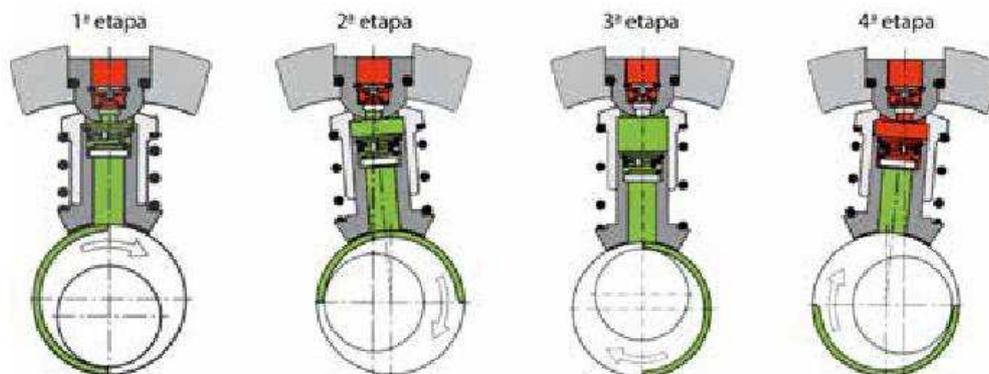
- bombas de pistões radiais: os pistões são dispostos de forma radial ao eixo de acionamento;
- bombas de pistões axiais: os pistões são paralelos entre si e distribuídos de maneira axial ao eixo de acionamento.

Nas **bombas de pistões radiais**, o eixo de acionamento possui um came excêntrico onde são apoiados os elementos de bombeamento, mediante a ação de molas. Cada elemento de bombeamento é constituído de um pistão e sua respectiva camisa, uma cabeça esférica, uma mola de compressão e duas válvulas, sendo uma de sucção e outra de pressão.

A cabeça esférica é presa à carcaça da bomba. A mola de compressão mantém a sapata do pistão apoiada no came excêntrico durante o movimento de rotação do eixo, como mostra a figura a seguir.



Para descrever o funcionamento de cada um dos pistões, vamos dividir o ciclo de movimento em quatro etapas:



- 1ª Etapa: com o came excêntrico em cima, o pistão encontra-se na posição de ponto morto superior. Nessa posição, a câmara de bombeamento do pistão está totalmente reduzida e as válvulas de sucção e de pressão estão fechadas.
- 2ª Etapa: quando o came excêntrico começa a descer, devido à rotação do eixo, a mola empurra o pistão para baixo, abrindo sua câmara de bombeamento. À medida que a câmara vai aumentando, forma-se um vácuo parcial que abre a válvula de sucção, permitindo a entrada do óleo pelo canal do excêntrico e através do furo central do pistão, preenchendo a câmara de bombeamento. A válvula de pressão, por sua vez, permanece fechada para evitar o retorno do óleo que já se encontra no canal que leva ao pórtico de saída da bomba.
- 3ª Etapa: com o came excêntrico em baixo, o pistão encontra-se na posição de ponto morto inferior. Nessa posição, a câmara de bombeamento do pistão está no seu volume máximo, totalmente preenchida de óleo, enquanto as válvulas de sucção e de pressão estão fechadas.
- 4ª Etapa: quando o came excêntrico sobe, a câmara de bombeamento do pistão começa a reduzir de tamanho, abrindo a válvula de pressão e expulsando o óleo para o canal que leva ao pórtico de saída da bomba. Nesse momento, a válvula de sucção permanece fechada para evitar que o óleo contido na câmara de bombeamento do pistão volte para o pórtico de entrada da bomba.

O funcionamento descrito é o mesmo para todos os pistões. Os canais de saída de óleo de cada um dos pistões se unem em um único pórtico de saída da bomba para o sistema hidráulico.

As ilustrações a seguir apresentam outros tipos construtivos de bombas de pistões radiais disponíveis no mercado. A principal diferença, em relação à bomba apresentada, está no número de pistões existentes em cada uma delas.

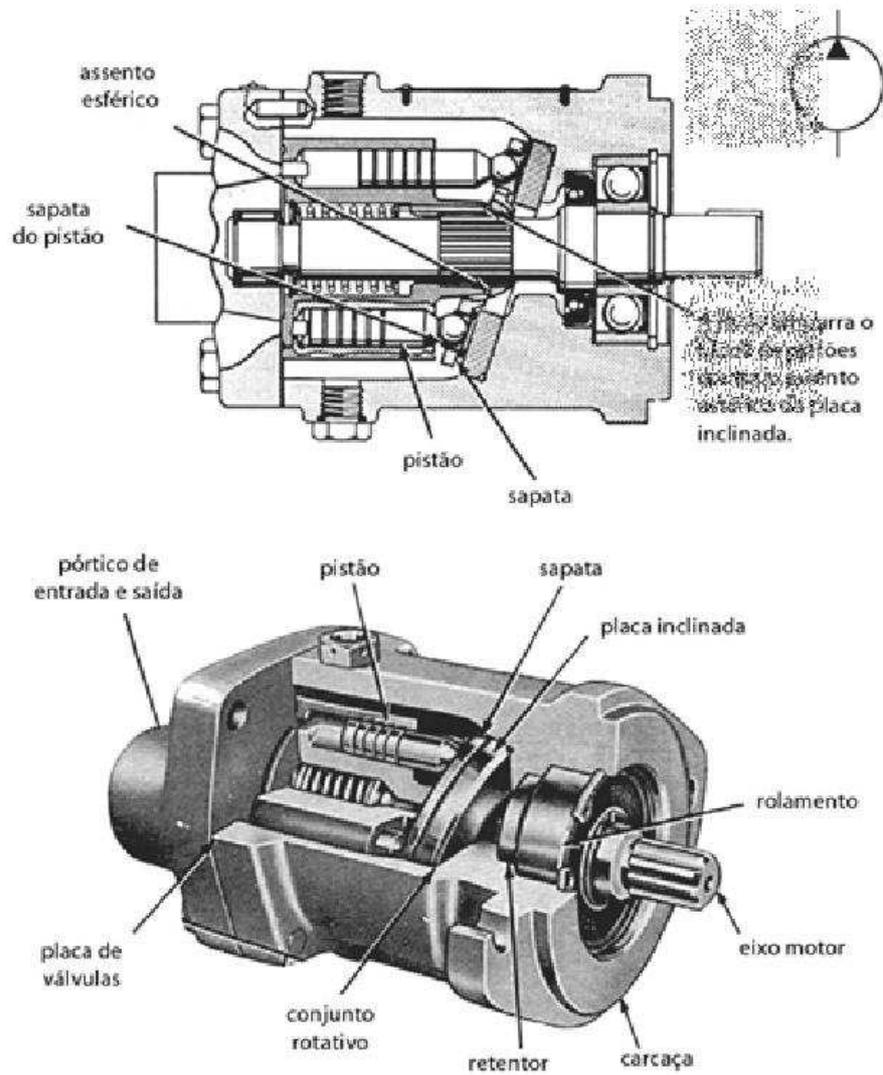


No geral, as bombas de pistões radiais possuem um número ímpar de pistões para reduzir a pulsação da vazão na saída da bomba.

As **bombas de pistões axiais**, por sua vez, apresentam dois diferentes tipos construtivos:

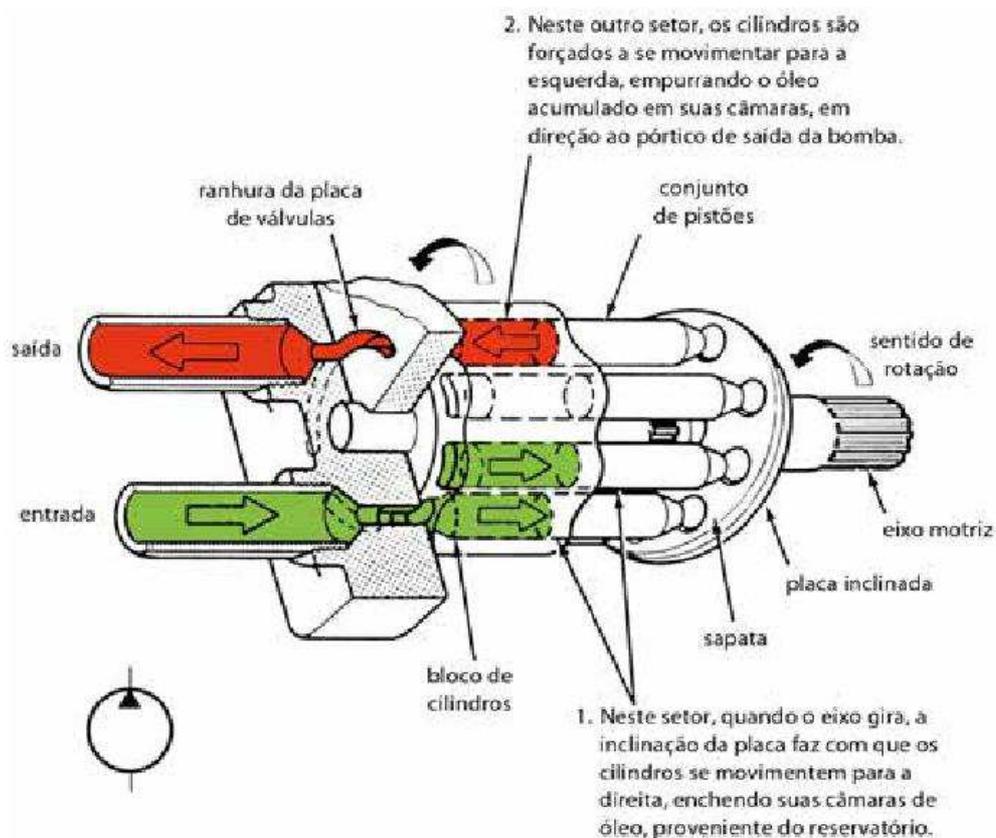
- bombas de pistões axiais de placa inclinada;
- bombas de pistões axiais de eixo inclinado.

Nas **bombas de pistões axiais de placa inclinada**, um eixo de acionamento movimenta um bloco de cilindros onde estão montados os pistões, paralelos entre si. Os pistões, apoiados em sapatas, deslizam sobre uma placa inclinada, a qual provoca movimentos alternativos de ida e volta em cada um dos pistões.



Quando o conjunto de bombeamento gira, acionado pelo eixo, as sapatas dos pistões seguem a inclinação da placa, produzindo movimentos alternados dos pistões dentro de seus respectivos alojamentos.

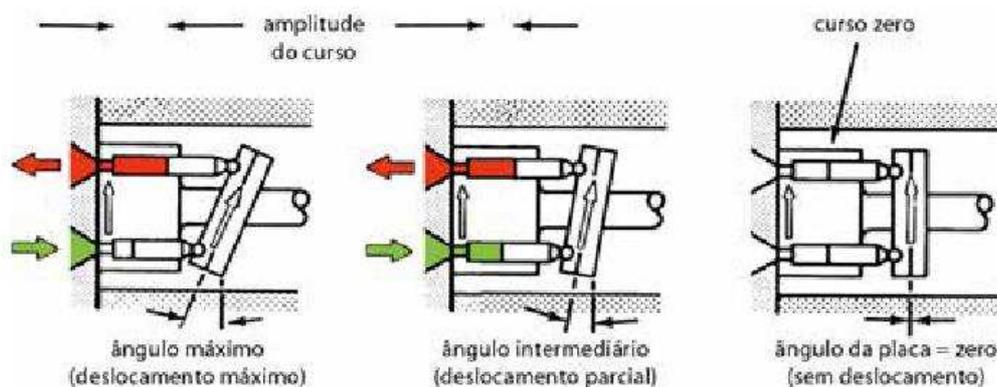
O pórtico de entrada da bomba é posicionado na região em que os pistões começam a recuar e o de saída localizado no setor oposto, no qual a inclinação da placa empurra os pistões para dentro do bloco de cilindros.



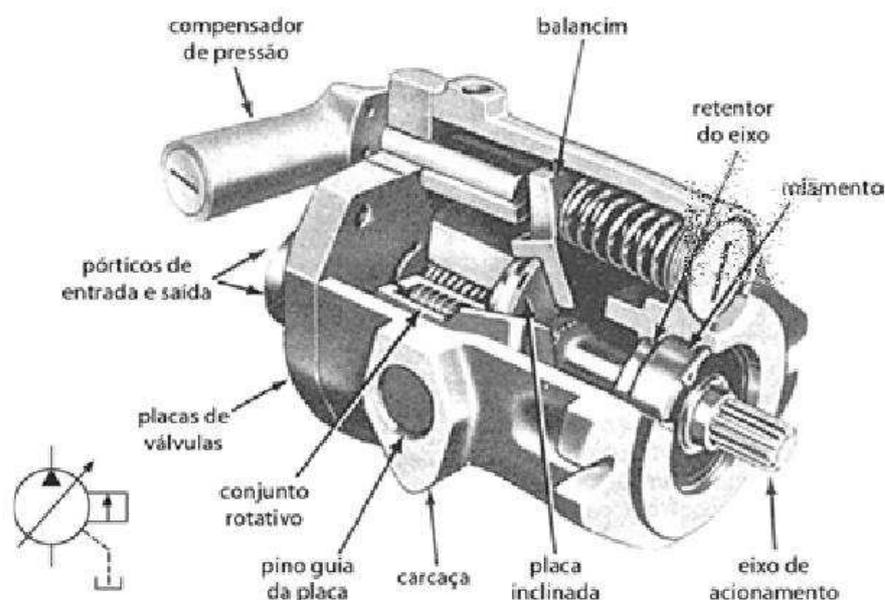
A vazão das bombas de pistões axiais de placa inclinada é determinada pela quantidade de pistões e suas respectivas dimensões, além da rotação do eixo de acionamento. A função da placa inclinada é definir e controlar o curso de cada um dos pistões. Quanto maior o curso, maior a quantidade de óleo contida na câmara de bombeamento.

Nos modelos de vazão variável, a placa inclinada é instalada em um balancim que permite alterar e controlar o ângulo de inclinação da placa, aumentando ou diminuindo o curso dos pistões. O ajuste do ângulo de inclinação da placa pode ser feito manualmente, por meio de parafusos de regulagem; eletricamente, através de servocontroles ou de solenoides proporcionais; ou hidraulicamente, por compensadores de pressão incorporados na carcaça da bomba.

A figura a seguir demonstra, de forma esquemática, como ocorre a variação da vazão da bomba em função do ângulo de inclinação da placa.

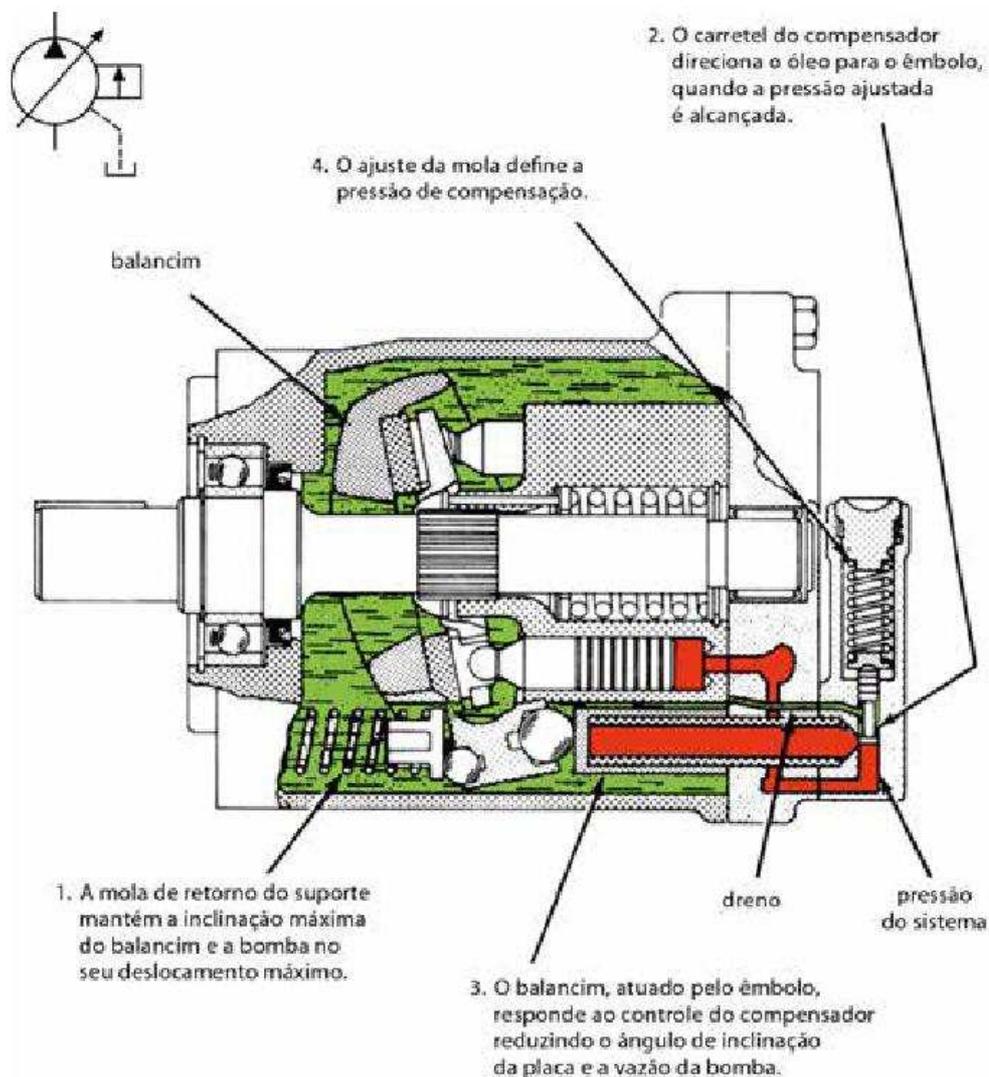


O compensador de pressão nada mais é do que uma válvula de segurança incorporada na própria carcaça da bomba. Sua função é limitar a pressão no pórtico de saída da bomba, reduzindo ou eliminando o ângulo de inclinação da placa quando a pressão hidráulica atingir sua regulagem.



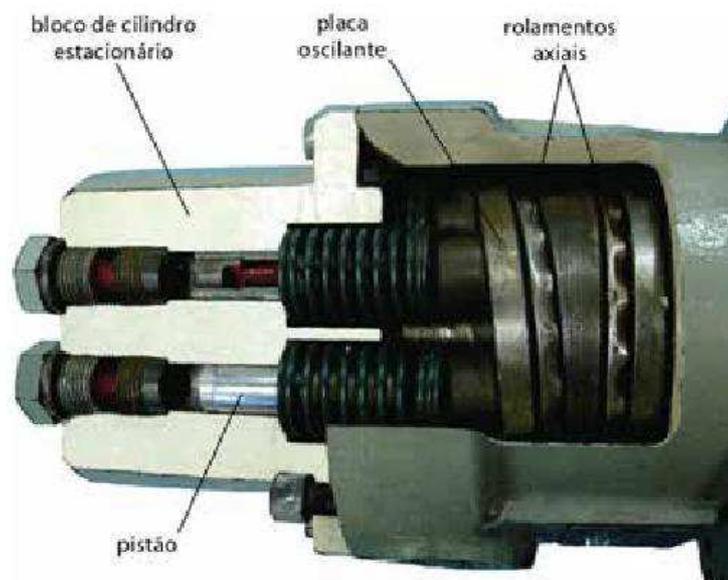
Se a pressão do óleo for menor que o valor ajustado no compensador, seu carretel permanece fechado e uma mola de retorno mantém o balancim em sua inclinação máxima, permitindo a vazão total da bomba.

Quando a pressão no pórtico de saída da bomba ultrapassar o valor ajustado no compensador, seu carretel abre de modo a permitir que o óleo empurre o êmbolo contra a mola de retorno, reduzindo gradativamente o ângulo de inclinação do balancim e, como consequência, a vazão da bomba.



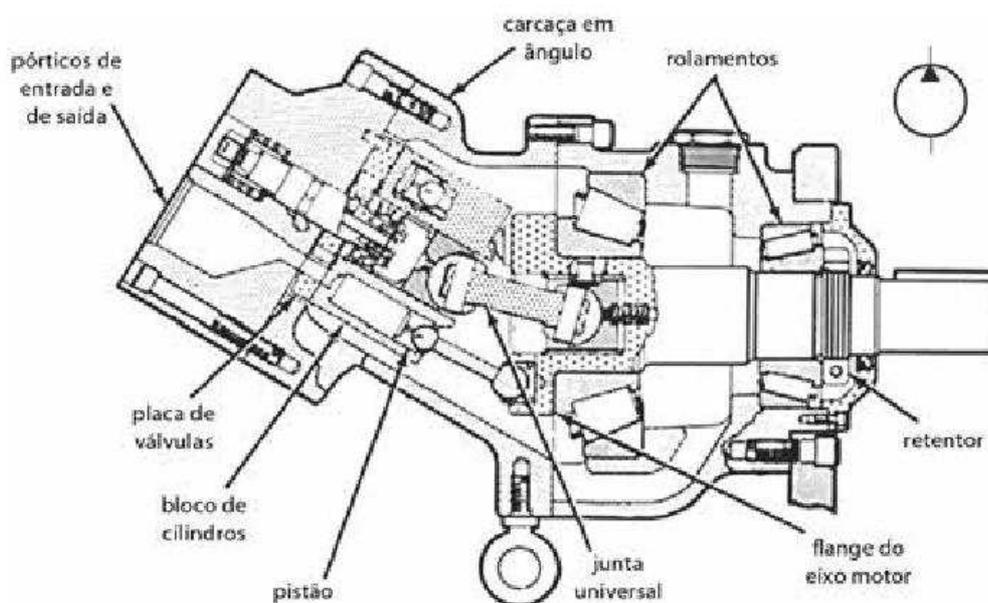
O compensador de pressão, portanto, varia a vazão da bomba para manter uma pressão de operação predeterminada no sistema hidráulico.

Em uma variação da bomba de pistões axiais de placa inclinada, o bloco de cilindros é estacionário e a placa é oscilante, movimentada pelo eixo de acionamento e apoiada em rolamentos axiais, com mostra a figura a seguir.

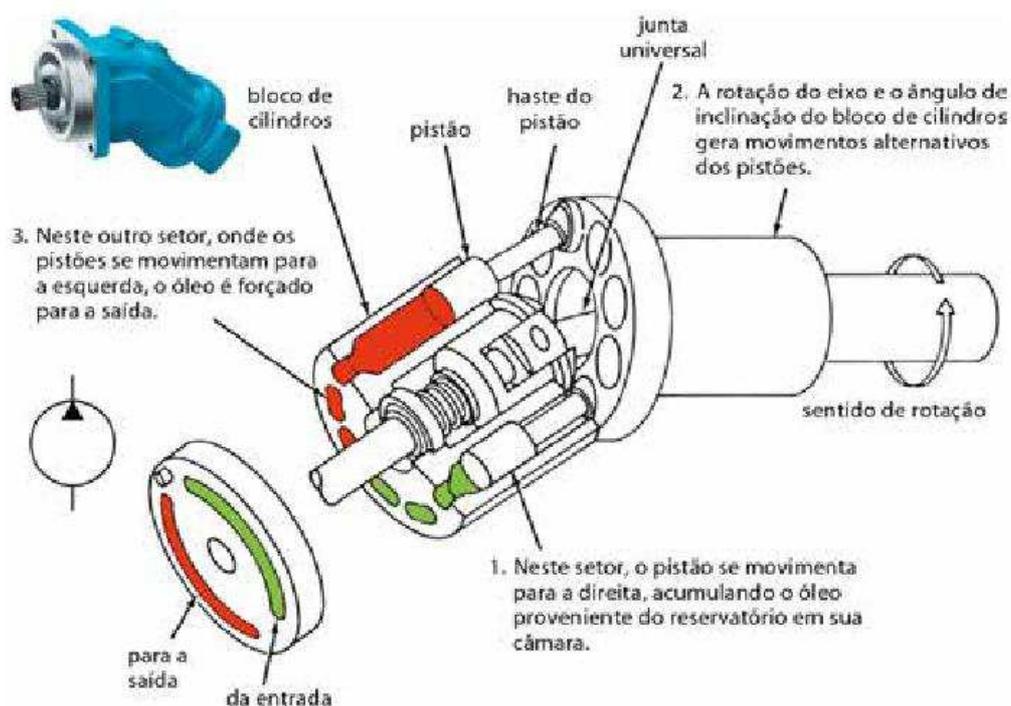


Quando o eixo gira, arrasta consigo a placa oscilante que empurra as sapatas dos pistões contra as molas de retorno, forçando-os a um movimento alternado de ida e volta.

Já nas **bombas de pistões axiais de eixo inclinado**, o conjunto ou bloco de cilindros é disposto de forma angular em relação ao eixo de acionamento. As hastes dos pistões são presas ao flange do eixo por meio de juntas esféricas.

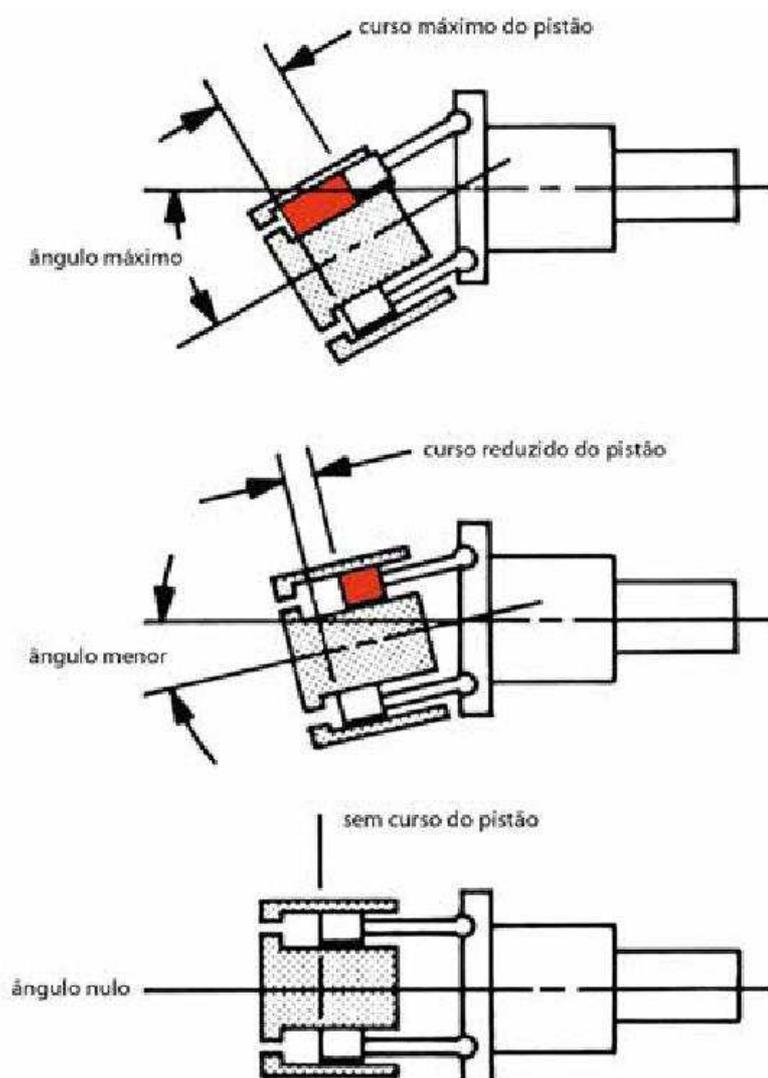


Quando o eixo gira, os pistões são forçados para dentro e para fora de seus respectivos alojamentos pela variação da distância entre o flange e o bloco de cilindros. Uma junta universal liga o bloco de cilindros ao eixo de acionamento, assegurando que os dois girem ao mesmo tempo e mantendo o alinhamento e o ângulo de inclinação entre eles.



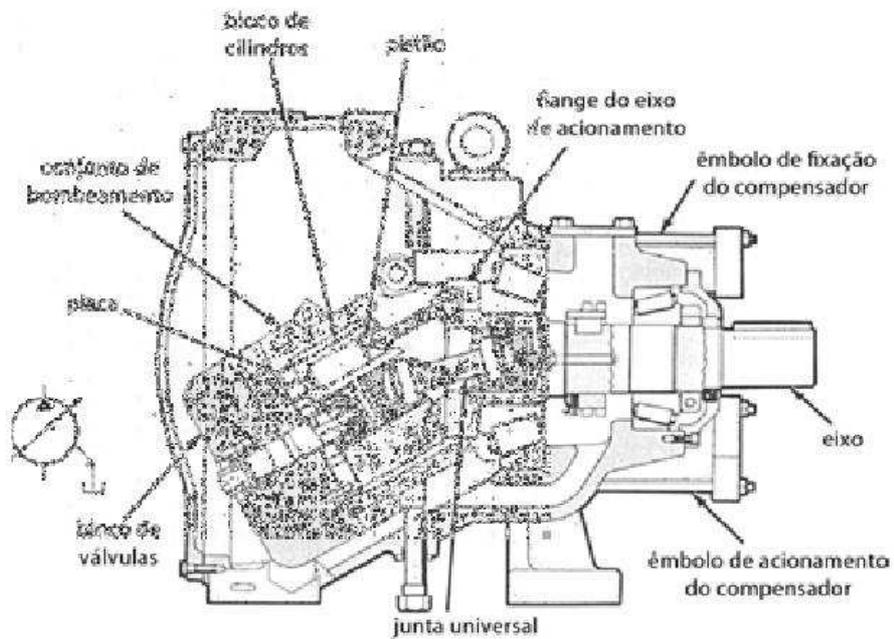
A vazão das bombas de pistões axiais de eixo inclinado é determinada pela quantidade de pistões e suas respectivas dimensões, da rotação do eixo de acionamento e do ângulo de inclinação do bloco de cilindros em relação ao flange do eixo, o que vai definir o curso dos pistões.

Nas bombas de vazão fixa, os fabricantes adotam ângulos entre 23 e 30 graus. Já nas de vazão variável, o ângulo de inclinação pode ser ajustado de zero a no máximo 30 graus, lembrando que, quanto maior for o ângulo de inclinação, maior será o curso de cada pistão e, portanto, maior a quantidade de óleo contida na câmara de bombeamento.

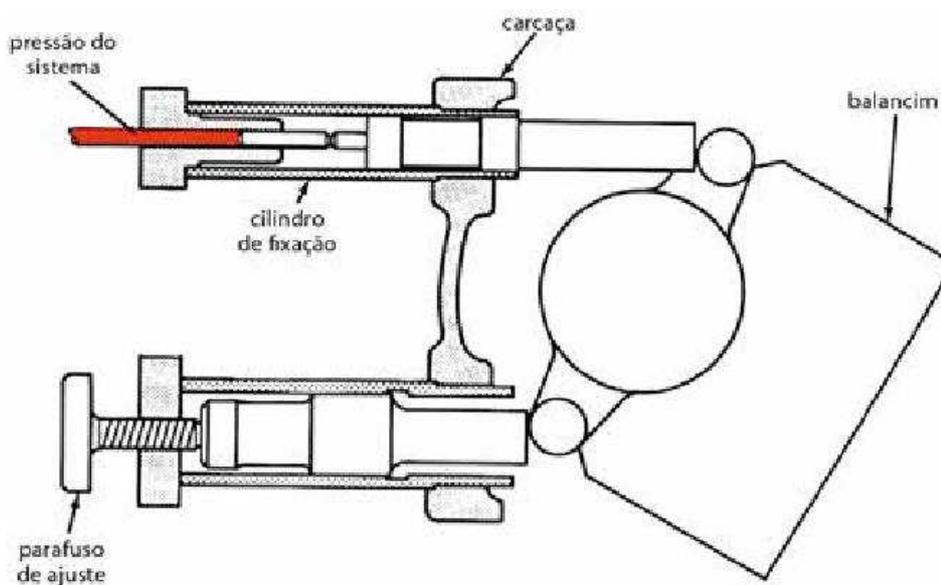


Nos modelos de vazão variável, o bloco de cilindros é instalado em um balançim que permite alterar e controlar o ângulo de inclinação do conjunto de pistões, aumentando ou diminuindo o curso deles. O ajuste do ângulo de inclinação do bloco de cilindros pode ser feito manual, elétrica ou hidráulicamente, por meio de compensadores de pressão incorporados na carcaça da bomba, da mesma forma como nas bombas de pistões axiais de placa inclinada.

Certos controles permitem, inclusive, que o bloco de cilindros ultrapasse o ângulo zero, inclinando-se para o lado oposto e invertendo o sentido de fluxo da bomba. São as chamadas bombas reversíveis, muito utilizadas em transmissões hidrostáticas e em aplicações móveis.



A figura a seguir mostra uma das diversas formas de regular a vazão de uma bomba de pistões axiais de eixo inclinado. O ajuste do ângulo de inclinação do bloco de cilindros é efetuado manualmente, por meio de um parafuso.



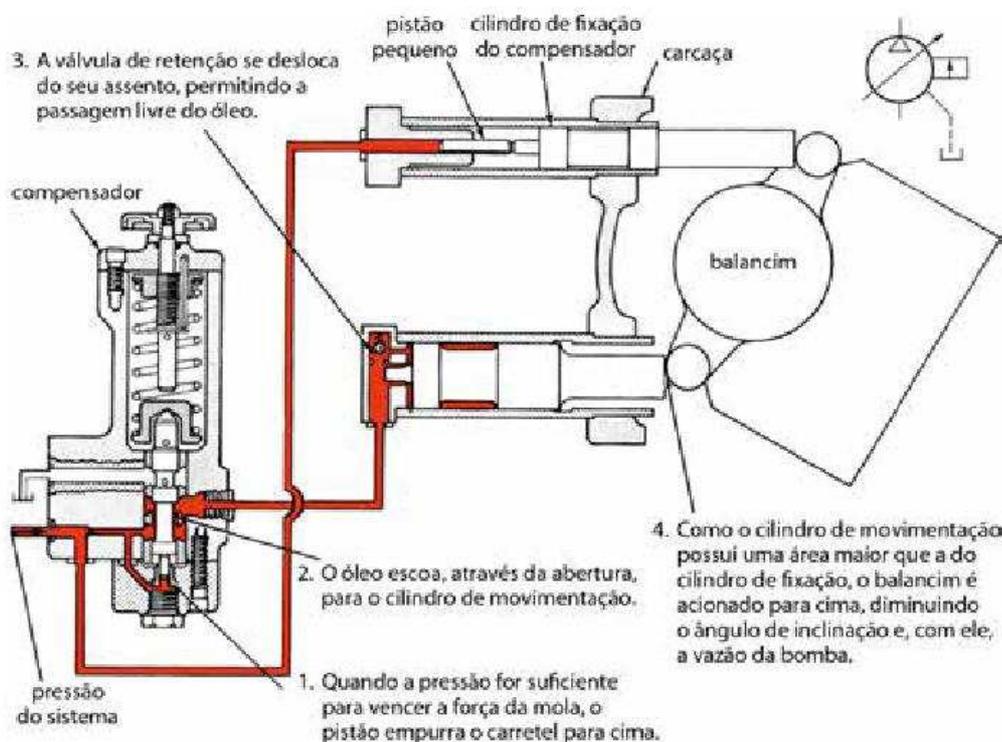
Regulagem manual da vazão de uma bomba de pistões axiais de eixo inclinado

O compensador de pressão integrado a uma bomba de pistões axiais de eixo inclinado tem por função limitar a pressão no pórtico de saída da bomba, reduzindo ou eliminando o ângulo de inclinação do bloco de cilindros quando a pressão hidráulica alcançar sua regulagem.

O balancim, onde está montado o bloco de pistões, é acionado por dois êmbolos: o êmbolo maior é chamado de cilindro de movimentação e tende a reduzir o ângulo de inclinação do balancim. O êmbolo menor ou cilindro de fixação é submetido a uma pressão constante e força o balancim para o seu ângulo de inclinação máximo.

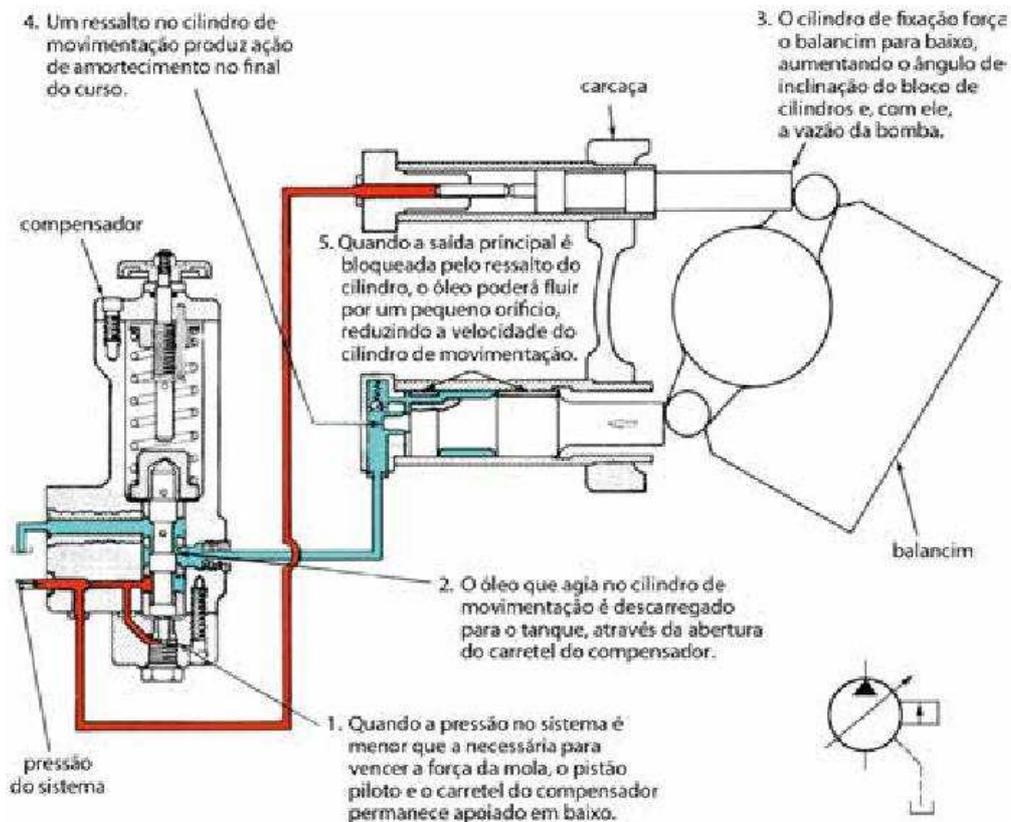
Quando a pressão no pórtico de saída da bomba ultrapassa o valor ajustado na mola do compensador, o carretel é acionado para cima de modo a permitir que o óleo entre no êmbolo maior e empurre o cilindro de movimentação, reduzindo gradativamente o ângulo de inclinação do balancim e, conseqüentemente, a vazão da bomba.

O cilindro de fixação, embora esteja submetido a uma pressão constante, possui uma área menor que a do cilindro de movimentação e, por essa razão, permite que o ângulo de inclinação seja reduzido para diminuir a vazão da bomba e impedir que a pressão na linha de saída continue a subir.



Quando a pressão do óleo no pórtico de saída da bomba cai, abaixo do valor ajustado no compensador, a mola aciona o carretel para baixo desviando o óleo do cilindro de movimentação para o tanque, por meio de um dreno externo.

Dessa forma, o cilindro de fixação, submetido a uma pressão constante, empurra o balancim em sua inclinação máxima, aumentando a vazão da bomba, como mostra a figura a seguir.





# ATUADORES HIDRÁULICOS

Os atuadores convertem a energia hidráulica em trabalho e, por isso, são chamados de componentes de saída de um sistema hidráulico.

Na verdade, todo o projeto de um sistema hidráulico começa pelos atuadores. Uma vez definido o tipo de movimento desejado na máquina ou no equipamento, as forças exigidas durante a operação e as velocidades necessárias, somente após a escolha do atuador é que serão selecionados os demais componentes que completarão o sistema hidráulico.

Os atuadores classificam-se, basicamente, em dois tipos:

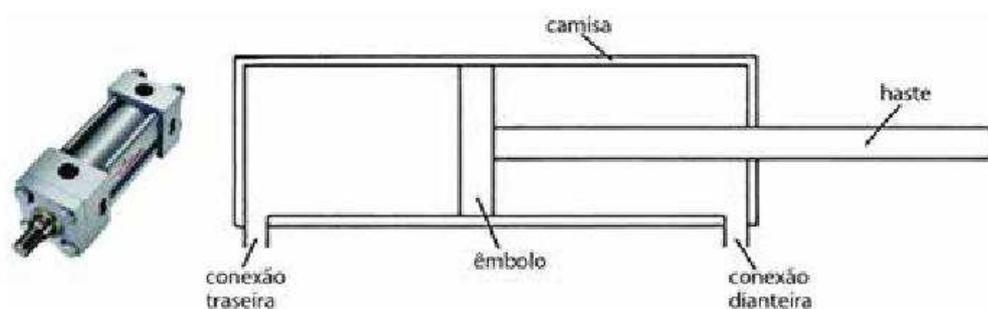
- **Atuadores lineares:**  
Os atuadores lineares, também conhecidos como cilindros, transformam a energia hidráulica em mecânica, produzindo movimentos lineares de ida e volta.
- **Atuadores rotativos e giratórios:**  
Os atuadores rotativos e giratórios, também chamados de motores hidráulicos, convertem a energia hidráulica em mecânica, produzindo movimentos circulares rotativos ou giratórios.

## **Observação:**

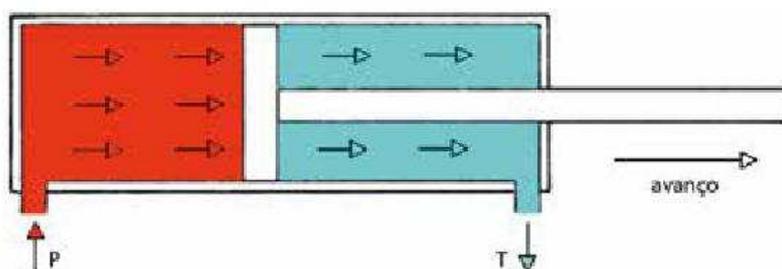
Os atuadores rotativos apresentam movimento de rotação infinito nos dois sentidos, enquanto os atuadores giratórios possuem movimentos circulares limitados, girando apenas dentro da amplitude angular determinada por suas características construtivas.

## 1. Atuadores lineares

Os atuadores lineares ou cilindros hidráulicos possuem, geralmente, uma carcaça tubular, chamada de camisa, um êmbolo provido de anéis de vedação, uma haste cilíndrica presa ao êmbolo, na qual será fixado o conjunto mecânico a ser movimentado, e tampas dianteira e traseira onde se localizam as conexões de entrada e saída do óleo hidráulico.



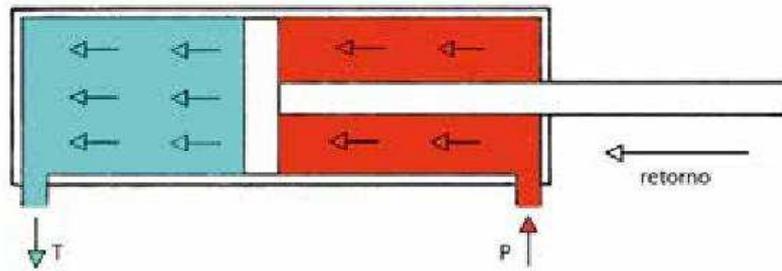
Quando a conexão traseira é submetida à pressão, o óleo empurra o êmbolo para a direita, fazendo com que a haste se estenda. Ao movimento de extensão da haste chamamos de **avanço** do cilindro.



O óleo acumulado na câmara dianteira é empurrado pelo êmbolo de volta ao tanque.

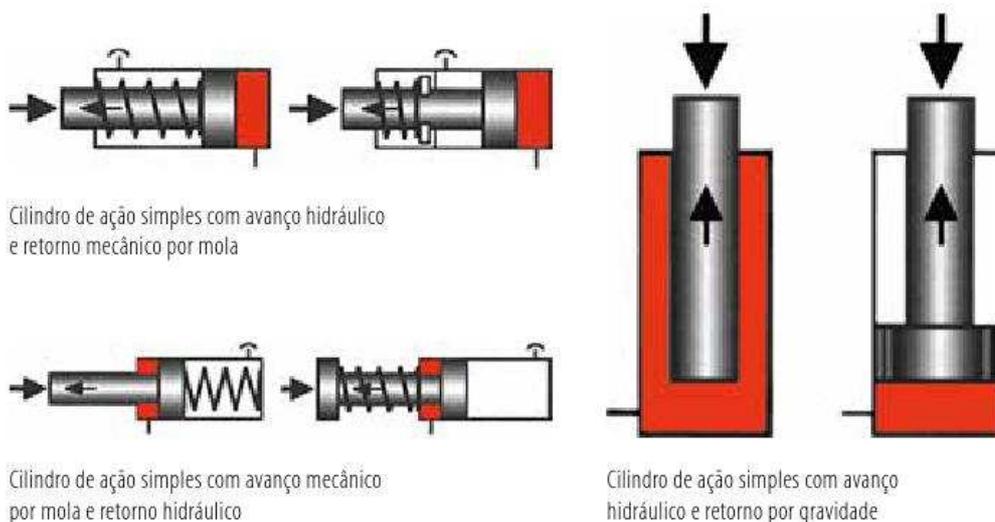
Por outro lado, quando a câmara dianteira é pressurizada, o óleo empurra o êmbolo para a esquerda, agindo ao redor da haste, fazendo com que ela se retraia. A esse movimento de retração da haste denomina-se **retorno** do cilindro.

Agora, é o óleo acumulado na câmara traseira do cilindro que é empurrado de volta ao reservatório.



O cilindro apresentado no exemplo é um atuador linear de **ação dupla**, isto é, seus movimentos, tanto o de avanço como o de retorno, ocorrem hidráulicamente.

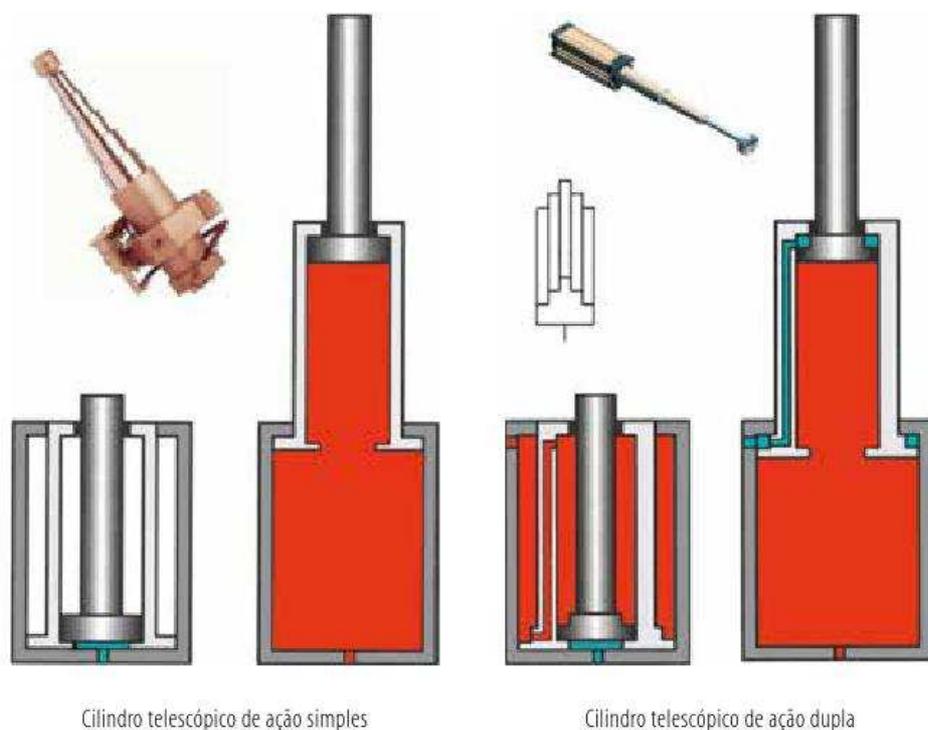
Existem cilindros, entretanto, que são movimentados pela ação do óleo apenas em um dos sentidos. O movimento contrário pode ser realizado por uma ação mecânica ou pela força da gravidade, como nos casos de cilindros verticais. Esses atuadores lineares são chamados de cilindros de **ação simples**.



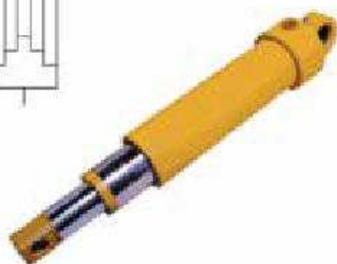
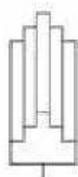
Outro tipo de atuador linear encontrado no mercado é o **cilindro telescópico**. Trata-se de um atuador linear que possui várias hastes montadas uma dentro da outra, com o objetivo de oferecer um curso de trabalho maior do que o dos cilindros convencionais.

Enquanto um cilindro convencional possui um curso de trabalho próximo de seu comprimento, descontando-se as espessuras do êmbolo e das tampas dianteira e traseira, um cilindro telescópico apresenta um curso de trabalho tantas vezes maior que o seu comprimento, quantas forem as hastes existentes.

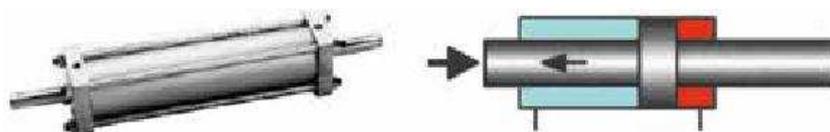
Sendo assim, os cilindros telescópicos ocupam espaços reduzidos em relação ao curso de trabalho, se comparados aos cilindros convencionais.



Os cilindros telescópicos são utilizados em elevadores, empilhadeiras, carretas basculantes, guinchos, guas, escadas telescópicas de caminhões de bombeiros e em toda a aplicação em que se necessite que o atuador tenha um curso de trabalho grande e, ao mesmo tempo, não há espaço suficiente para a montagem de um cilindro convencional.

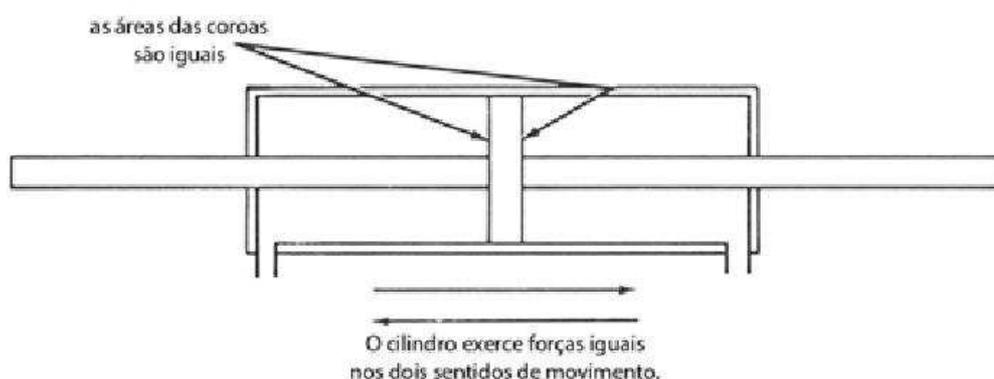


Outro atuador linear muito empregado na indústria é o cilindro de **haste dupla ou passante**. Trata-se de um cilindro que possui duas hastes, uma de cada lado do êmbolo, o que permite acoplar cargas nas duas extremidades.



Cilindro de haste dupla ou de haste passante

Ao contrário de um cilindro de ação dupla convencional, onde as áreas de atuação do óleo são diferentes para o avanço e o retorno, o cilindro de haste dupla possui as mesmas dimensões de áreas nos dois sentidos de movimento, o que oferece forças e velocidades iguais nas duas direções.



## Cálculos de cilindros

A escolha do cilindro adequado, no projeto de um sistema hidráulico, exige que se conheçam as forças e as velocidades de trabalho da máquina ou do equipamento.

As forças de avanço e de retorno de um atuador linear dependem diretamente da pressão de operação do sistema hidráulico, bem como das dimensões das áreas de atuação do óleo durante os movimentos do cilindro.

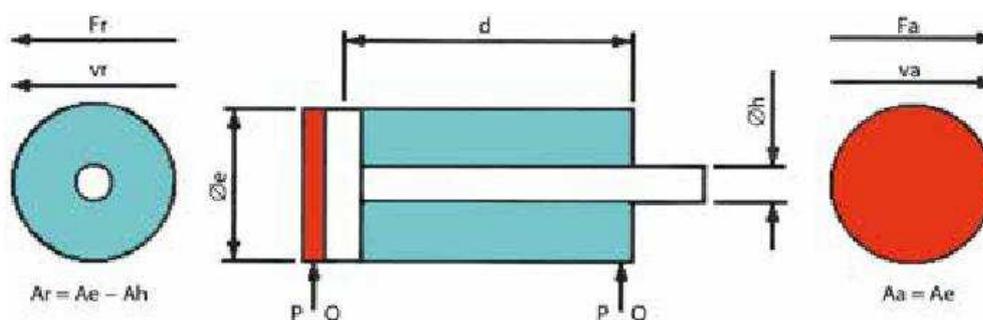
As velocidades do atuador, por sua vez, variam em função das dimensões do cilindro e da vazão da bomba. Quanto maior for o volume de óleo fornecido pela bomba, a cada minuto, maior será a velocidade do atuador, considerando que suas câmaras serão preenchidas mais rapidamente.

No geral, ao adquirir um cilindro, o fabricante fornece, entre outros dados, as seguintes dimensões:

$\varnothing e$  = diâmetro do êmbolo;

$\varnothing h$  = diâmetro da haste;

$d$  = curso útil do atuador (distância entre as posições finais dianteira e traseira da haste).



Onde:

$P$  = pressão de operação em  $\text{kgf/cm}^2$

$Q$  = vazão da bomba em lpm

$A_e$  = área do êmbolo em  $\text{cm}^2$

$A_h$  = área da haste em  $\text{cm}^2$

$A_a$  = área de avanço em  $\text{cm}^2 = A_e$

$A_r$  = área de retorno em  $\text{cm}^2 = \text{área da coroa circular formada pela } A_e - A_h$

$F_a$  = força de avanço em kgf

$v_a$  = velocidade de avanço em mm/s

$F_r$  = força de retorno em kgf

$v_r$  = velocidade de retorno em mm/s

### Cálculo das áreas de atuação do óleo, no avanço e no retorno:

Na maioria dos casos, os fabricantes que utilizam o sistema métrico como unidade de medidas, fornecem os diâmetros do êmbolo e da haste, bem como o curso útil do atuador em milímetros. É comum encontrarmos, entretanto, essas mesmas dimensões fornecidas em polegadas, nos casos de fabricantes de origem inglesa ou norte-americana.

Em ambos os casos ou, seja qual for a unidade de medidas fornecida, é preciso converter os diâmetros do êmbolo e da haste em centímetros, considerando a necessidade de calcular as áreas de avanço e de retorno do cilindro em  $\text{cm}^2$ .

#### ÁREA DE AVANÇO:

Ao ser pressurizada a câmara traseira do cilindro, o óleo empurra o êmbolo fazendo com que a haste avance. A área de atuação do óleo, durante esse movimento, é chamada de área de avanço e corresponde à própria área do êmbolo. Para determinar a área de avanço, portanto, basta calcular a área do êmbolo por meio da seguinte fórmula:

$$Aa = 0,7854 \times \varnothing e^2$$

Onde:

$Aa$  = área de avanço em  $\text{cm}^2$   
 $\varnothing e$  = diâmetro do êmbolo em cm  
 0,7854 = constante ( $\pi/4$ )

#### ÁREA DE RETORNO:

Pressurizando a câmara dianteira do cilindro, o óleo empurra o êmbolo no sentido contrário, fazendo com que a haste retorne. A área de atuação do óleo, nesse movimento, é chamada de área de retorno e compreende a área da coroa circular ao redor da haste. A área de retorno, portanto, é a própria área do êmbolo, excluindo-se o miolo ocupado pela haste ( $Ar = Ae - Ah$ ). Sendo assim, para calcular a área de retorno, utiliza-se a seguinte fórmula resumida:

$$Ar = 0,7854 \times (\varnothing e^2 - \varnothing h^2)$$

Onde:

$Ar$  = área de retorno em  $\text{cm}^2$   
 $\varnothing e$  = diâmetro do êmbolo em cm  
 $\varnothing h$  = diâmetro da haste em cm  
 0,7854 = constante ( $\pi/4$ )

### Cálculo das forças de avanço e de retorno:

Para determinar as forças com que um cilindro avança ou retorna, basta multiplicar o valor da pressão de operação pelas áreas de atuação do óleo durante os movimentos de avanço e de retorno. Sendo assim:

FORÇA DE AVANÇO:

$$F_a = P \times A_a$$

Onde:

$F_a$  = força de avanço em kgf

$P$  = pressão de operação em kgf/cm<sup>2</sup>

$A_a$  = área de avanço em cm<sup>2</sup>

FORÇA DE RETORNO:

$$F_r = P \times A_r$$

Onde:

$F_r$  = força de retorno em kgf

$P$  = pressão de operação em kgf/cm<sup>2</sup>

$A_r$  = área de retorno em cm<sup>2</sup>

### Cálculo das velocidades de avanço e de retorno:

Para calcular as velocidades com que a haste de um cilindro avança e retorna, basta dividir a vazão de óleo fornecida pela bomba pelas áreas de avanço e de retorno do atuador, respectivamente, respeitando as unidades de medida.

Como as velocidades de avanço e de retorno do cilindro são expressas em mm/s, é necessário converter a vazão da bomba de litro por minuto para mm<sup>3</sup> por segundo, bem como as áreas de avanço e de retorno de cm<sup>2</sup> para mm<sup>2</sup> para efetuar os cálculos das velocidades. A fim de evitar essas conversões trabalhosas, multiplicam-se as unidades existentes por 0,006 como constante de conversão para esse caso. Então:

VELOCIDADE DE AVANÇO:

$$v_a = \frac{Q}{A_a \times 0,006}$$

Onde:

$v_a$  = velocidade de avanço em mm/s

$Q$  = vazão da bomba em lpm

$A_a$  = área de avanço em cm<sup>2</sup>

0,006 = constante de conversão

VELOCIDADE DE RETORNO:

$$v_r = \frac{Q}{A_r \times 0,006}$$

Onde:

$v_r$  = velocidade de retorno em mm/s

$Q$  = vazão da bomba em lpm

$A_r$  = área de retorno em cm<sup>2</sup>

0,006 = constante de conversão

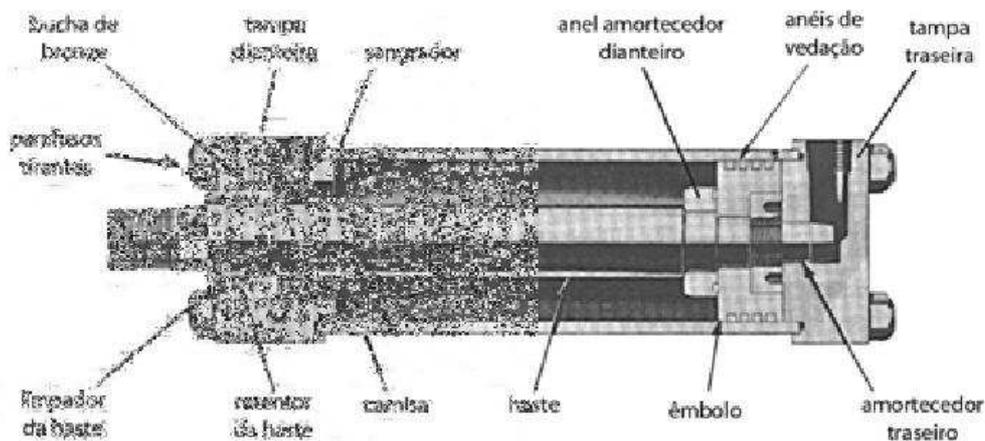
## Características de construção

Os cilindros hidráulicos são construídos de acordo com o tipo de aplicação. Podem ser utilizados em máquinas operatrizes, tratores, veículos industriais e agrícolas, sistemas aeronáuticos, barragens, indústrias siderúrgicas e acearias, além de uma infinidade de aplicações.

Os tipos construtivos mais comuns, com base no cilindro de ação simples ou no diferencial de ação dupla, são os com tirantes e os com cabeçotes redondos.

Nos cilindros com tirantes, a camisa e as tampas dianteira e traseira são unidas por meio de parafusos tirantes de fixação.

Nos cilindros com cabeçotes redondos, as tampas dianteira e traseira e a camisa são unidas por parafusos, solda ou anéis de trava, tornando sua construção bem mais robusta, apropriada para condições de trabalho extremas.



As camisas são construídas de tubos de aço sem costura com acabamento fino na superfície interna.

A haste, normalmente, é construída em aço com acabamento fino, retificado ou polido. Em alguns casos, pode possuir um banho de metal duro anticorrosivo.

O êmbolo é fabricado em ferro fundido ou aço e possui ranhuras para montagem de elementos de vedação a fim de evitar vazamentos de óleo entre as câmaras dianteira e traseira, através da folga entre o diâmetro externo do êmbolo e o diâmetro interno da camisa.

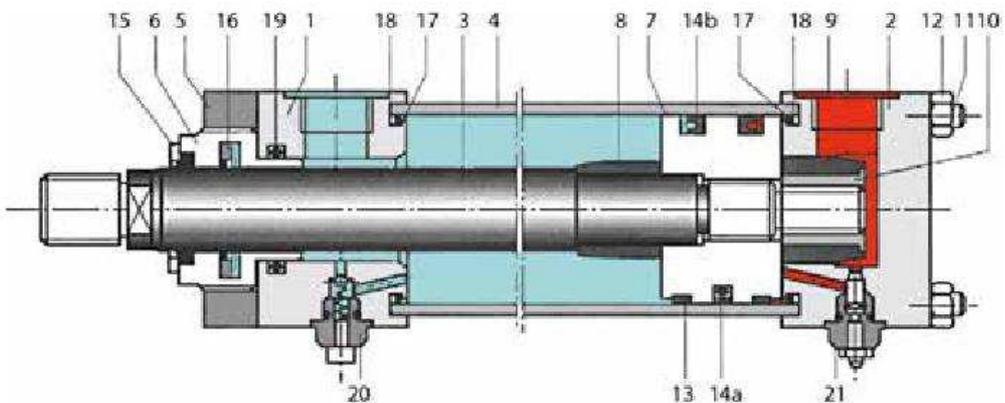
Em geral, os pórticos de entrada e saída de óleo situam-se nas tampas dianteira e traseira. Além disso, a tampa dianteira possui um elemento de vedação para evitar



vazamentos de óleo através da folga existente entre o diâmetro externo da haste e o diâmetro interno da bucha, e um retentor limpador para evitar a penetração de sujeira na câmara dianteira do cilindro, durante o movimento de retorno da haste.

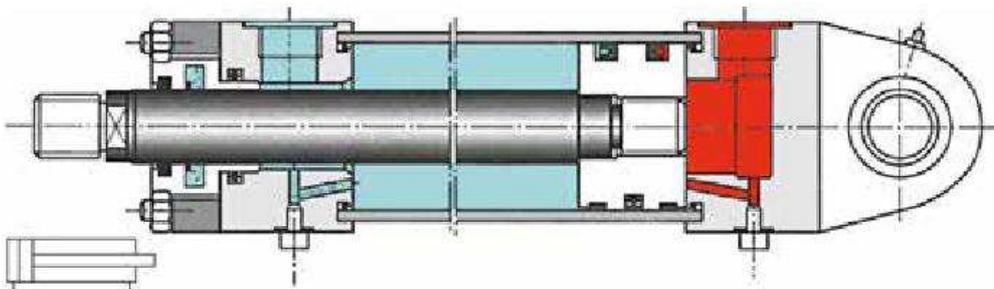
### Alguns tipos construtivos

- a) Cilindro de ação dupla com tirantes e sistema de fixação por flange na tampa dianteira:

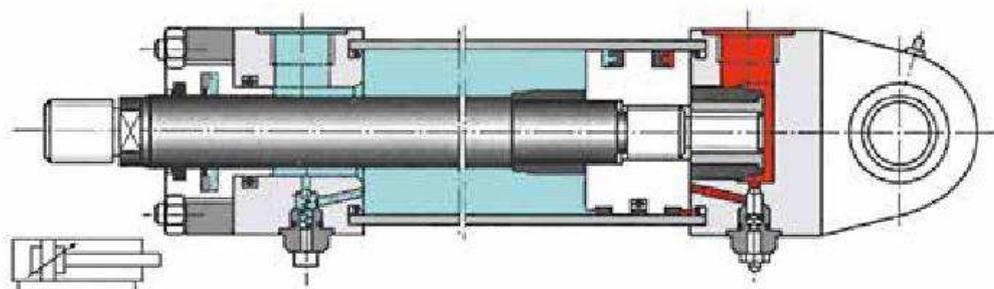


- |                     |                          |                                      |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 1. Tampa dianteira  | 8. Bucha do amortecedor  | 14b. Elemento de vedação             |
| 2. Tampa traseira   | 9. Bucha do amortecedor  | 15. Elemento limpador                |
| 3. Haste            | 10. Bucha roscada        | 16. Elemento de vedação da haste     |
| 4. Camisa           | 11. Tirante              | 17. Anel "O" ring                    |
| 5. Flange dianteira | 12. Porca do tirante     | 18. Anel de encosto                  |
| 6. Bucha-guia       | 13. Anel-guia            | 19. Anel "O" ring                    |
| 7. Êmbolo           | 14a. Elemento de vedação | 20. Válvula de retenção e desaeração |
|                     |                          | 21. Válvula reguladora de fluxo      |

b) Cilindro de ação dupla com tirantes e sistema de fixação por olhal articulado na tampa traseira:



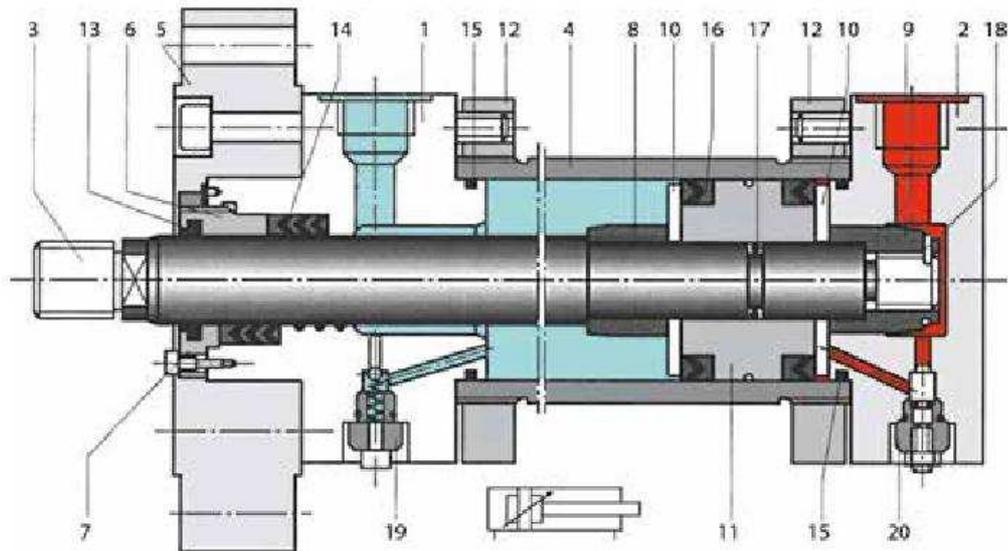
- com plugues de desaeração nas tampas dianteira e traseira;
- sem amortecedores de final de curso.



- fixação das tampas dianteira e traseira por meio de tirantes;
- bucha-guia roscada na tampa dianteira;
- vedações com anel deslizante ou em "U";

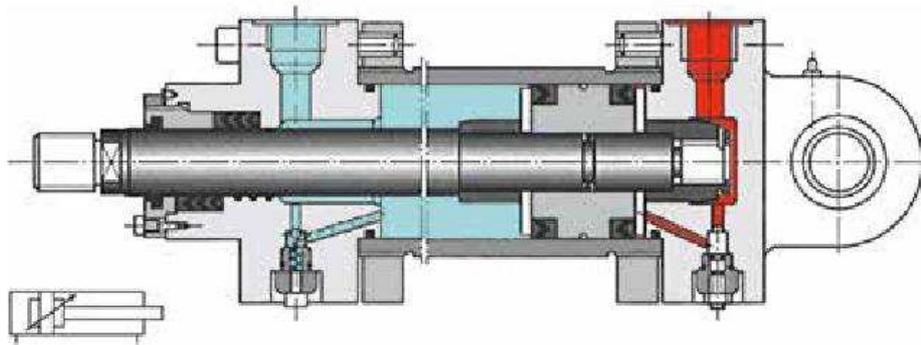
- amortecimento de final de curso regulável, nos dois sentidos de movimento;
- sistema de desaeração nas tampas dianteira e traseira.

c) Cilindro de ação dupla com cabeçotes redondos e sistema de fixação por flange na tampa dianteira:

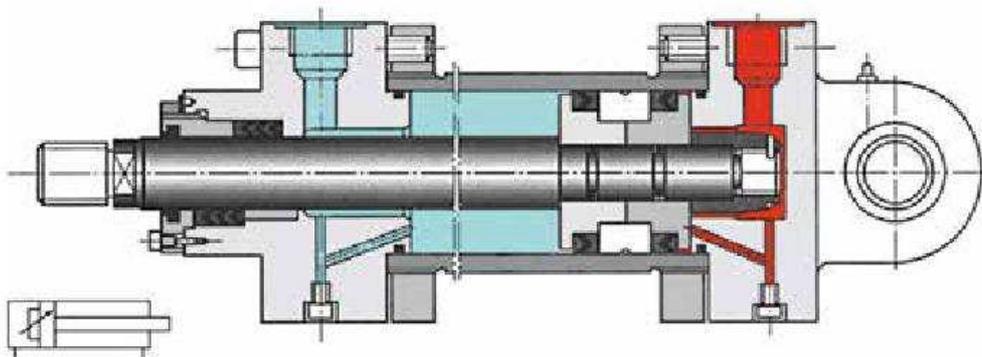


- |                        |                                  |                                      |
|------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Tampa dianteira     | 8. Bucha do amortecedor          | 15. Anel "O" ring                    |
| 2. Tampa traseira      | 9. Bucha do amortecedor          | 16. Elemento de vedação              |
| 3. Haste               | 10. Arruela                      | 17. Anel "O" ring                    |
| 4. Camisa              | 11. Êmbolo                       | 18. Anel de trava                    |
| 5. Flange dianteira    | 12. Flange da camisa             | 19. Válvula de retenção e desaeração |
| 6. Bucha-guia          | 13. Elemento limpador            | 20. Válvula reguladora de fluxo      |
| 7. Tampa da bucha-guia | 14. Elemento de vedação da haste |                                      |

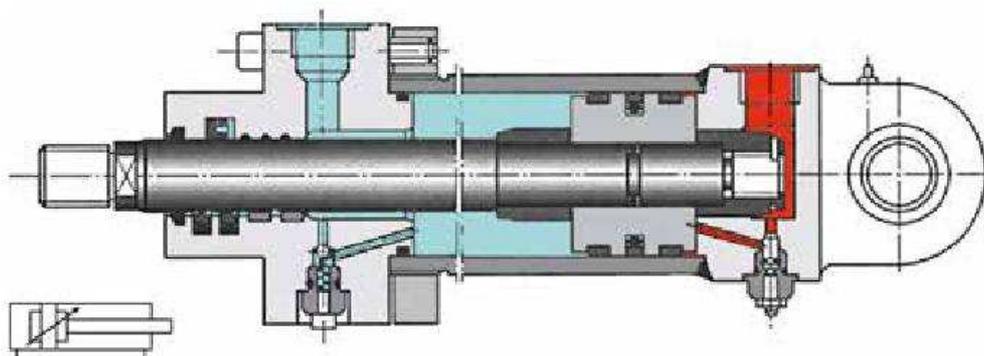
- d) Cilindro de ação dupla com cabeçotes redondos e sistema de fixação por olhal articulado na tampa traseira:



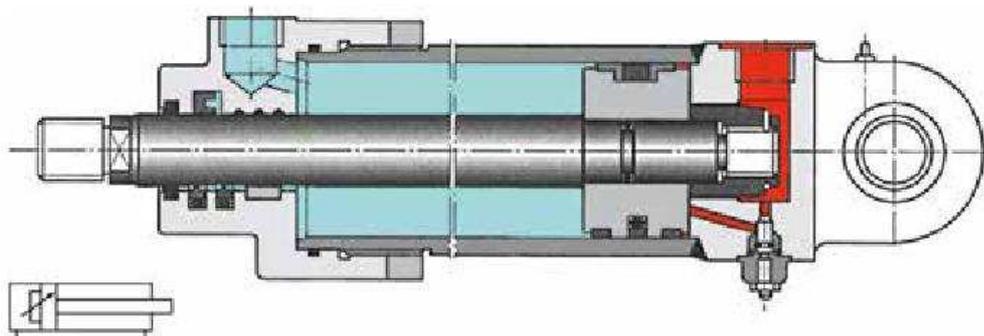
- tampas dianteira e traseira fixadas na camisa por meio de flanges;
- bucha-guia rosca ou haste guiada diretamente pela tampa dianteira;
- vedações do tipo “Chevron”;
- amortecimento de final de curso regulável, nos dois sentidos de movimento;
- sistema de desaeração nas tampas dianteira e traseira.



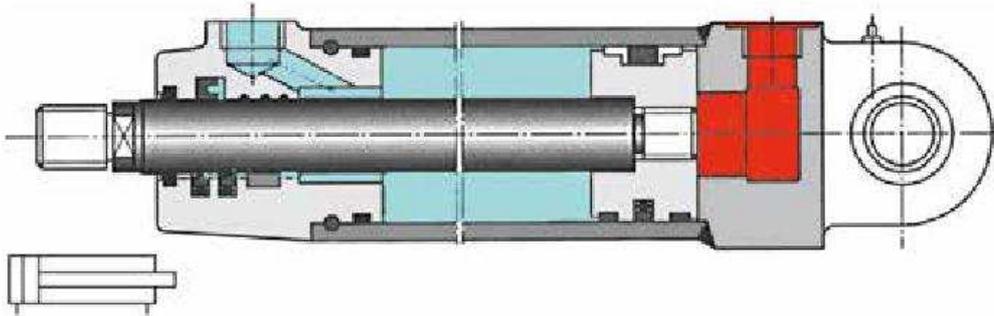
- tampas dianteira e traseira fixadas na camisa por meio de flanges;
- bucha-guia rosca ou encaixada na tampa dianteira;
- guia do êmbolo em bronze;
- vedações do tipo “Chevron”;
- sem amortecedores de final de curso;
- fixação do êmbolo por meio de bucha rosca;
- com plugues de desaeração nas tampas dianteira e traseira;
- tampa dianteira fixada na camisa por meio de flange;



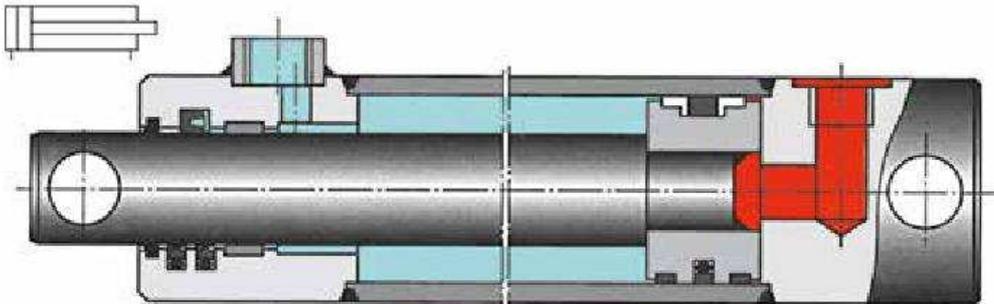
- tampa traseira soldada na camisa;
- haste guiada diretamente pela tampa dianteira ou por meio de anel-guia;
- vedações com anel deslizante ou em “U”;
- amortecimento de final de curso regulável, nos dois sentidos de movimento;
- sistema de desaeração nas tampas dianteira e traseira.



- tampa dianteira roscada diretamente na camisa, com contra-porca de trava;
- tampa traseira soldada na camisa;
- haste guiada diretamente pela tampa dianteira ou por meio de anel-guia;
- vedações com anel deslizante ou em “U”;
- amortecimento de final de curso regulável, somente para o movimento de retorno;
- sistema de desaeração somente na tampa traseira.



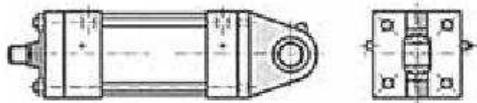
- tampa dianteira fixada na camisa por meio de anel de trava;
- tampa traseira soldada na camisa;
- haste guiada diretamente pela tampa dianteira ou por meio de anel-guia;
- vedações com anel deslizante ou em “U”;
- sem amortecedores de final de curso.



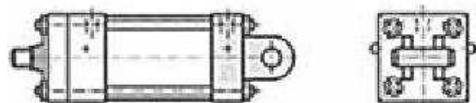
- tampas dianteira e traseira soldadas na camisa;
- guia da haste por meio de anel-guia;
- vedações com anel deslizante ou em “U”;
- sem amortecedores de final de curso.

## Tipos de fixação

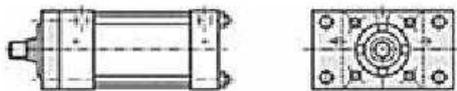
Além dos dados sobre as dimensões do êmbolo, da haste e do curso do atuador, é importante saber como e onde o cilindro deve ser montado na máquina ou no equipamento. Será apresentada a seguir uma variedade de tipos de fixação para cilindros hidráulicos, com destaque para aqueles mais usados.



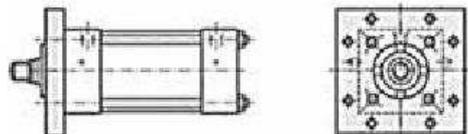
Olhal articulado montado na tampa traseira



Garfo montado na tampa traseira



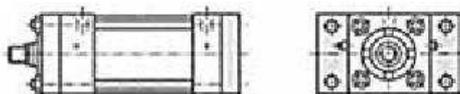
Flange retangular acoplado à tampa dianteira



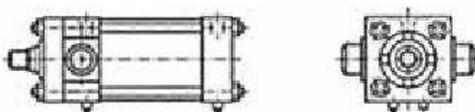
Flange quadrado acoplado à tampa dianteira



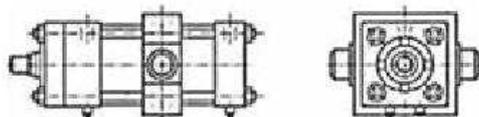
Flange retangular acoplado à tampa dianteira



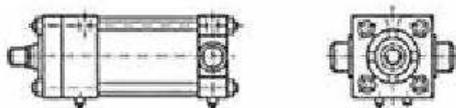
Flange quadrado acoplado à tampa dianteira



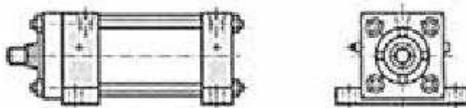
Munhão basculante na tampa dianteira



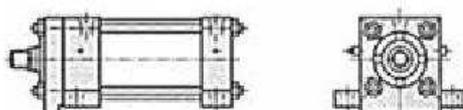
Munhão basculante no centro da camisa



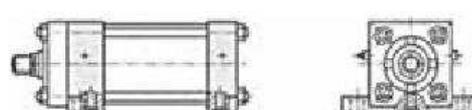
Munhão basculante na tampa traseira



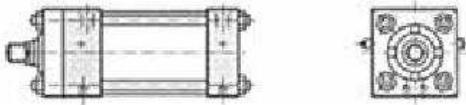
Pés nas tampas dianteira e traseira



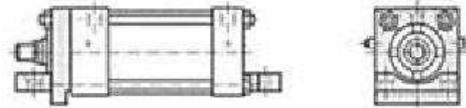
Pés com chaveta



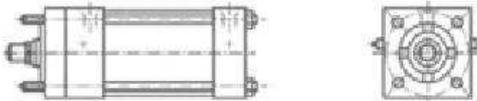
Pés para montagem em placa com vedação



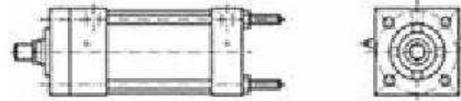
Roscas nas tampas dianteira e traseira



Pés laterais com chaveta

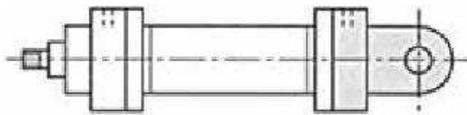


Tirantes prolongados na tampa dianteira

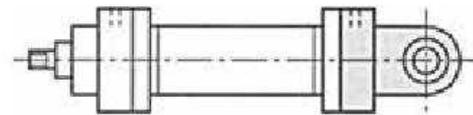


Tirantes prolongados na tampa traseira

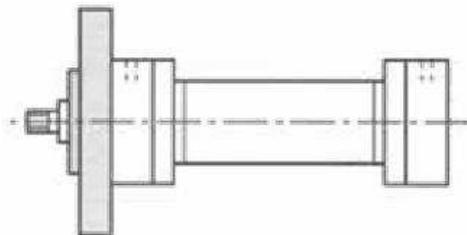
**Cilindros com cabeçotes redondos:**



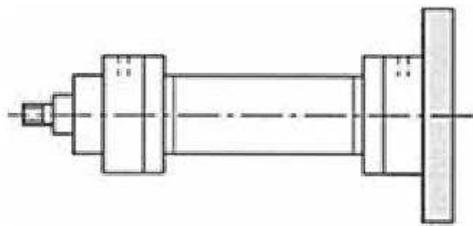
Olhal oscilante na tampa traseira



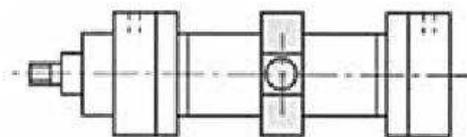
Olhal articulado na tampa traseira



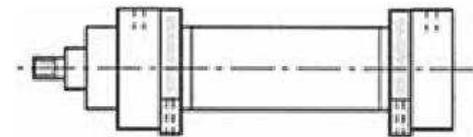
Flange na tampa dianteira



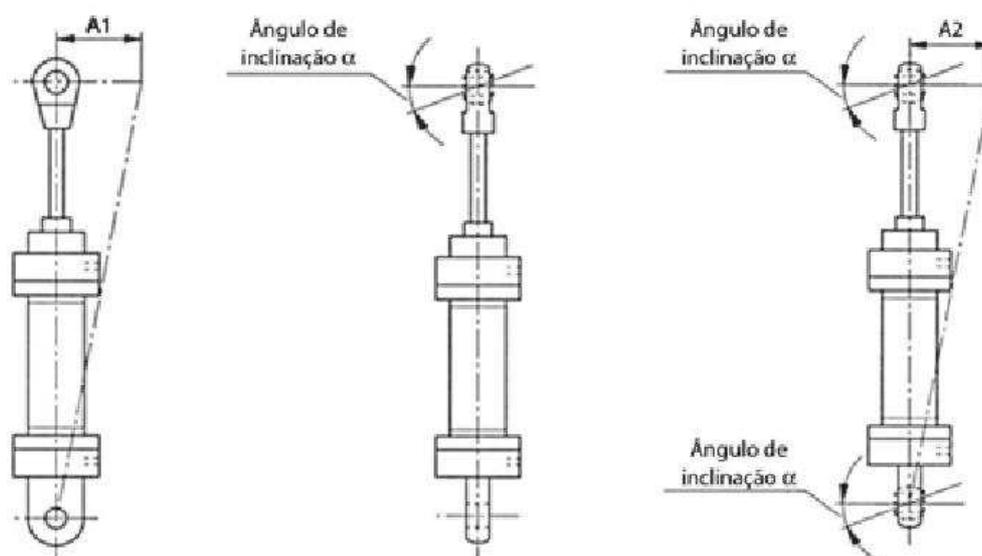
Flange na tampa traseira



Munhão basculante no centro da camisa



Pés nas tampas dianteira e traseira



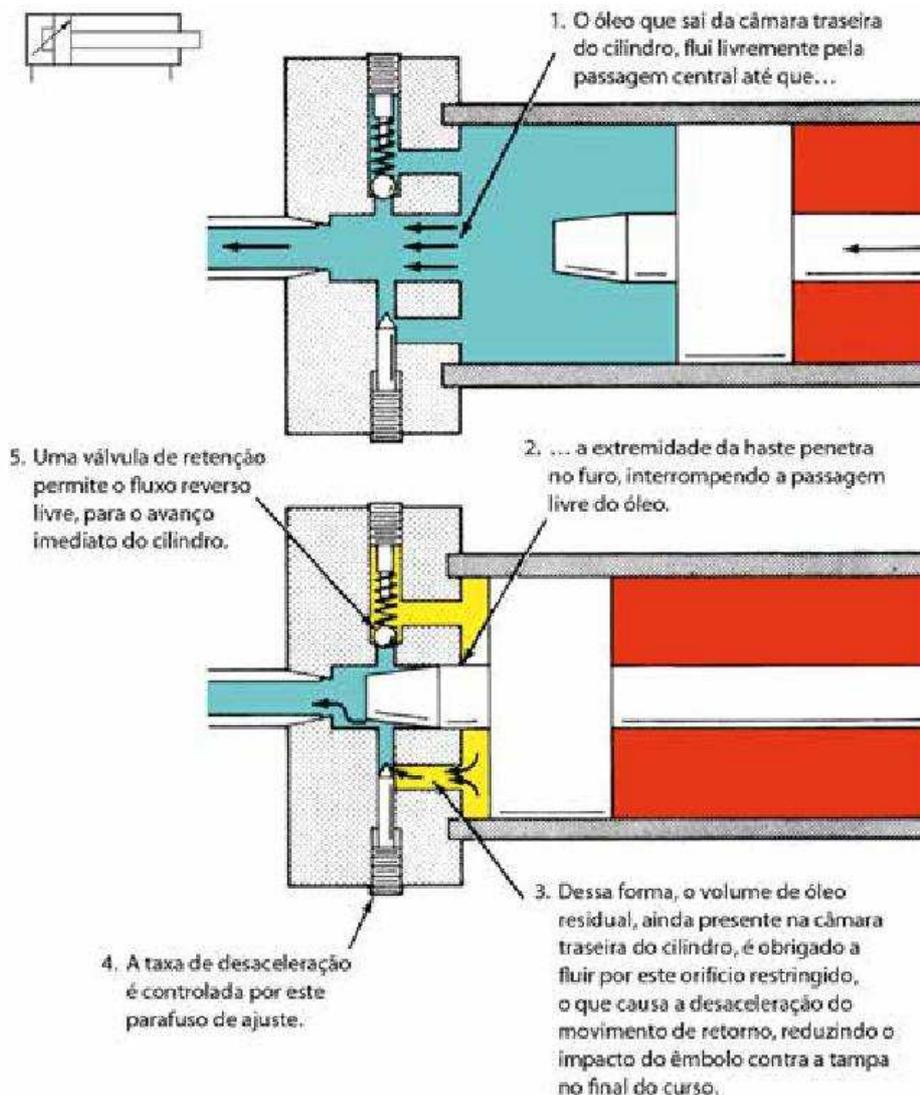
Tampa traseira e haste com olhais oscilantes ou articulados

## Amortecedores de final de curso

Os amortecedores de final de curso têm a finalidade de evitar que o êmbolo colida violentamente contra as tampas, dianteira e traseira, no final dos movimentos de avanço e de retorno.

O sistema de amortecimento é instalado em uma ou em ambas as tampas do cilindro. É formado por uma válvula de retenção e uma reguladora de fluxo unidirecional, representada por um parafuso de ajuste, cuja função é diminuir e regular a velocidade do atuador, milímetros antes de o êmbolo bater contra a tampa, no final de cada movimento.

A válvula de retenção, por sua vez, permite a entrada livre do óleo na câmara do cilindro, evitando que o fluido hidráulico passe através do orifício restringido pelo parafuso de ajuste e possibilitando, dessa forma, um início de movimento com velocidade normal.



## Elementos de vedação

A vedação em um equipamento hidráulico é necessária para manter a pressão, impedir a perda de óleo e evitar a contaminação.

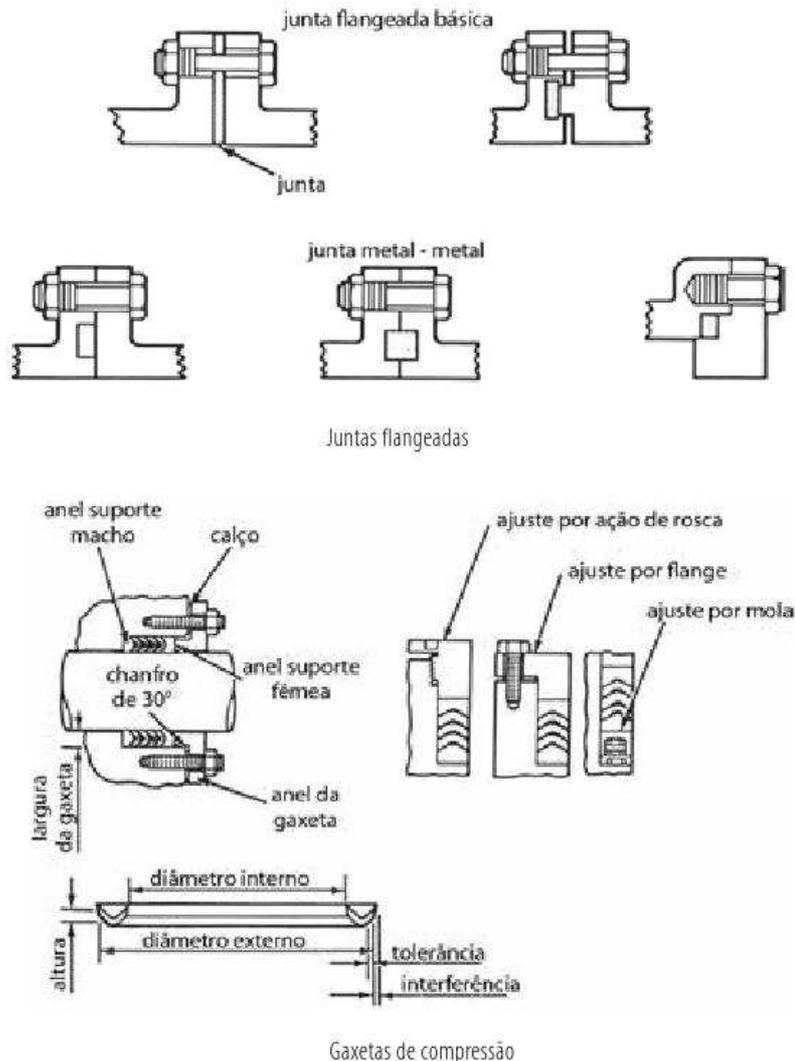
São vários os métodos de vedar os componentes hidráulicos do sistema, dependendo da pressão de operação e da aplicação da vedação. Os elementos de vedação podem ser positivos ou não positivos, estáticos ou dinâmicos.

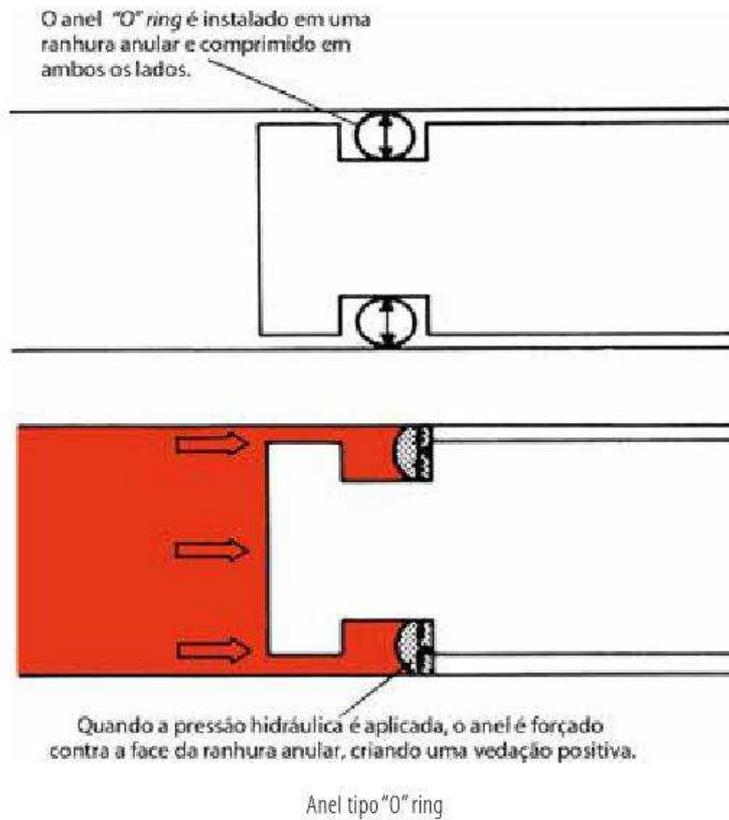
Um elemento de vedação positivo possui vazamento zero, isto é, não permite nenhum tipo de vazamento. Já um elemento de vedação não positivo permite um

pequeno vazamento entre as folgas, muitas vezes necessário com vistas a manter uma película lubrificante, como exemplo, entre as superfícies de um carretel e o corpo interno de uma válvula.

Um elemento de vedação estático é utilizado, em geral, entre duas peças solidamente conectadas, que não se movimentam entre si, tais como gaxetas, conexões de roscas de canos, juntas flangeadas, conexões de anéis de compressão e anéis do tipo "O" ring. As aplicações de vedações estáticas são relativamente simples, considerando que os elementos de vedação não estão sujeitos a atritos e, com isso, apresentam pouco desgaste quando montados de modo correto.

Já um elemento de vedação dinâmico é montado entre peças que se movem, uma em relação à outra. Sendo assim, os elementos de vedação dinâmica estão sujeitos a desgaste, considerando a constante fricção exercida sobre ele por uma das peças.

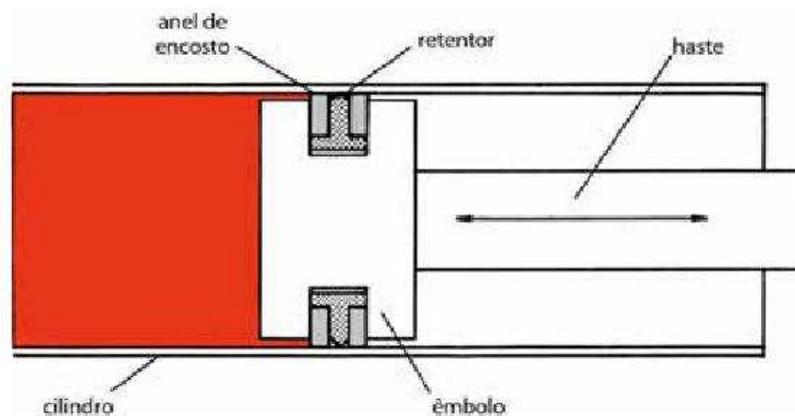




Os elementos de vedação utilizados com maior frequência em cilindros hidráulicos são:

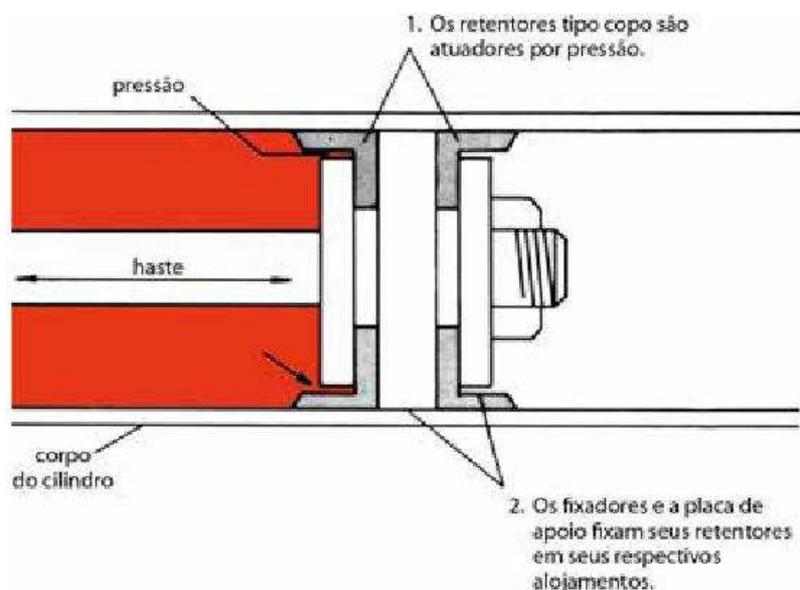
#### Anel tipo "T":

Fabricado em borracha sintética, moldado em forma de "T" e apoiado por anéis de encosto de ambos os lados, possui os pontos de vedação arredondados.



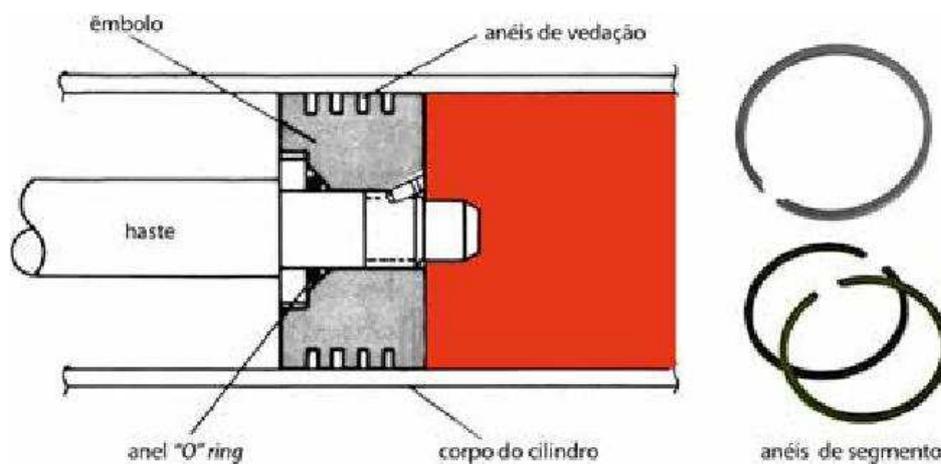
### Gaxetas tipo copo:

Suportam altas pressões, tendo as abas apoiadas contra a superfície interna da camisa pela própria ação do óleo.



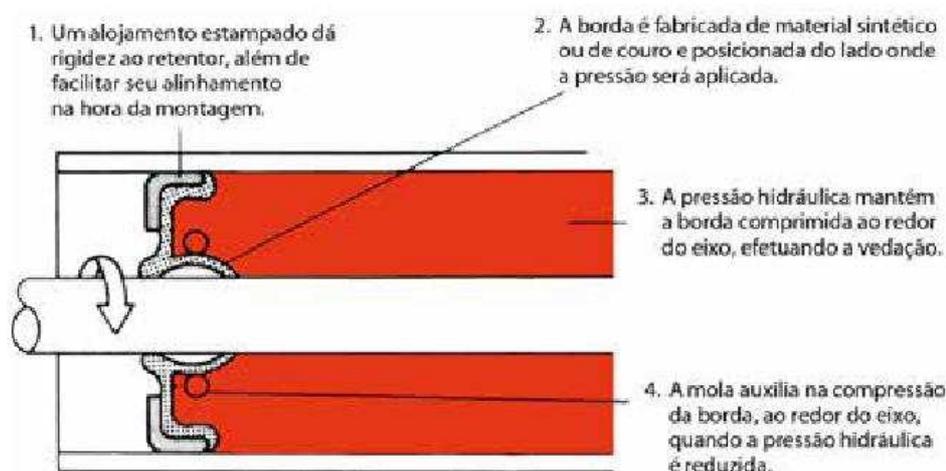
### Anéis de segmento:

Os anéis de segmento, do tipo utilizado em pistões de motores à combustão interna, suportam altas pressões e são fabricados em ferro fundido ou em aço polido e, em alguns casos, cromados, com o intuito de oferecer menos atrito e, conseqüentemente, menor desgaste.



### Retentor labial:

Os retentores labiais são elementos de vedação dinâmicos, de baixa pressão, utilizados para vedar eixos rotativos. Possuem um corpo metálico estampado para suporte e alinhamento, e um lábio de couro ou de borracha sintética, mantido em contato com o eixo por meio da ação de uma mola. A pressão do óleo, agindo na face interna do retentor, auxilia a mola a forçar o lábio contra o eixo, produzindo maior aderência e vedação adequadas. Entretanto, não são recomendadas altas pressões, considerando que o lábio não possui apoio suficiente para suportar pressões elevadas.



### Materiais de vedação

Os elementos de vedação para equipamentos hidráulicos são, em geral, fabricados de borracha sintética em várias composições, de acordo com as condições de operação. As mais comumente utilizadas são:

#### Borracha nitrílica (Buna N):

O elastômero Buna N, ou borracha nitrílica, é o material utilizado com maior frequência em sistemas hidráulicos. Apresenta como características principais boa resistência, desgaste moderado, facilidade em se moldar a qualquer forma e faixa de temperatura de trabalho de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pode não ser compatível com alguns tipos de fluidos sintéticos.

**Silicone:**

O silicone consegue trabalhar em faixas de temperaturas mais amplas que a Buna N, sendo utilizado em elementos de vedação estáticos empregados em sistemas sujeitos a grandes variações de temperatura, entre  $- 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Não é aplicado em movimentos alternativos porque rasga e sofre abrasão com muita facilidade. É recomendado, principalmente, na vedação de fluidos resistentes ao fogo.

**Neoprene:**

O neoprene é um dos materiais mais antigos, utilizado em elementos de vedação para sistemas hidráulicos. Embora seja muito resistente, seu uso é limitado para sistemas que operam com fluidos minerais, derivados de petróleo, a temperaturas inferiores a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , considerando que, acima dessa temperatura, o neoprene tende a se vulcanizar.

**Plásticos, flúor-plásticos e flúor-elastômeros:**

Muitos materiais de vedação são sintetizados pela combinação de flúor com um elastômero ou plástico. Entre eles podemos mencionar o **Kel-F**, o **Viton A** e o **Teflon**, além do **Náilon** que apresenta propriedades semelhantes. São frequentemente combinados com elastômeros para torná-los mais resistentes. São compatíveis com a maioria dos fluidos hidráulicos e suportam temperaturas de até  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O Náilon e o Teflon, além de serem empregados em vedações, são usados também na confecção de anéis de encosto.

## 2. Atuadores rotativos e giratórios

Os atuadores rotativos e giratórios, conhecidos como motores hidráulicos, convertem a energia hidráulica em mecânica, produzindo movimentos de rotação contínua ou, circulares com ângulo de giro limitado.

As características de construção dos motores hidráulicos, como poderá ser observado a seguir, são semelhantes as das bombas. O funcionamento de um motor hidráulico é, na verdade, o inverso do de uma bomba. Como já foi visto, ao girar o eixo da bomba, o óleo é transportado do pórtico de entrada para o de saída pelo

conjunto de bombeamento. No motor hidráulico, ao contrário, ao injetar óleo sob pressão em um dos pórticos, o fluido aciona o conjunto rotativo, girando o eixo em determinado sentido de rotação, e sai pelo outro pórtico em direção ao tanque.

Em alguns motores, chamados de bidirecionais, os dois pórticos podem ser pressurizados alternadamente, o que permite acionar o eixo nos dois sentidos de rotação. Esses motores, entretanto, necessitam de uma conexão de drenagem externa para aliviar a pressão do óleo que penetra nas folgas, lubrificando as peças móveis.

A escolha do motor hidráulico adequado, no projeto de um sistema hidráulico, exige que se conheçam o torque necessário e as velocidades de rotação (rpm) exigidas pela máquina ou equipamento.

Torque é a força de torção que o eixo de saída do motor hidráulico produz, a uma determinada pressão de operação.

A figura a seguir mostra que, para erguer uma carga de 50 kgf, em uma polia de 200 mm de diâmetro, o torque deve ser de 5 kgm. Para determinar o torque basta multiplicar o valor da carga em kgf pelo raio da polia em metros. Assim:

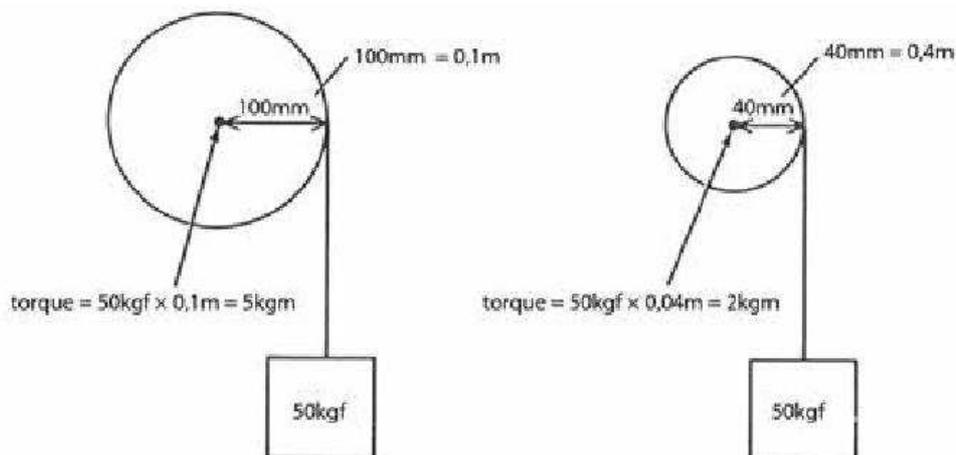
$$Mt = F \times r$$

Onde:

Mt = torque ou momento torçor em kgm (quilogrametro)

F = Carga em kgf

r = raio em m



Por outro lado, para erguer a mesma carga de 50 kgf, em uma polia de 80 mm de diâmetro, o torque deve ser de 2 kgm.

**Observação:**

Seja qual for a unidade de medida da polia, o raio deve ser convertido em metros (m).

Para determinar o torque de operação dos motores hidráulicos, cada fabricante fornece, geralmente na plaqueta de identificação do motor, o torque nominal, isto é, o momento torçor mínimo que o motor desenvolve a cada unidade de pressão. Em outras palavras, torque nominal é o momento torçor do motor, em kgm, para cada kgf/cm<sup>2</sup> de pressão ajustado no sistema hidráulico. Portanto, a unidade de medida do torque nominal de um motor hidráulico é expressa em kgm a cada kgf/cm<sup>2</sup> de pressão.

Dessa forma, conhecendo o torque nominal, fornecido pelo fabricante, e a pressão de operação do sistema, para calcular o torque de operação do motor hidráulico, multiplica-se um pelo outro:

$$Mt = Mt \text{ nom} \times P$$

Onde:

Mt = torque de operação em kgm

Mt nom = torque nominal em kgm a cada kgf/cm<sup>2</sup>

P = pressão de operação em kgf/cm<sup>2</sup>

Assim, por exemplo, se um motor hidráulico possui um torque nominal de 3 kgm a cada kgf/cm<sup>2</sup> de pressão, e a pressão ajustada no sistema é de 50 kgf/cm<sup>2</sup>, o torque de operação desse motor será de 150 kgm:

$$Mt = Mt \text{ nom} \times P = 3 \times 50 = 150 \text{ kgm}$$

Esse motor, trabalhando a uma pressão de 50 kgf/cm<sup>2</sup>, pode movimentar uma carga de 150 kgm.

A rotação do eixo de saída do motor hidráulico, por sua vez, depende da vazão da bomba e do deslocamento do motor.

O deslocamento de um motor hidráulico é definido como a quantidade de óleo a ser injetada nele para que seu eixo complete uma rotação. Em outras palavras, o deslocamento de um motor hidráulico é igual ao volume de óleo, em cm<sup>3</sup>, que

deve ser introduzido no motor, para que o eixo de saída dê uma volta completa. Portanto, a unidade de medida do deslocamento de um motor hidráulico é expressa em  $\text{cm}^3$  por rotação ( $\text{cm}^3/\text{rot}$ ).

Dessa forma, conhecendo o deslocamento do motor hidráulico, em geral fornecido pelo fabricante, e a vazão da bomba utilizada no sistema, calcula-se a rotação do eixo de saída da seguinte forma:

$$\text{rpm} = \frac{Q \times 1000}{D}$$

Onde:

rpm = rotações por minuto do eixo de saída do motor hidráulico

Q = vazão da bomba em lpm

D = deslocamento do motor hidráulico em  $\text{cm}^3/\text{rot}$

1000 = fator de conversão

#### Observação:

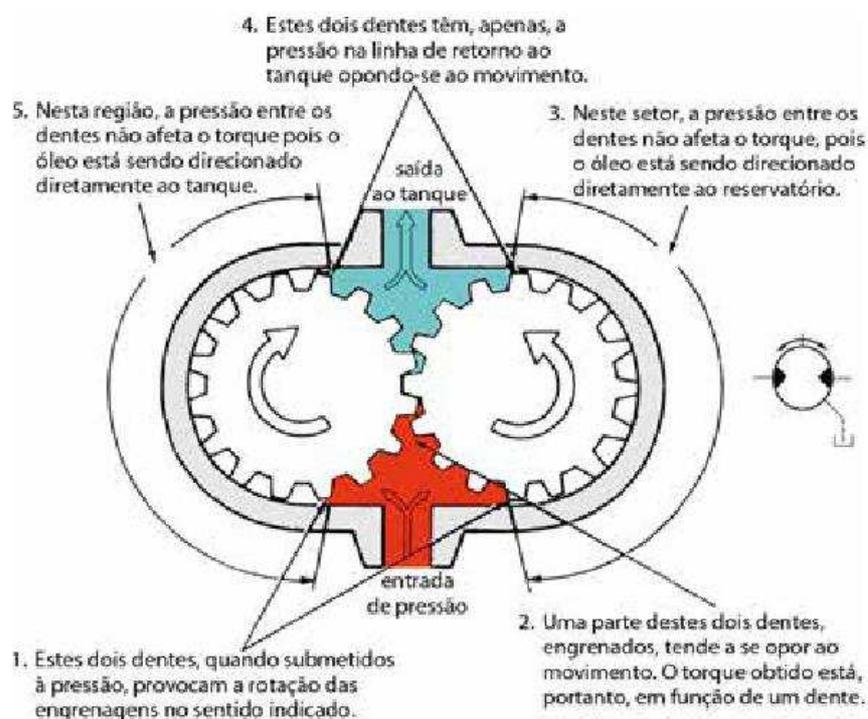
Como a vazão da bomba é expressa em litros ou  $\text{dm}^3$  por minuto, multiplica-se por 1.000 para convertê-la para  $\text{cm}^3$ .

Assim, por exemplo, se um motor com deslocamento de  $10 \text{ cm}^3/\text{rot}$  for instalado em um sistema hidráulico cuja bomba possui uma vazão de 4 litros de óleo a cada minuto, o eixo de saída desse motor desenvolverá 400 rotações por minuto:

$$\text{rpm} = \frac{Q \times 1000}{D} = \frac{4 \times 1000}{10} = \frac{4000}{10} = 400 \text{ rpm}$$

## Motor hidráulico de engrenagens

Um motor de engrenagens desenvolve torque a partir da pressão do óleo aplicada nas superfícies dos dentes.



Ao ser pressurizado o pórtico inferior do motor, a engrenagem esquerda é acionada pelo óleo no sentido horário, e a direita na direção oposta. O eixo de saída do motor é montado em uma das engrenagens, obedecendo, portanto, seu sentido de rotação. O pórtico superior, nesse caso, é direcionado para o reservatório, permitindo o retorno livre do óleo para o tanque.

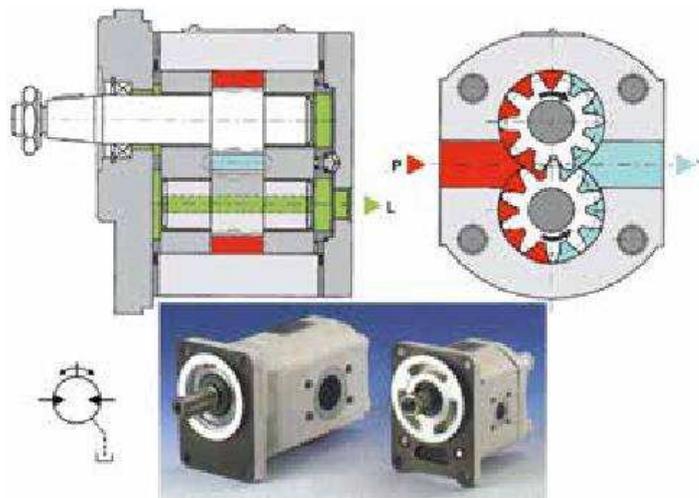
Invertendo o sentido do fluxo do óleo, ou seja, pressurizando o pórtico superior e direcionando o inferior para o reservatório, as engrenagens são acionadas no sentido contrário, invertendo o sentido de rotação do eixo de saída do motor.

O deslocamento de um motor de engrenagens é fixo e determinado pela capacidade de óleo em  $\text{cm}^3$  entre dois dentes, multiplicado pelo número total de dentes das engrenagens.

Geralmente, os motores de engrenagens são limitados a pressão de operação máxima de  $140 \text{ kgf/cm}^2$  e a rotação máxima de 2.400 rpm. Essas limitações se devem ao fato de que, quando ocorrem diferenças de pressões elevadas entre os dois pórticos, surgem grandes cargas radiais nas engrenagens, bem como nos eixos e rolamentos que as suportam.

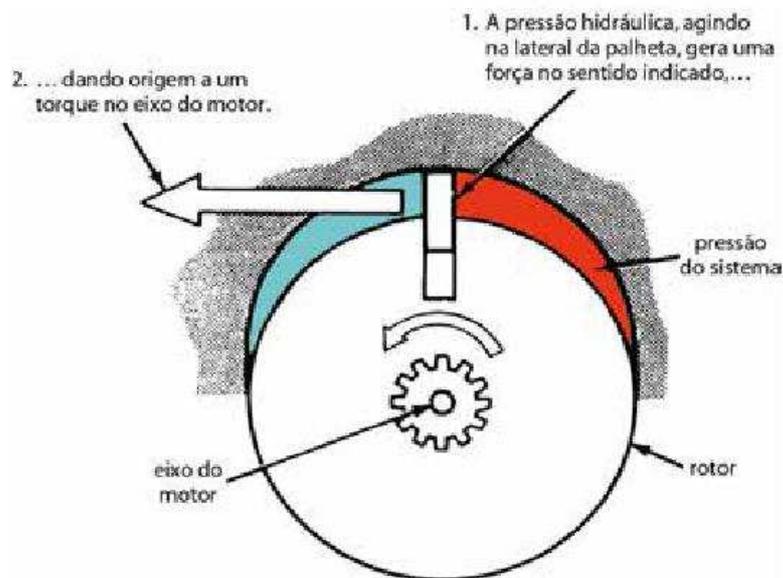
Comparado a outros tipos de motores, os de engrenagens apresentam maior tolerância à sujeira, porém apresentam um rendimento menor e um alto nível de ruído.

Construtivamente, os motores de engrenagens são muito semelhantes às bombas de engrenagens. As diferenças estão na dimensão dos pórticos e, devido ao fato dos motores serem concebidos para operar em rotações reversíveis, possuem uma conexão de drenagem externa.



## Motor hidráulico de palhetas

No motor de palhetas, o torque se desenvolve pela pressão exercida pelo óleo na superfície lateral de cada uma das palhetas, as quais deslizam nas ranhuras de um rotor acoplado ao eixo e montado excêntrico em relação à carcaça.



Há muita semelhança entre as características de construção de um motor de palhetas e uma bomba de palhetas, já estudada anteriormente.

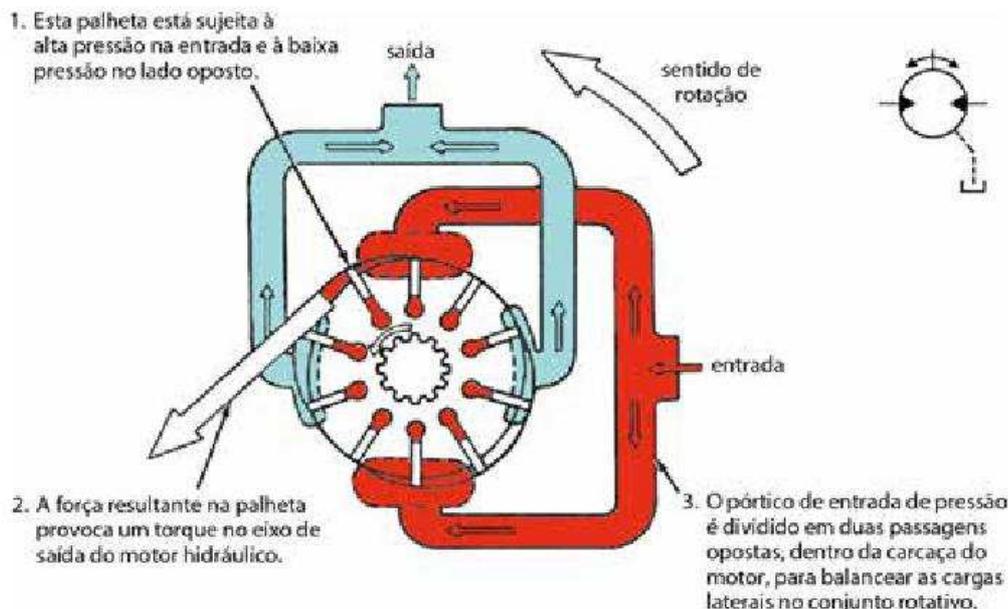
Na bomba, quando o eixo gira movimentado pelo motor de acionamento, a força centrífuga gerada pelo movimento de rotação expande as palhetas, formando câmaras que transportam o óleo do pórtico de entrada para o de saída.

No motor hidráulico, ao contrário, quando um dos pórticos é pressurizado, o óleo empurra a palheta, girando o rotor e, como consequência, o eixo de saída do motor.

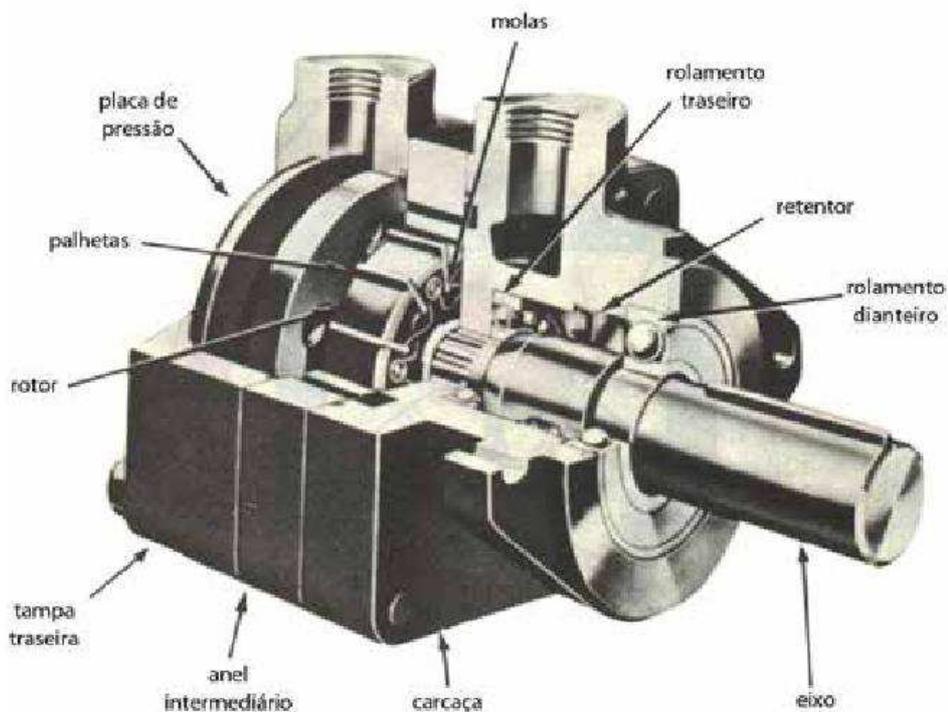
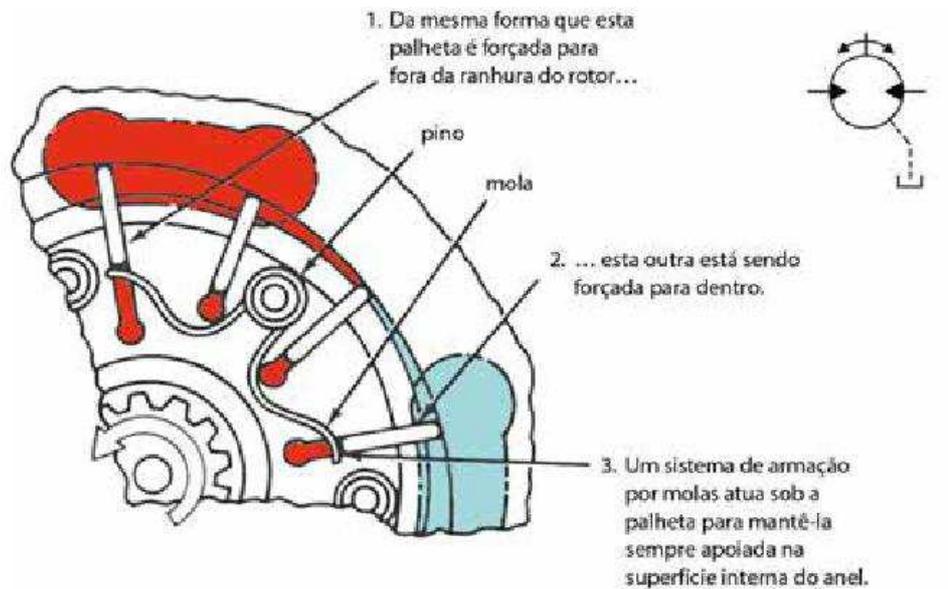
O problema é que, quando o motor está em repouso, não há força centrífuga para expandir as palhetas, o que permite ao óleo fluir livre para o pórtico de saída, sem girar o eixo do motor.

Portanto, a principal diferença construtiva que há entre um motor e uma bomba de palhetas é que, no motor, algum artifício deve ser utilizado para expandir as palhetas no momento da partida. Esse artifício pode ser uma simples mola, estrategicamente posicionada embaixo de cada palheta ou, ainda, o uso de parte do próprio óleo da linha de pressão, direcionado sob as palhetas, para mantê-las expandidas e adequadamente apoiadas contra o anel excêntrico da carcaça do motor, durante a partida e mesmo depois de iniciado o movimento de rotação.

No tipo de motor de palhetas hidráulicamente balanceado, o anel circular excêntrico é substituído por outro em forma de elipse.

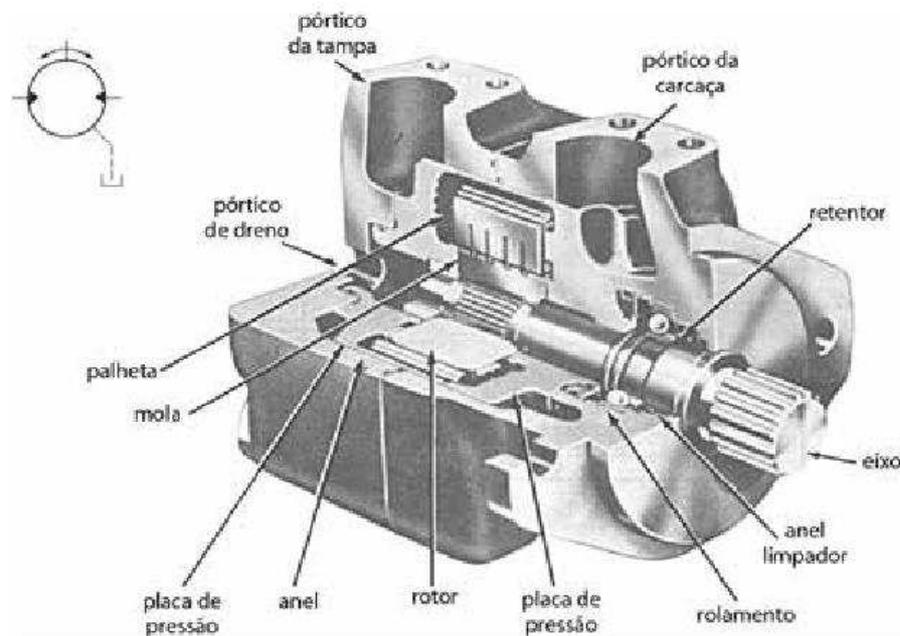
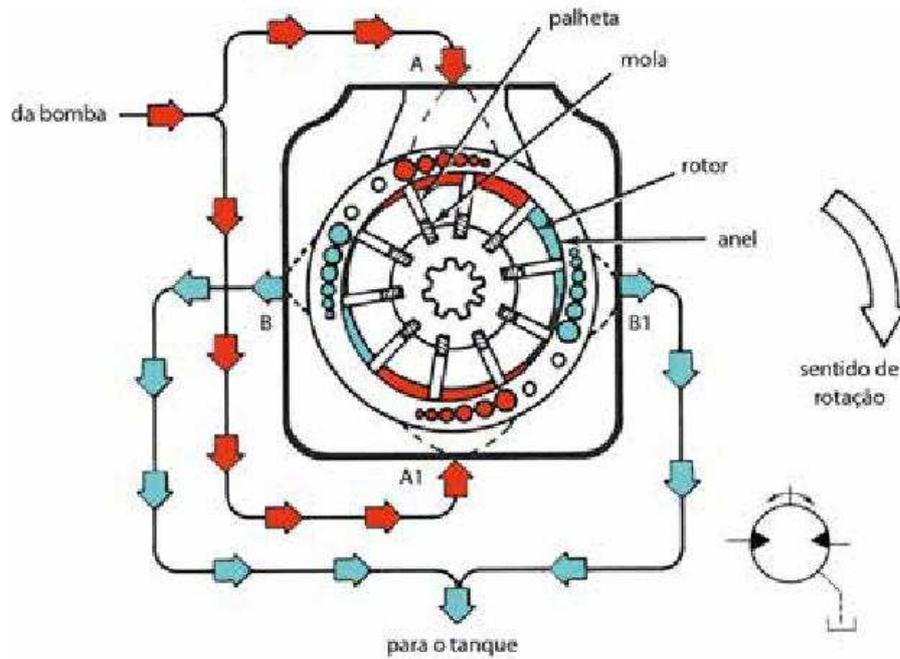


O anel elíptico forma duas câmaras interligadas aos seus respectivos pórticos e separadas a 180°, com o intuito de anular as cargas radiais geradas pela elevação da pressão e, com isso, permitir maiores pressões de operação e torques de trabalho mais elevados.

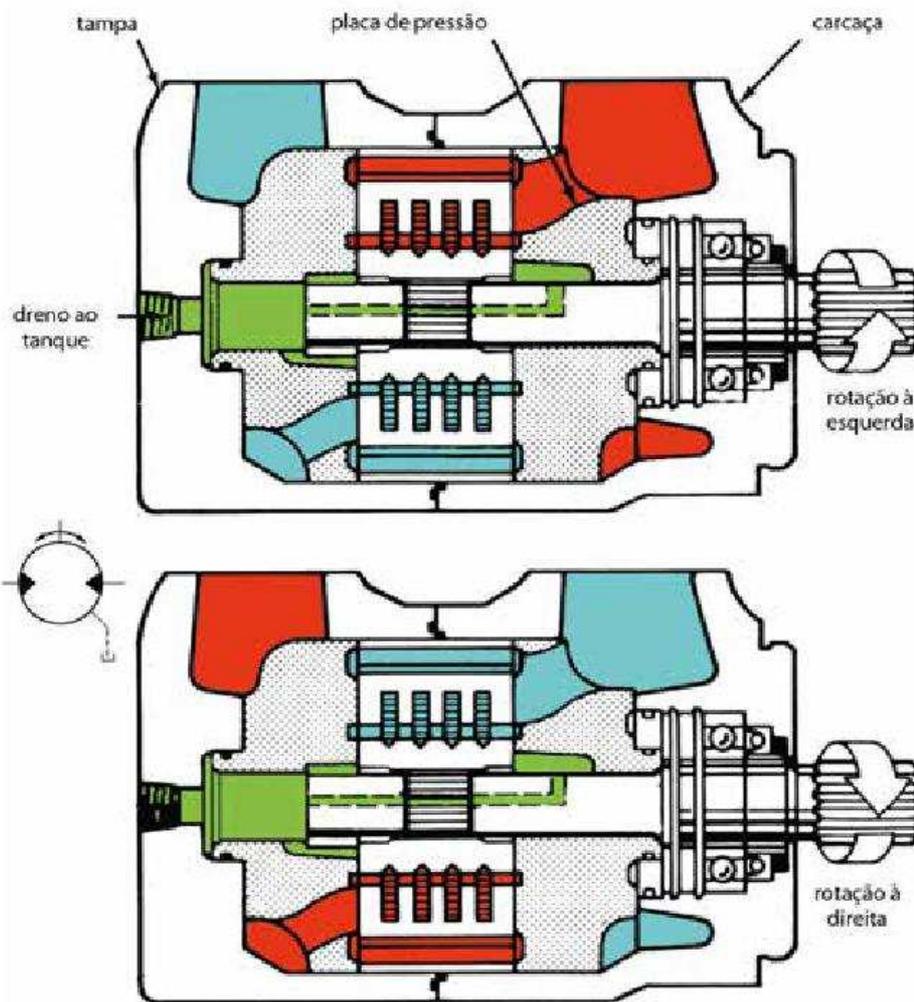


Motor de palhetas hidráulicamente balanceado, com expansão por molas

No caso a seguir as palhetas são expandidas pela força de molas espirais, montadas em canais situados na parte inferior de cada palheta.

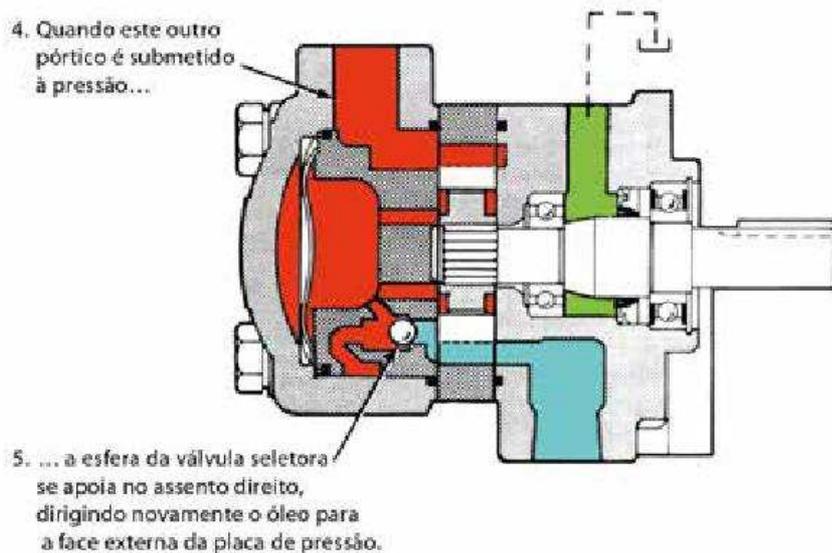
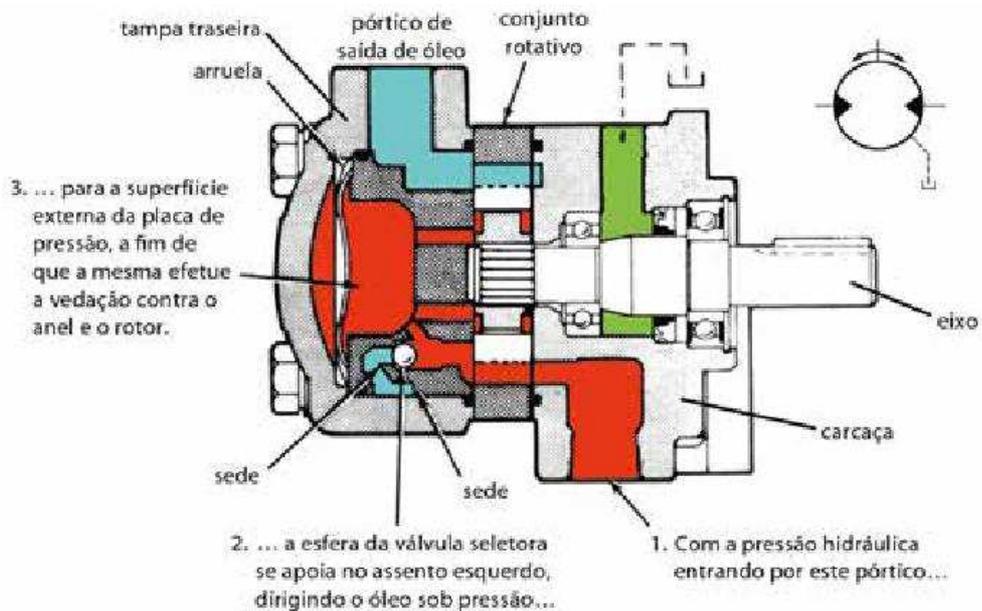


Motor de palhetas hidráulicamente balanceado, com expansão por molas espirais



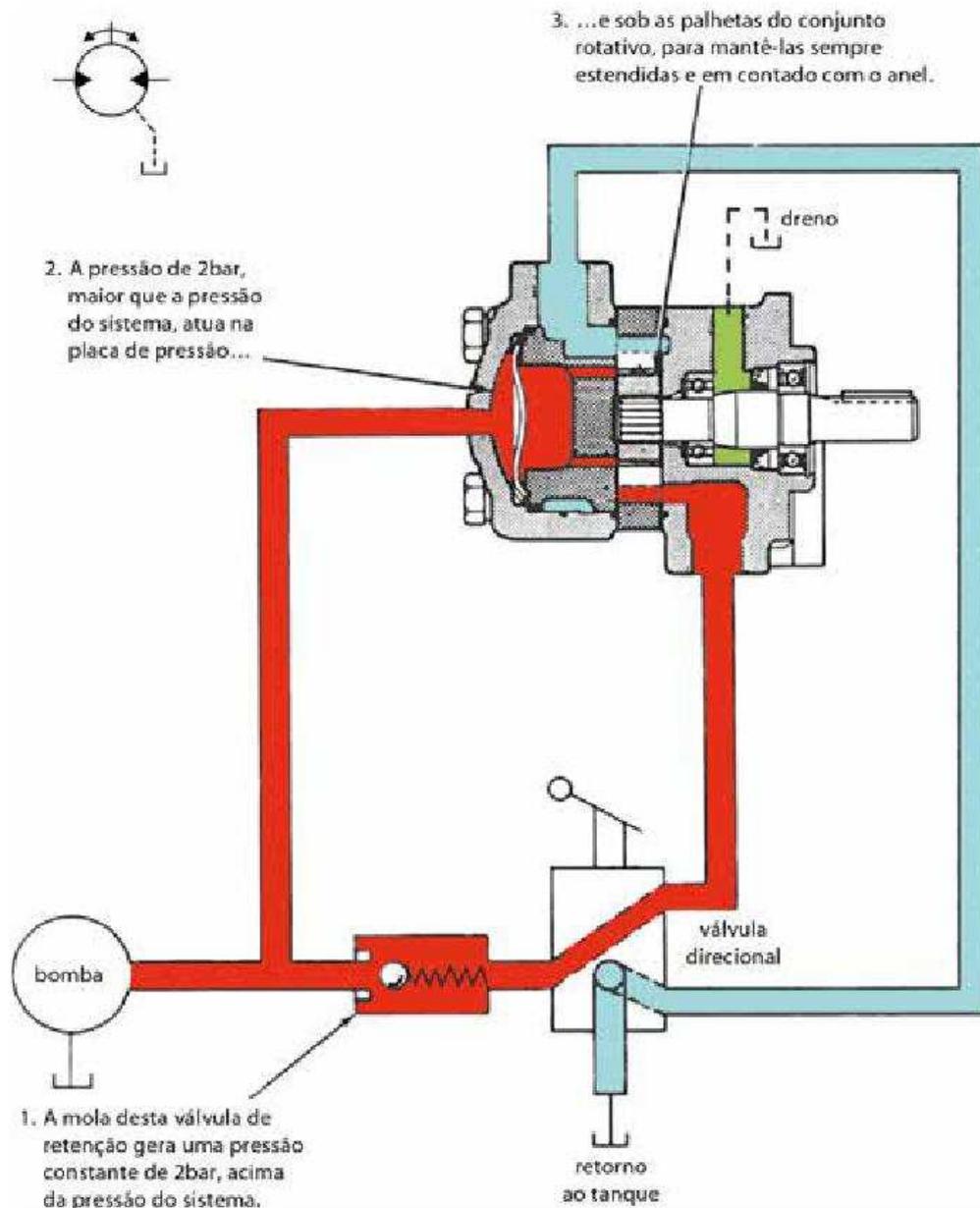
Motor de palhetas hidráulicamente balanceado, com expansão por molas espirais

Uma válvula seletora pode ser utilizada para direcionar a pressão hidráulica sob as palhetas, no caso de motores reversíveis ou bidirecionais, como mostra a figura a seguir.



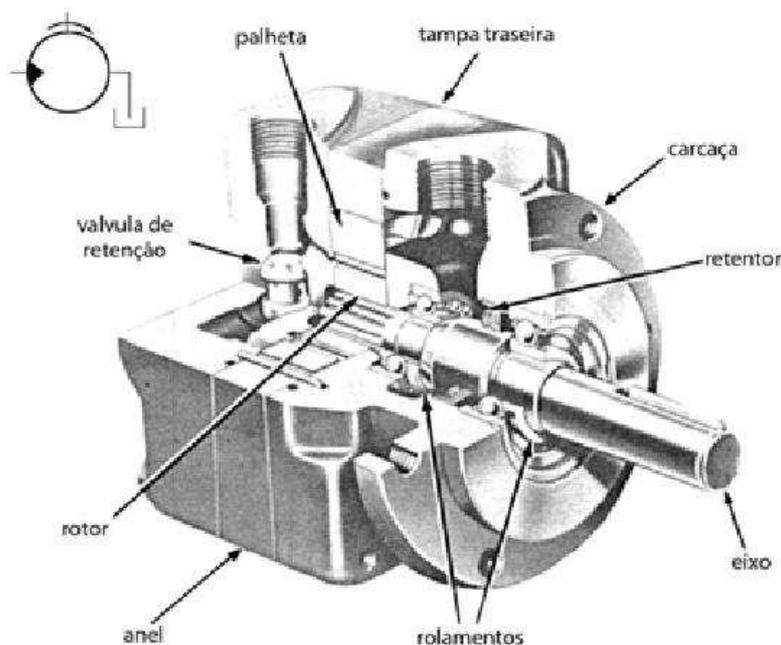
Motor de palhetas bidirecional, com expansão por pressão hidráulica através de válvula seletora

O exemplo a seguir mostra um motor de palhetas bidirecional, com a expansão das palhetas efetuada por meio de pilotagem externa, com pressão gerada pela mola de uma válvula de retenção.



Motor de palhetas bidirecional, com expansão por pressão piloto externa

No caso de motores de palhetas unidirecionais, a válvula de retenção pode estar incorporada na própria carcaça do motor.



Motor de palhetas unidirecional, com válvula de retenção incorporada

## Motores hidráulicos planetários

Os motores hidráulicos planetários possuem características de construção semelhantes as das bombas do tipo gerotor.

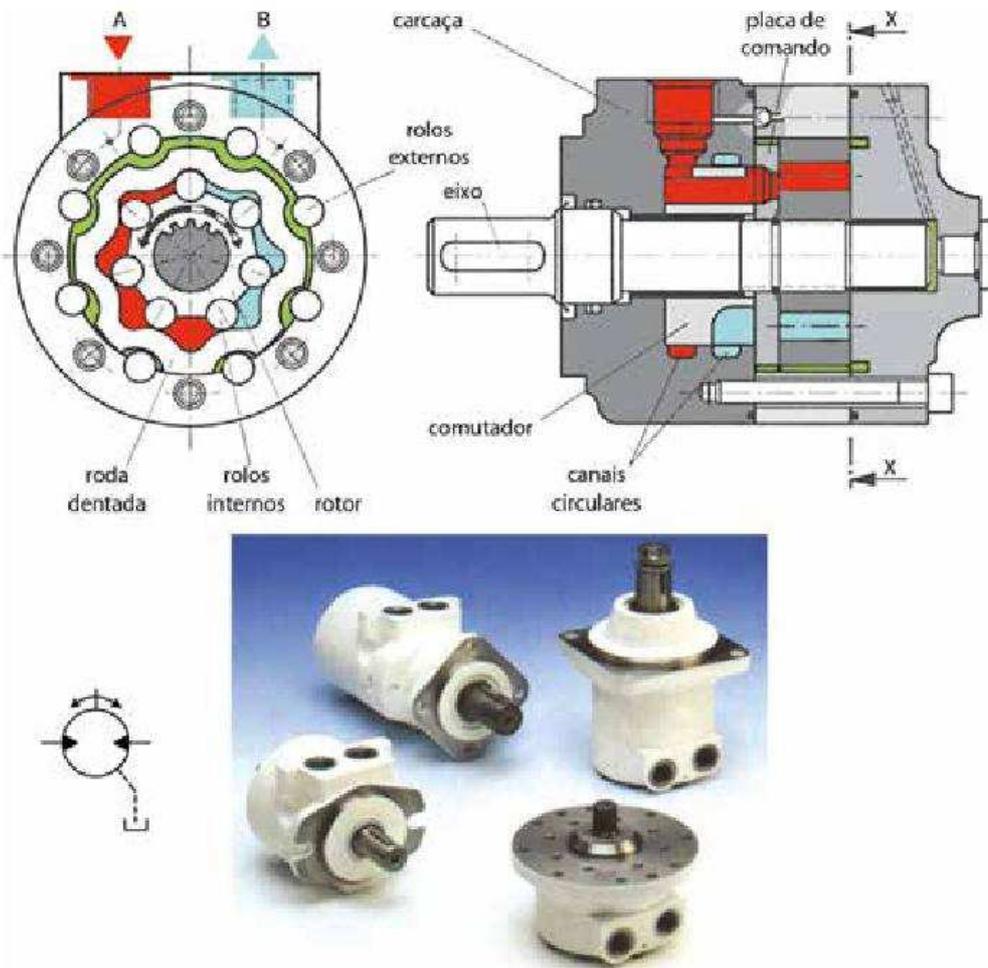
Embora apresentem dimensões reduzidas, possuem grande deslocamento, o que os caracterizam como motores hidráulicos lentos, de baixa rotação, mas com grande capacidade de torque.

O óleo hidráulico flui dos pórticos de trabalho para dois canais circulares, formados entre o corpo interno do motor e um comutador, prensado em sua carcaça. Através desses canais, o fluido alimenta e escoar a placa de comando, acoplada mecanicamente ao eixo de saída por meio de um estriado.

A placa de comando, por sua vez, interliga hidraulicamente o comutador com as câmaras de deslocamento, por meio de ranhuras internas longitudinais.

As câmaras de deslocamento são formadas entre a superfície externa do rotor, os rolos internos e a superfície interna da roda dentada.

No comutador, enquanto metade das ranhuras longitudinais está ligada ao pórtico de entrada de pressão, a outra metade está conectada ao pórtico de retorno ao tanque.



Motores planetários

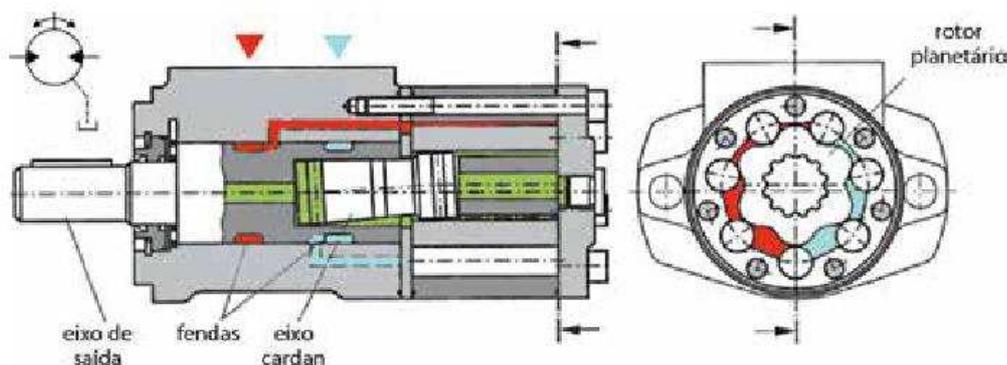
Durante o movimento de rotação, as câmaras de deslocamento que momentaneamente aumentam de volume, estão ligadas ao pórtico de pressão. Ao mesmo tempo, as câmaras de deslocamento que temporariamente diminuem de volume, são conectadas ao pórtico de retorno ao tanque.

A pressão constante nas câmaras de deslocamento produz uma força sobre o rotor, gerando torque e rotação no eixo de saída e apoiando a roda dentada nos rolos externos.

Sempre que for obtido o maior ou o menor volume nas câmaras de deslocamento, a placa de comando efetua a inversão entre a entrada de pressão e o retorno ao tanque.

O óleo que penetra nas folgas, lubrificando as partes móveis do motor, deve ser drenado para o reservatório através de uma conexão de drenagem externa.

Nos motores do tipo cardan, o torque é transmitido do rotor planetário para o eixo de saída por meio de um cardan, ao invés da roda dentada.



O óleo sob pressão entra através das fendas do eixo de saída, é conduzido para as câmaras de deslocamento pelos furos da carcaça e retorna ao reservatório pelo pórtico de saída.

## Motores hidráulicos de pistões axiais

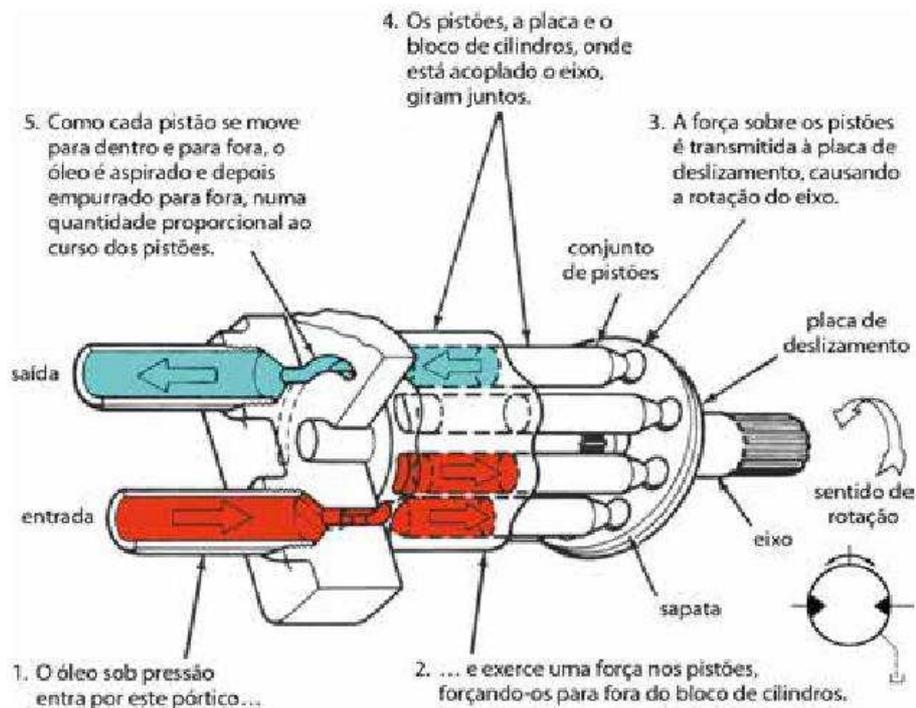
Os motores de pistões axiais geram torque por meio de pressão hidráulica aplicada nas extremidades de êmbolos paralelos, localizados em sua carcaça.

Há dois tipos construtivos de motores de pistões axiais:

- motores de pistões em linha;
- motores de pistões de eixo inclinado.

### Motores de pistões em linha:

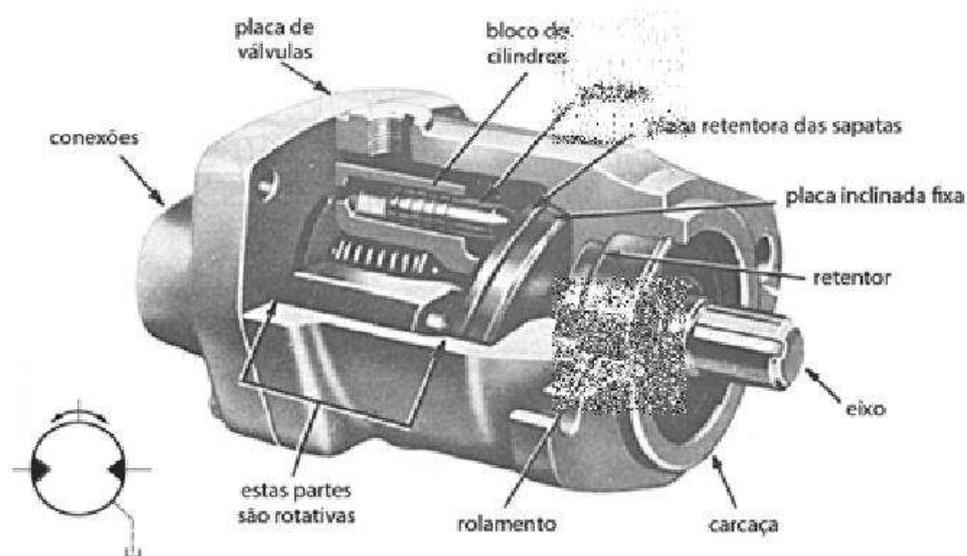
Nos motores de pistões em linha, os êmbolos são distribuídos em paralelo dentro de um bloco de cilindros, alinhado em relação ao eixo do motor. Uma placa de deslizamento, inclinada e acoplada mecanicamente ao eixo de saída por meio de um estriado, transforma os movimentos lineares alternados dos pistões em movimento giratório para o eixo do motor.



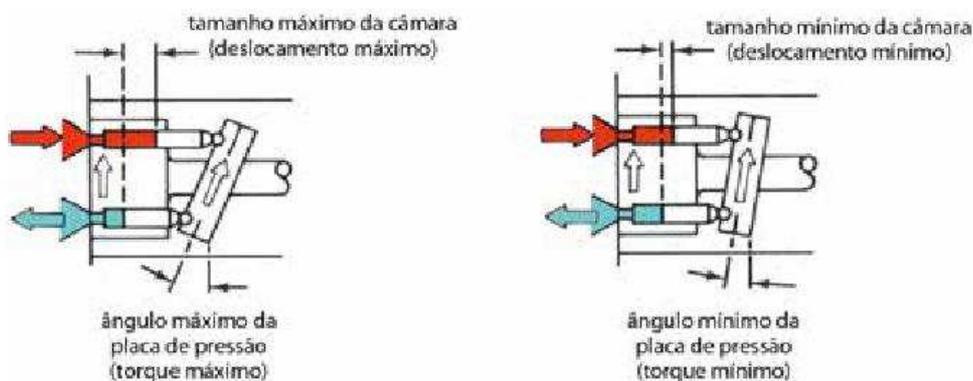
O torque produzido é proporcional à pressão de operação, às áreas dos pistões e ao ângulo de inclinação da placa de deslizamento. Quanto maior a pressão, as áreas dos pistões ou o ângulo de inclinação da placa, tanto maior será o torque desenvolvido pelo motor.

Os motores de pistões em linha são fabricados em duas versões:

- com deslocamento fixo: apresentam o mesmo torque e a mesma rotação, mantendo a pressão de operação e a vazão da bomba de alimentação constantes. A placa de deslizamento possui um ângulo de inclinação fixo, o que mantém sempre as mesmas dimensões das câmaras de deslocamento.
- com deslocamento variável: possuem torque e rotações variáveis, mesmo que a pressão de operação e a vazão da bomba de alimentação sejam constantes. O ângulo de inclinação da placa de deslizamento pode ser alterado, variando as dimensões das câmaras de deslocamento.

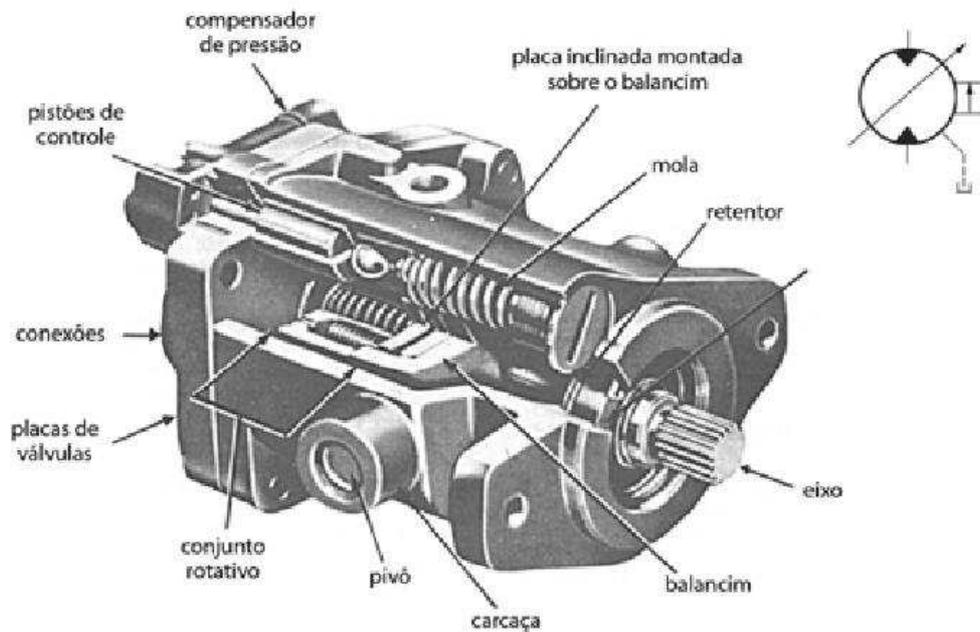


Motor de pistões axiais em linha, de deslocamento fixo



Nos motores de pistões em linha, aumentando-se o ângulo de inclinação da placa de deslizamento, o curso dos pistões aumenta, aumentando também as dimensões das câmaras de deslocamento. Isso proporciona ao motor um torque maior mas, em contrapartida, com menor rotação.

Por outro lado, reduzindo-se o ângulo de inclinação da placa, reduz-se o curso dos pistões, diminuindo, assim, as dimensões das câmaras de deslocamento. Dessa forma, o motor passa a desenvolver uma velocidade de rotação maior, com um torque reduzido.



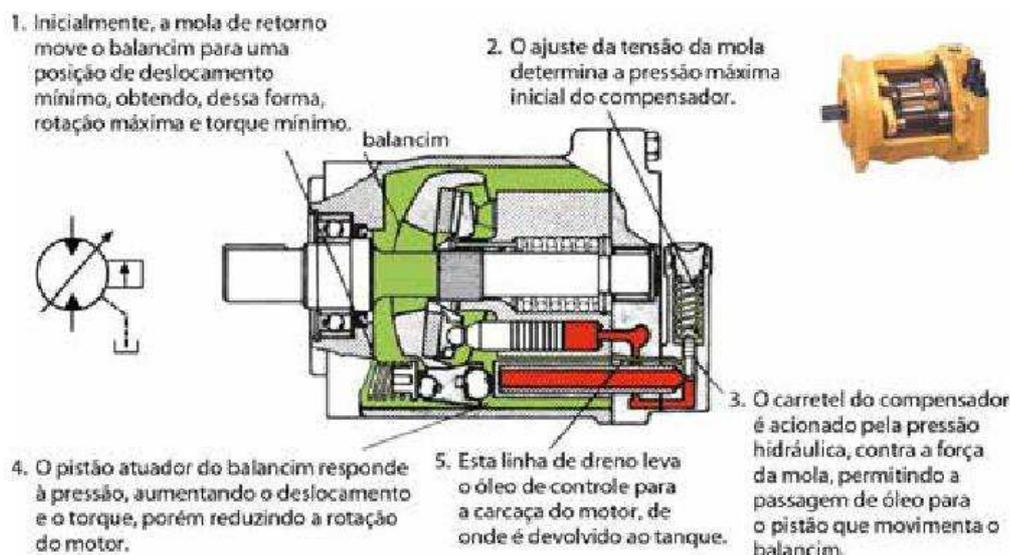
Motor de pistões axiais em linha, de deslocamento variável

Nos motores de pistões em linha com deslocamento variável, a placa deslizante é montada em um balancim, no interior da carcaça, o qual permite a variação do ângulo de inclinação da placa de duas maneiras:

- diretamente, por meio de alavancas e volantes manuais ou parafusos de ajuste;
- indiretamente, por meio de pilotagem hidráulica ou servomecanismos.

Há, também, batentes mecânicos que limitam o ângulo de inclinação da placa, garantindo que o torque e a velocidade de rotação permaneçam dentro dos limites de operação do motor.

Alguns motores de pistões em linha, com deslocamento variável, possuem controle por compensador de pressão. Esse controle é utilizado para variar o deslocamento do motor em função das mudanças de pressão de operação.



No controle por compensador de pressão, um pistão atuador do balancim altera o ângulo de inclinação da placa deslizante, de acordo com as variações de pressão de operação. Qualquer aumento de carga no eixo de saída do motor é acompanhado por um acréscimo proporcional na pressão do óleo no pistão atuador que aciona o balancim, aumentando o ângulo de inclinação da placa deslizante. O motor passa a ter, como resultado, mais força de torção, porém com menos velocidade de rotação.

Em outras palavras, o compensador de pressão age como se fosse um câmbio automático, oferecendo um torque adicional quando aumenta a carga no eixo de saída do motor e, ao contrário, permitindo maior velocidade quando a carga é reduzida.

### Motores de pistões angulares:

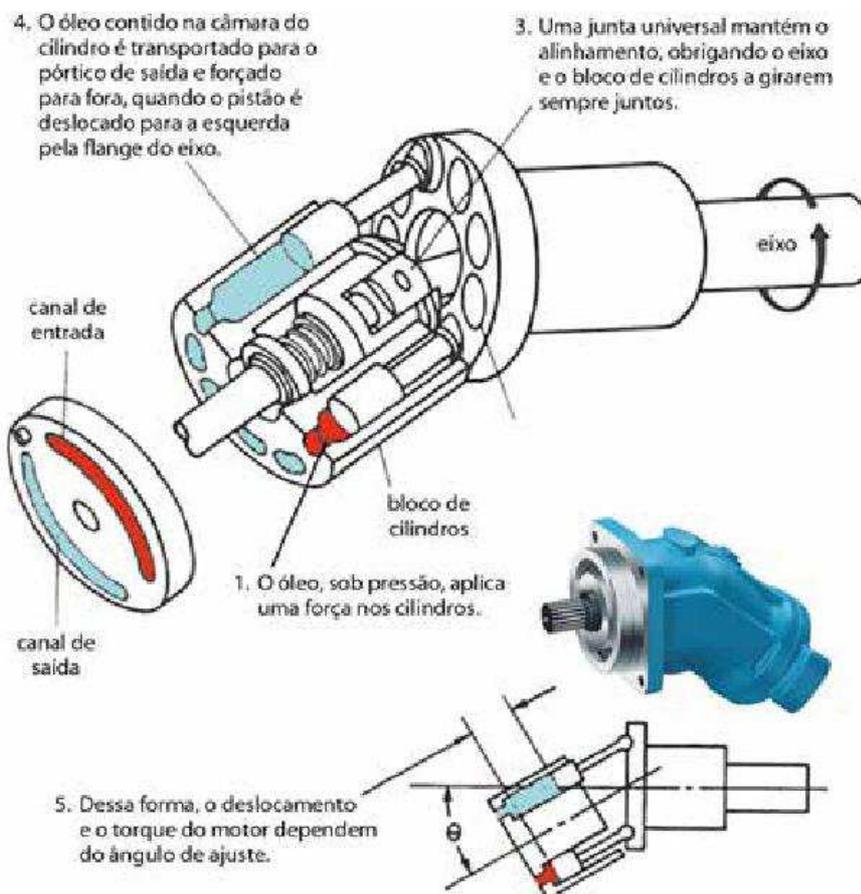
Nos motores de pistões angulares, os êmbolos são distribuídos paralelamente dentro de um bloco de cilindros, inclinado em relação ao eixo do motor. O ângulo de inclinação transforma os movimentos lineares alternados dos pistões em movimento giratório para o eixo do motor.

Os motores de pistões angulares também são fabricados em duas versões: com deslocamento fixo e com deslocamento variável.

O torque dos motores de pistões angulares é proporcional à pressão de operação, às áreas dos pistões e ao ângulo de inclinação do bloco de cilindros em relação



Motor de pistões angulares com deslocamento fixo

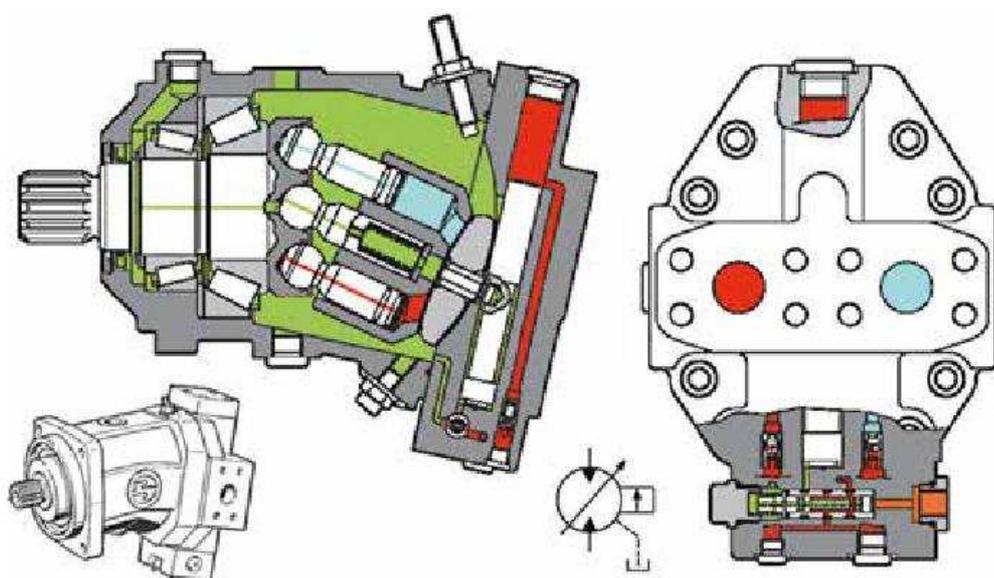


ao eixo do motor. Quanto maiores a pressão, as áreas dos pistões ou o ângulo de inclinação do bloco, tanto maior será o torque desenvolvido pelo motor.

Nos motores de pistões angulares com deslocamento variável, o torque e a velocidade de rotação mudam com a variação do ângulo de inclinação do bloco de

cilindros. Quanto maior for o ângulo de inclinação do bloco, maior será o curso dos pistões, aumentando as dimensões das câmaras de deslocamento, proporcionando ao motor um torque maior, mas com menor rotação. Reduzindo o ângulo de inclinação do bloco de cilindros, a velocidade de rotação aumenta e o torque diminui.

Os motores de pistões angulares, com deslocamento variável, podem ser equipados com diversos tipos de controle para ajuste do ângulo de inclinação do bloco de cilindros. O mais utilizado é o controle por compensador de pressão, para variar o deslocamento do motor em função das mudanças de pressão de operação.

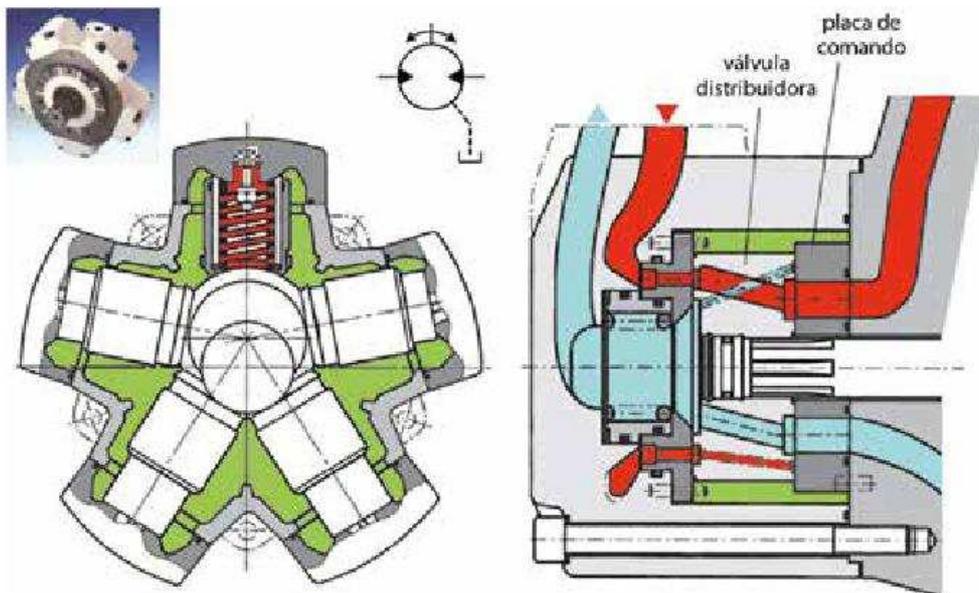


No controle por compensador de pressão, um carretel altera o ângulo de inclinação do bloco de cilindros, de acordo com as variações de pressão de operação. Qualquer aumento de carga no eixo de saída do motor é acompanhado por um acréscimo proporcional na pressão do óleo no carretel que aciona o bloco de cilindros, aumentando seu ângulo de inclinação. Como resultado, o motor passa a ter mais força de torção, porém com menos velocidade de rotação.

## Motores hidráulicos de pistões radiais

Os motores de pistões radiais, assim como os de axiais, geram torque por meio de pressão hidráulica aplicada nas extremidades de êmbolos, localizados em sua carcaça. Entretanto, nesse tipo de construção, os pistões são dispostos em forma de estrela, no sentido radial ao eixo de saída do motor, acionando um came circular montado de forma excêntrica em relação ao eixo. O came excêntrico é responsável em converter os movimentos alternados de ida e volta dos pistões em movimento giratório e aplicá-lo ao eixo de saída do motor.

O tipo apresentado na figura a seguir possui cinco pistões de ação simples que avançam por pressão hidráulica e retornam por molas. Durante a operação, enquanto dois ou três dos pistões estão ligados ao pórtico de pressão, os demais estão conectados ao pórtico de retorno ao tanque, de acordo com a posição do came excêntrico.

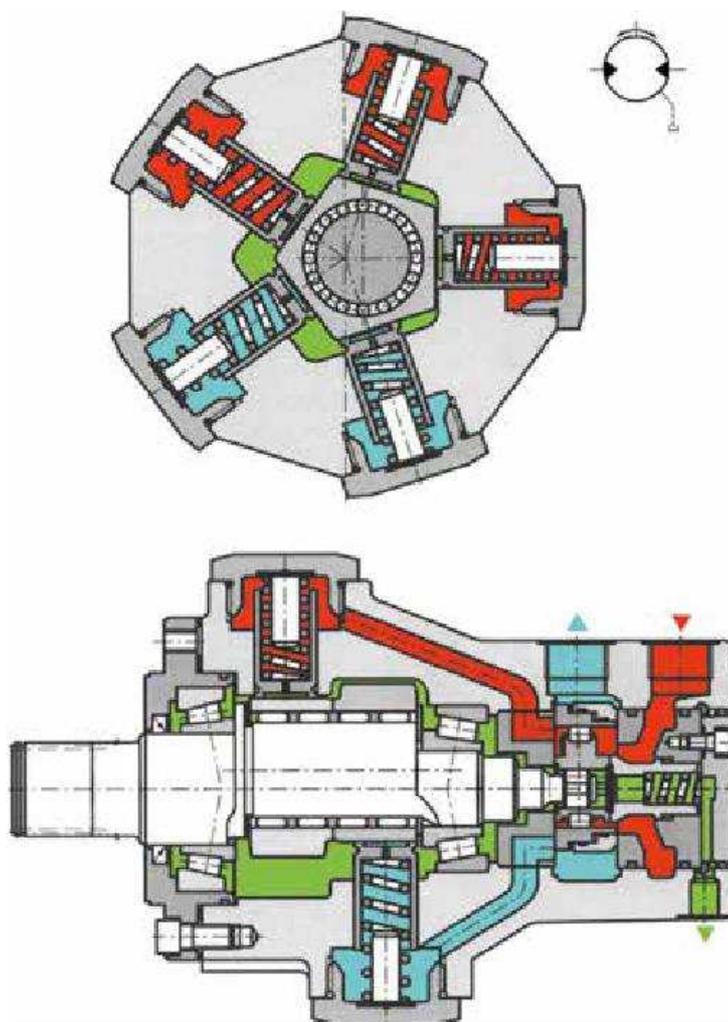


Dentro do motor, os pórticos estão conectados a uma válvula distribuidora que se movimenta junto com o came excêntrico, girando na mesma rotação. Quando

um dos pórticos é submetido à pressão, a válvula distribuidora alimenta os pistões por meio de uma placa de comando, presa à carcaça do motor.

Durante o movimento, os furos da válvula distribuidora se conectam aos orifícios da placa de comando, pressurizando sucessivamente os pistões que estão recuados e descarregando para o tanque o óleo dos pistões que estão avançados.

A figura a seguir apresenta outro tipo construtivo de motor de pistões radiais onde o came excêntrico, em vez de possuir um formato circular, é construído na forma de uma figura geométrica com tantos lados quanto for o número de pistões.



Motor hidráulico de pistões radiais

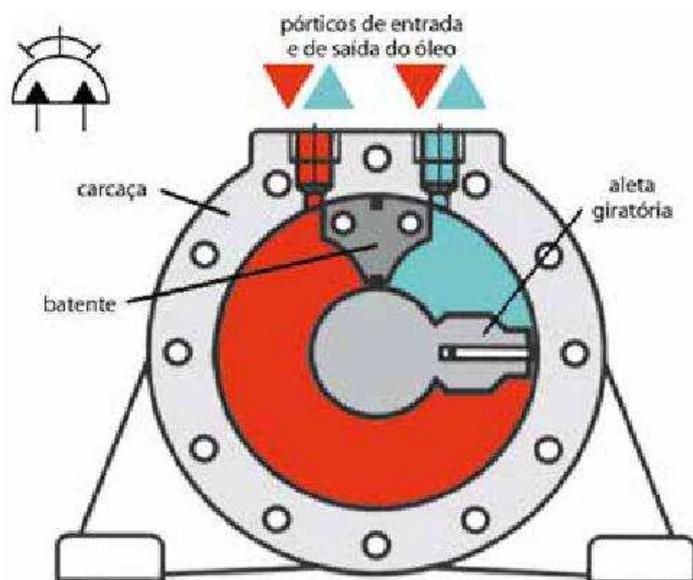
## Motores hidráulicos oscilantes

Os motores oscilantes, também conhecidos como atuadores giratórios, possuem movimentos circulares limitados, girando apenas dentro da amplitude angular determinada por suas características construtivas. O movimento giratório é limitado em seu ângulo por meio de batentes, fixos ou ajustáveis.

Há diferentes tipos construtivos de motores oscilantes. Entre eles podem ser destacados:

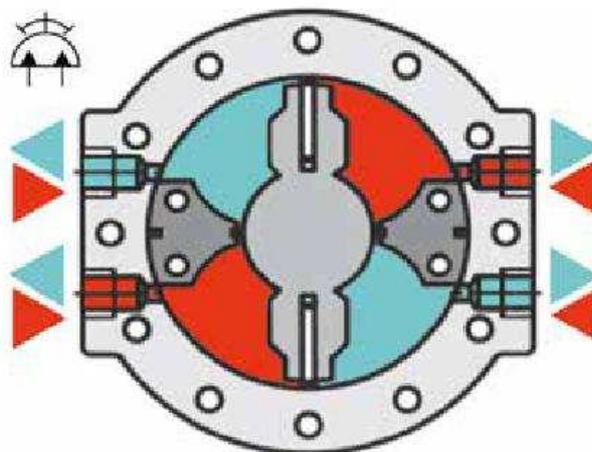
### Motor oscilante de aleta giratória:

Esse tipo de motor possui uma aleta fixada ao eixo de saída e montada no interior de uma carcaça circular.



O motor oscilante de aleta giratória pode, geralmente, executar movimentos giratórios de até  $280^\circ$ , dependendo das dimensões do batente.

A figura a seguir apresenta outra versão de motor oscilante, com aleta dupla e dois batentes, o qual pode desenvolver o dobro do torque do anterior, mas com o ângulo de giro reduzido à metade.



### Motor oscilante de pistões paralelos:

Nesse tipo de motor, dois pistões paralelos entre si e tangenciais ao eixo de saída produzem um movimento giratório com ângulo limitado. Os pistões são acionados de modo alternado, por pressão hidráulica, movimentando um balancim acoplado ao eixo de saída do motor.

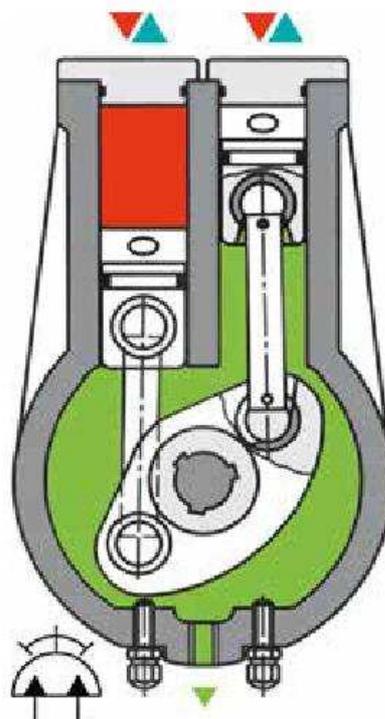
Normalmente, os motores oscilantes de pistões paralelos podem produzir movimentos no eixo de saída com ângulos de giro de até 100°.

Motor oscilante de êmbolo, com acionamento por pinhão-cremalheira:

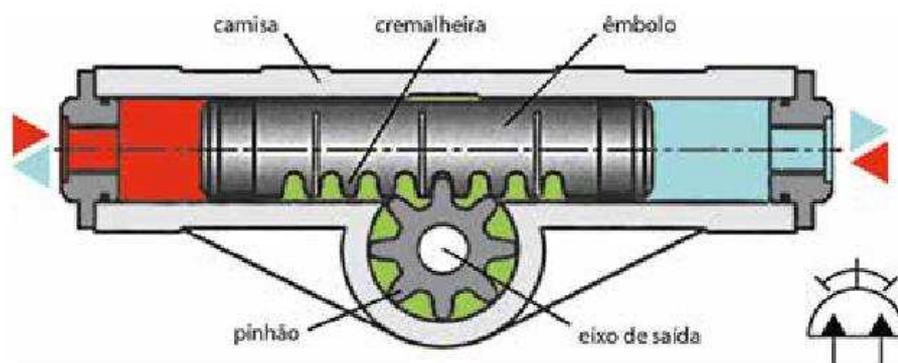
Nesse tipo de motor oscilante, um êmbolo cilíndrico, com a parte central do corpo em forma de cremalheira, se movimenta por meio de pressão hidráulica dentro de uma camisa.

Acoplado mecanicamente ao eixo de saída do motor, há um pinhão engrenado à cremalheira do êmbolo.

Pressurizando uma das extremidades do êmbolo e descarregando a outra para o tanque, o êmbolo se movimenta de forma que a cremalheira acione o pinhão, girando o eixo de saída do motor.



Dependendo da relação de transmissão entre o pinhão e a cremalheira, o eixo de saída do motor poderá efetuar movimentos giratórios com ângulos limitados a 90, 180, 240, 300 ou 360 graus.





# VÁLVULAS

Os movimentos dos atuadores hidráulicos estudados até agora são controlados por válvulas.

Dependendo do tipo de trabalho a ser realizado por um atuador, vários controles devem ser efetuados.

Um cilindro, por exemplo, deve alternar seus movimentos em avanços e retornos constantes. Muitas vezes, deve-se controlar a sua força de atuação, compatível com o trabalho a ser executado. Estampar uma peça em uma prensa exige muito mais força de um cilindro do que simplesmente avançar o cabeçote de usinagem de uma máquina operatriz. Por outro lado, esse mesmo cabeçote exige outro tipo de controle de movimentos do cilindro, relacionado com a sua velocidade de atuação. A velocidade de avanço de um cilindro, em um processo de usinagem, deve ser sempre compatível com a velocidade de corte da ferramenta.

O motor hidráulico de acionamento do sistema de movimentação por esteira de um trator também exige vários controles. Há momentos em que ele deve movimentar o veículo para frente. Em outros, deve alternar o movimento para o sentido contrário, movimentando o trator para trás. Além disso, sua força de torção deve ser controlada, de acordo com as características do terreno e com o trabalho a ser realizado.

Para que sejam efetuados todos esses controles, de forma precisa, serão utilizadas válvulas as quais estão classificadas em três grupos:

- **Válvulas de controle direcional:** serão responsáveis pelo controle do sentido de movimento dos atuadores, tais como avanço e retorno de cilindros e sentido de rotação de motores.
- **Válvulas reguladoras de vazão:** farão o controle das velocidades de avanço e de retorno de cilindros, bem como da rotação de motores.

- **Válvulas controladoras de pressão:** efetuarão o controle das pressões de operação dos atuadores, regulando suas forças de atuação, além de garantir sequências de movimentos, sustentar cargas verticais e efetuar frenagens seguras em conjuntos rotativos.

Em sistemas hidráulicos, assim como em circuitos elétricos, eletrônicos e pneumáticos, são utilizados símbolos normalizados internacionalmente para identificar cada componente do sistema. Os símbolos representam sempre a função que um componente pode realizar no sistema, independentemente de suas características construtivas. Em outras palavras, o símbolo representa sempre o que cada componente é capaz de fazer.

Sendo assim à medida que cada tipo de válvula for estudada, será apresentada sua simbologia correspondente.

# VÁLVULAS DE CONTROLE DIRECIONAL

As válvulas de controle direcional abrem e fecham passagens, controlando a direção do fluxo de óleo no sentido desejado. Há inúmeras válvulas classificadas dentro desse grupo:

## Válvulas de retenção

As retenções são classificadas como válvulas direcionais de uma única via, pois permitem a passagem livre do óleo em uma determinada direção e bloqueiam o fluxo na direção oposta.

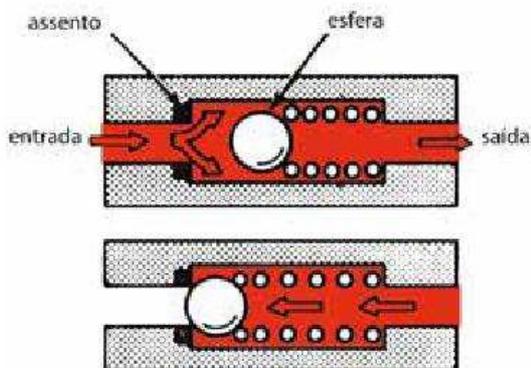
Basicamente, as válvulas de retenção possuem um elemento de vedação esférico ou um carretel cônico, apoiado por uma mola, dentro de uma carcaça fundida. A mola é bem leve, com força suficiente para manter o elemento de vedação apoiado em seu assento, permitindo a montagem da válvula em qualquer posição, sem depender da ação da gravidade. Além disso, embora não sejam reguláveis, as molas são disponibilizadas pelos fabricantes em várias tensões, com o intuito de atender a casos específicos quando, por exemplo, a retenção deve criar uma pressão de pilotagem dentro do circuito ou desviar o óleo de um filtro saturado. Uma seta, gravada no corpo da válvula de retenção, indica o sentido do fluxo livre.

Existem vários tipos de válvulas de retenção:

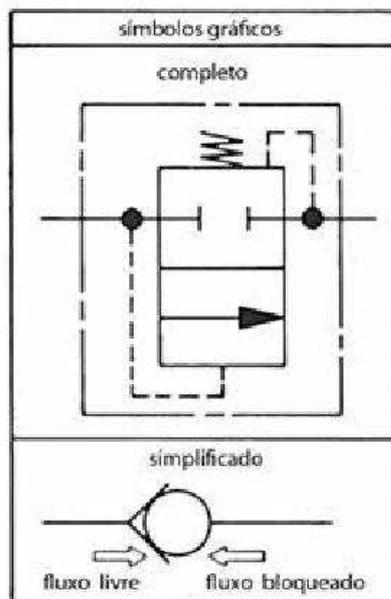
### Válvula de retenção em linha:

São assim chamadas porque seus pórticos de entrada e de saída estão dispostos em um ângulo de 180°, fazendo com que o óleo flua através das mesmas em linha reta.

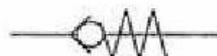
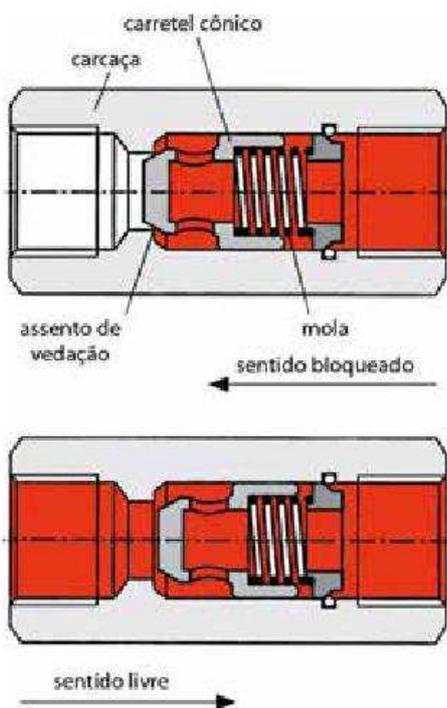
1. Quando o óleo flui, da esquerda para a direita, a esfera é deslocada do seu assento permitindo o fluxo livre.



2. No sentido contrário, a esfera apoia-se no seu assento, empurrada pela força da mola e pela própria pressão hidráulica, bloqueando o fluxo do óleo.



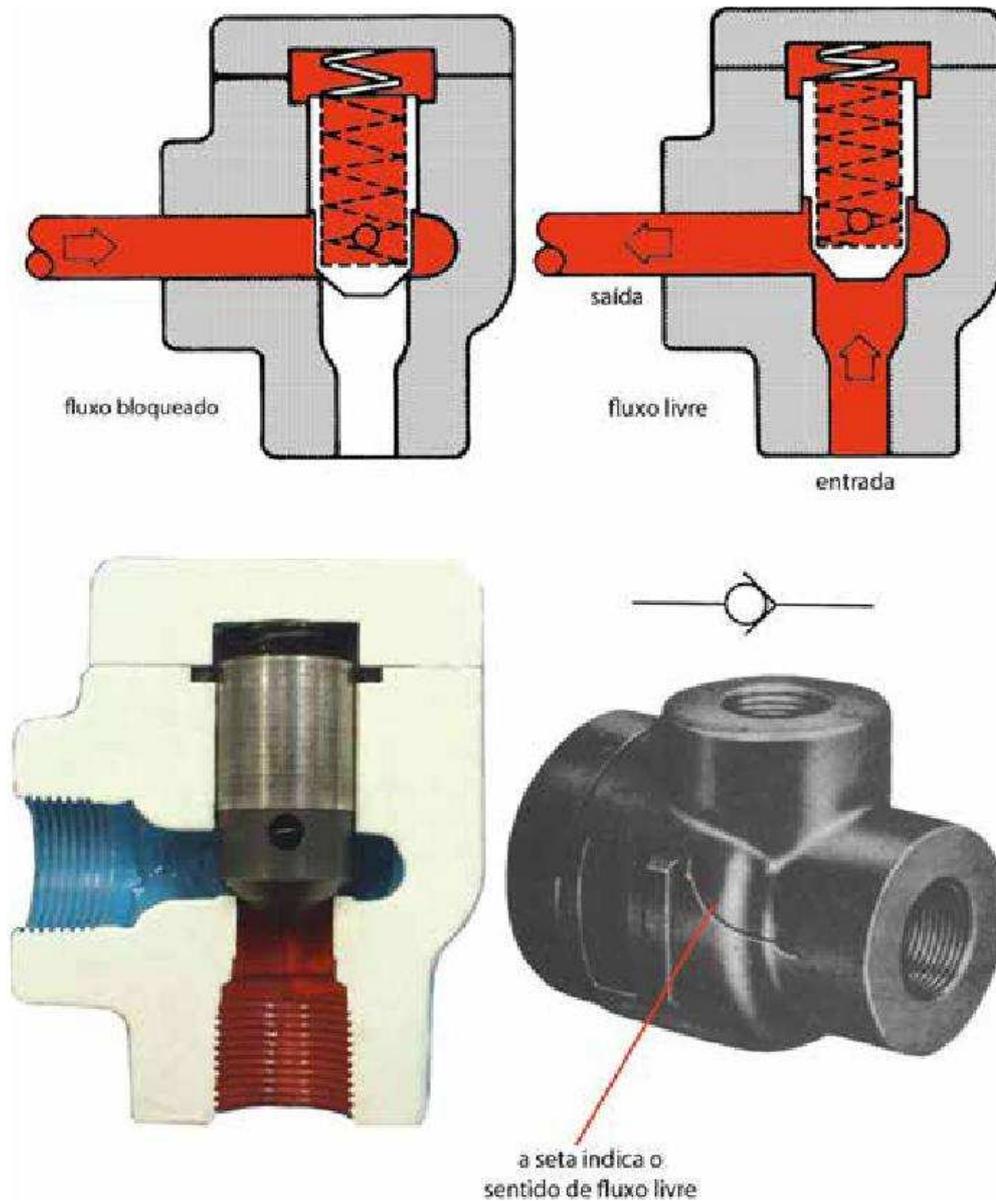
Válvula de retenção em linha de assento esférico



Válvula de retenção em linha de carretel cônico

**Válvula de retenção em ângulo reto:**

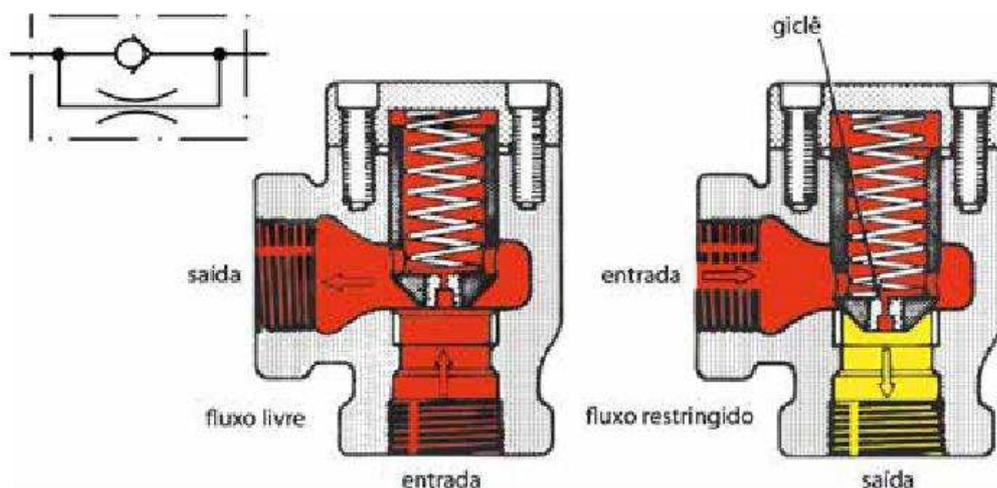
É assim chamada porque seus pórticos de entrada e de saída estão dispostos em um ângulo de 90°, fazendo com que o óleo flua através dela em um ângulo reto.



Válvula de retenção em ângulo reto

### Válvula de retenção com restrição:

Trata-se de uma válvula de retenção em ângulo reto que possui uma restrição fixa (giclê), montada na ponta do carretel cônico.

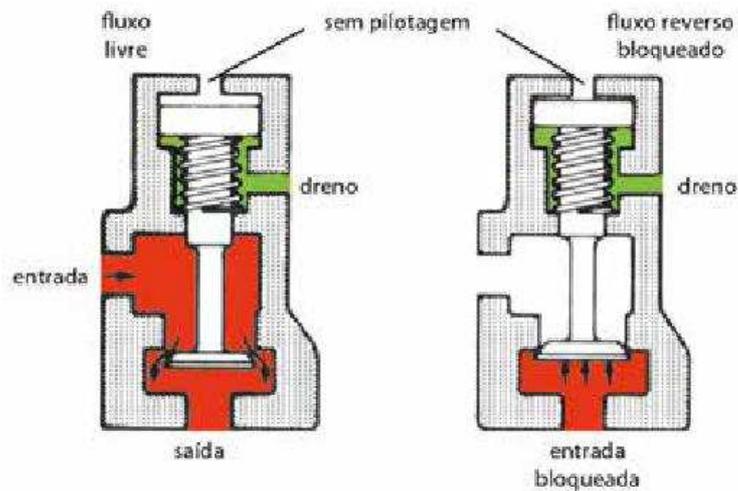


No sentido de fluxo livre, essa válvula comporta-se como uma retenção comum. No sentido de fluxo bloqueado, a restrição permite a passagem de um fluxo controlado de óleo.

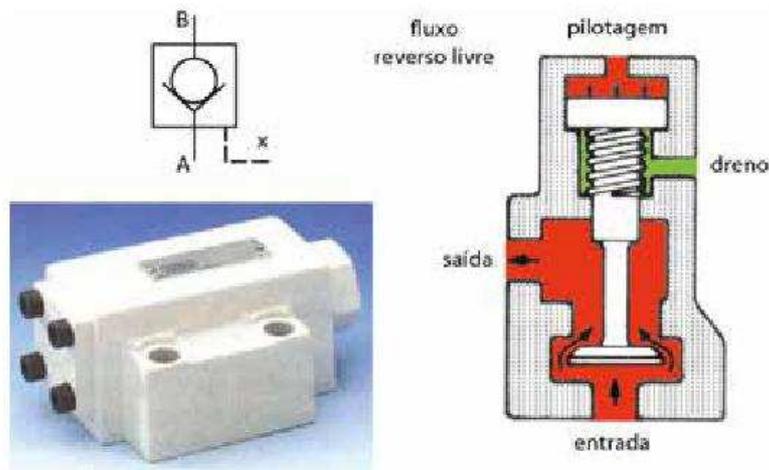
### Válvula de retenção pilotada ou com desbloqueio hidráulico:

A válvula de retenção pilotada, também conhecida como válvula de retenção com desbloqueio hidráulico, apresenta as mesmas características de uma válvula de retenção convencional, com um êmbolo de pilotagem externa.

Enquanto o piloto externo não for pressurizado, a válvula se comporta como uma retenção comum, permitindo a passagem livre do óleo em uma direção e impedindo o fluxo na direção oposta.

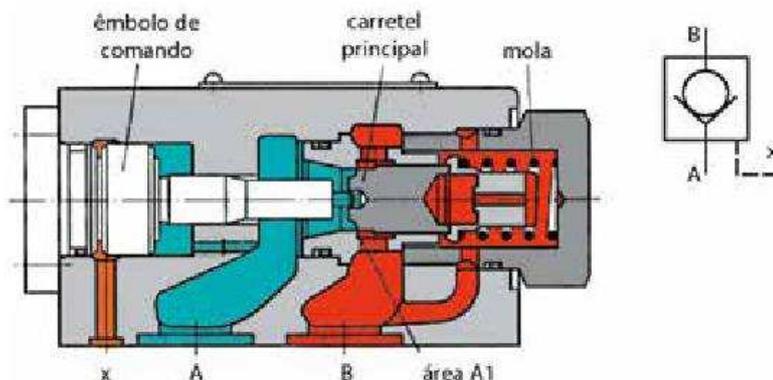


Quando o piloto externo é submetido à pressão, o êmbolo desloca o carretel cônico do seu assento, mantendo a válvula aberta e permitindo que o óleo flua livremente nos dois sentidos.



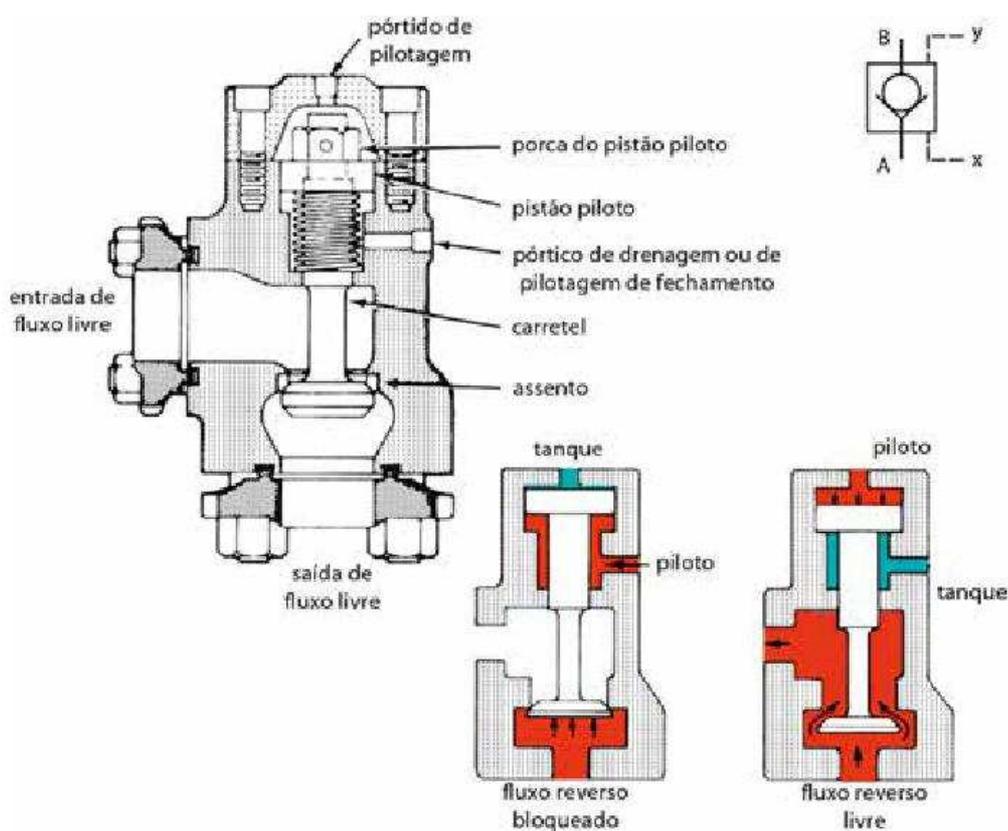
Válvula de retenção pilotada com dreno externo

Muito embora as características de construção de uma válvula possam variar de um fabricante para o outro, os princípios de funcionamento, bem como a simbologia empregada para representá-la, são os mesmos.



Válvula de retenção pilotada com dreno interno

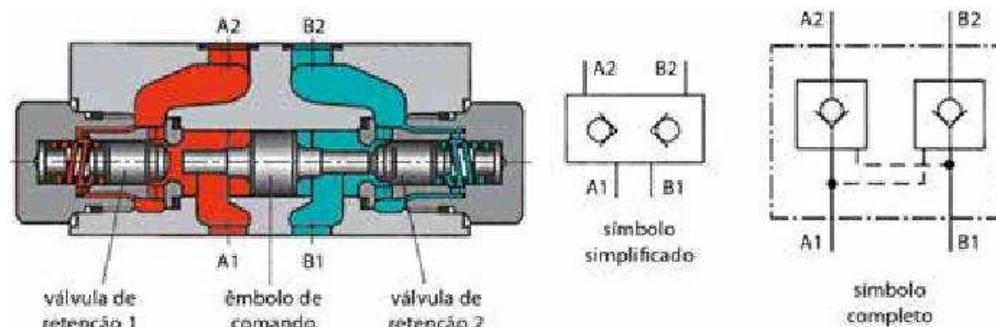
Em outra versão, sem mola, há dois pilotos externos para acionar o carretel de pilotagem, tanto para abrir como para fechar a válvula de retenção.



Válvula de retenção pilotada com piloto duplo reversível

### Válvula de retenção geminada:

Na verdade, trata-se de duas válvulas de retenção pilotadas, integradas em uma única carcaça.



Enquanto os pórticos **A1** ou **B1** não forem pressurizados, as válvulas de retenção bloqueiam totalmente o fluxo reverso, no sentido de **A2** para **A1** e de **B2** para **B1**.

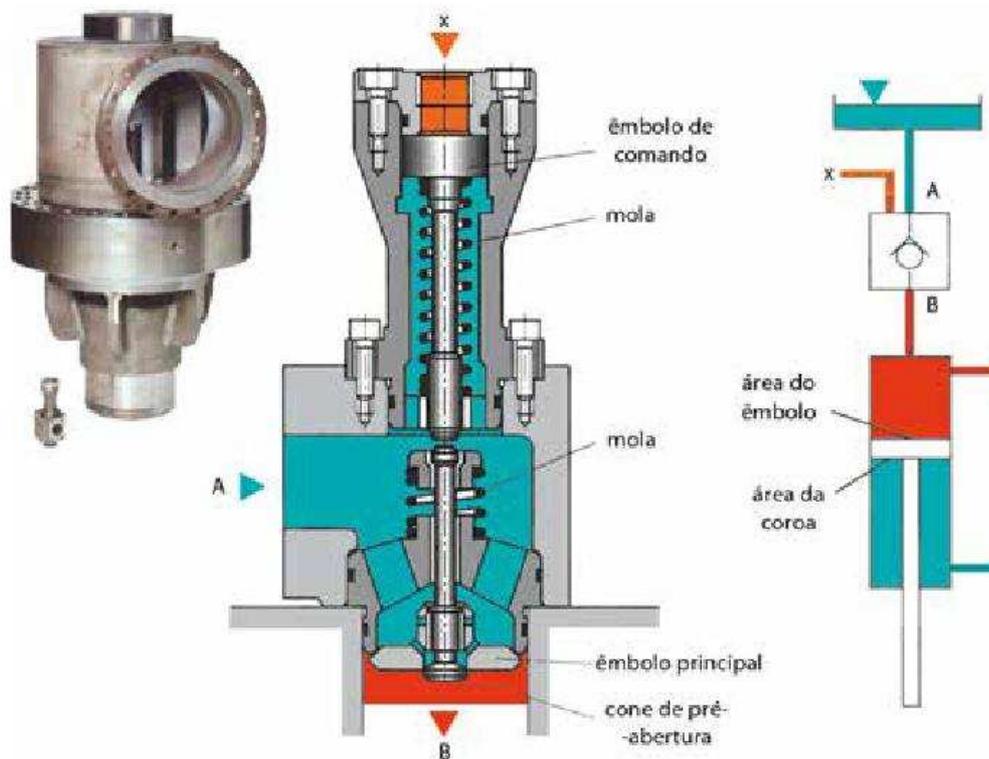
Quando o pórtico **A1** da válvula de retenção 1 é pressurizado, o óleo flui livremente de **A1** para **A2** e, ao mesmo tempo, empurra o êmbolo de comando para a direita, pilotando a válvula de retenção 2. Uma vez pilotada, a válvula de retenção 2 permite o fluxo livre do óleo no sentido de **B2** para **B1**.

Da mesma forma, quando o pórtico **B1** da válvula de retenção 2 é pressurizado, o óleo flui livremente de **B1** para **B2** e, ao mesmo tempo, empurra o êmbolo de comando para a esquerda, pilotando a válvula de retenção 1 que passa a permitir o fluxo reverso livre, no sentido de **A2** para **A1**.

Esse tipo de válvula é aplicado para impedir movimentos indesejáveis dos atuadores, quando o sistema hidráulico está despressurizado.

### Válvula de preenchimento:

A válvula de preenchimento nada mais é do que uma retenção pilotada de grande porte, utilizada para preencher câmaras de cilindros de grandes dimensões ou para bloquear circuitos hidráulicos sob pressão em prensas e máquinas de grande porte.



## Válvulas direcionais

São elementos que controlam o percurso do óleo dentro de um circuito hidráulico, comandando partidas, paradas e inversões dos sentidos de movimento dos atuadores.

As válvulas direcionais são caracterizadas de acordo com:

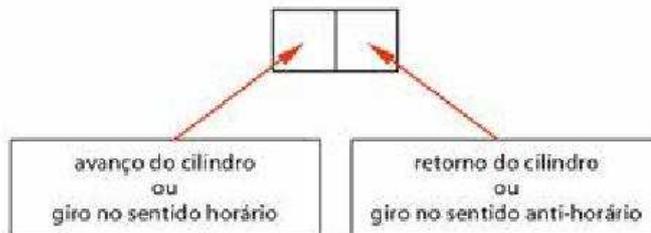
- o número de posições de comando;
- o número de vias de trabalho;
- tipo de acionamento.

O número de posições de comando é representado simbolicamente por meio de quadrados, que representam cada uma uma posição de comando.



Se, por exemplo, uma válvula direcional for comandar os movimentos de avanço e de retorno de um cilindro, ou os movimentos de giro de um motor hidráulico,

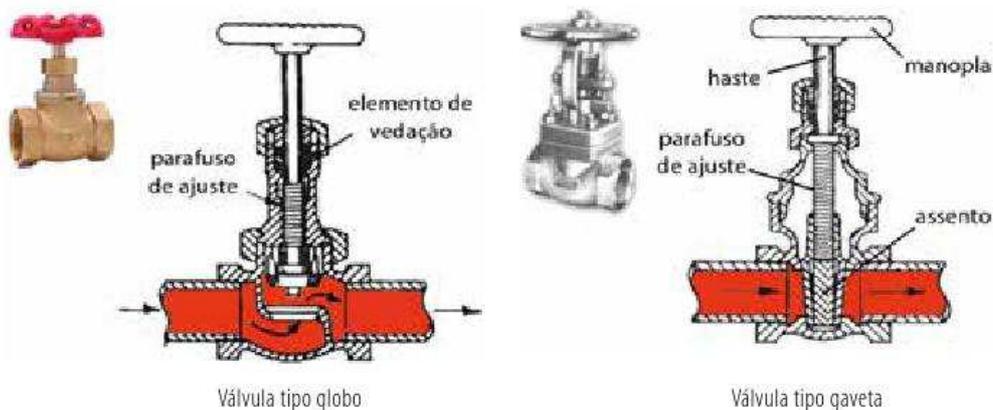
nos sentidos horário e anti-horário, ela deverá ter duas posições: uma para avanço e outra para retorno, no caso do cilindro ou, uma para o sentido horário e outra para o anti-horário, no caso do motor hidráulico.

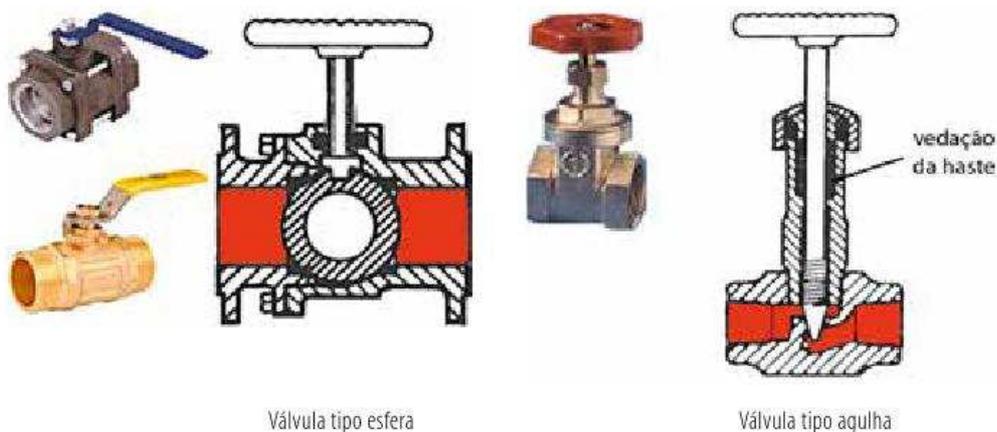


No caso de uma válvula direcional ter de comandar avanço, retorno e parada de um cilindro ou rotações horária, anti-horária e parada de um motor hidráulico, isso exigirá três posições de comando, considerando que a válvula terá três funções.

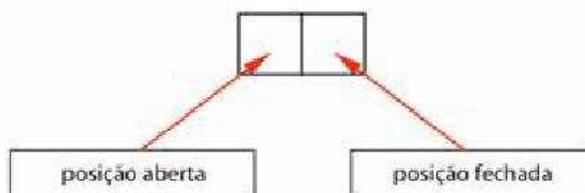


Vamos pegar, como exemplo, uma válvula registro de uso geral. Existem vários tipos construtivos de registros, tais como: válvula tipo globo, de gaveta, de esfera e de agulha. Independentemente do tipo construtivo, ela poderá assumir duas posições: totalmente aberta ou fechada.

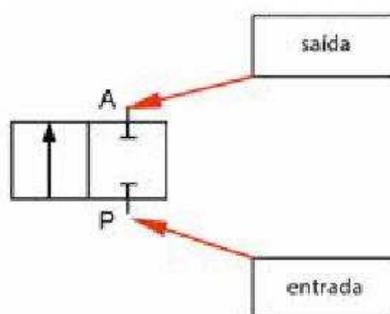




Seu símbolo será formado por dois quadrados: um para a posição aberta e outro para a fechada.



A posição aberta será representada por uma seta dentro do quadrado da esquerda, indicando o sentido de fluxo do óleo. A posição fechada, por sua vez, será representada no quadrado da direita por meio de dois bloqueios, um para a entrada e outro para a saída.



Analisando o símbolo, quando o registro estiver fechado, quadrado da direita, as conexões de entrada e de saída estarão bloqueadas. Ao abrirmos a válvula,

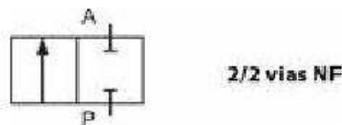
os dois quadrados deslocam-se para a direita, fazendo com que a seta do quadrado da esquerda coincida com as conexões de entrada e de saída, abrindo a passagem de fluxo do óleo.

As conexões de entrada e de saída de uma válvula são chamadas de vias. Os registros apresentados têm, portanto, duas vias de trabalho (entrada e saída) e duas posições de comando (aberta e fechada).

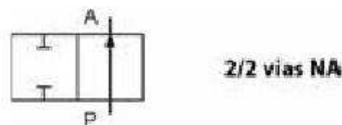
Para fins de controle direcional do fluxo de óleo há inúmeros tipos de válvulas, apresentados a seguir, os quais são identificados pelo número de vias ou conexões de trabalho e pelo número de posições de comando:

### VÁLVULA DIRECIONAL DE 2 VIAS E 2 POSIÇÕES:

Esta válvula pode ser normalmente fechada, abrindo ao ser acionada...



... ou normalmente aberta, fechando ao ser acionada.



### Representação:

2/2 vias NA ou NF

Onde:

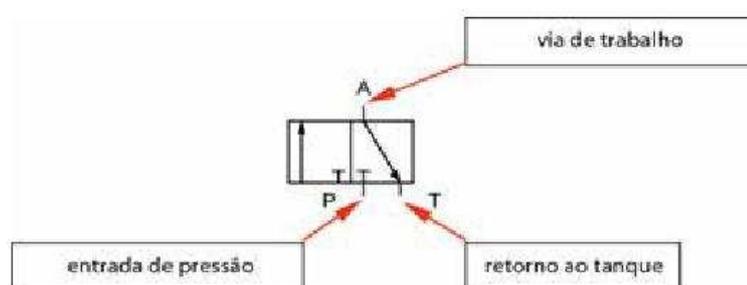
- 2/2 O numerador corresponde ao número de vias de trabalho
- 2/2 O denominador corresponde ao número de posições de comando
- NA Normal aberta, fecha ao ser acionada
- NF Normal fechada, abre ao ser acionada

É importante destacar que a posição inicial das válvulas de duas posições, também chamada de posição de descanso, corresponde sempre ao quadrado da direita.

### VÁLVULA DIRECIONAL DE 3 VIAS E 2 POSIÇÕES:

Esta válvula possui três conexões:

- 1 via de entrada de pressão;
- 1 via de trabalho;
- 1 via de retorno ao tanque.



Há, também, duas versões para esta válvula: normalmente fechada ou aberta.

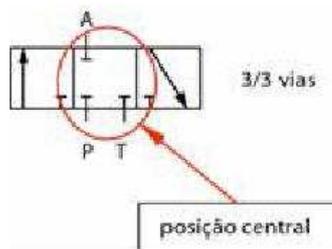


A válvula NF é assim chamada porque a entrada de pressão permanece fechada enquanto a válvula não for acionada. A válvula NA, ao contrário, mantém a entrada de pressão aberta, fechando-a somente depois de acionada.

Também nesse caso, a posição inicial ou de descanso da válvula é representada sempre pelo quadrado da direita, assim como em todas as válvulas de duas posições de comando.

### VÁLVULA DIRECIONAL DE 3 VIAS E 3 POSIÇÕES:

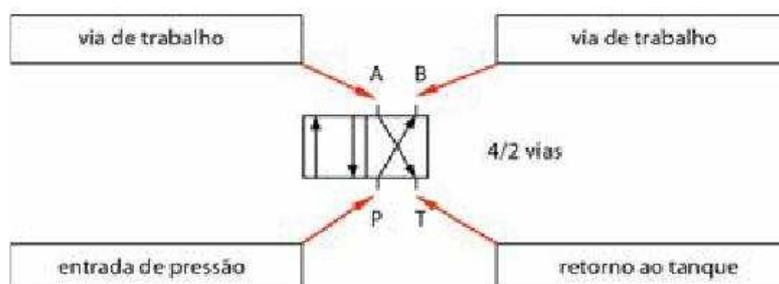
A válvula direcional de 3/3 vias tem os mesmos quadrados da válvula anterior e mais um quadrado entre eles, representando a posição central da válvula.



Nas válvulas de três posições, a posição inicial corresponde sempre ao quadrado central. Nesse caso, com a válvula na posição de descanso, ou seja, centralizada, todas as conexões permanecem bloqueadas.

#### VÁLVULA DIRECIONAL DE 4 VIAS E 2 POSIÇÕES:

A válvula de 4/2 vias possui uma entrada de pressão, um pósito de retorno ao tanque e duas vias de trabalho.



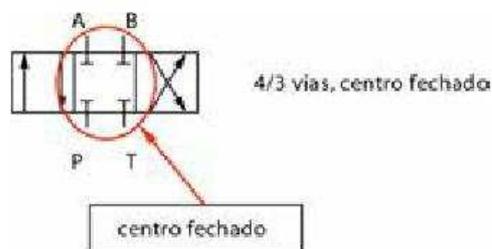
Na posição cruzada, inicial, a pressão do óleo é direcionada para a via de trabalho da direita, ao mesmo tempo que a da esquerda é descarregada para o reservatório.

Acionando a válvula para a posição paralela, a pressão do óleo passa a ser direcionada para a via de trabalho da esquerda, enquanto a da direita retorna ao tanque. Ambas as vias de trabalho descarregam para o reservatório pela mesma conexão de retorno ao tanque.

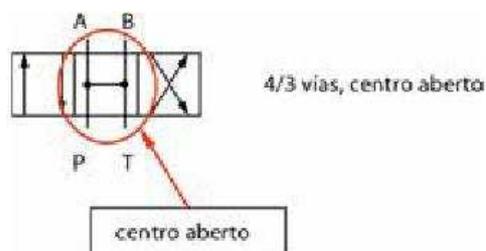
#### VÁLVULAS DIRECIONAIS DE 4 VIAS E 3 POSIÇÕES:

Há várias versões diferentes de posição central inicial para válvulas direcionais de 4/3 vias, de acordo com as características construtivas do carretel:

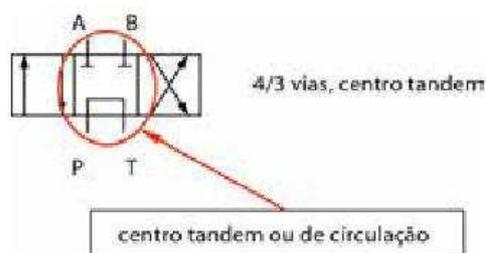
- a) centro fechado: todas as conexões permanecem bloqueadas com a válvula na posição central.



- b) centro aberto: todas as conexões permanecem abertas entre si, com a válvula na posição central.



- c) centro tandem: com a válvula na posição central, a conexão de entrada de pressão é conectada com o pórtico de retorno ao tanque, ao mesmo tempo em que as vias de trabalho permanecem bloqueadas. Este tipo de posição central também é conhecido como centro de circulação pois a pressão hidráulica pode circular livremente para o reservatório.



d) centro de flutuação: com a válvula na posição central, uma das conexões permanece bloqueada e as outras três são interligadas. Há quatro tipos de centro de flutuação:

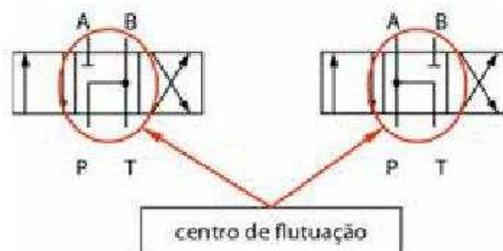
1. entrada de pressão bloqueada e vias de trabalho abertas para o tanque;



2. entrada de pressão aberta para as duas vias de trabalho e retorno ao tanque bloqueado;



3. uma das vias de trabalho bloqueada e as demais conexões abertas entre si.

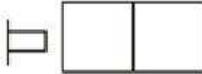
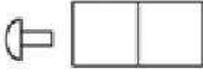
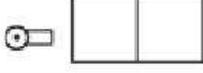


### TIPOS DE ACIONAMENTOS DAS VÁLVULAS DIRECIONAIS:

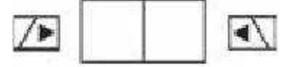
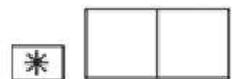
Quanto à forma de acionamento, as válvulas direcionais podem ser acionadas de diversas maneiras:

- por meio de ação muscular, através de botões, pedais, alavancas e manoplas;
- mecanicamente, por meio de roletes, cames, gatilhos e molas;
- hidráulica ou pneumáticamente, através de pressão de pilotagem;
- eletricamente, por meio de eletroímãs ou solenoides;
- pela combinação de dois ou mais métodos de acionamento.

O tipo de acionamento utilizado para mudar a posição de comando da válvula é representado ao lado do quadrado da referida posição, como mostra a tabela a seguir:

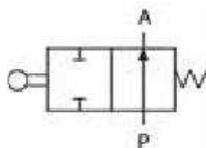
| ação muscular                                  |  |
|--|--|
| acionamento manual                             |    |
| acionamento por botão                          |  |
| acionamento por botão com trava                |  |
| acionamento por alavanca                       |  |
| acionamento por pedal                          |  |
| ação mecânica                                  |  |
| acionamento por apalpador ou came              |  |
| acionamento por rolete mecânico                |  |
| acionamento por rolete escamoteável ou gatilho |  |

| ação mecânica  |  |
|--|--|
| retorno ou centragem por mola  |  |
| detente ou trava   |  |
| pressão de pilotagem   |  |
| acionamento por piloto pneumático  |  |
| acionamento por piloto pneumático duplo  |  |
| acionamento por piloto hidráulico  |  |
| acionamento por piloto hidráulico duplo  |  |
| ação elétrica  |  |
| acionamento por solenoide  |  |
| acionamento por duplo solenoide  |  |
|  |  |
| ação combinada   |  |
| acionamento por solenoide e piloto ou manual de emergência, com retorno por mola |  |

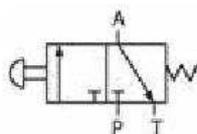
| ação combinada   |  |
|--|--|
| acionamento por solenoide e piloto, com retorno por mola |  |
| acionamento por duplo solenoide e piloto                 |  |
| ação especial não padronizada                            |  |
| acionamento especial                                     |  |

Exemplos:

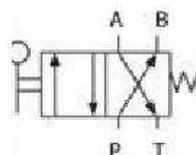
- Válvula direcional de duas vias e duas posições (2/2 vias), normal aberta (NA), com acionamento por rolete mecânico e reposicionamento por mola.



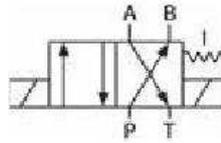
- Válvula direcional de três vias e duas posições (3/2 vias), normal fechada (NF), com acionamento manual por botão e reposicionamento por mola.



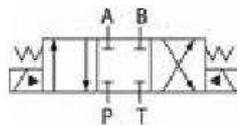
- Válvula direcional de quatro vias e duas posições (4/2 vias), com acionamento manual por alavanca e retorno por mola.



- Válvula direcional de quatro vias e duas posições (4/2 vias), acionada eletricamente por duplo solenoide, com trava nas duas posições (detente).



- Válvula direcional de quatro vias e três posições (4/3 vias), centro fechado, com acionamento por duplo solenoide e duplo piloto, e centrada por molas.



## CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUÇÃO E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DAS VÁLVULAS DIRECIONAIS

Basicamente, as válvulas direcionais são produzidas pelos fabricantes em três diferentes tipos construtivos: de carretel giratório, de carretel deslizante e de assento.

As válvulas direcionais de carretel são as mais encontradas, pela simplicidade de construção, pequeno esforço de acionamento e, principalmente, pela multiplicidade de funções de comando.

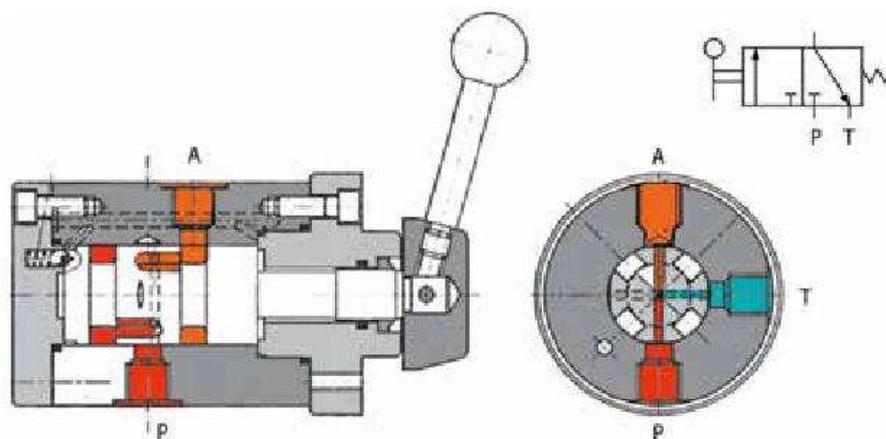
### 1. Válvula direcional de carretel giratório:

As válvulas de carretel giratório possuem um êmbolo ranhurado, montado no interior de uma carcaça circular.

As ranhuras do êmbolo abrem e fecham as passagens entre os pórticos de entrada e de saída, usinados no corpo da válvula.

A figura a seguir apresenta uma válvula direcional de 3/2 vias NF com carretel giratório, acionada manualmente por meio de uma alavanca e reposicionada por mola.

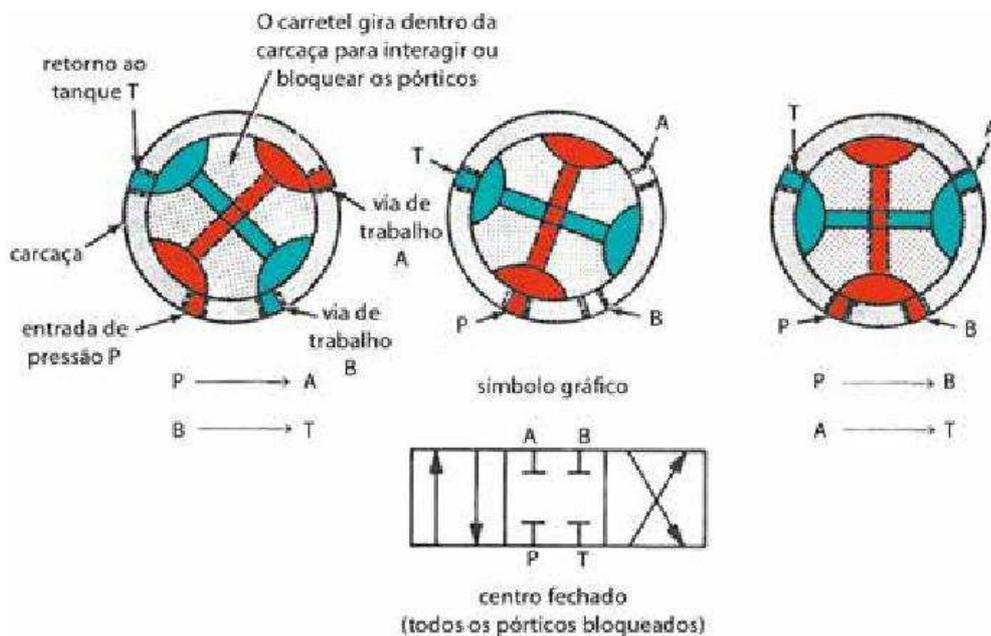
Enquanto a alavanca não for acionada, a válvula permanece na sua posição inicial NF, ou seja, o pórtico de entrada de pressão **P** está bloqueado e a via de trabalho **A** aberta ao tanque, através do pórtico **T**.



Válvula direcional de 3/2 vias NF, com carretel giratório

Girando a alavanca, o pórtico de entrada de pressão **P** é direcionado para a via de trabalho **A**, ao mesmo tempo que o pórtico de retorno ao tanque **T** é bloqueado.

A figura a seguir apresenta outra versão de válvula direcional com carretel giratório. Trata-se de uma válvula de 4/3 vias com centro fechado.



Válvula direcional de 4/3 vias com centro fechado, de carretel giratório

Na posição central desta válvula, todos os pórticos estão bloqueados.

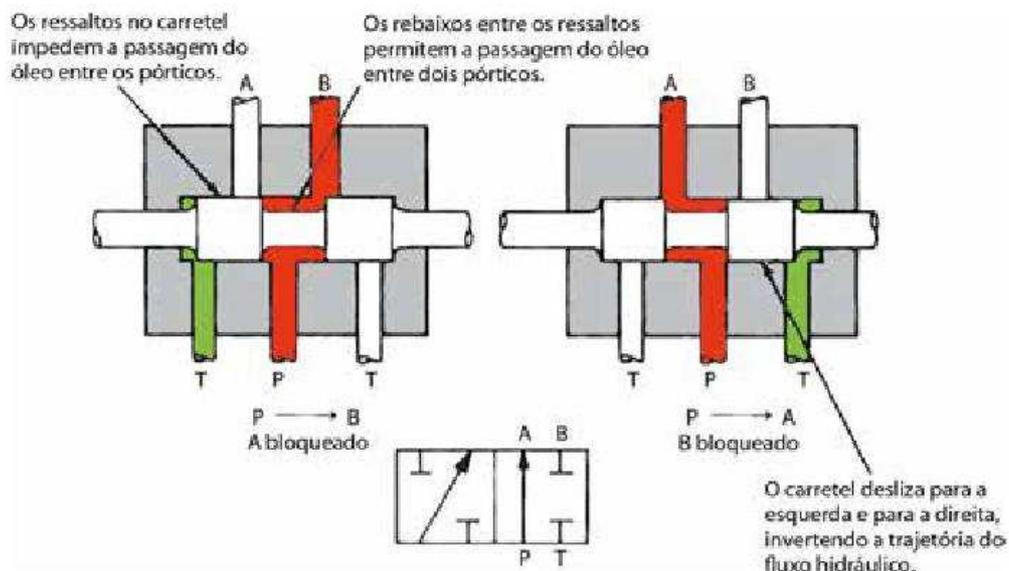
Girando o carretel para a posição paralela da válvula, abre-se a passagem do óleo do pórtico de pressão **P** para a via de trabalho **A** e descarrega-se a via de trabalho **B** para o tanque, através do pórtico **T**. Por outro lado, girando o carretel no sentido contrário, para a posição cruzada da válvula, **P** é direcionado para **B** e **A** é aberto a **T**.

Em geral, as válvulas direcionais de carretel giratório são acionadas manual ou mecanicamente e são empregadas para pilotar hidráulicamente outras válvulas. A inversão de movimentos da mesa de uma retificadora plana é uma aplicação típica desse tipo de válvula direcional.

## 2. Válvula direcional de carretel deslizante:

As válvulas de carretel deslizante possuem um êmbolo com ressalto e rebaixos usinados ao longo de seu comprimento, montado no interior de uma carcaça.

Esses ressalto e rebaixos têm a função de abrir e fechar as passagens entre os pórticos de entrada e de saída, quando o carretel desliza no interior do corpo da válvula.



Válvula direcional de 4/2 vias, com carretel deslizante

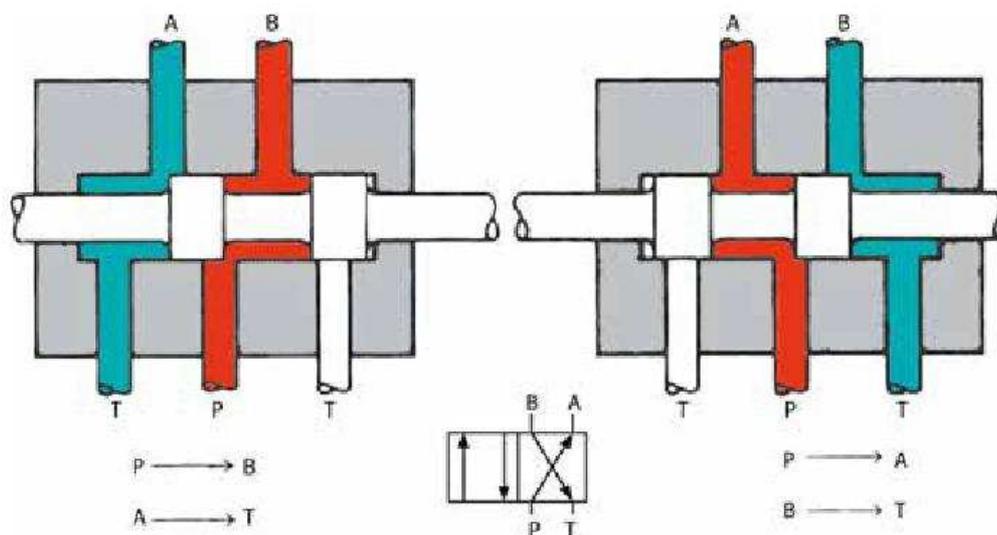
Nesta válvula, com o carretel acionado para a direita, o pórtico de entrada de pressão **P** está aberto para a via de trabalho **B**, enquanto o retorno ao tanque **T** e a via de trabalho **A** permanecem bloqueados.

Deslizando o carretel para a esquerda, o pórtico de entrada de pressão **P** é aberto para a via de trabalho **A**, enquanto o retorno ao tanque **T** e a via de trabalho **B** são bloqueados.

**Observação:**

Com esse tipo de carretel, o pórtico de retorno ao tanque **T** permanece fechado nas duas posições de comando. Nesse caso, **T** é utilizado apenas para drenar o óleo que penetra nas folgas entre o diâmetro externo do carretel e o interno da carcaça, lubrificando e reduzindo o atrito entre as peças móveis. Essa drenagem é obrigatória para evitar que o acúmulo de óleo nas extremidades do carretel crie um calço hidráulico, o qual poderá interferir no movimento do carretel e, conseqüentemente, no funcionamento da válvula.

A figura a seguir apresenta outra válvula direcional de 4/2 vias com carretel deslizante, montada com um carretel diferente da anterior, permitindo-lhe exercer outra função em um circuito hidráulico.



Válvula direcional de 4/2 vias, com carretel deslizante

Com esse outro tipo de carretel, acionando o carretel para a direita, na posição paralela, o óleo pode fluir do pórtico de entrada de pressão **P** para a via de trabalho **B**, ao mesmo tempo que o óleo que retorna pela via de trabalho **A** é direcionado de volta ao reservatório pelo pórtico de retorno ao tanque **T**.

Acionando o carretel para a esquerda, na posição cruzada, inverte-se o sentido do fluxo de óleo. Agora, o pórtico de entrada de pressão **P** é conectado com a via de trabalho **A**, enquanto **B** retorna ao tanque através de **T**.

A figura a seguir apresenta uma válvula direcional de 4/2 vias de carretel deslizante, acionada por um rolete mecânico com reposição por mola.

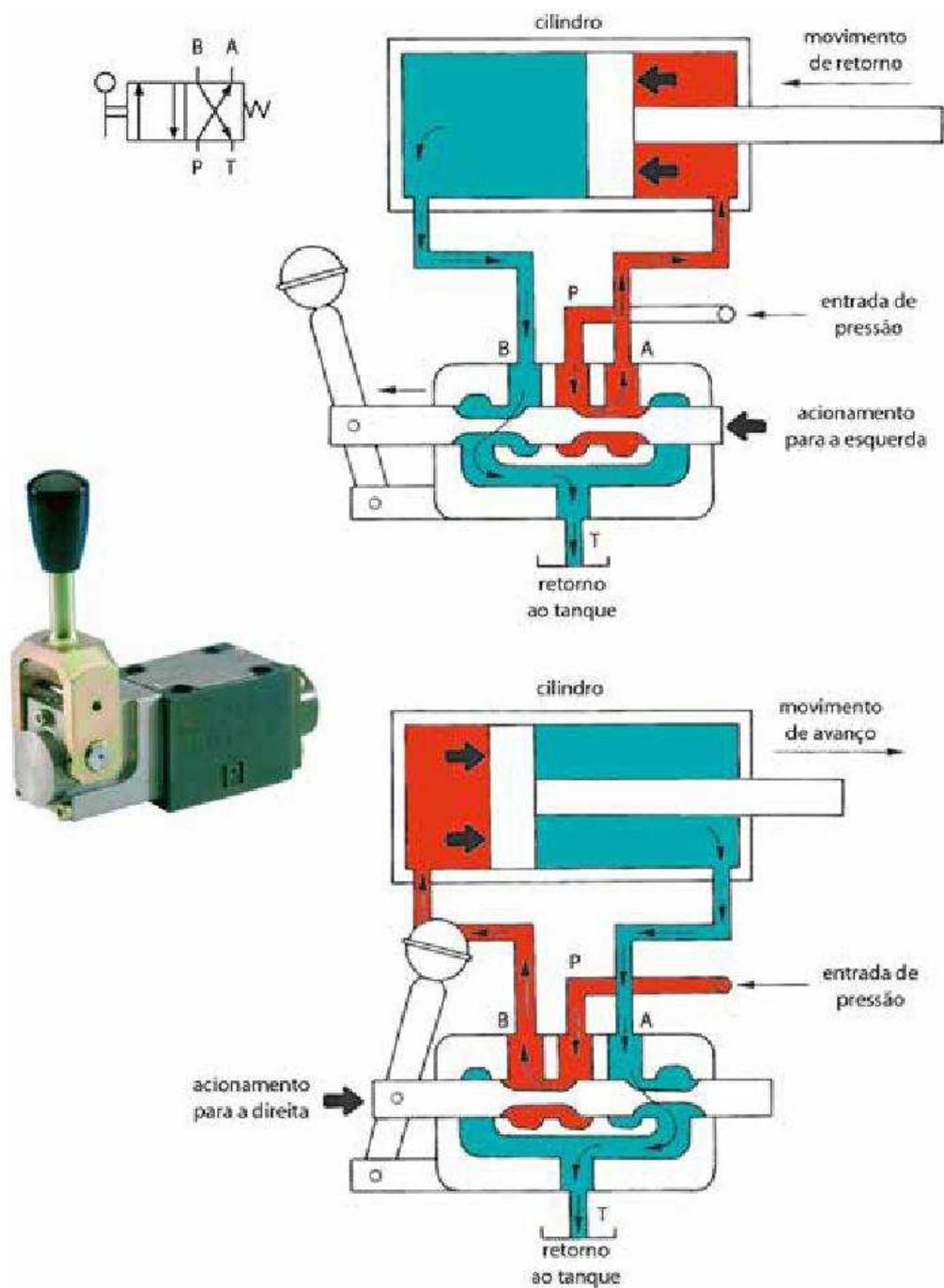


Esse tipo de válvula pode ser aplicada, por exemplo, no comando dos movimentos de avanço e de retorno de um cilindro de ação dupla.

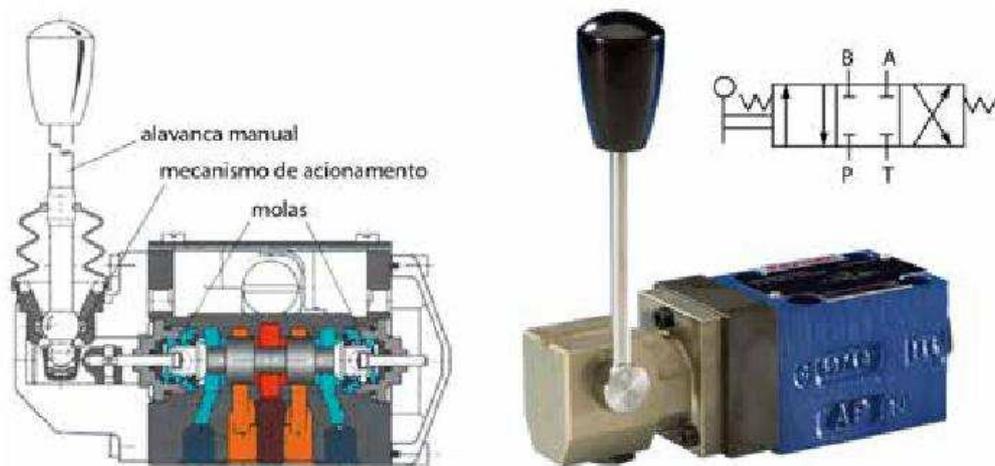
A figura a seguir representa o esquema desse comando, utilizando uma válvula direcional de 4/2 vias, acionada manualmente por meio de uma alavanca.

Acionando a alavanca da válvula para a esquerda, o óleo da linha de pressão flui de **P** para **A**, em direção à câmara dianteira do cilindro, fazendo com que sua haste retorne. O óleo acumulado na câmara traseira é direcionado de volta ao reservatório, fluindo através da válvula de **B** para **T**.

Ao contrário, acionando-se a alavanca da válvula para a direita, o óleo da linha de pressão flui de **P** para **B**, em direção à câmara traseira do cilindro, fazendo com que sua haste avance. Desta vez, o óleo acumulado na câmara dianteira é direcionado de volta ao reservatório, fluindo através da válvula de **A** para **T**.



As figura a seguir apresenta outra válvula direcional de carretel deslizante, agora com três posições de comando.



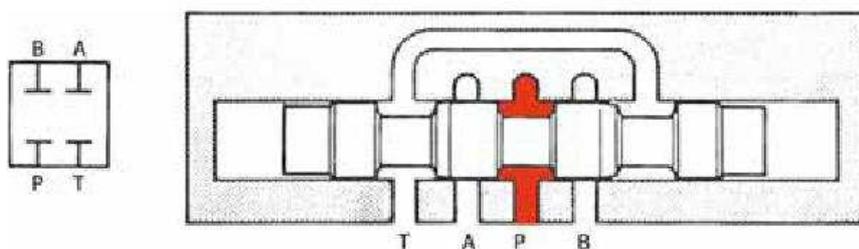
Trata-se de uma válvula de 4/3 vias com centro fechado, acionada manualmente por meio de alavanca e centrada por molas.

Enquanto a alavanca não for acionada, as molas centralizam o carretel, mantendo, nesse caso, todos os pórticos da válvula bloqueados.

Essa posição permite a parada do movimento do cilindro em qualquer ponto de seu curso, tanto no avanço como no retorno. Da mesma forma, permite a parada de um atuador rotativo (motor hidráulico), seja qual for o seu sentido de rotação.

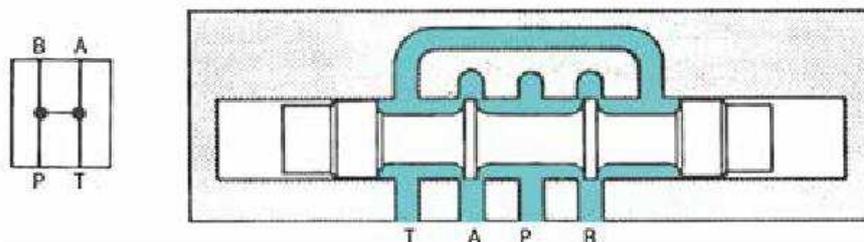
As características de construção do carretel deslizante oferecem, ainda, vários tipos diferentes de centro para as válvulas de três posições, de acordo com o comando a ser efetuado.

a) carretel de centro fechado:



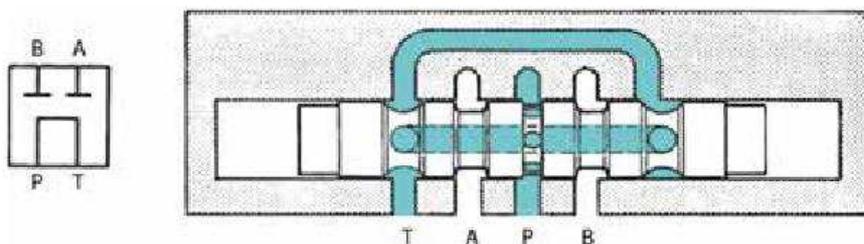
O carretel de centro fechado mantém todos os pórticos bloqueados, com a válvula na posição central de comando. Trata-se de um carretel simétrico, o que permite montá-lo em qualquer posição dentro do corpo da válvula sem alterar a ligação entre os pórticos.

## b) carretel de centro aberto:



Esse carretel permite que todos os pórticos permaneçam abertos entre si, com a válvula na posição central de comando. Assim como o anterior, esse carretel também é simétrico e, portanto, pode ser montado em qualquer posição sem alterar a ligação entre os pórticos.

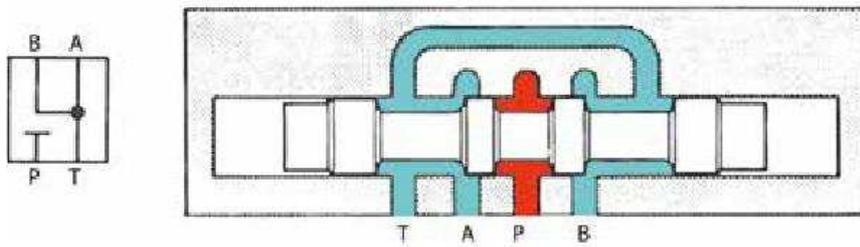
## c) carretel de centro tandem:



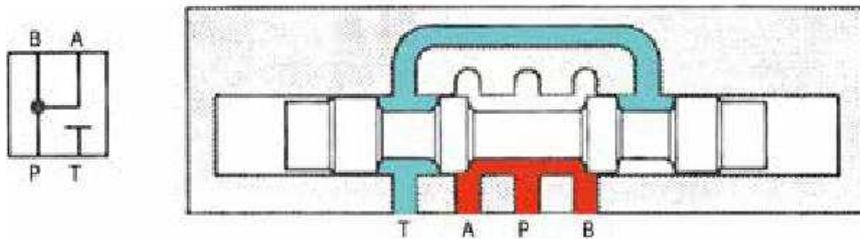
O carretel de centro tandem, também conhecido como centro de circulação, interliga os pórticos P e T e bloqueia as vias de trabalho A e B, com a válvula na posição central de comando. Através de um orifício usinado no interior do carretel, o óleo da linha de pressão P pode fluir livremente para o tanque T, enquanto as vias de trabalho A e B permanecem fechadas. Da mesma forma como os anteriores, esse carretel também é simétrico, permitindo montá-lo em qualquer posição no interior do corpo da válvula sem modificar o estado dos pórticos.

## d) centros de flutuação:

O centro de flutuação se caracteriza por ter sempre um pórtico bloqueado e os outros três abertos entre si, com a válvula na posição central de comando. Há vários tipos de centro de flutuação:

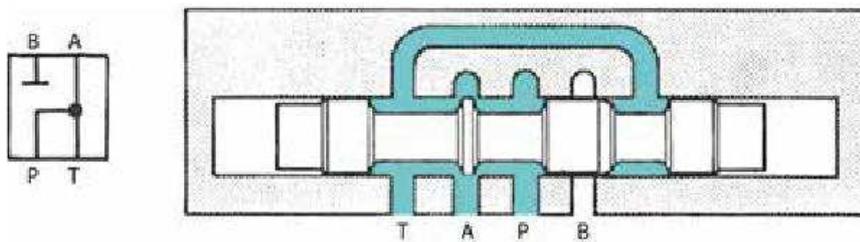


Entrada de pressão **P** bloqueada, vias de trabalho **A** e **B** abertas ao tanque **T**



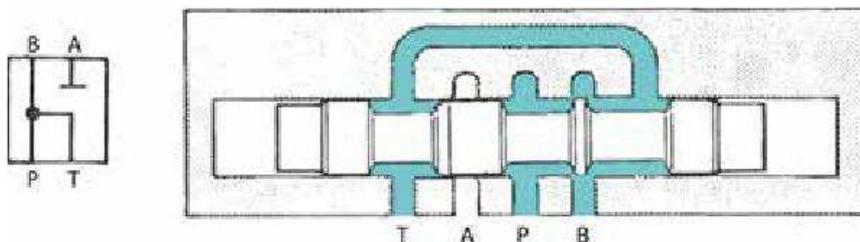
Retorno ao tanque **T** bloqueado, entrada de pressão **P** aberta para **A** e para **B**

Nesses dois casos o carretel é simétrico, podendo ser montado em qualquer posição dentro do corpo da válvula, sem alterar a ligação entre os pórticos.



Via de trabalho **B** bloqueada, entrada de pressão **P** e via de trabalho **A** abertas ao tanque **T**

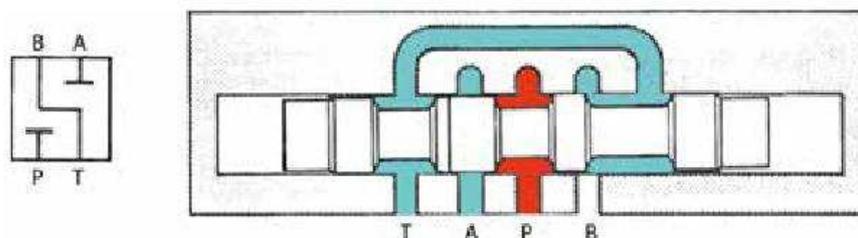
Nesse caso, como o carretel não é simétrico, basta invertê-lo de posição dentro do corpo da válvula para se obter o tipo de centro de flutuação apresentado a seguir.



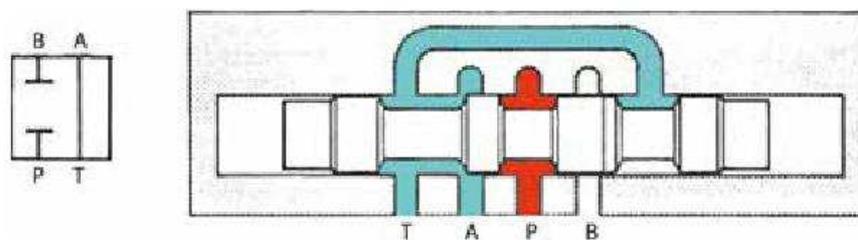
Via de trabalho **A** bloqueada, entrada de pressão **P** e via de trabalho **B** abertas ao tanque **T**

## e) outros tipos de centros:

Além dos centros já apresentados, existem alguns carretéis que oferecem tipos especiais de centro para aplicações específicas:



**P e A** bloqueados, **B** aberto ao tanque **T**



**P e B** bloqueados, **A** aberto ao tanque **T**

Comparando esses dois tipos de centro, pode-se observar que trata-se do mesmo carretel, nesse caso, assimétrico, montado de forma invertida dentro do corpo da válvula.

Em outras palavras, ao inverter a posição de um carretel assimétrico, troca-se somente as condições de operação das vias de trabalho **A** e **B** da válvula, permanecendo inalteradas as condições da entrada de pressão **P** e do retorno ao tanque **T**.

Nos exemplos apresentados:

- a via de trabalho **B** era aberta, invertendo-se o carretel passa a ser bloqueada;
- a via de trabalho **A** era fechada, invertendo-se o carretel passa a ser aberta;

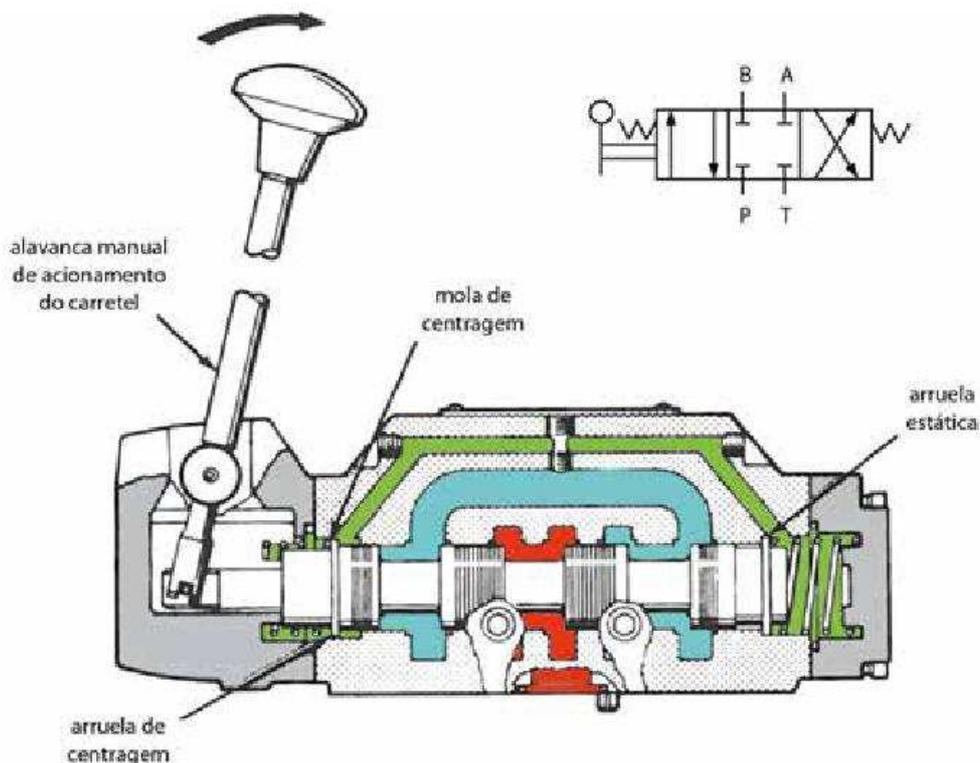
Assim, em uma válvula direcional de três posições, não é necessário desmontá-la para verificar se o carretel é simétrico ou não. Basta observar o tipo de centro representado pela simbologia.

Se o centro da válvula tiver as duas vias de trabalho **A** e **B** nas mesmas condições de operação, ou seja, ambas abertas ou fechadas, trata-se de um carretel simétrico que pode ser montado em qualquer posição.

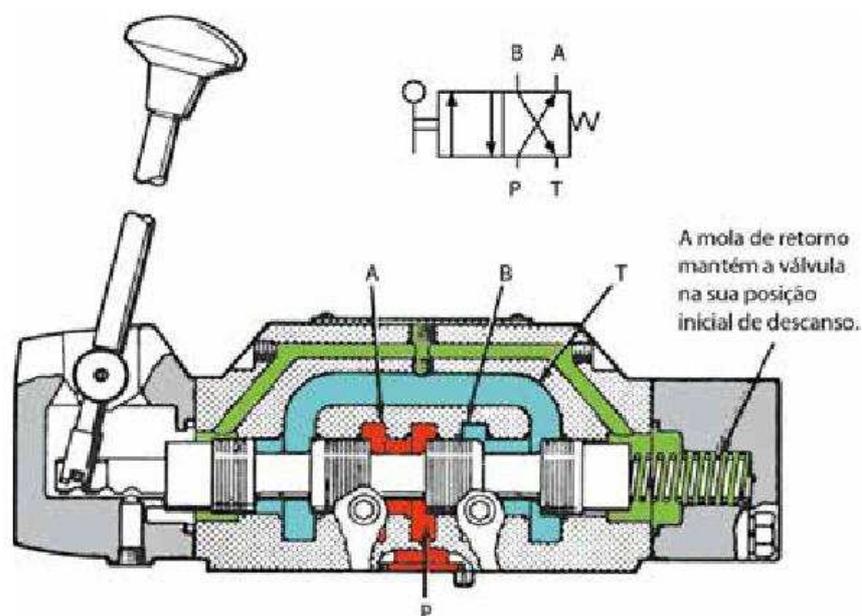
Por outro lado, se as vias de trabalho **A** e **B** forem diferentes entre si, isto é, uma aberta e outra fechada, trata-se de um carretel assimétrico. Ao ser montado de forma invertida modifica o tipo de centro da válvula.

Enquanto o corpo da válvula direcional apresenta as mesmas características construtivas, com apenas algumas alterações nas dimensões dos ressaltos e rebaixos do carretel, pode-se modificar o tipo de centro de uma válvula de três posições. Isso significa que, para substituir determinado tipo de centro de uma válvula, por outro com funções diferentes, basta trocar o carretel.

Veja outro exemplo de válvula direcional de 4/3 vias com centro fechado, acionada manualmente por alavanca e centrada por molas:

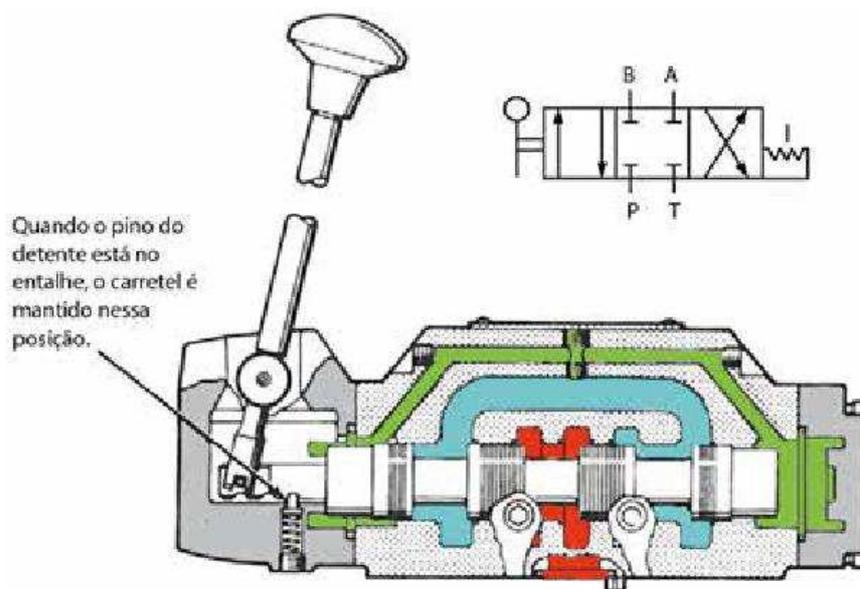


A válvula apresentada a seguir tem as mesmas características de construção mas, com pequenas alterações de montagem, passa a exercer a função de 4/2 vias com reposição por mola.



Na montagem, a tampa direita foi substituída por outra com uma mola de retorno e a mola da extremidade esquerda do carretel, no cabeçote de acionamento, foi retirada.

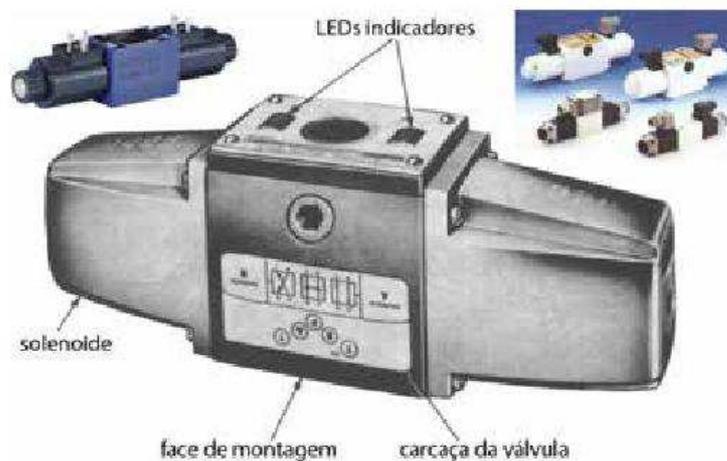
Outras alterações na montagem podem modificar ainda mais a válvula. O exemplo a seguir mostra o mesmo conjunto montado para trabalhar com 4/3 vias, centro fechado, acionamento manual por alavanca e trava nas três posições de comando.



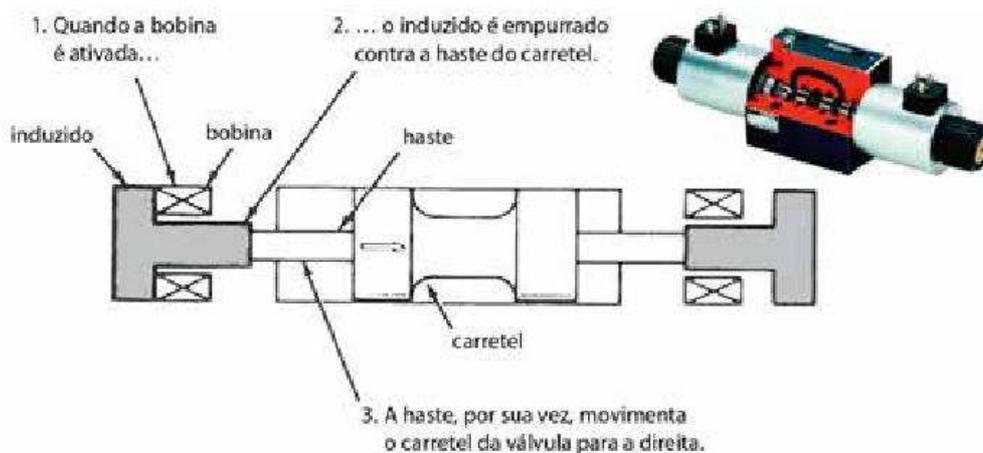
Nesse caso, um detente acionado por mola foi montado na base inferior do cabeçote esquerdo de acionamento. O detente trava o carretel nas três posições de comando, por meio de três entalhes usinados na sua extremidade esquerda, logo abaixo do acoplamento com a alavanca de acionamento.

A válvula direcional, apresentada a seguir, possui 4/3 vias, centro aberto, acionada eletricamente por solenoides e centrada por molas.

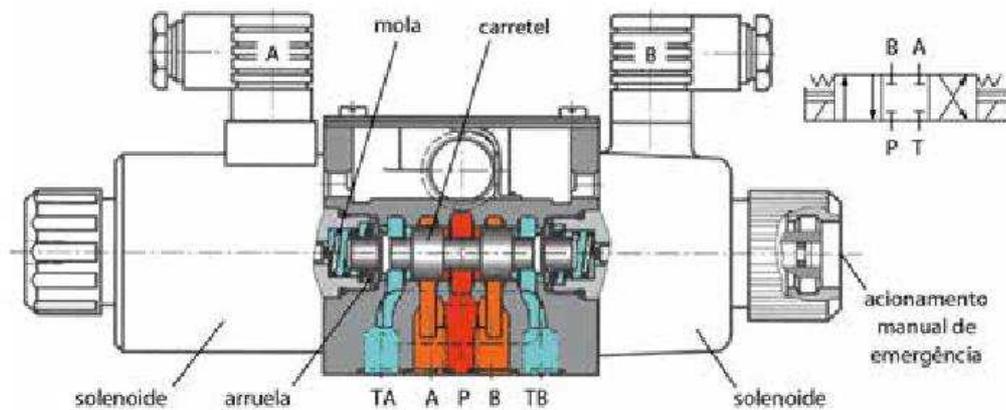
O acionamento elétrico por solenoides funciona por meio de campo eletromagnético que aciona o carretel da válvula quando uma das bobinas, situadas em suas extremidades, é energizada.



Uma plaqueta de identificação, fixada à carcaça da válvula, fornece todos os dados referentes às suas características de funcionamento e capacidade de vazão.

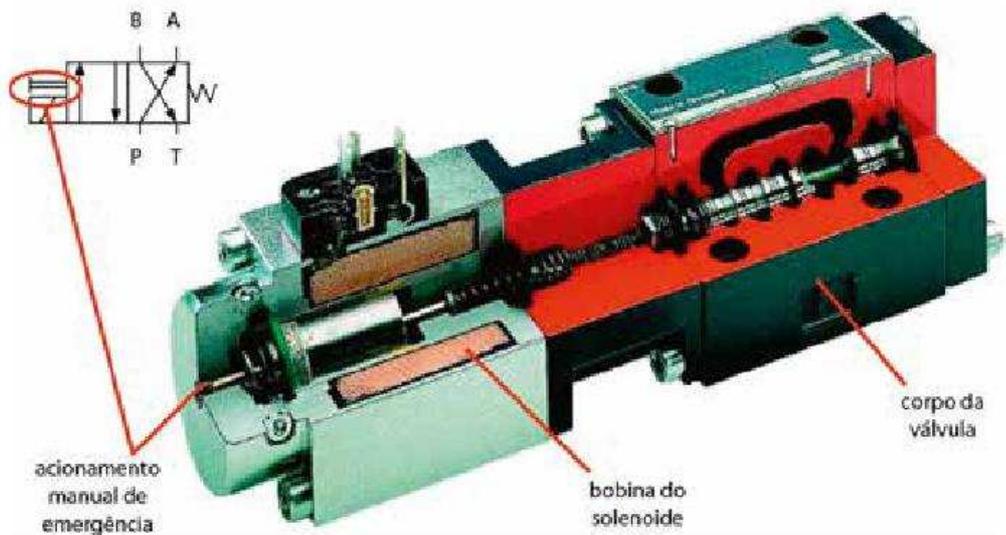


Princípio de operação de um acionamento eletromagnético



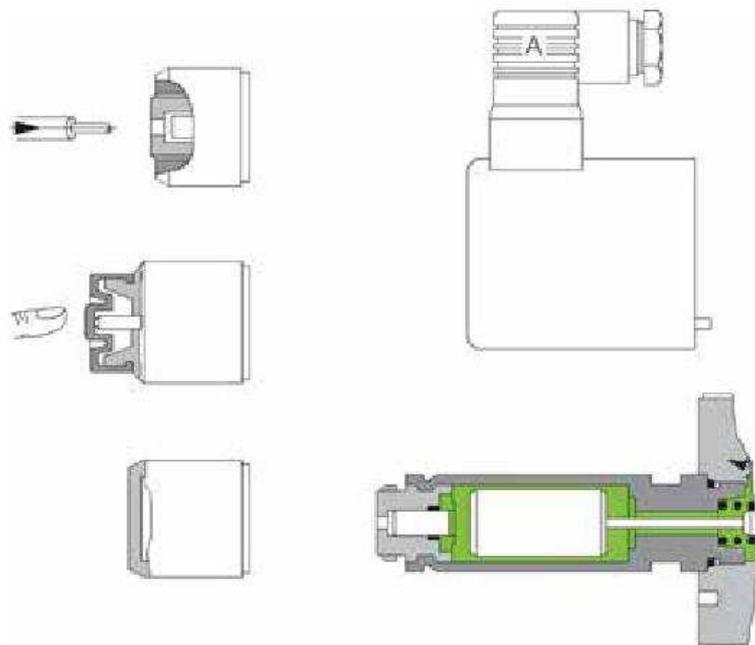
Válvula direcional de 4 vias, 3 posições de comando, centro fechado, acionada eletricamente por solenóides, centrada por molas, com acionamento manual de emergência.

Um acionamento manual de emergência, representado também na simbologia da válvula, permite comutar o carretel no caso de queda de energia elétrica.



Válvula direcional de 4 vias, 2 posições de comando, acionada eletricamente por solenóide, reposicionada por mola, com acionamento manual de emergência.

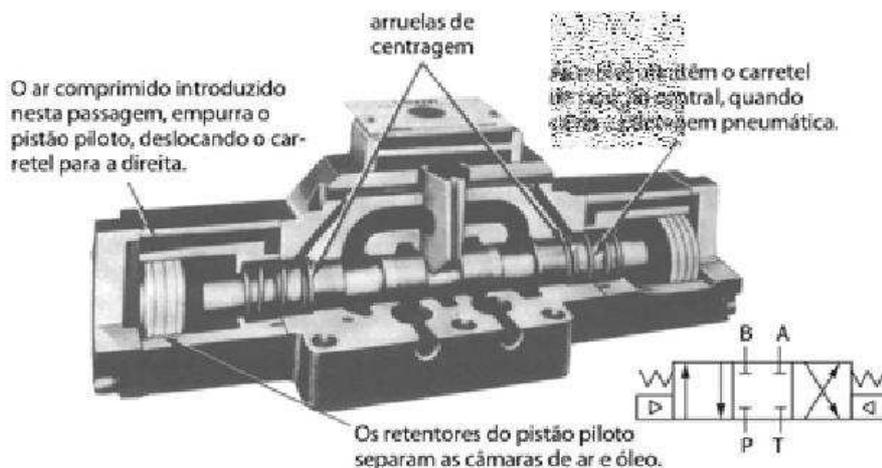
Um dos métodos de acionamento bastante utilizado em sistemas hidráulicos, empregado principalmente em válvulas direcionais de médio e grande portes, em que é necessário muito esforço para movimentar o carretel, é a pilotagem que pode ser pneumática ou hidráulica.



Acionamento manual de emergência

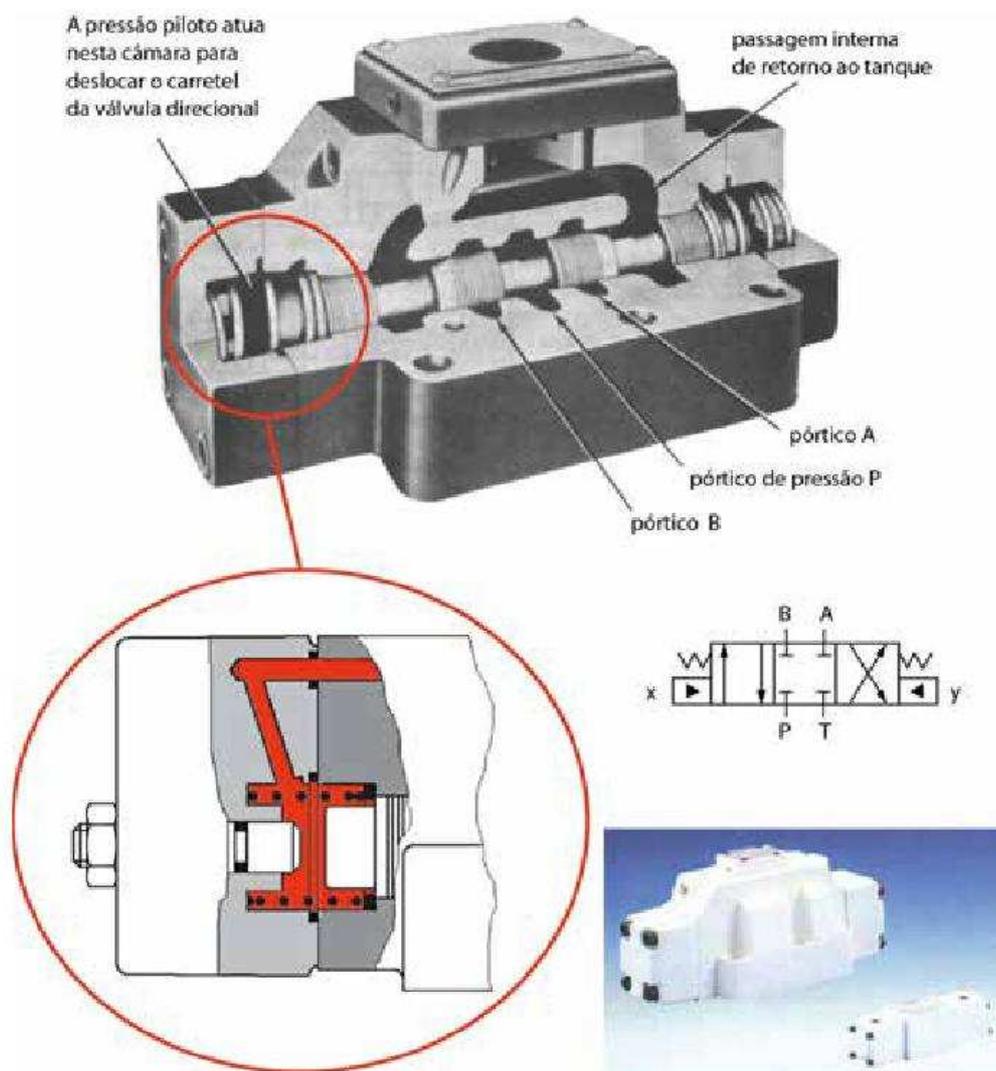
A pilotagem de uma válvula direcional consiste em injetar, alternadamente, ar comprimido ou óleo sob pressão nas extremidades do carretel, com o intuito de comutar sua posição dentro da carcaça da válvula.

A válvula direcional apresentada a seguir possui quatro vias e três posições de comando, centro fechado, é pilotada pneumaticamente por pressão de ar comprimido e centrada por molas.



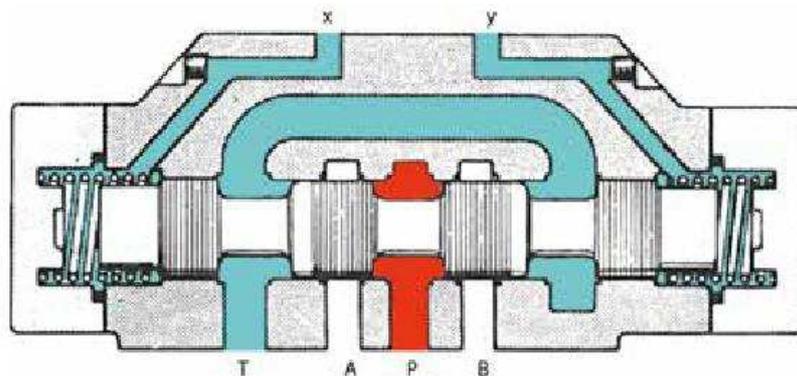
Válvula direcional de 4/3 vias, centro fechado, pilotada pneumaticamente e centrada por molas

A figura a seguir mostra outra válvula direcional de quatro vias e três posições de comando, com as mesmas características da anterior, agora com pilotagem hidráulica. O próprio óleo do sistema, sob pressão, aciona o carretel alternadamente, para a direita e para a esquerda. Uma vez cessada a pilotagem, as molas levam a válvula para a sua posição central.

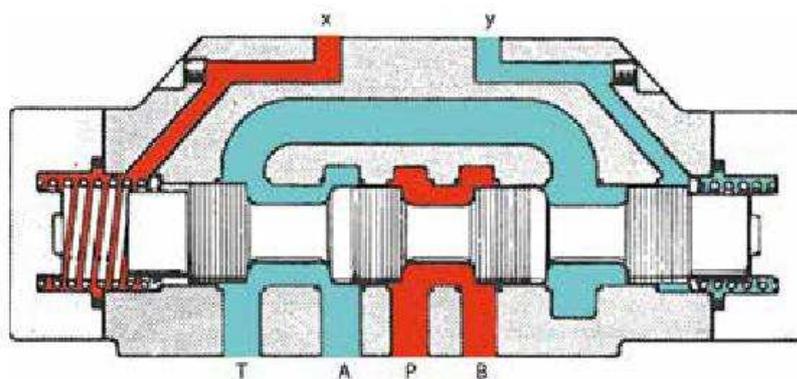


Válvula direcional de 4/3 vias, centro fechado, pilotada hidráulicamente e centrada por molas

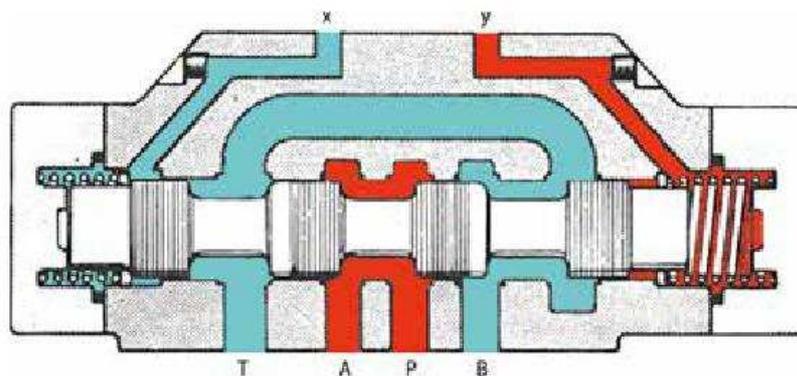
Enquanto não houver pressão hidráulica nos pilotos **x** e **y**, as molas centralizam o carretel. Como se trata de um centro fechado, todos os pórticos (**P**, **A**, **B** e **T**) permanecem bloqueados.



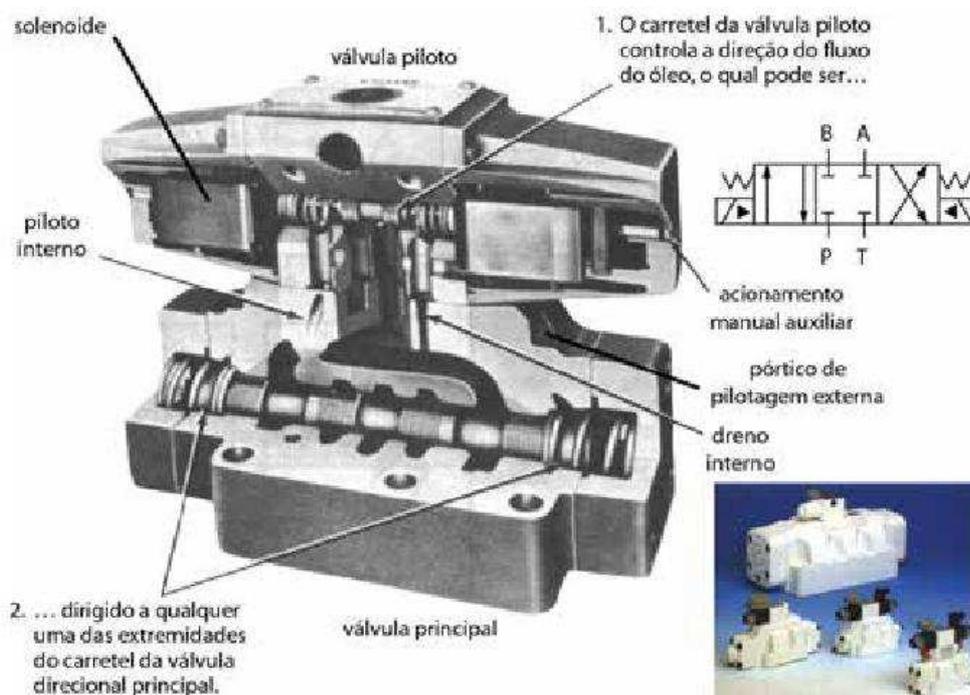
Quando o piloto **x** é pressurizado, ao mesmo tempo que **y** é aliviado para o tanque, o carretel é empurrado para a direita, comutando a válvula para a posição paralela. Nessa posição, a entrada de pressão **P** é aberta para a via de trabalho **B**, enquanto a via de trabalho **A** é descarregada para o reservatório através do pórtico de retorno **T**.



Ao contrário, quando o piloto **y** é submetido à pressão e **x** desviado ao tanque, o carretel é pilotado para a esquerda, comutando a válvula para a posição cruzada e abrindo as passagens do óleo de **P** para **A** e de **B** para **T**.



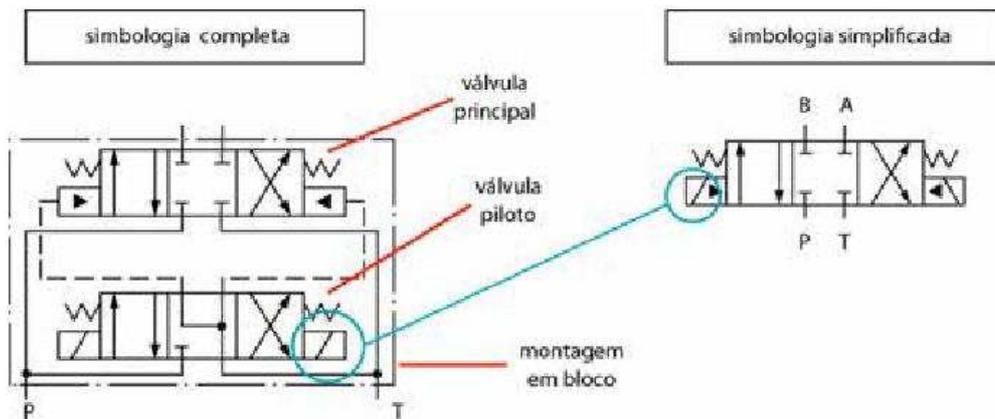
O controle de pressurização e descarga dos pilotos x e y é efetuado por válvulas direcionais de pequeno porte, chamadas de válvulas piloto, geralmente acionadas eletricamente, as quais podem ser montadas a distância (controle remoto) ou fixadas diretamente sobre o corpo da válvula principal, como mostra a figura a seguir.



Neste caso, a válvula inferior, de grande porte, é chamada de válvula de comando principal. É ela quem comanda diretamente os atuadores do sistema hidráulico.

A válvula de cima apenas pilota o carretel da válvula principal para uma de suas posições de comando.

A simbologia deve representar todas as características da válvula principal, tais como: vias de entrada e de saída, posições de comando, tipo de centro utilizado, molas de centralização do carretel e os pilotos de acionamento. Da válvula piloto, a simbologia representa apenas o método de acionamento, nesse caso, somente os solenoides.

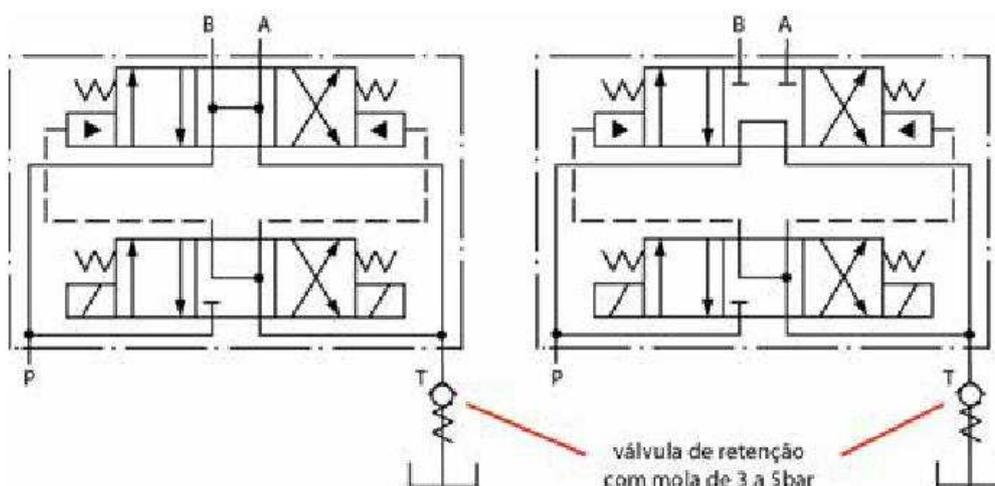


simbologia simplificada = símbolo da válvula principal + acionadores da válvula piloto

A linha traço-ponto representa que as duas válvulas estão montadas em um único bloco. Na representação simbólica de um circuito hidráulico, esse tipo de linha é utilizado sempre que dois ou mais componentes fazem parte de uma só carcaça e estão interligados sem o uso de tubos ou mangueiras flexíveis.

Geralmente, quando a válvula principal apresenta três posições de comando, a válvula piloto possui um centro de flutuação com a entrada de pressão **P** bloqueada e as vias **A** e **B** abertas para o tanque **T**. Esse recurso é utilizado para aliviar a pressão dos dois lados do carretel da válvula principal e facilitar sua centralização pelas molas, quando os solenoides da válvula piloto estiverem desligados.

Quando a válvula principal tiver um centro aberto ou de circulação (tandem), onde todo o óleo da linha de entrada de pressão **P** é liberado para o tanque, é uti-

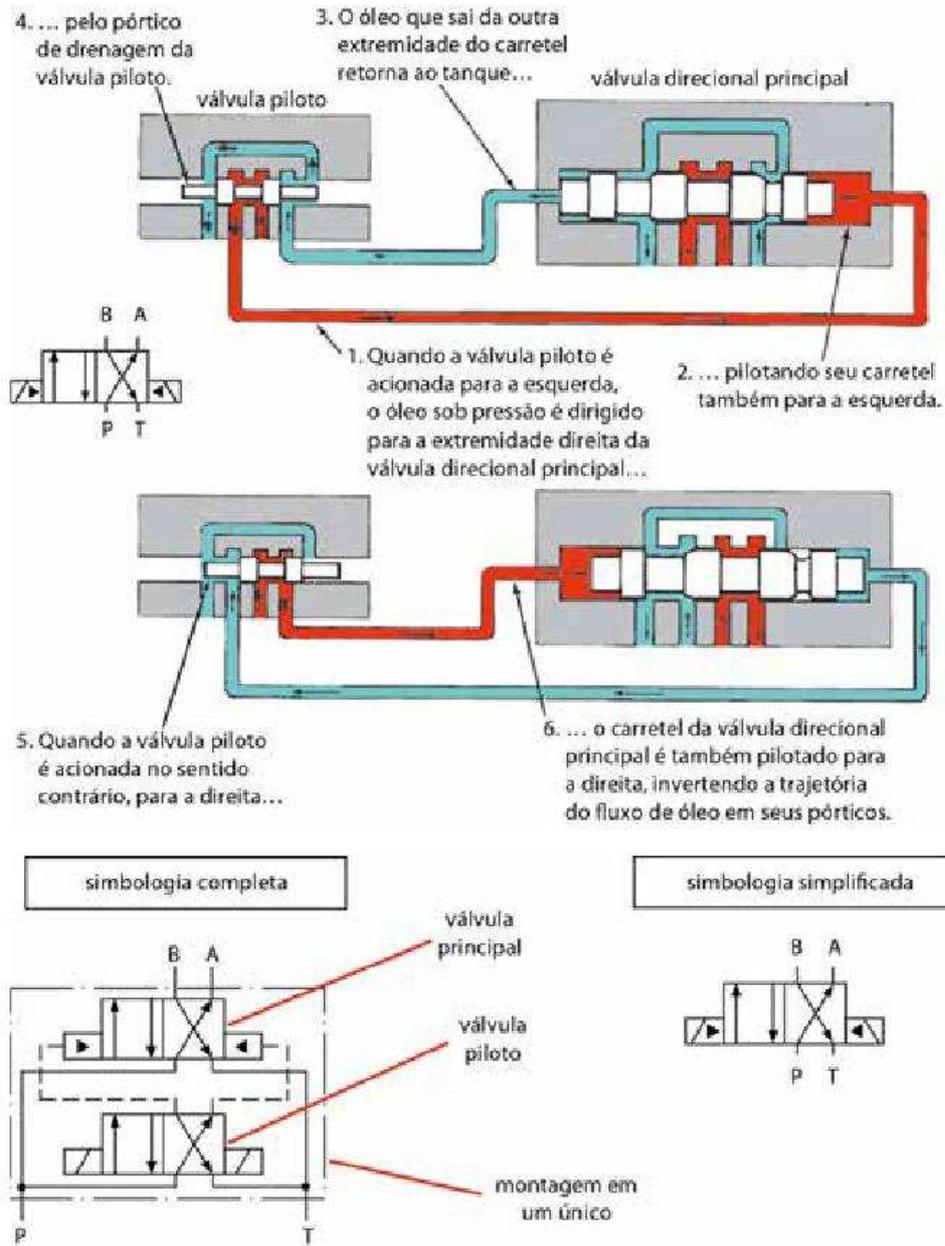


Válvula principal de centro aberto

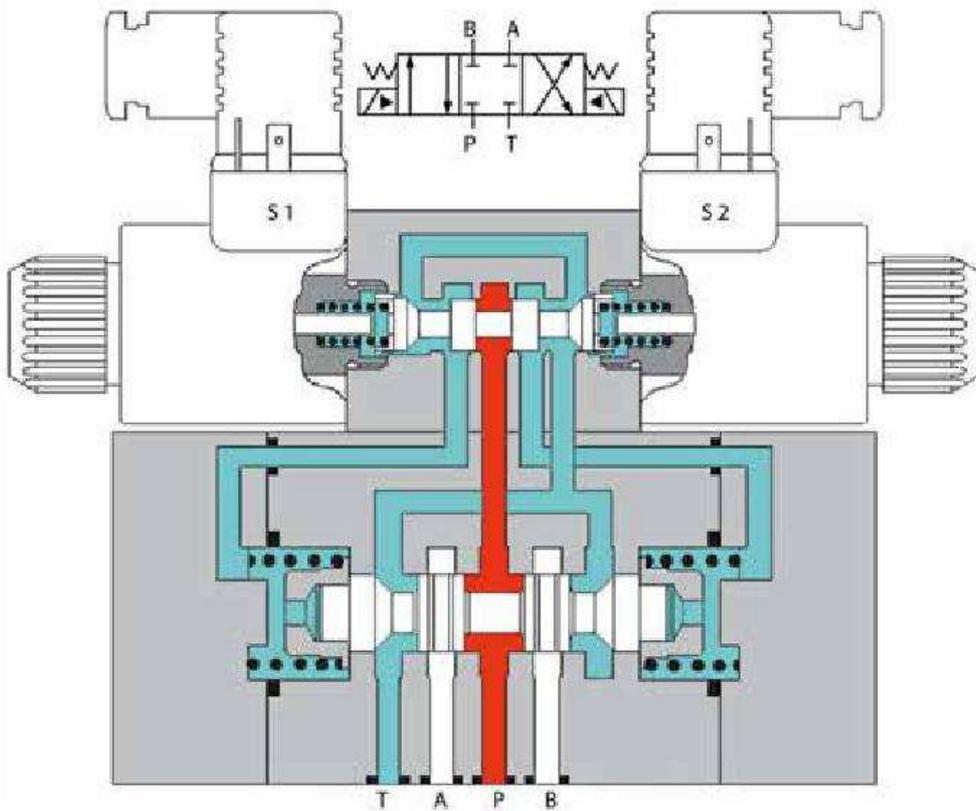
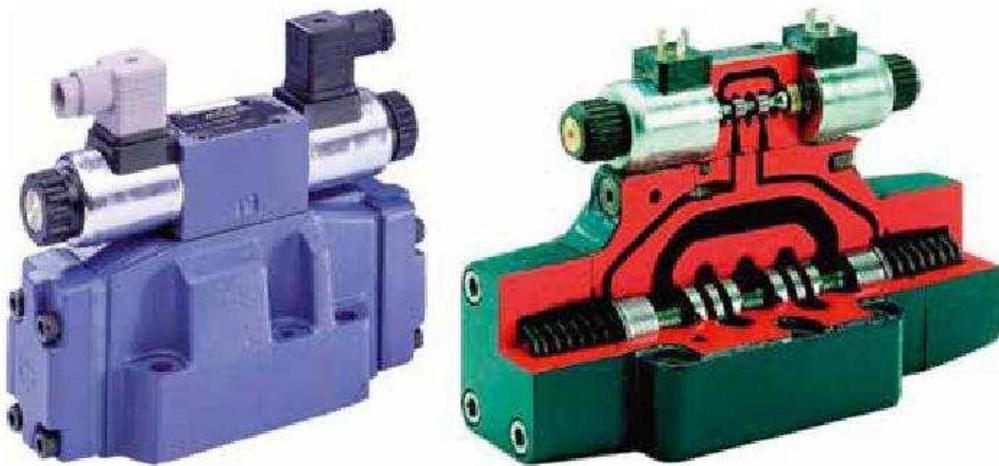
Válvula principal de centro tandem

lizada uma válvula de retenção na linha de retorno T, com uma mola de 3 a 5 bar, para manter uma pequena pressão de alimentação na válvula piloto, suficiente para que ela possa comutar o carretel da principal.

A figura a seguir mostra, de forma esquemática, uma válvula piloto comutando o carretel de uma válvula principal de quatro vias, com duas posições de comando.



simbologia simplificada = símbolo da válvula principal + acionadores da válvula piloto

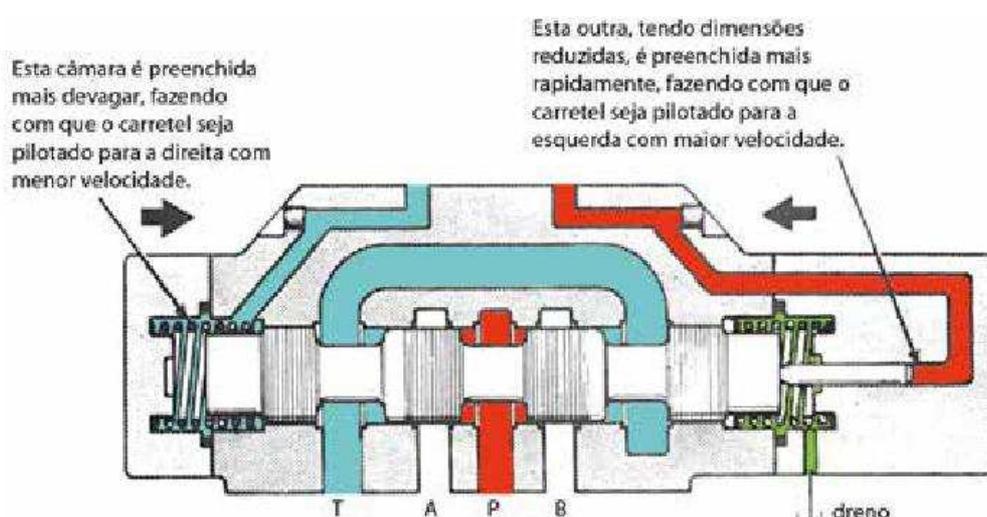


Válvula direcional de 4 vias, 3 posições de comando, centro fechado, acionada eletricamente por solenóides, pilotada hidráulicamente e centrada por molas

Quando a válvula direcional principal possui grandes dimensões, a quantidade de óleo necessária para pilotar seu carretel também é grande, o que pode fazer com que as mudanças de posição ocorram muito devagar, em uma velocidade menor que a desejada.

Um recurso utilizado para amenizar esse problema é a utilização de pistões-piloto, montados nas tampas laterais da válvula principal, para empurrar o carretel para as suas diferentes posições de comando.

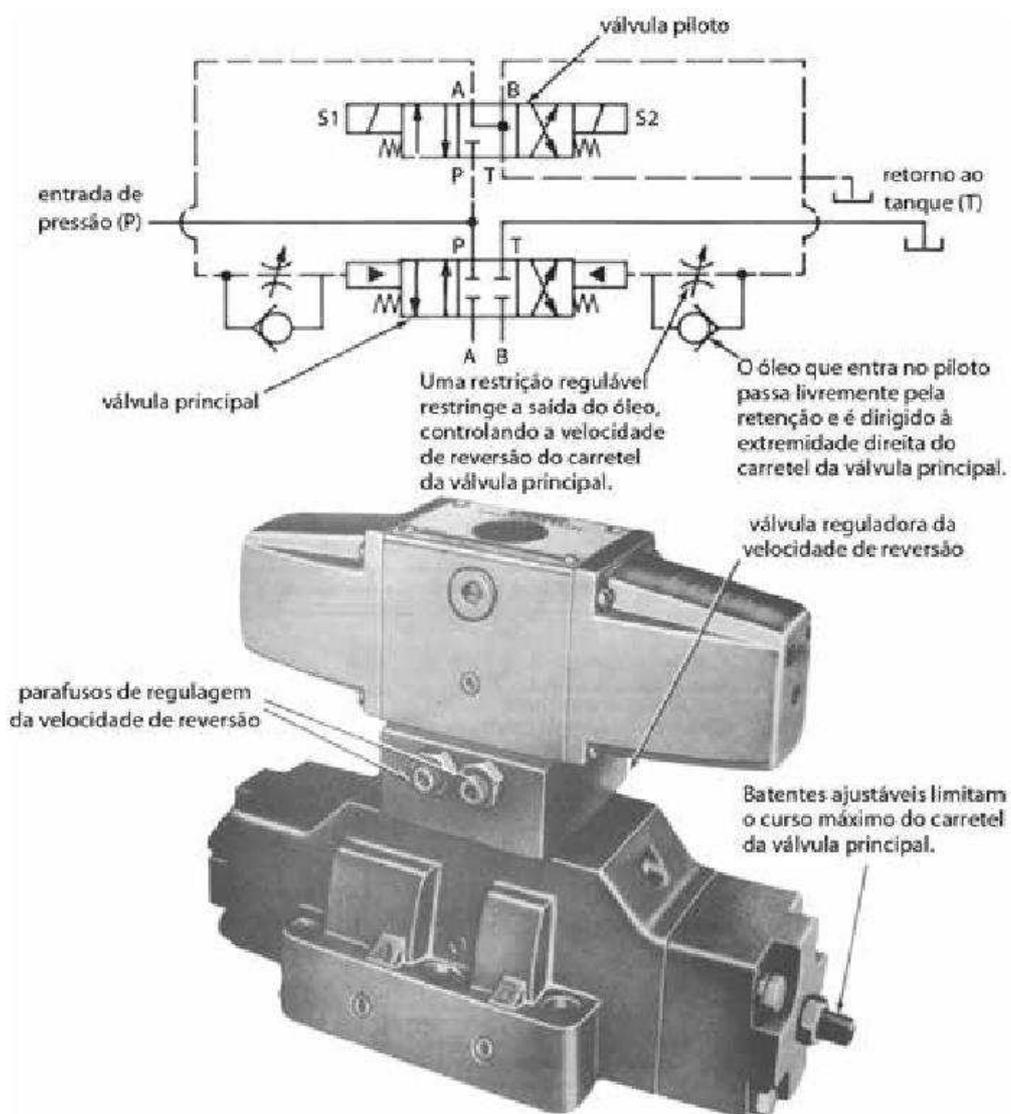
Os pistões-piloto, de dimensões reduzidas se comparadas às do carretel, necessitam de um volume de óleo menor para serem acionados, permitindo-lhes se movimentar com maior velocidade.



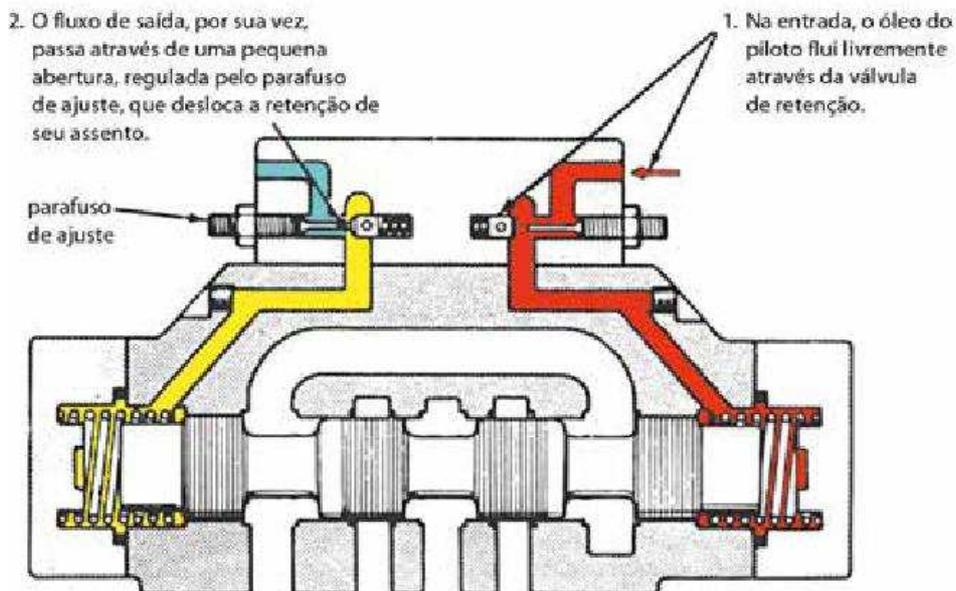
Em válvulas de duas posições de comando, o pistão-piloto pode ser usado para efetuar o retorno do carretel para a sua posição inicial, em substituição à mola. Nesses casos, o pistão-piloto é mantido sempre pressurizado e, quando a outra extremidade do carretel é submetida à pressão, o diferencial de áreas faz com que a válvula seja comutada. Uma vez cessada a pressão na área maior, o pistão-piloto empurra o carretel de volta a sua posição de descanso.

Há, entretanto, situações inversas a anterior. Em algumas aplicações, como na reversão de movimentos da mesa de uma retificadora plana, é necessário que a comutação entre as posições do carretel da válvula principal ocorra de uma forma mais suave, para que a mesa reduza a velocidade, pare e inverta sua direção de movimento de forma gradativa, sem golpes bruscos.

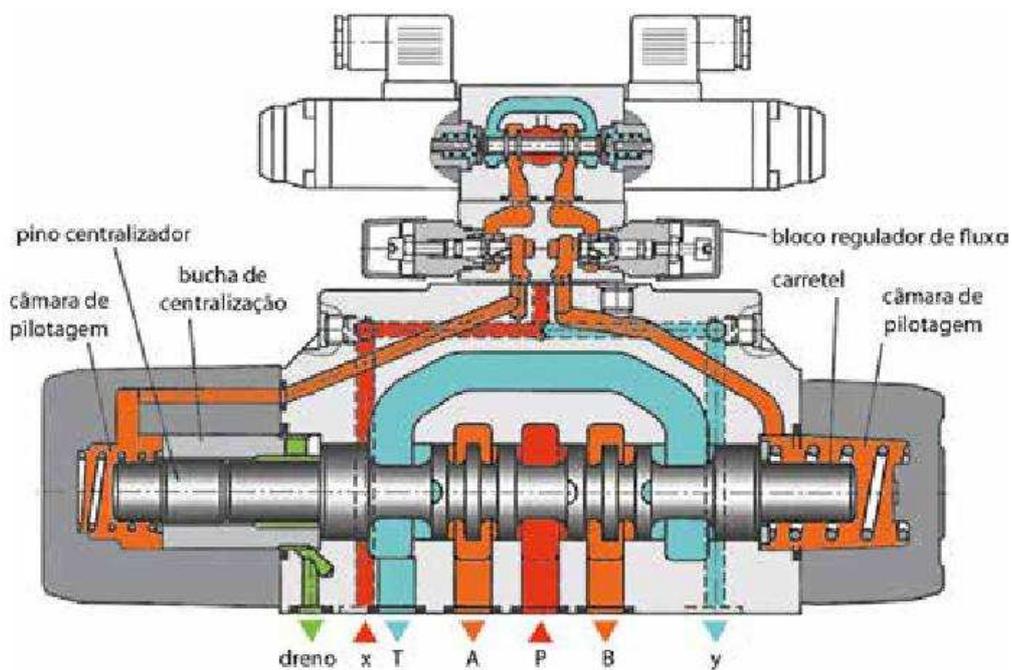
Para conseguir reversões suaves dos movimentos dos atuadores hidráulicos, é necessário pilotar o carretel da válvula principal com menor velocidade. Para isso, utiliza-se um bloco regulador de fluxo montado entre a válvula piloto e a válvula principal, como mostra a figura a seguir.



Na figura a seguir é possível acompanhar o procedimento de pilotagem do carretel da válvula principal para a esquerda, com velocidade controlada.

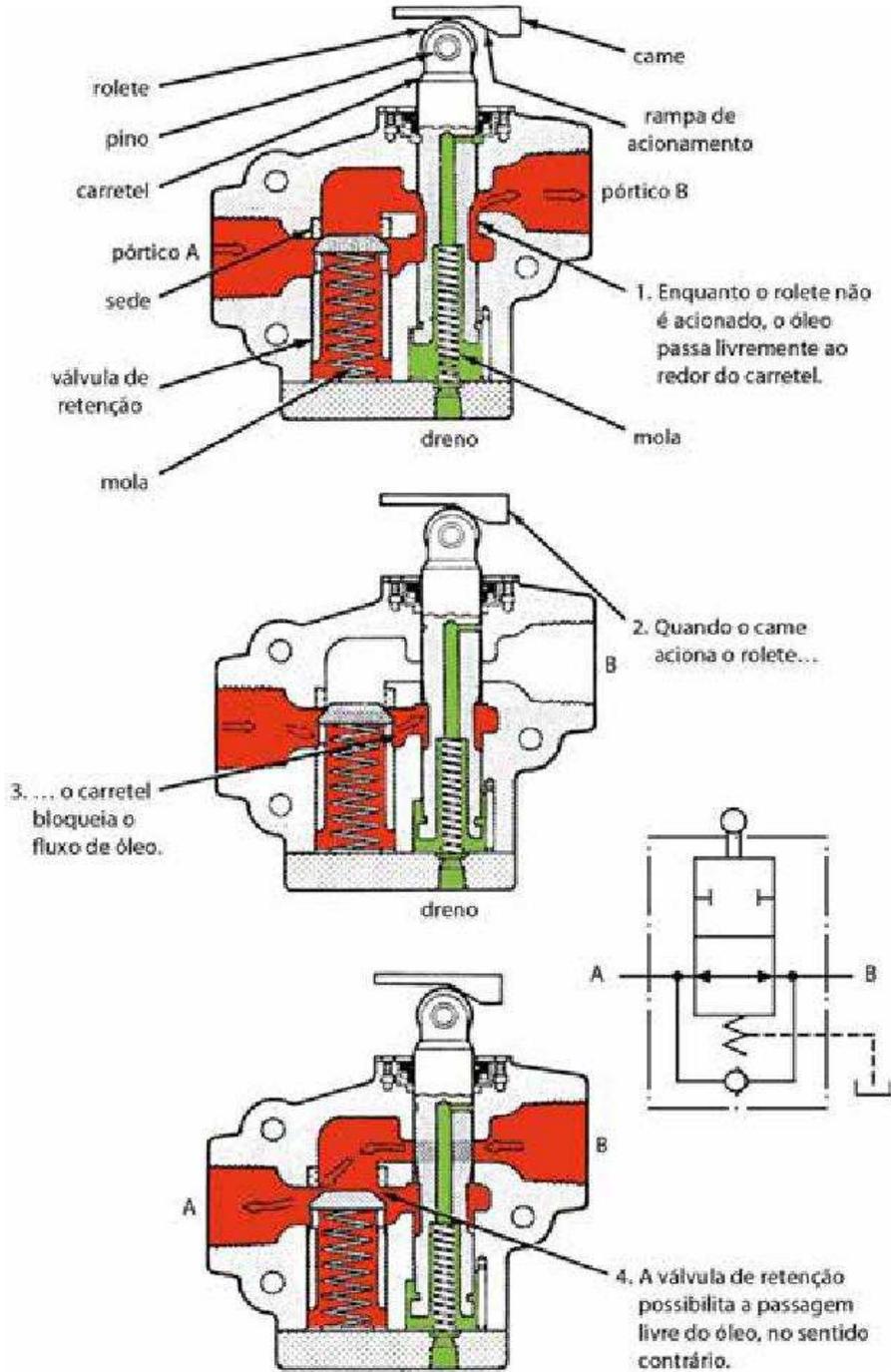


O bloco regulador de fluxo permite que o óleo proveniente da válvula piloto entre livremente nas câmaras do carretel, reduzindo a vazão do óleo que sai da outra extremidade, em direção ao tanque.



**Válvula desaceleradora:**

Outra versão de válvula direcional de carretel deslizante, muito utilizada para promover reduções de velocidade durante os movimentos de avanço e de retorno de cilindros, é a válvula desaceleradora.



Trata-se de uma válvula direcional de 2/2 vias NA, acionada mecanicamente por um rolete e reposicionada por mola, montada em paralelo com uma válvula de retenção, as duas integradas em uma só carcaça.

Enquanto o rolete da válvula não for acionado pelo came, a mola mantém o carretel empurrado para cima e a válvula na sua posição inicial, normalmente aberta.

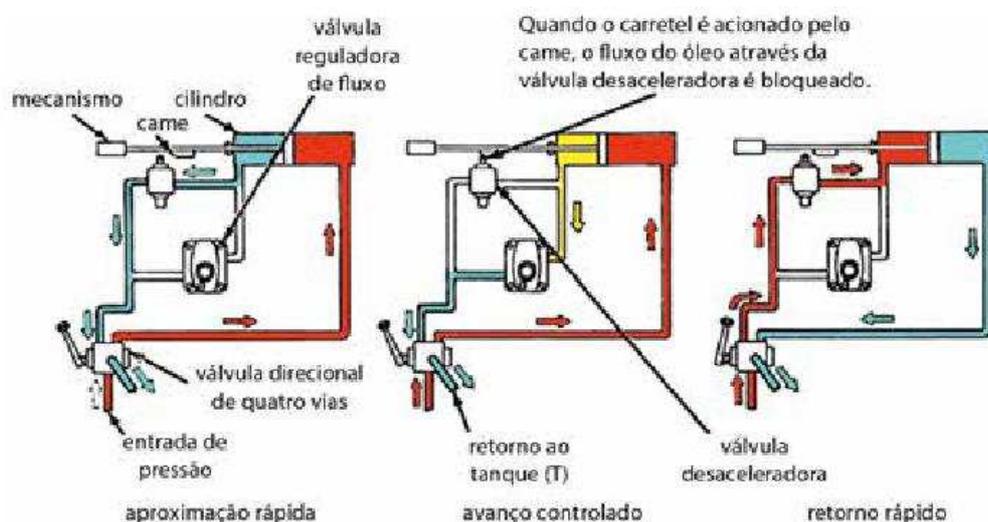
Nessa posição, o óleo pode fluir livremente ao redor do rebaixo do carretel, tanto no sentido do pórtico **A** para o **B** como, também, do **B** para o **A**.

Entretanto, quando o came aciona o rolete da válvula, o carretel é empurrado para baixo, comprimindo a mola de retorno e fechando a passagem que se encontrava aberta.

Dessa forma, o fluxo de óleo é totalmente bloqueado no sentido do pórtico **A** para o **B** da válvula desaceleradora.

No sentido contrário, porém, do pórtico **B** para o **A**, o óleo pode fluir livremente através da válvula de retenção, independente do rolete estar acionado ou não.

Um exemplo típico de aplicação da válvula desaceleradora pode ser notado no cabeçote de usinagem de uma máquina operatriz. A ferramenta se aproxima rapidamente da peça, reduz a velocidade de avanço de forma controlada e compatível com a velocidade de corte, e retorna rapidamente a sua posição inicial.



Quando a alavanca da válvula direcional principal é acionada, o óleo sob pressão é direcionado para a câmara traseira do cilindro, fazendo com que o cabeçote de usinagem avance. Como a válvula desaceleradora está desacionada, o óleo

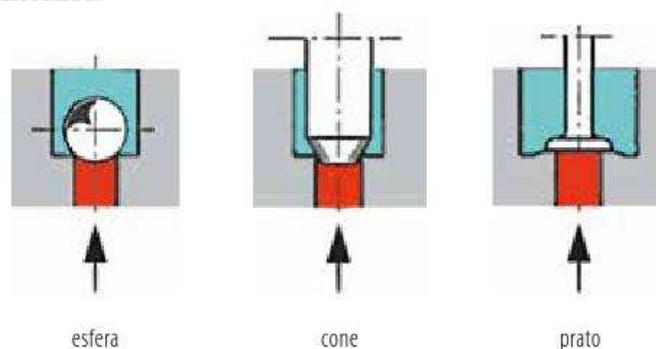
que sai da câmara dianteira do cilindro, em direção ao tanque, flui livremente ao redor do carretel, fazendo com que o cilindro avance com velocidade normal, aproximando rapidamente a ferramenta da peça a ser usinada.

Alguns milímetros antes da ferramenta tocar a peça, o came aciona o rolete da válvula desaceleradora, bloqueando sua passagem. Nesse momento, o óleo da câmara dianteira que fluía livremente ao tanque é forçado a passar controlado por uma válvula reguladora de vazão que reduz a velocidade de avanço do cilindro de forma compatível com a velocidade de corte da ferramenta. Assim, ocorre a mudança de avanço rápido para um avanço lento, controlado.

No final do curso, uma vez terminada a operação de usinagem, a válvula direcional principal é acionada para a posição contrária, dirigindo o óleo sob pressão para a câmara dianteira do cilindro. Nesse momento, independentemente da válvula desaceleradora estar acionada ou não, o óleo flui livremente através da sua válvula de retenção e entra livremente na câmara dianteira do cilindro, fazendo-o retornar. O óleo da câmara traseira, por sua vez, é direcionado ao tanque e o cilindro retorna com velocidade normal, recuando a ferramenta rapidamente.

### 3. Válvula direcional de assento:

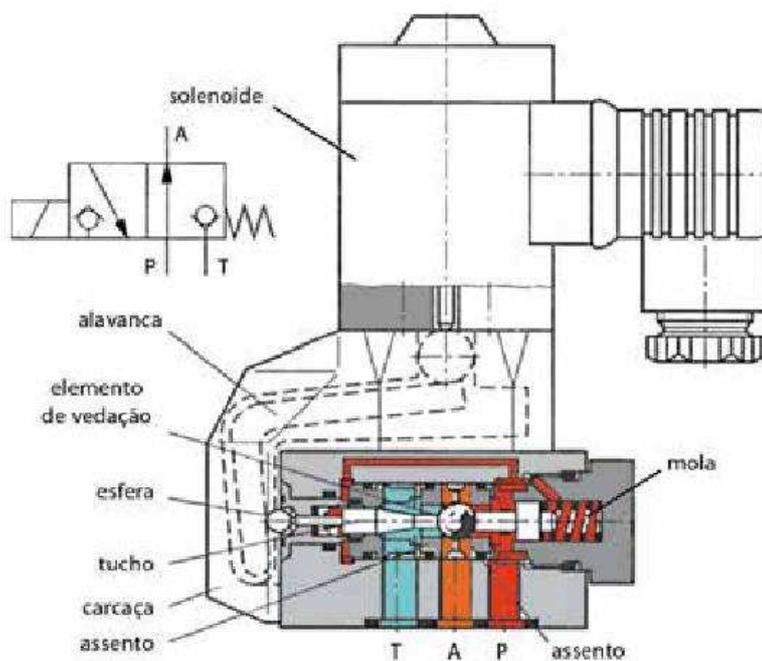
As válvulas direcionais de assento possuem obturadores em forma de esfera, cone ou prato, ajustados perfeitamente nos orifícios internos de passagem de óleo. Os obturadores fazem com que as válvulas direcionais de assento sejam isentas de vazamentos internos.



Quanto maior for a pressão de operação, maior será a estanqueidade da válvula.

As válvulas direcionais de assento podem ser acionadas direta ou indiretamente, dependendo do seu tamanho nominal e, portanto, da força exigida para a sua atuação.

As acionadas diretamente estão limitadas a capacidades de vazão de até 37 lpm e 630 bar de pressão de operação. Acima desses valores, considerando as forças elevadas de atuação, os fabricantes optam pelos acionamentos indiretos, os quais oferecem maior segurança de comutação, além de reduzir o tamanho dos solenoides, nos casos de válvulas acionadas eletricamente.

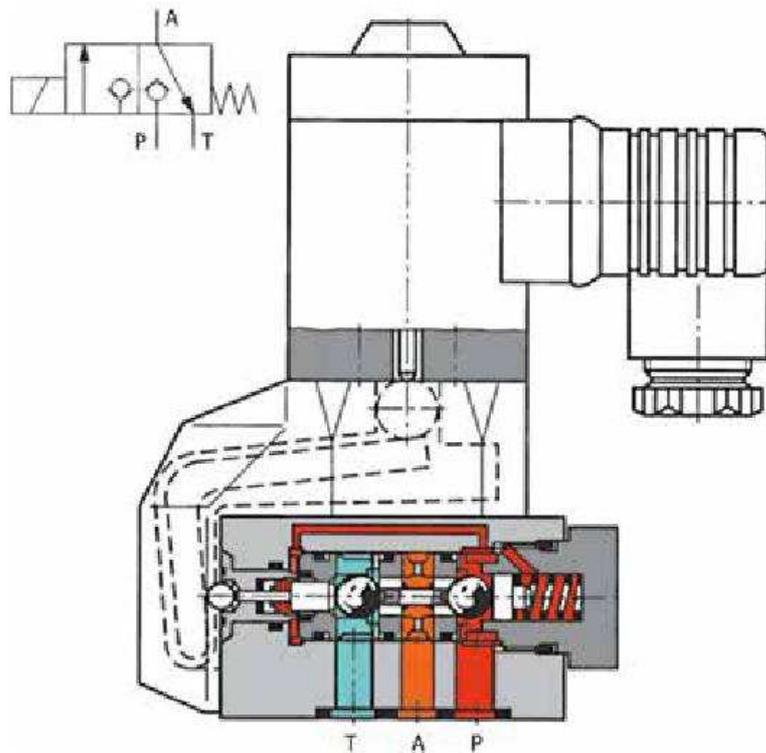


Válvula direcional de assento de 3/2 vias NA, com uma esfera

Nessa válvula de acionamento direto, enquanto o solenoide não for energizado, a mola mantém a esfera do obturador apoiada no assento esquerdo, fechando o pórtico T de retorno ao tanque e abrindo a passagem de óleo do pórtico de entrada de pressão P para a via de trabalho A.

Quando o solenoide é energizado, a alavanca mecânica empurra o obturador para a direita, apoiando sua esfera no assento direito. Nessa posição, o pórtico de entrada de pressão P é bloqueado e a via de trabalho A é aberta para o pórtico T de retorno ao tanque.

Nessa outra válvula de acionamento direto, enquanto o solenoide não for energizado, a mola mantém o obturador acionado para a esquerda. Nessa po-



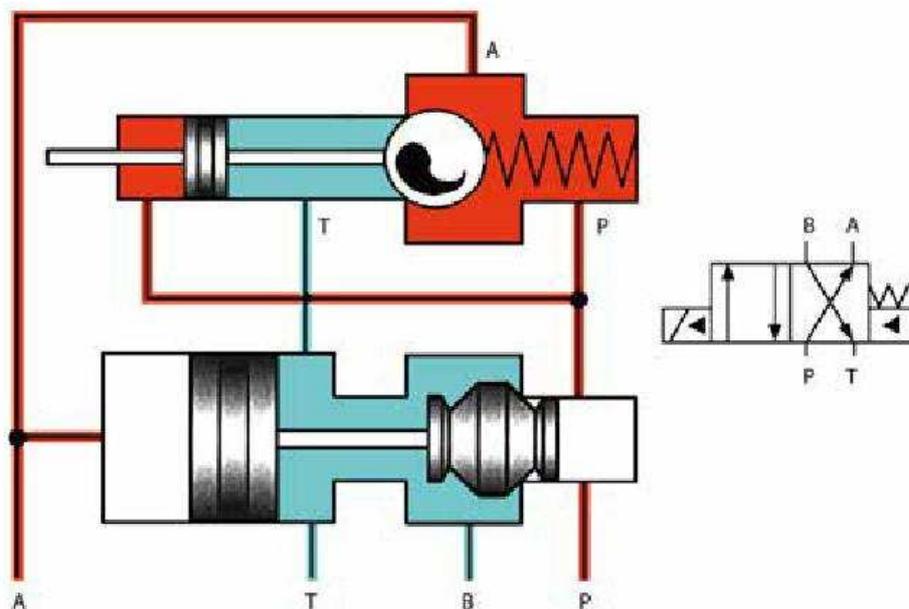
Válvula direcional de assento de 3/2 vias NF, com duas esferas

sição, a esfera direita bloqueia o pórtico de entrada de pressão **P**, enquanto a esfera esquerda abre a passagem de óleo da via de trabalho **A** para o pórtico **T** de retorno ao tanque.

Quando o solenoide é energizado, a alavanca mecânica empurra o obturador para a direita, comprimindo a mola de retorno. Nessa posição, a esfera esquerda bloqueia o pórtico **T** de retorno ao tanque, enquanto a esfera direita abre a passagem de óleo do pórtico de entrada de pressão **P** para a via de trabalho **A**.

Já as válvulas direcionais de assento de acionamento indireto, também chamadas de pré-operadas, apresentam as mesmas características das de carretel deslizante, ou seja, uma válvula principal, em geral de grande porte, e uma válvula piloto de dimensões reduzidas. Porém, tanto a válvula principal como a piloto, são válvulas de assento.

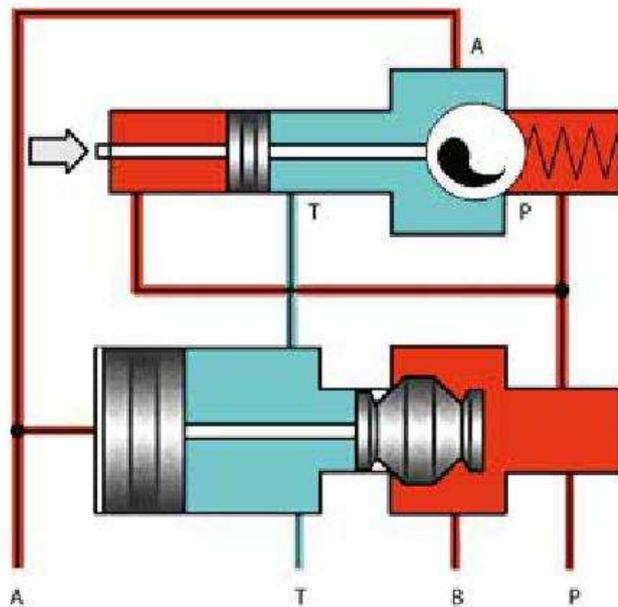
A figura a seguir apresenta uma válvula direcional de assento pré-operada, de 4/2 vias, acionada eletricamente, pilotada hidráulicamente e reposicionada por mola.



Posição inicial

Na posição inicial, enquanto a válvula piloto não for acionada, a mola mantém a esfera do obturador apoiada em seu assento esquerdo. O óleo que entra pelo pórtico de pressão **P** flui em direção à via de trabalho **A**, através da válvula piloto, pressurizando as duas extremidades do obturador da válvula principal que, devido à diferença de áreas, é mantido acionado para a direita, apoiando o cone em seu assento direito. A via de trabalho **B**, por sua vez, é direcionada ao tanque através do pórtico de retorno **T**.

Quando a válvula piloto é acionada, a esfera do obturador se desloca do seu assento esquerdo e se apoia no direito. Dessa forma, a via de trabalho **A** é descarregada para o tanque pelo pórtico de retorno **T**, através da válvula piloto, aliviando a pressão na extremidade esquerda do obturador da válvula principal. Com isso, a pressão do óleo do pórtico de entrada **P** empurra o obturador da válvula principal para a esquerda, apoiando o cone em seu assento esquerdo e abrindo a passagem do óleo de **P** em direção à via de trabalho **B**, como mostra a figura a seguir.



Posição acionada



# VÁLVULAS REGULADORAS DE VAZÃO

As válvulas reguladoras de vazão, também conhecidas como válvulas reguladoras de fluxo, controlam a quantidade de óleo a ser utilizada no circuito ou em alguns setores específicos do sistema hidráulico.

De modo indireto, as válvulas reguladoras de vazão são responsáveis pelo controle da velocidade dos atuadores, considerando que, quanto maior for o volume de óleo fornecido a um atuador, mais rapidamente suas câmaras serão preenchidas e, portanto, maior será sua velocidade.

As válvulas reguladoras de vazão funcionam como verdadeiras torneiras que abrem e fecham gradativamente as passagens do óleo, controlando desde a vazão zero (fechadas) até a quantidade de óleo máxima enviada pela bomba (abertas).

As válvulas reguladoras de vazão podem ser:

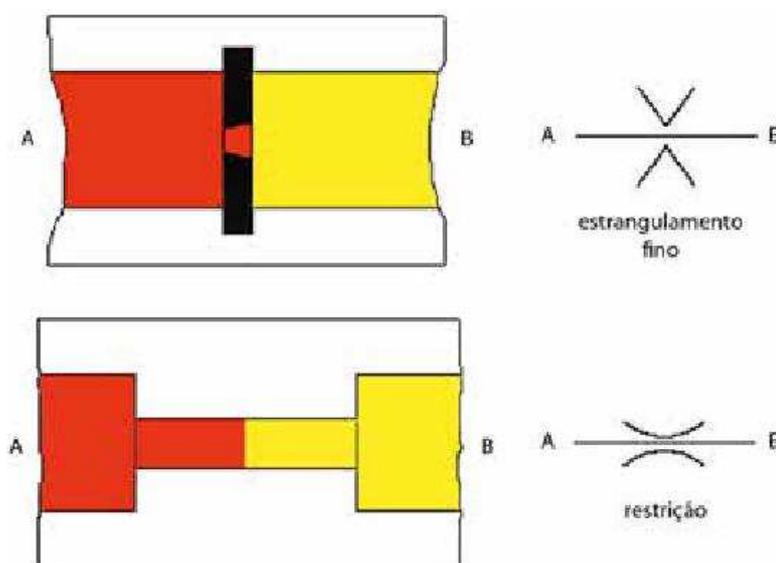
- fixas ou variáveis;
- bidirecionais ou unidirecionais.

## Válvula reguladora de vazão fixa

As válvulas reguladoras de vazão fixa ou giclês são estreitamentos provocadas nos canais de passagem de óleo, com o intuito de reduzir o fluxo. São utilizadas, principalmente para dosar a quantidade de óleo a ser fornecida para determinados setores do sistema hidráulico, por meio de uma restrição fixa, sem regulagem.

Esses giclês apresentados também são bidirecionais, ou seja, controlam a passagem do óleo nas duas direções de fluxo, isto é, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**.

É importante destacar, entretanto, que a vazão que passa por uma restrição não é sempre constante. A vazão através de um estrangulamento varia proporcionalmente ao diferencial de pressão entre a entrada e a saída. Quanto maior for a



diferença de pressão entre um lado e outro da restrição, maior será o fluxo de óleo que passa por ela.

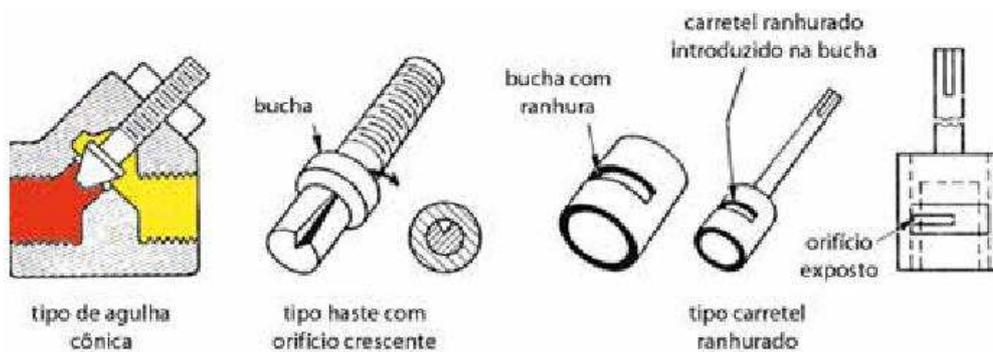
Outro fator que influi na variação da vazão em um giclê é a viscosidade do fluido. Quanto mais viscoso for o óleo, menor será a vazão, considerando que um líquido mais espesso tem mais dificuldade para passar por estreitamentos, gera mais atrito e, portanto, flui em menor quantidade, reduzindo o fluxo.

### Válvula reguladora de vazão variável

As válvulas reguladoras de vazão variáveis são estrangulamentos reguláveis, montados nas linhas de passagem de óleo, com o intuito de ajustar o fluxo a ser fornecido para determinados trechos da instalação hidráulica. São utilizadas, no geral, para controlar as velocidades de avanço e de retorno de cilindros, bem como a rotação de motores hidráulicos.

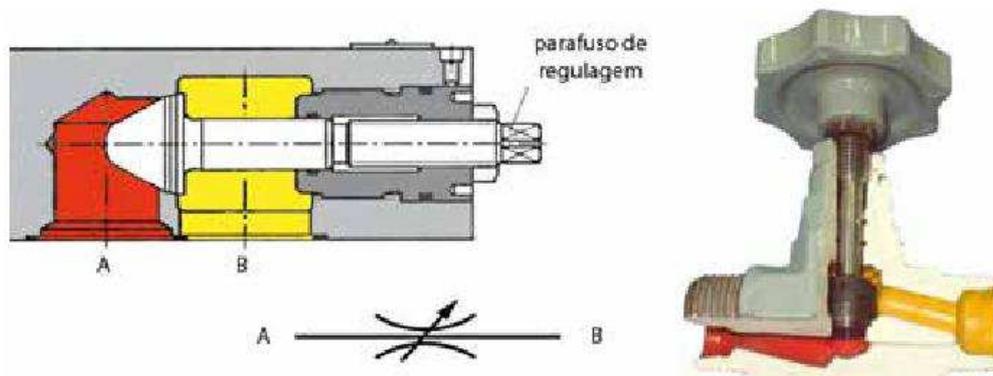
A regulagem da restrição é efetuada, na maioria das vezes, manualmente, por meio de parafusos de ajuste fino que permitem controlar, de modo gradativo, desde o fechamento máximo (vazão zero) até a abertura máxima (vazão total).

Há vários tipos construtivos de válvulas reguladoras de vazão variáveis. As mais usadas são as de agulha cônica, as de haste com orifício crescente e as de carretel ranhurado.



Tipos de reguladores de vazão variáveis

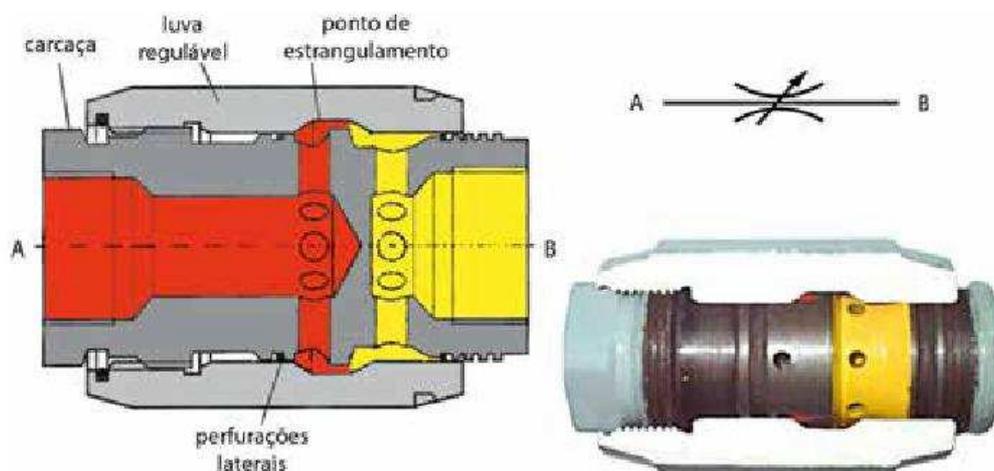
As válvulas reguladoras de vazão do tipo agulha cônica possuem uma carcaça com os pórticos de entrada e saída de óleo e um parafuso de ajuste de rosca fina com um cone na extremidade.



O funcionamento é semelhante ao de uma torneira comum. Soltando-se o parafuso de regulagem, a agulha cônica afasta-se do seu assento, abrindo gradativamente a passagem do óleo e, com isso, aumentando a vazão. Por outro lado, apertando-se o parafuso, a agulha se aproxima do assento da válvula, estrangulando a passagem do óleo e reduzindo a vazão.

Essa válvula, além de ter sua vazão variável, também é bidirecional pois controla o fluxo de óleo nos dois sentidos, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**.

A válvula reguladora de vazão apresentada a seguir mostra as mesmas características de funcionamento da anterior, ou seja, variável e bidirecional, mas com um projeto construtivo diferente.



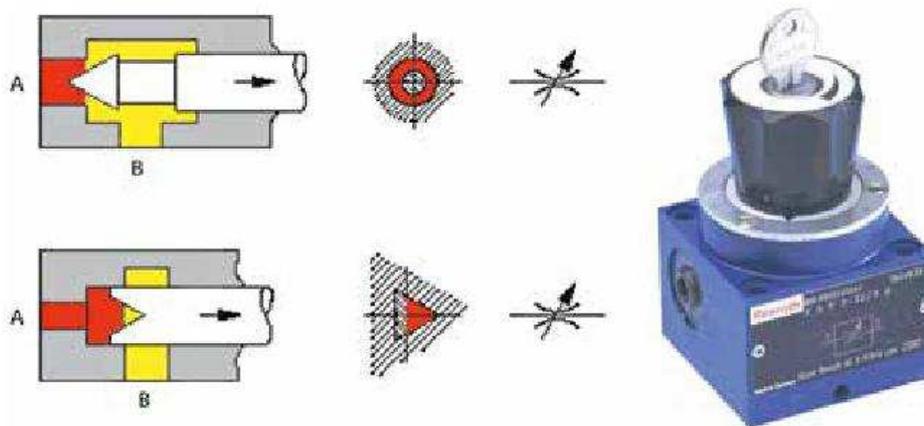
A carcaça de aço é fixada diretamente na tubulação ou no corpo dos atuadores, por meio de roscas usinadas nos pórticos de entrada e de saída **A** e **B**. Uma luva externa, regulável, move-se para a esquerda ou para a direita sobre a carcaça, guiada por uma rosca fina.

O óleo que entra pelo pórtico **A** é direcionado para o canal trapezoidal, usinado na superfície interna da luva, pelas perfurações laterais da carcaça. A movimentação da luva sobre a carcaça altera o ponto de estrangulamento, abrindo ou fechando gradativamente a passagem do óleo que flui em direção ao pórtico de saída **B**.

Girando-se a luva para a esquerda, diminui o estrangulamento e, portanto, aumenta a vazão. Já para a direita, a passagem do óleo vai sendo restringida, diminuindo a vazão.

Por se tratar de uma válvula reguladora de vazão bidirecional, o controle do fluxo de óleo ocorre também no sentido contrário, de **B** para **A**.

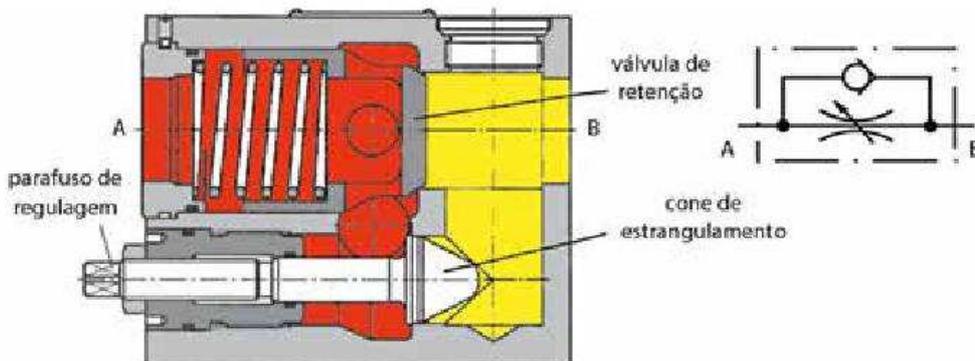
A figura a seguir apresenta outro tipo construtivo de válvula reguladora de vazão variável bidirecional. Essa válvula pode ser de agulha cônica ou de haste com orifício crescente, com um sistema de chave que impede que pessoas não autorizadas alterem sua regulação.



## Válvula reguladora de vazão unidirecional

Na maioria das vezes, os atuadores hidráulicos necessitam de um controle de velocidade em apenas um dos sentidos de movimento ou, mais frequentemente, que os cilindros e motores tenham velocidades controladas individualmente em ambas as direções.

Nesses casos, usa-se uma válvula reguladora de vazão unidirecional.



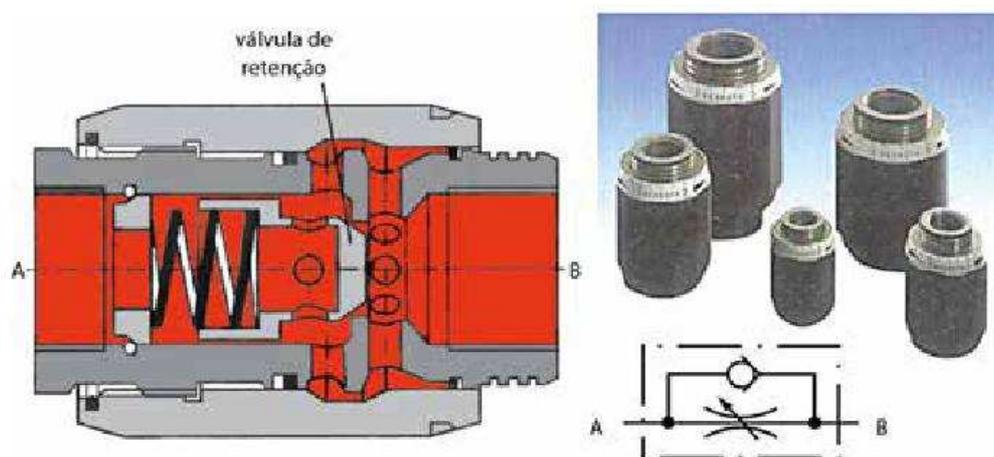
Na verdade, trata-se de uma válvula com as mesmas características da anterior, montada em paralelo com uma retenção, ambas dentro de uma única carcaça.

Se o fluxo ocorre no sentido de A para B, a mola mantém a retenção fechada, o que faz com que o óleo tenha que fluir controlado pela válvula reguladora de vazão, ao redor do cone de estrangulamento. Dessa forma, abrindo-se a restrição, a vazão aumenta. Fechando-se a válvula, a vazão diminui.

Ao contrário, se o fluxo ocorrer no sentido oposto, de **B** para **A**, o óleo passa livremente pela retenção, independente do ajuste da válvula reguladora de vazão.

Portanto, uma válvula reguladora de vazão unidirecional controla o fluxo de óleo apenas em uma das direções, de **A** para **B**. No sentido oposto, de **B** para **A**, o fluxo é livre, como se a válvula não estivesse presente no circuito.

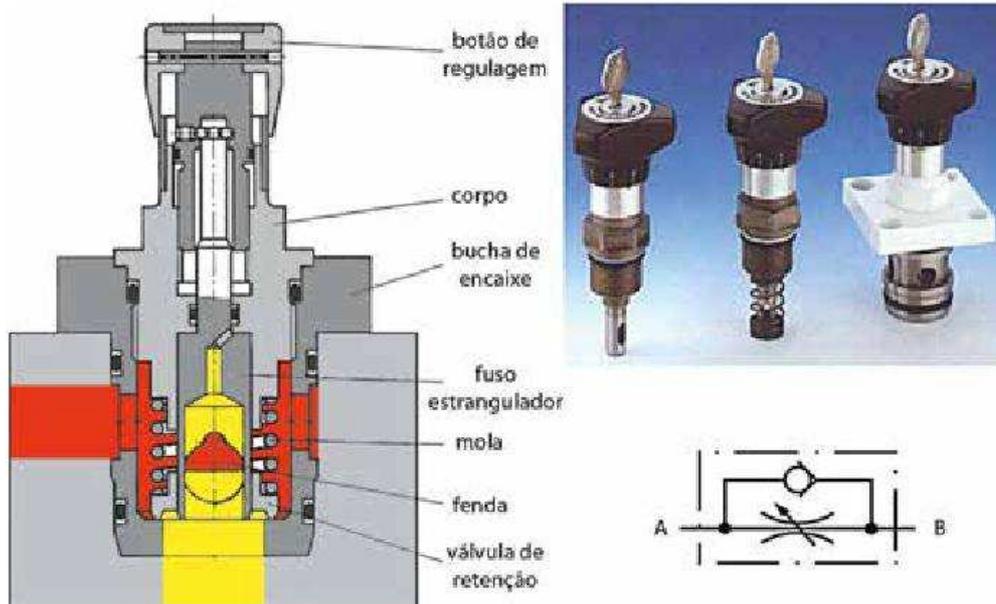
A figura a seguir mostra outra válvula reguladora de vazão unidirecional que, embora na questão construtiva seja diferente da anterior, apresenta as mesmas características de funcionamento.



A carcaça de aço é fixada diretamente na tubulação ou no corpo dos atuadores, por meio de roscas usinadas nos pórticos de entrada e de saída **A** e **B**, conforme já apresentado antes. A luva externa é regulada para a esquerda ou para a direita, sobre a carcaça, conforme a vazão desejada.

Quando o óleo flui no sentido de **A** para **B**, a vazão é controlada pelo ajuste da posição da luva que abre ou fecha o ponto de estrangulamento. Entretanto, se o fluxo for invertido, no sentido de **B** para **A**, a retenção montada no interior da carcaça se abre, permitindo a passagem livre do óleo, independente da regulagem da luva.

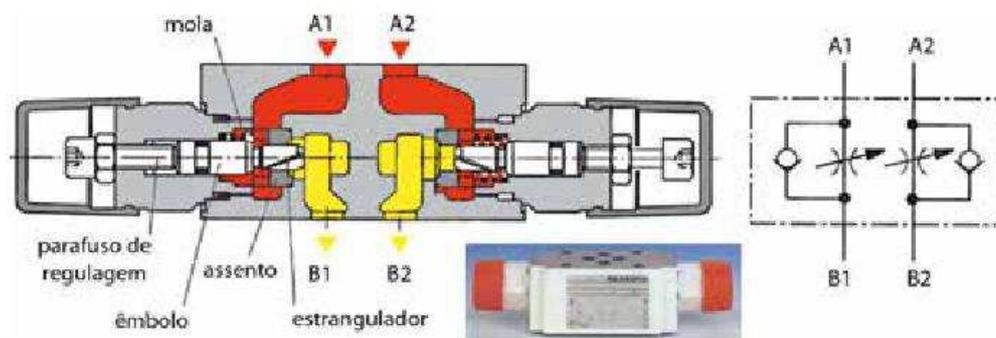
A válvula reguladora de vazão unidirecional, apresentada a seguir, é capaz de exercer as mesmas funções da válvula anterior, com outras características de construção.



Essa concepção de válvulas reguladoras de vazão não possui carcaça própria. São projetadas para serem encaixadas ou roscadas em alojamentos específicos de blocos de comando.

Já os blocos reguladores de fluxo, estudados no capítulo de válvulas direcionais, geralmente são montados entre as válvulas principais e as válvulas piloto, com o intuito de promover comutações controladas dos carretéis e, como consequência, reversões suaves dos atuadores.

Aqueles blocos possuem duas válvulas reguladoras de vazão unidirecionais com retenção incorporada que permitem controlar, individualmente, as velocidades de comutação do carretel da válvula principal, tanto para a direita como para a esquerda.

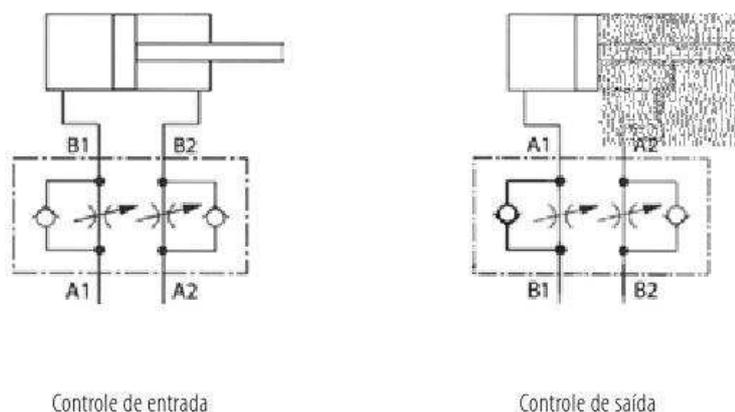


Bloco regulador de fluxo

Quando o óleo sob pressão entra no bloco pelo pórtico **A1**, como a retenção está bloqueada, o fluxo em direção a **B1** é controlado pela válvula reguladora de vazão esquerda. Ao mesmo tempo, o óleo que volta por **B2** passa livremente pela retenção direita em direção a **A2**, independente do ajuste efetuado na válvula reguladora de vazão direita.

Ao contrário, quando o pórtico **A2** é pressurizado, a retenção direita impede a passagem do óleo, forçando-o a passar controlado pela válvula reguladora de vazão direita, em direção a **B2**. O óleo que retorna por **B1**, por sua vez, passa livremente pela retenção esquerda em direção a **A1**, sem depender do ajuste da válvula reguladora de vazão esquerda.

Esses blocos permitem, também, controlar diretamente velocidades diferentes de um atuador hidráulico, nos dois sentidos de movimento.



No controle de entrada, as retenções bloqueiam o óleo que entra nas câmaras do cilindro. Assim, a válvula reguladora de vazão esquerda controla a velocidade de avanço, enquanto a direita regula a de retorno.

No controle de saída, as retenções bloqueiam o óleo que sai das câmaras do cilindro. Dessa forma, a válvula reguladora de vazão direita controla a velocidade de avanço, enquanto a esquerda regula a de retorno.

## Válvula reguladora de vazão com compensador de pressão

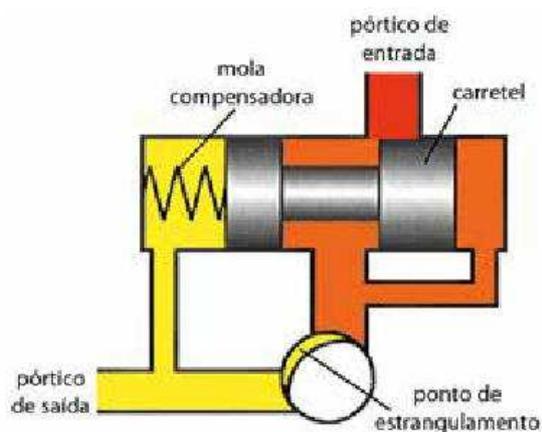
As válvulas reguladoras de vazão estudadas até aqui, embora bastante confiáveis, alteram sua regulagem com o aumento ou a diminuição da pressão. Isso quer

dizer que, se uma dessas válvulas for ajustada para permitir a passagem de uma certa quantidade de óleo e, durante a operação, ocorrer uma variação da pressão do sistema, a vazão poderá ser maior ou menor do que a estabelecida no início.

Isso ocorre porque o fluxo hidráulico, através de uma restrição, depende da viscosidade do fluido utilizado e, principalmente, da diferença de pressão entre a entrada e a saída do ponto de estrangulamento.

Sendo assim, com o intuito de evitar variações indesejáveis na velocidade dos atuadores, durante a operação, foram desenvolvidas as válvulas reguladoras de vazão com compensador de pressão, também conhecido como balança de pressão.

Trata-se de um carretel com uma mola compensadora, incorporados na carcaça da válvula, antes do ponto de estrangulamento. A função do carretel é manter sempre o mesmo diferencial de pressão da entrada para a saída da restrição, independente das variações de pressão ocorridas no sistema hidráulico durante a operação. O diferencial de pressão é equivalente à tensão da mola compensadora, montada em uma das extremidades do carretel.

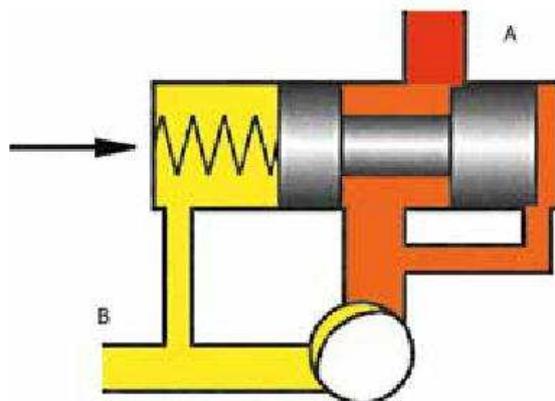


O óleo que entra na válvula passa ao redor do carretel e chega ao ponto de estrangulamento. A pressão do óleo na entrada da restrição é transmitida à extremidade direita do carretel, tentando empurrá-lo para a esquerda. Ao mesmo tempo, a pressão do óleo que sai da válvula, cujo fluxo já foi controlado, age na outra extremidade do carretel, em conjunto com a mola compensadora, forçando-o para a direita.

Dessa forma, o carretel é posicionado conforme as variações das pressões ocorridas antes e depois do ponto de estrangulamento, considerando que a pressão antes da restrição deverá ser sempre igual à pressão de saída, somada à tensão da mola compensadora.

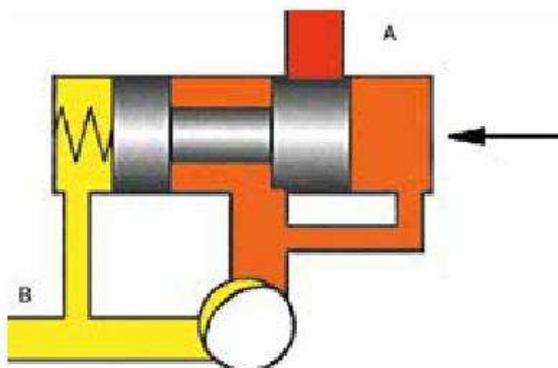
### Pressão anterior = Pressão posterior + Tensão da mola

Se a pressão na saída **B** da válvula aumentar, em função da carga a ser movimentada, o carretel se desloca para a direita, abrindo mais a entrada **A** de óleo na válvula, de modo a aumentar também a pressão antes da restrição, até que a diferença entre as pressões antes e depois do estrangulamento volte a ser igual à tensão da mola compensadora.



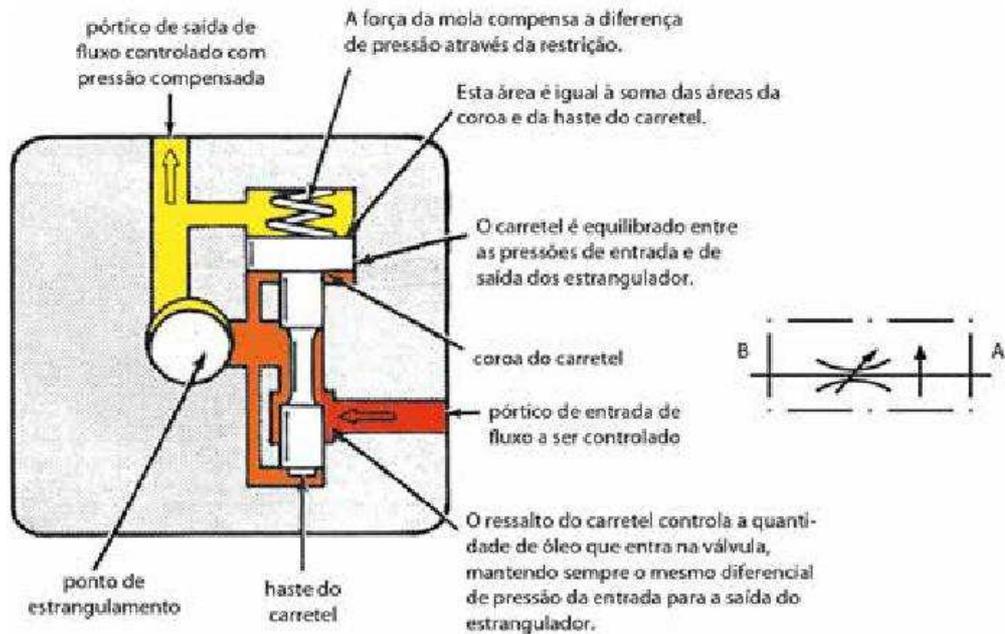
O aumento da pressão na saída **B** da válvula desloca o carretel para a direita, abrindo a passagem do óleo **A**.

Por outro lado, se a pressão na saída **B** da válvula diminuir, o carretel se desloca para a esquerda, fechando a entrada de óleo **A**, o que reduz a pressão antes da restrição, de modo a manter o mesmo diferencial de pressões antes e depois do estrangulamento, sempre equivalente à tensão da mola compensadora.

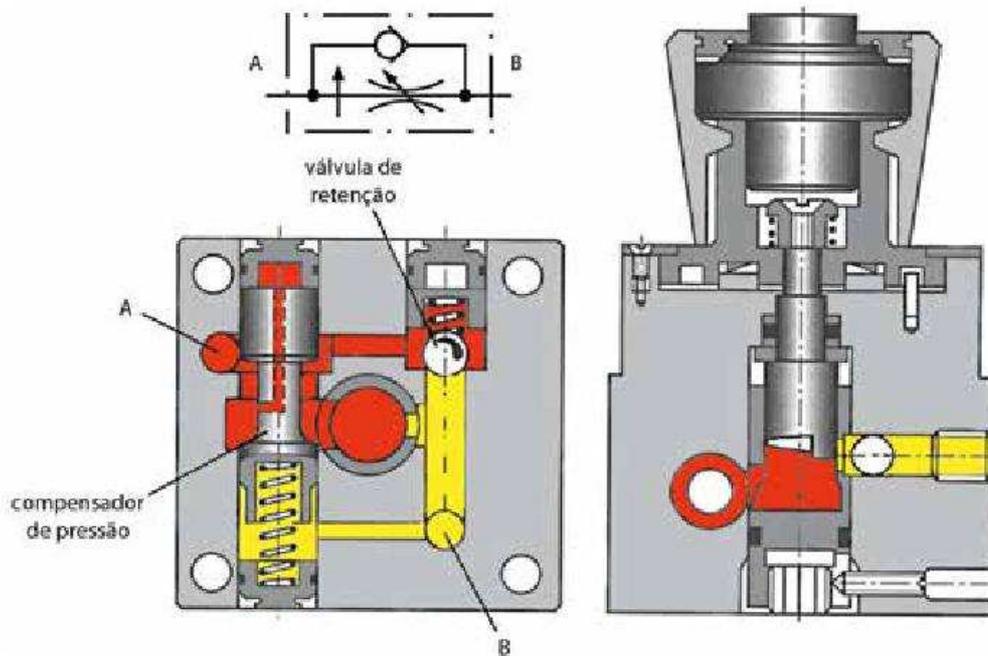


A queda da pressão na saída **B** da válvula desloca o carretel para a esquerda, fechando a passagem do óleo **A**.

A figura a seguir representa, de forma completa, uma válvula reguladora de vazão unidirecional, com compensador de pressão.



A versão a seguir, além de apresentar as mesmas características da válvula anterior, permite fluxo reverso livre através de uma retenção incorporada em sua carcaça. A retenção é disposta em paralelo à restrição e ao compensador de pressão.



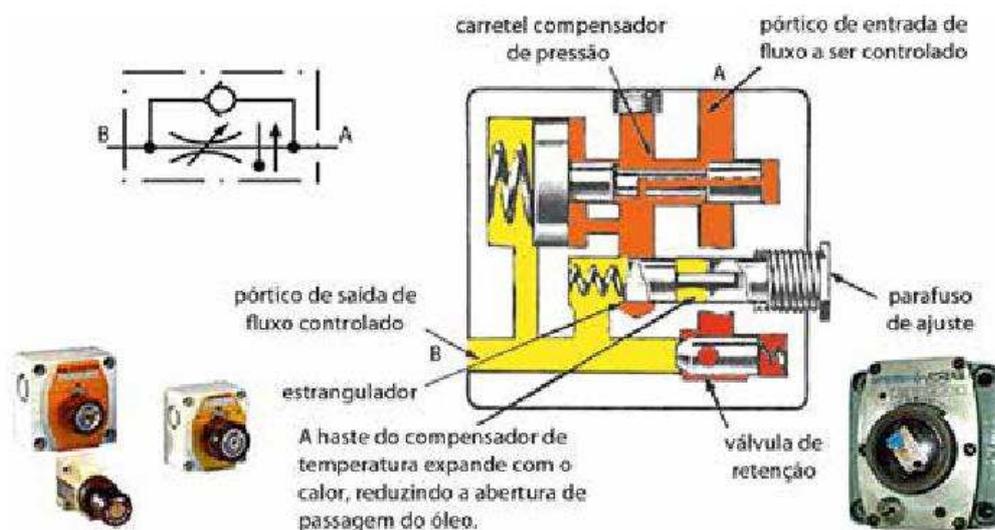
Uma chave de trava da manopla evita que pessoas não autorizadas alterem a regulagem da válvula.

## Válvula reguladora de vazão com compensador de pressão e temperatura

Outro fator que interfere no funcionamento das válvulas reguladoras de vazão é a temperatura do óleo hidráulico. À medida que a temperatura do óleo aumenta, diminui a sua viscosidade, alterando a vazão ajustada na válvula. Um óleo menos viscoso flui com mais facilidade e, portanto, em maior quantidade.

Para evitar problemas de controle de fluxo, devido à variação da temperatura do óleo, foram desenvolvidas válvulas reguladoras de vazão com compensador de temperatura. Trata-se de uma haste metálica que apresenta um índice de dilatação térmica semelhante ao índice de viscosidade do fluido hidráulico.

Quando o óleo aquece, a haste dilata com o calor e restringe um pouco mais o estrangulamento, compensando a viscosidade perdida pelo óleo. Ao contrário, quando o óleo esfria, a haste se contrai, abrindo um pouco mais a restrição.

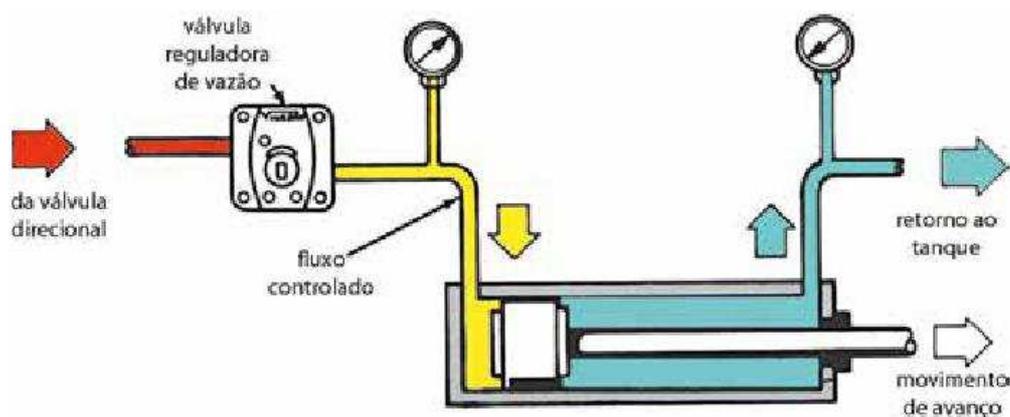


## Métodos de controle de vazão

As velocidades de um atuador hidráulico podem ser controladas, pelas válvulas reguladoras de vazão, de três maneiras diferentes:

- controle de entrada;
- controle de saída;
- controle em desvio.

No **controle de entrada**, as válvulas reguladoras de vazão unidirecionais são posicionadas de forma a controlar a quantidade de óleo que flui da bomba para os atuadores. Assim, é controlado apenas o fluxo de óleo que entra nas câmaras dos atuadores. O óleo que sai em direção ao tanque, flui livremente pela retenção incorporada da válvula.

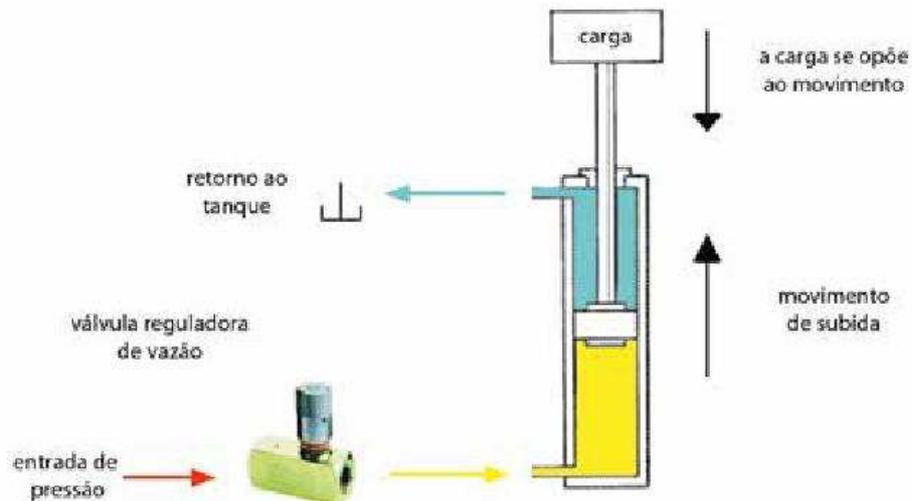


Controle de entrada

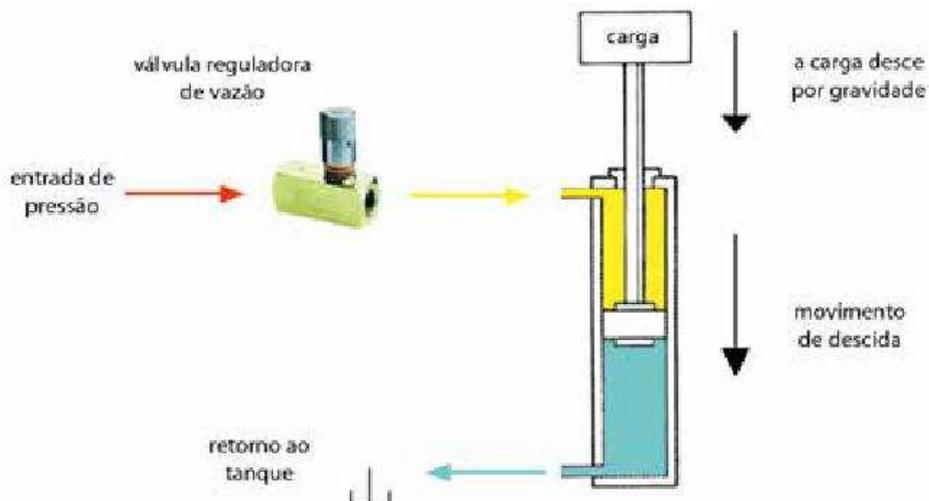
O funcionamento do controle de entrada depende da carga a ser movimentada. Se a carga se opõe ao movimento, isto é, se ela tende a se movimentar no sentido contrário do atuador, o controle de entrada funciona perfeitamente. Abrindo a válvula, o óleo flui para o atuador em maior quantidade, aumentando sua velocidade. Fechando a válvula, o fluxo de óleo que entra no atuador é menor, reduzindo a sua velocidade. Entretanto, se a carga tende a se movimentar no mesmo sentido do atuador, o controle de entrada pode não funcionar.

Imagine um cilindro hidráulico sustentando uma carga na posição vertical. Para controlar sua velocidade de subida, utilizando o método de controle de entrada,

coloca-se uma válvula reguladora de vazão controlando a quantidade de óleo que entra na câmara inferior do cilindro. Como a carga tende a descer por gravidade, contra o movimento do cilindro, o controle de entrada regula normalmente a velocidade de subida.



Entretanto, para controlar a velocidade de descida desse cilindro, como a carga tende a se movimentar do mesmo sentido, descendo por gravidade, o controle de entrada pode não funcionar.



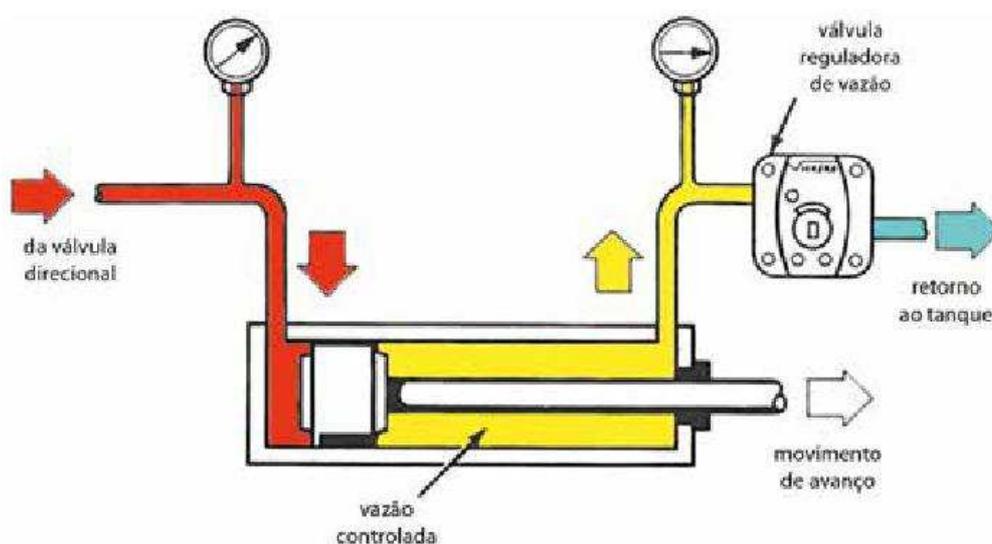
Não adianta controlarmos a vazão que entrará na câmara superior do cilindro, se o óleo da câmara inferior flui livremente para o tanque. A tendência da carga é

empurrar o cilindro para baixo, provocando um movimento de descida descontrolado.

Sendo assim, sempre que a carga tiver tendência a se movimentar no mesmo sentido do atuador, como nesse caso, para controlar plenamente a velocidade, deve ser utilizado o controle de saída.

No **controle de saída**, por sua vez, as válvulas reguladoras de vazão unidirecionais são invertidas e posicionadas de forma a controlar a quantidade de óleo que sai das câmaras dos atuadores, gerando uma contrapressão que estabiliza a velocidade e não permite que a carga, ou forças externas ao sistema, interfira nos movimentos dos atuadores.

Dessa forma, os atuadores passam a se movimentar em função da pressão de entrada, escorados pela contrapressão gerada na saída pela válvula reguladora de vazão.



Controle de saída

No exemplo do cilindro vertical, para controlar a sua velocidade de subida, o óleo sob pressão entra livremente na câmara inferior, fazendo com que o cilindro avance, suspendendo a carga. Agora, o óleo que sai da câmara superior, em direção ao tanque, deve passar controlado pela válvula reguladora de vazão. Abrindo a válvula, o óleo flui para o tanque em maior quantidade, aumentando a velocidade do cilindro. Fechando a válvula, o fluxo de óleo que sai do atuador é menor, reduzindo a sua velocidade.

Para controlar a velocidade de descida, o óleo sob pressão é direcionado para a câmara superior do cilindro e a válvula reguladora de vazão é montada na saída do óleo da câmara inferior.

Na descida, tanto a pressão do óleo como o peso da carga empurram o cilindro para baixo. Porém, como o óleo que sai da câmara inferior tem que passar estrangulado na válvula reguladora de vazão, essa restrição ao fluxo gera uma contrapressão na câmara inferior do cilindro, capaz de evitar a descida descontrolada da carga e permitindo ajustes precisos da velocidade do atuador.

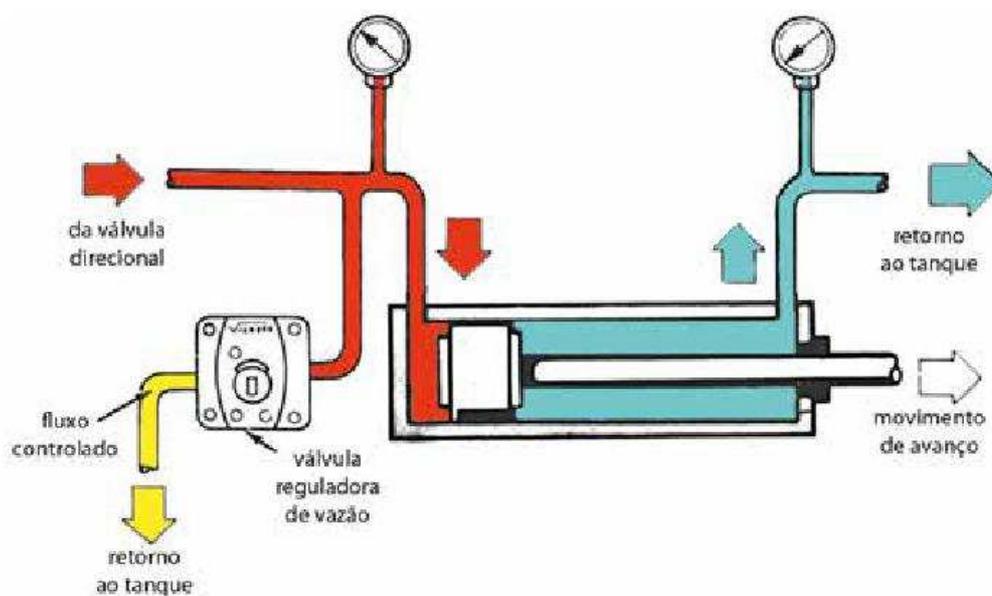


O controle de saída, portanto, funciona em quaisquer circunstâncias, independentemente da posição ocupada pelo atuador ou das reações das cargas a serem movimentadas.

Outra maneira diferente de montagem das válvulas reguladoras de vazão, para ajuste das velocidades dos atuadores, é através do controle em desvio.

No **controle em desvio**, a válvula reguladora de vazão é montada na linha de entrada de pressão de óleo, desviando para o tanque parte do fluxo destinado ao atuador. Dessa forma, em vez de regular a quantidade de óleo que entra ou sai do atuador, como nos controles anteriores, controla-se a vazão que é desviada ao tanque.

Sendo assim, ao contrário dos métodos anteriores, abrindo a válvula reguladora de vazão um fluxo maior de óleo é desviado para tanque e, como consequência, uma quantidade menor de óleo é aproveitada pelo atuador, reduzindo sua velocidade. Fechando a válvula, um volume menor de óleo é desviado para o tanque e uma quantidade maior é enviada ao atuador, aumentando sua velocidade.



Controle em desvio

Normalmente, o controle em desvio é efetuado na linha de pressão, antes da válvula direcional de comando, permitindo controlar a velocidade do atuador nos dois sentidos de movimento.

O controle em desvio, assim como o controle de entrada, não deve ser utilizado em situações nas quais a carga tende a se movimentar no mesmo sentido do atuador. Seu funcionamento, portanto, depende da posição de montagem do atuador, assim como das reações das cargas a serem movimentadas.

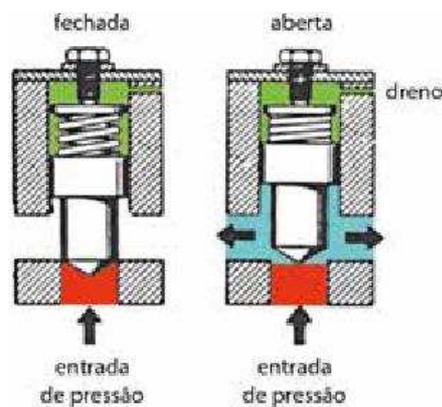


# VÁLVULAS CONTROLADORAS DE PRESSÃO

As válvulas controladoras de pressão têm a função de limitar ou reduzir a pressão do óleo dentro do sistema hidráulico.

São responsáveis diretas pelo controle da força de operação dos atuadores, permitindo ajustá-los de acordo com as exigências e necessidades de cada aplicação, além de garantir total segurança ao circuito hidráulico.

Basicamente, as válvulas controladoras de pressão possuem um cone de assento ou um carretel cilíndrico que podem assumir infinitas posições dentro da carcaça da válvula, desde totalmente fechado até aberto, trabalhando em equilíbrio entre a pressão do óleo e a tensão regulável de uma mola.



Válvula controladora de pressão

O óleo hidráulico, sob pressão, entra no pórtico inferior da válvula e tenta empurrar o carretel para cima, contra a força da mola. Enquanto a pressão do óleo for menor que a tensão ajustada na mola, o carretel é mantido apoiado em seu assento e a válvula permanece fechada. Se a pressão do óleo ultrapassar o valor regulado na mola, o carretel desloca-se do seu assento, abrindo a passagem do excesso de

pressão em direção ao pórtico de saída. Assim que o excesso de pressão sai, a mola volta a apoiar o carretel em seu assento, fechando a válvula.

As válvulas controladoras de pressão são classificadas em seis grupos distintos, de acordo com sua função no sistema hidráulico. Suas funções são:

- válvulas de segurança ou de alívio;
- válvulas de descarga de pressão;
- válvulas de sequência;
- válvulas de contrabalanço;
- válvulas de frenagem;
- válvulas redutoras de pressão.

Cada um desses grupos de válvulas serão apresentados a seguir com a descrição do funcionamento, as possíveis aplicações e as diferenças entre suas características de construção.

## Válvula de segurança ou de alívio de pressão

Como o próprio nome sugere, a válvula de segurança tem a função de limitar a pressão de operação de um circuito hidráulico, garantindo a integridade de todos os demais componentes utilizados no sistema. Seu uso é obrigatório seja qual for o circuito hidráulico, do mais simples ao mais complexo. A válvula de segurança permitirá que a pressão no sistema suba a níveis aceitáveis, no máximo até atingir seu valor de regulação. Quando a pressão ultrapassa a sua regulação, a válvula de segurança descarrega o excesso para o reservatório.

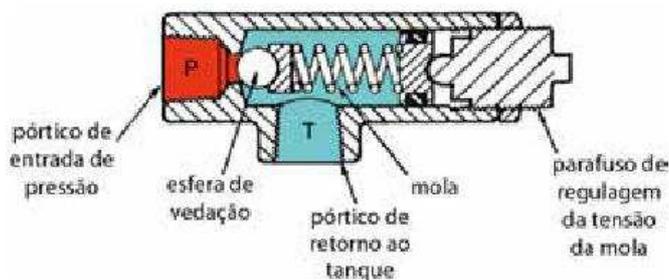
Normalmente, a válvula de segurança é a primeira válvula encontrada no circuito hidráulico, montada logo após a saída da bomba. Sua função é descarregar para o tanque toda a vazão da bomba ou parte dela, assim que a pressão no sistema ultrapassar sua regulação.

Existem dois tipos básico de válvulas de segurança:

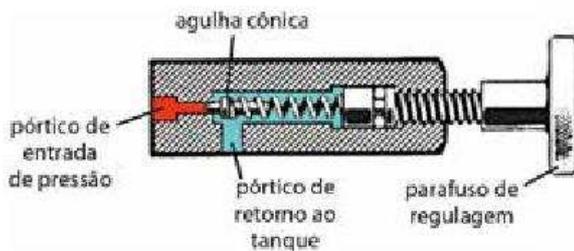
- válvula de segurança de ação direta;
- válvula de segurança de ação indireta.

## VÁLVULA DE SEGURANÇA DE AÇÃO DIRETA

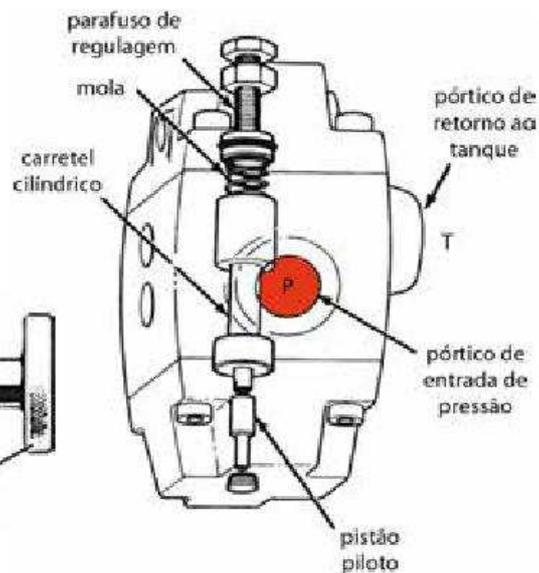
As válvulas de segurança de ação direta, também conhecidas como válvulas de segurança simples ou diretamente operadas, possuem um elemento interno de vedação entre os pórticos de entrada e de saída, mantido apoiado em seu assento, na posição fechada, por uma mola regulável. As características de construção desse elemento de vedação variam de um fabricante a outro, podendo ser empregada desde uma esfera simples, uma agulha cônica ou até mesmo um carretel cilíndrico.



Válvula de segurança de esfera



Válvula de segurança de agulha cônica



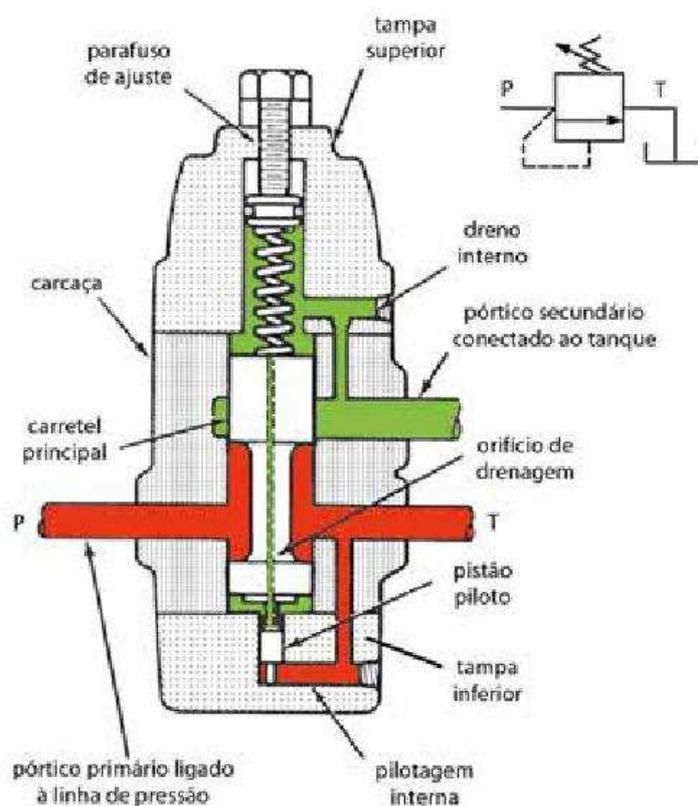
Válvula de segurança de carretel cilíndrico

Esta última possui um carretel cilíndrico, com uma mola de tensão regulável em uma de suas extremidades e um pistão piloto na outra, montado em sua carcaça. Duas tampas fecham o conjunto: uma superior, com o parafuso de regulagem da tensão da mola, e outra inferior, provida de um pistão piloto.

A tampa superior é montada de modo a conectar a câmara da mola com o pórtico secundário de saída ao tanque, efetuando internamente a drenagem do óleo que lubrifica as partes móveis da válvula, e evitando que calços hidráulicos possam prejudicar seu funcionamento.

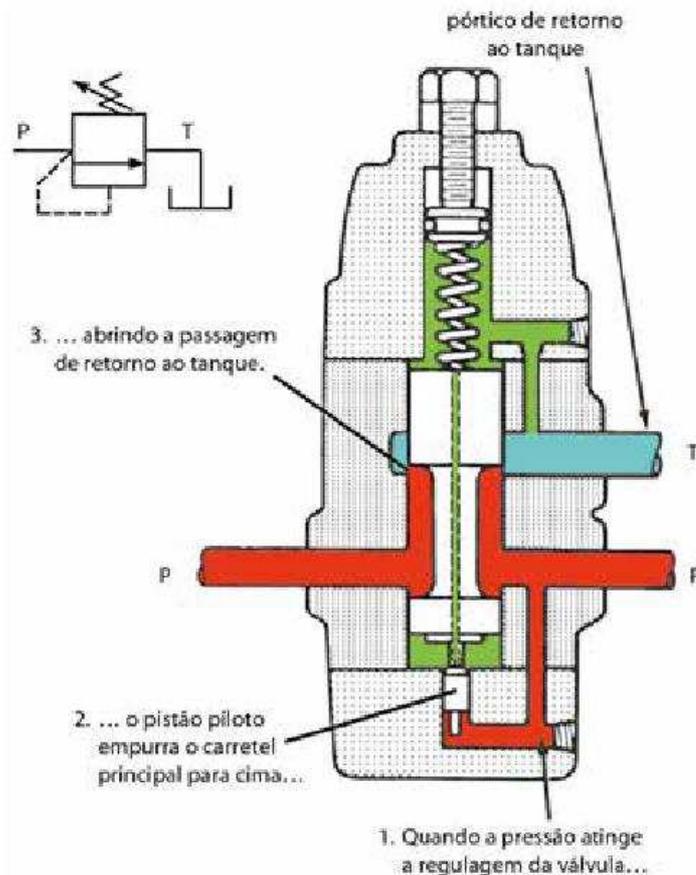
A tampa inferior é posicionada de forma que o óleo do pórtico primário, ligado à linha de pressão, possa agir na base do pistão piloto, efetuando internamente a pilotagem da válvula contra a mola.

O pistão piloto reduz a área de atuação do óleo em relação a da mola, permitindo que a válvula possa ser regulada com pressões mais elevadas, sem a necessidade de substituir a mola por outra mais forte.



Válvula de segurança diretamente operada

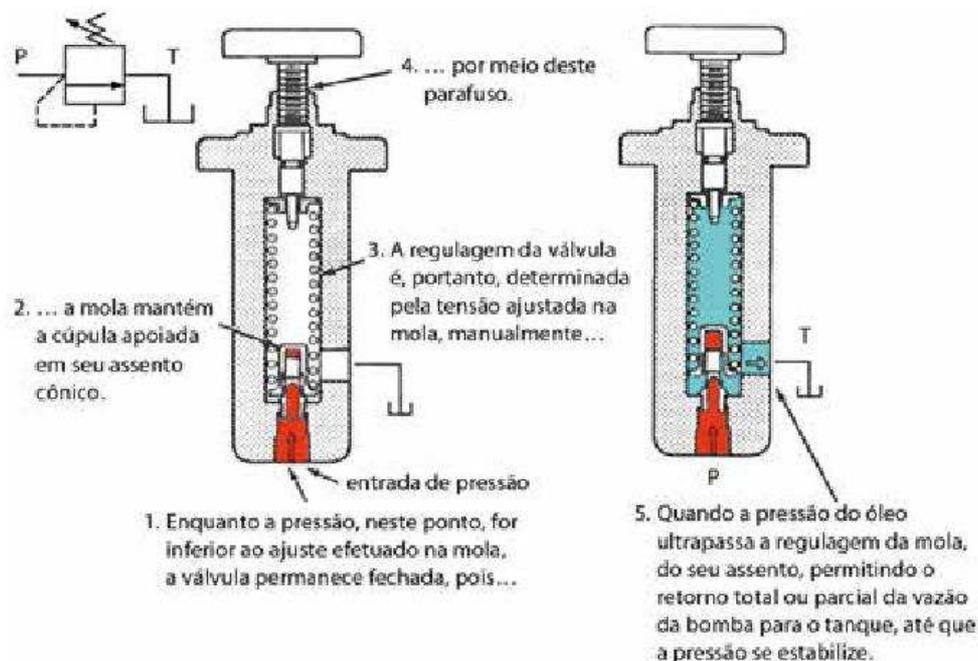
Enquanto a pressão do óleo no pórtico primário for menor que a força regulada na mola, o carretel permanece apoiado na tampa inferior, mantendo fechada a passagem entre os pórticos de entrada de pressão e de retorno ao tanque.



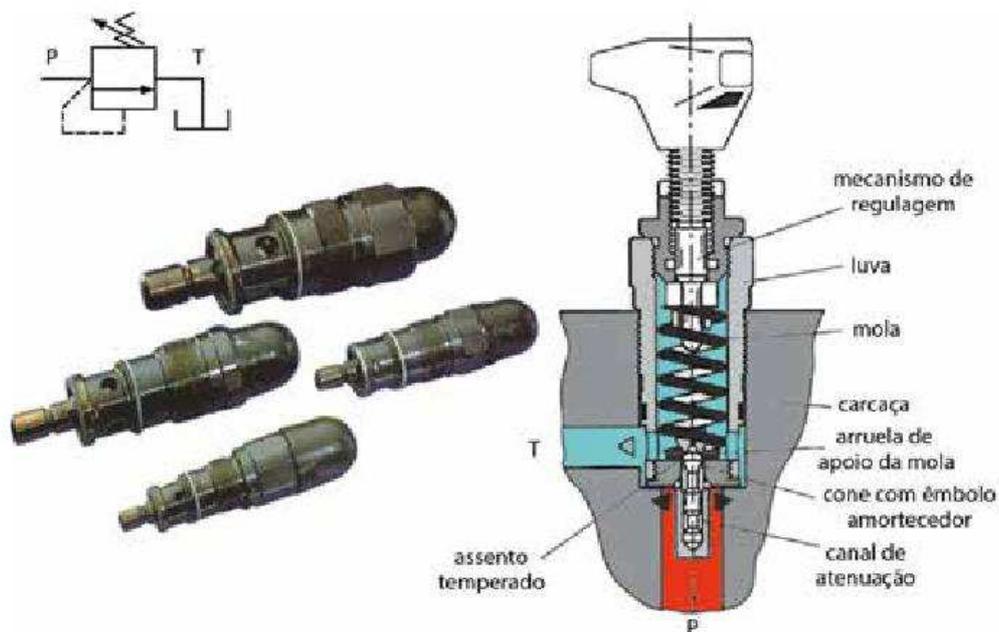
Quando a pressão do óleo ultrapassa o valor ajustado na mola, o carretel é empurrado para cima, abrindo a passagem de óleo do pórtico de entrada de pressão para o de retorno ao tanque.

Assim que o excesso de óleo que causou o aumento da pressão é descarregado ao tanque e que a ela diminua, a mola volta a empurrar o carretel para baixo, fechando a válvula.

A figura a seguir apresenta outro tipo construtivo de válvula de segurança diretamente operada, utilizando uma cúpula cônica, em vez de carretel ou agulha. O princípio de funcionamento, entretanto, é o mesmo dos tipos já apresentados.



Outro tipo de válvula de segurança diretamente operada é construída sob a forma de cartucho, sem carcaça própria, para ser montada em blocos *manifold*.

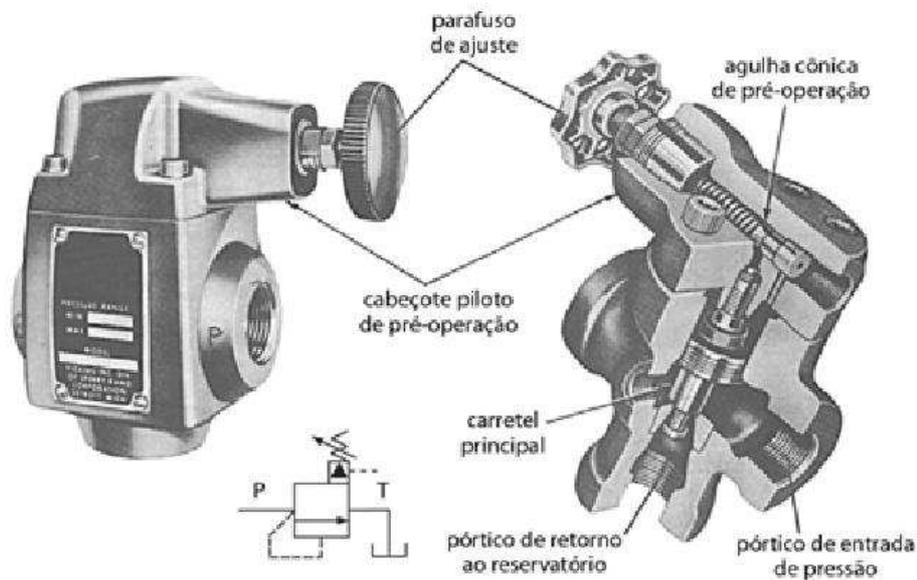


Nesse caso, um êmbolo amortecedor, fixado ao cone de vedação, é utilizado para evitar oscilações de pressão durante os movimentos de abertura e fechamento da válvula.

### VÁLVULA DE SEGURANÇA DE AÇÃO INDIRETA

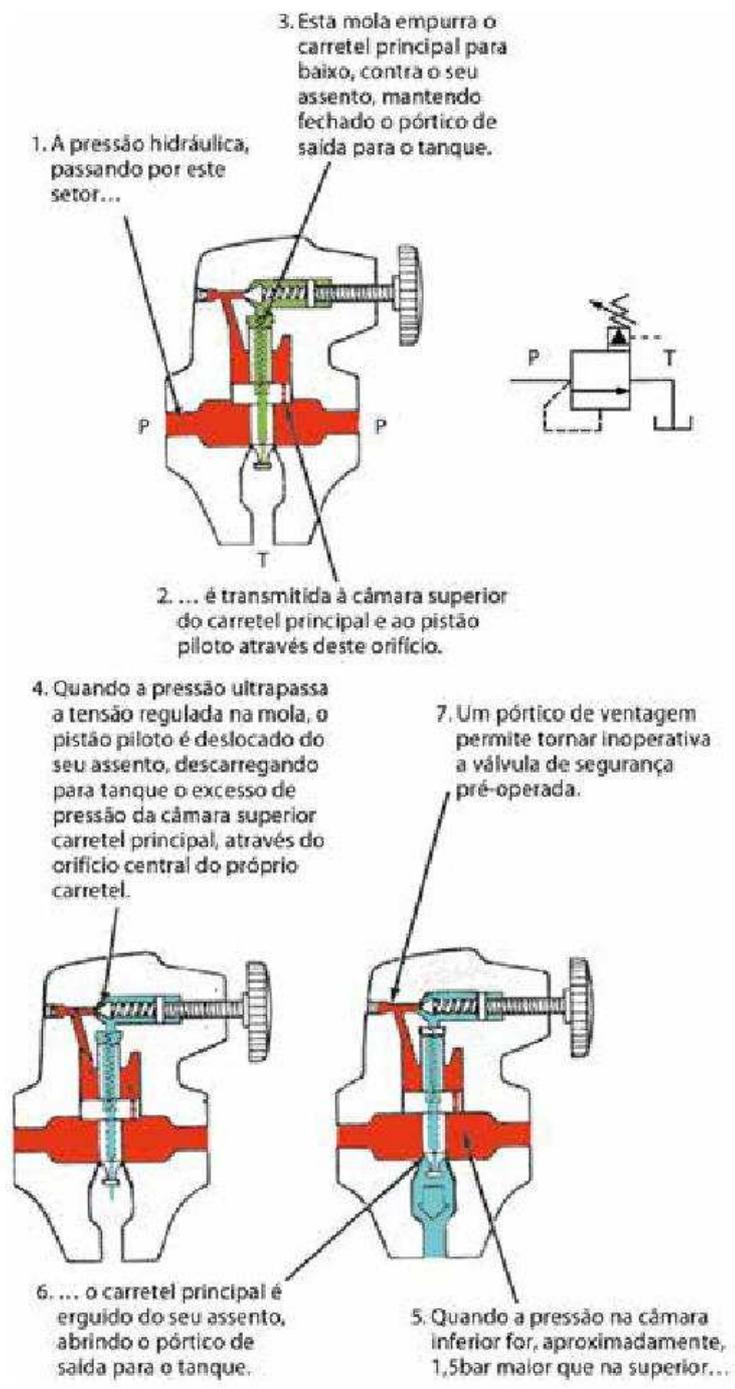
As válvulas de segurança de ação indireta, também conhecidas como válvulas de segurança compostas ou pré-operadas, foram desenvolvidas para permitir maior vazão de óleo sem aumentar substancialmente o tamanho e, como consequência, o espaço ocupado pelas válvulas na máquina ou equipamento hidráulico. Além disso, permitem operar com pressões mais elevadas sem a necessidade de molas mais fortes, de difícil regulagem.

Na verdade, as válvulas de segurança pré-operadas trabalham em dois estágios: um estágio piloto, de pequeno porte, disposto no cabeçote superior; e um estágio de operação efetiva, localizado na carcaça, na qual estão situados o carretel principal e os pórticos de entrada de pressão e de retorno para o tanque.



Válvula de segurança pré-operada

No cabeçote superior estão a agulha cônica de pré-operação e seu respectivo assento de vedação, a mola regulável com seu parafuso de ajuste de tensão e a manopla de regulagem manual.



O carretel principal é balanceado hidráulicamente e mantido apoiado no seu assento inferior pela ação de uma mola fixa.

O primeiro estágio é, na verdade, uma válvula controladora de pressão diretamente operada que, ao abrir, drena o óleo da câmara superior do carretel principal para o tanque, através do furo no centro do próprio carretel, limitando a pressão na câmara de cima ao valor regulado na mola da válvula de ação direta. Como o orifício lateral do carretel restringe a passagem do óleo da câmara inferior para a superior, se a pressão na câmara de baixo continuar subindo, o carretel é deslocado do seu assento, abrindo a passagem do óleo da câmara inferior para o tanque, descarregando o excesso de pressão da linha principal.

Soltando o bujão do cabeçote superior, montado na frente da agulha cônica de pré-operação, é possível ventar a válvula de segurança. O recurso de **ventagem** possibilita montar circuitos com mais válvulas controladoras de pressão, de diferentes regulagens, permitindo que o sistema hidráulico possa operar em vários níveis de pressão.

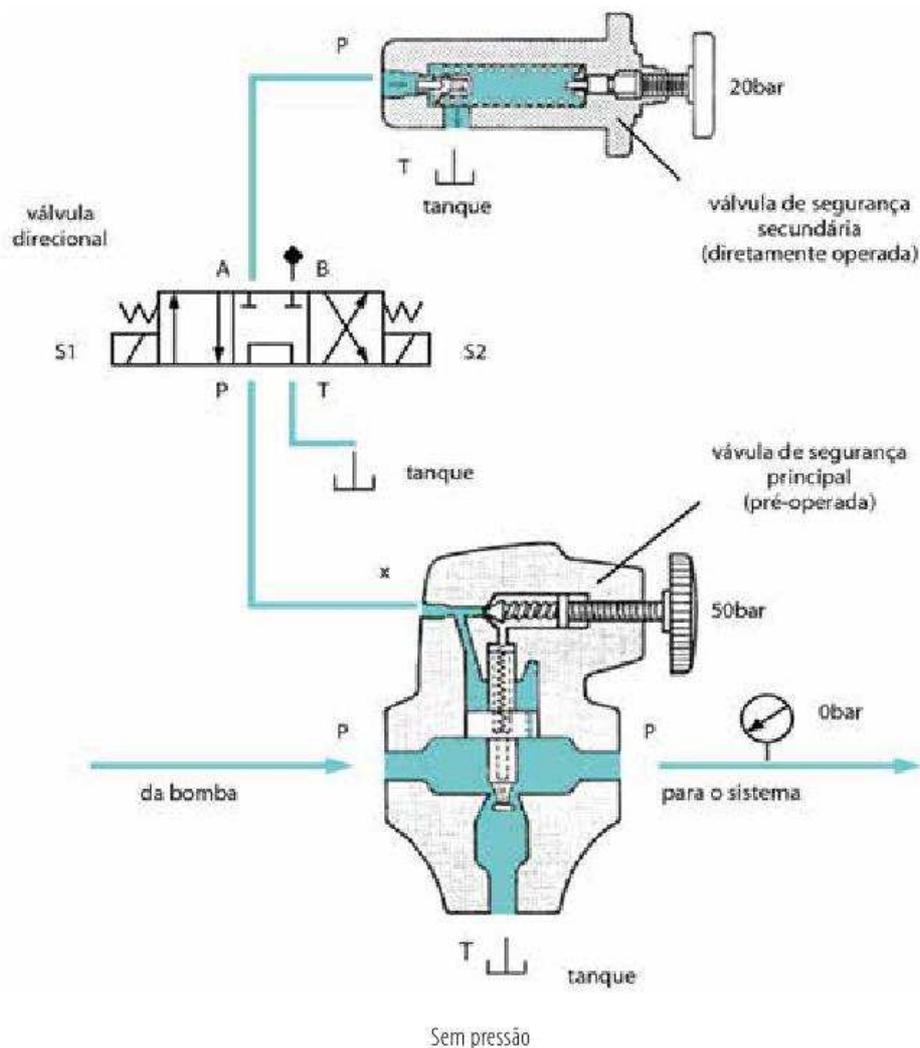
Além disso, se a válvula de segurança for ventada diretamente para o tanque, ela se torna inoperante, mantendo-se totalmente aberta, independente de sua regulagem. Esse recurso é muito utilizado para aliviar a pressão do sistema hidráulico durante longos períodos de inatividade, fazendo com que toda a vazão da bomba circule livre para o reservatório.

As figuras a seguir exemplificam um circuito de ventagem da válvula de segurança principal, permitindo que o sistema hidráulico possa operar com até três pressões diferentes:

- sem pressão;
- pressão reduzida;
- pressão máxima.

Além da válvula de segurança principal, pré-operada, são utilizadas: uma válvula de segurança secundária, diretamente operada; e uma válvula direcional de 4/3 vias, centro tandem, acionada eletricamente por solenoides e centrada por molas.

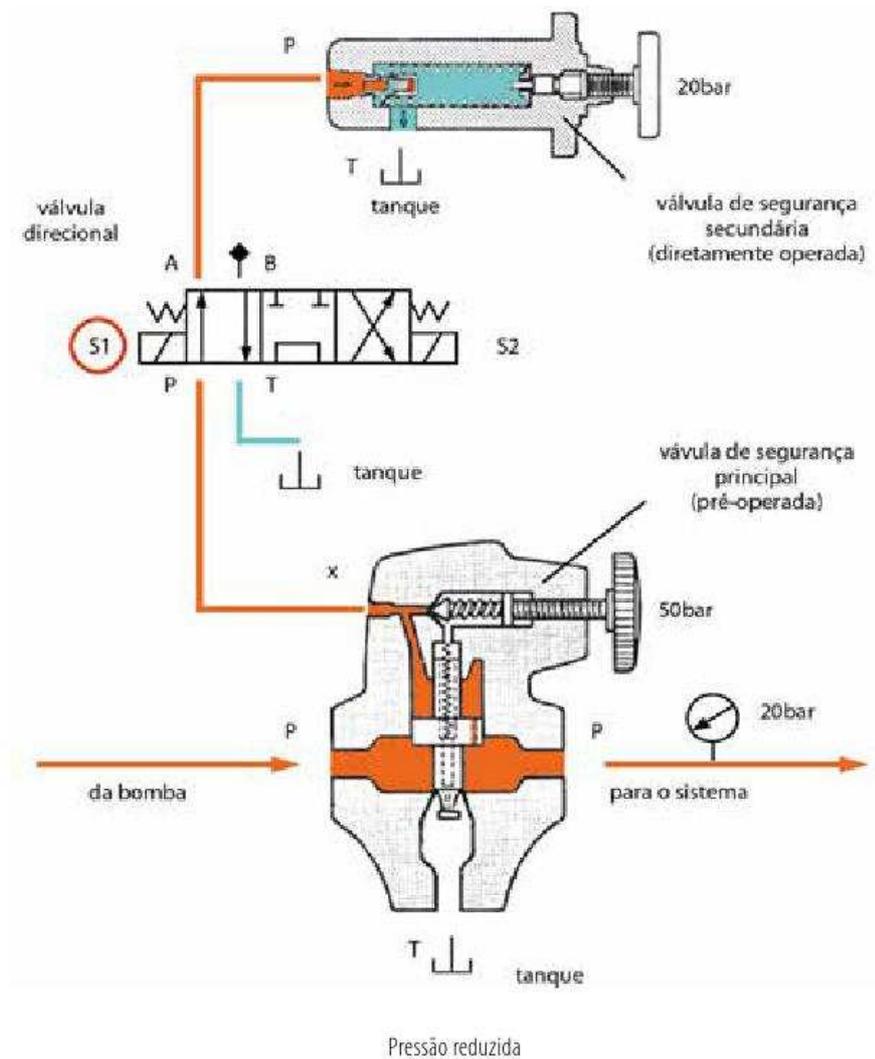
A válvula direcional, embora possua quatro vias, tem o seu pórtico **B** bloqueado por um bujão, trabalhando apenas com os pórticos de entrada de pressão **P**, retorno ao tanque **T** e a via de trabalho **A**.



Enquanto os solenoides S1 e S2 estiverem desligados, as molas mantêm a válvula direcional na sua posição central.

O centro tandem da direcional efetua a ventagem da válvula de segurança principal, através do pórtico x, descarregando todo o óleo da câmara superior para o tanque. Com isso, a válvula de segurança principal permanece totalmente aberta, fazendo circular livre toda a vazão da bomba para o reservatório. A pressão no sistema hidráulico é quase zero, suficiente apenas para vencer a força da mola fixa do carretel principal.

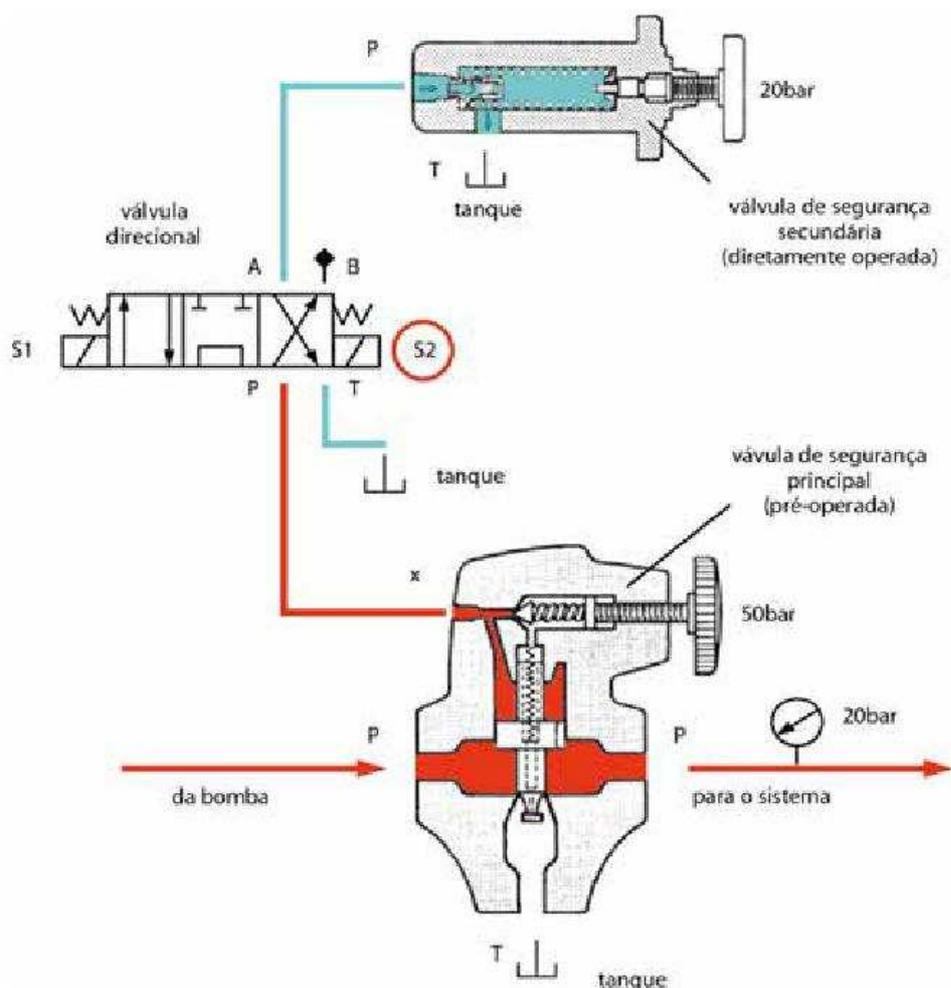
A válvula de segurança secundária, por sua vez, permanece isolada pelo pórtico A fechado da válvula direcional.



Quando o solenoide S1 é energizado, a válvula direcional é acionada para a sua posição paralela, direcionando o óleo da câmara superior da válvula de segurança principal para a válvula secundária, através do pórtico de ventagem **x**.

Nessa posição, na verdade, a pressão da câmara superior do carretel passa a ter dois controles: o da própria válvula de segurança principal, regulada nesse caso com 50 bar, e o da válvula secundária, ajustada com 20 bar.

Dessa forma, embora a válvula de segurança principal esteja regulada com 50 bar, se a pressão do sistema hidráulico ultrapassar 20 bar, a válvula secundária abrirá, descarregando o excesso de pressão da câmara superior do carretel para o tanque, limitando-a ao ajuste menor, neste caso de 20 bar.



Pressão máxima

Quando o solenoide S2 é energizado, a válvula direcional é acionada para a sua posição cruzada, direcionando o óleo da válvula secundária para o tanque e bloqueando o pórtico de ventagem x da válvula de segurança principal.

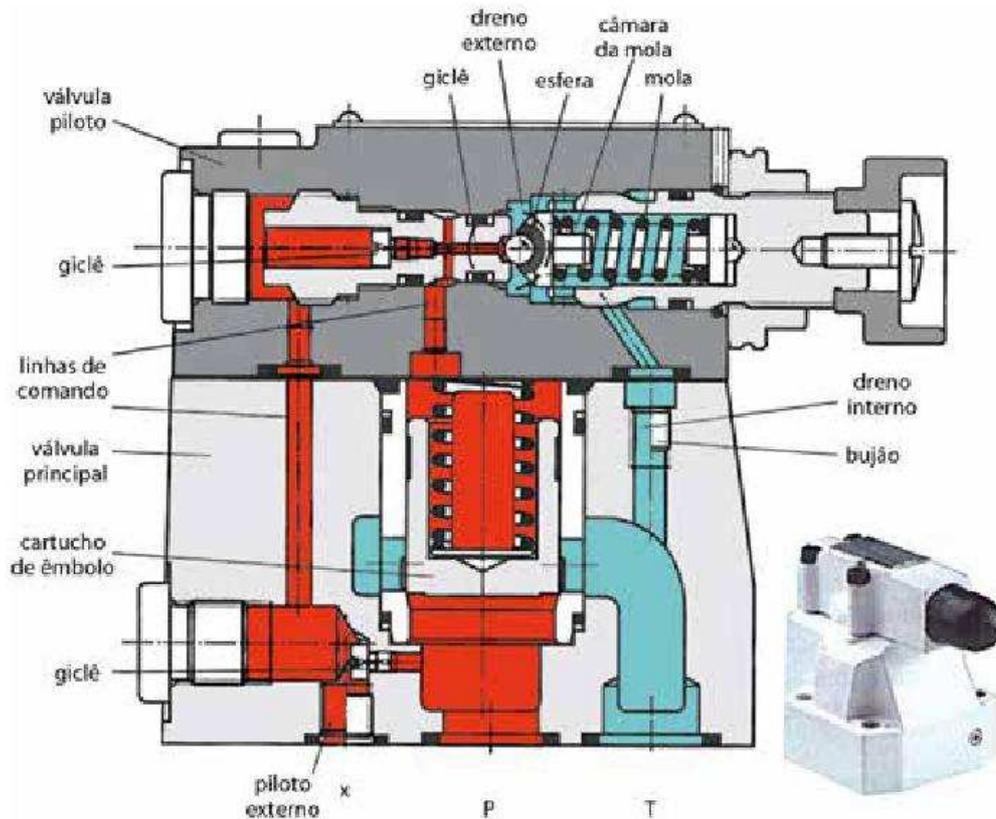
Nessa posição, como não há mais ventagem, a válvula de segurança principal passa a operar normalmente, limitando a pressão do sistema hidráulico à sua regulagem.

Dessa forma, somente se a pressão do sistema ultrapassar 50 bar, a válvula de segurança principal deverá abrir, descarregando o excesso de pressão da câmara superior do carretel para o tanque, limitando-a ao ajuste maior, nesse caso, de 50 bar.

Existem, no mercado, vários tipos de válvulas de segurança pré-operadas, de diferentes fabricantes. Muito embora suas características construtivas possam va-

riar de um fabricante para o outro, o princípio de funcionamento é o mesmo para todas elas.

A figura a seguir apresenta uma válvula controladora de pressão pré-operada, com possibilidade de trabalhar com pilotagem direta ou indireta do cabeçote superior, permitindo-lhe exercer várias funções no sistema hidráulico.



Válvula controladora de pressão pré-operada

Embora o carretel principal tenha sido substituído por um cartucho de êmbolo, seu princípio de funcionamento é o mesmo da válvula anterior.

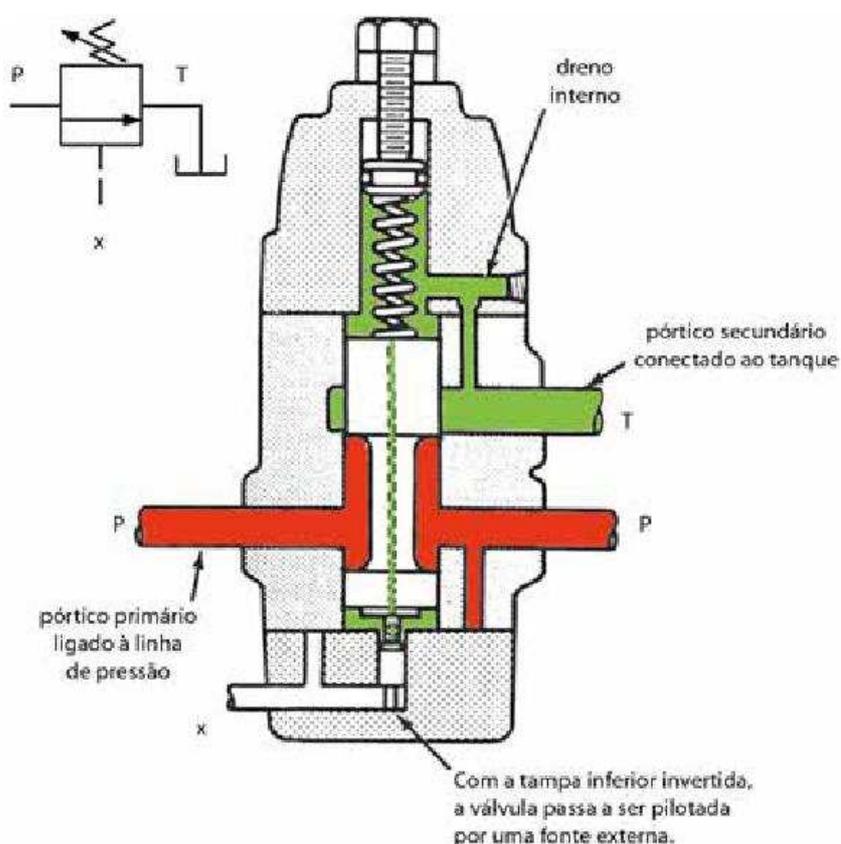
## Válvula de descarga de pressão

As válvulas de descarga são controladoras de pressão normalmente fechadas, com as mesmas características de construção das válvulas de segurança, mas que

operam controladas remotamente, por pilotagem externa **x**, em vez do controle interno característico das válvulas de segurança.

A pilotagem externa altera o funcionamento da válvula, fazendo com que a abertura e o fechamento das passagens de óleo entre os pórticos primário e secundário não dependam mais da pressão de entrada da válvula e sim, de uma fonte de pressão remota.

A figura a seguir apresenta a mesma válvula controladora de pressão diretamente operada, de carretel cilíndrico, vista antes montada como válvula de segurança de ação direta. Agora, como válvula de descarga de pressão, a tampa inferior sofreu um giro de 180°, para bloquear a passagem interna de pilotagem, e o bujão foi retirado, abrindo o pórtico **x**, para permitir que uma fonte externa de pressão pilote a válvula, contra a regulagem da mola.



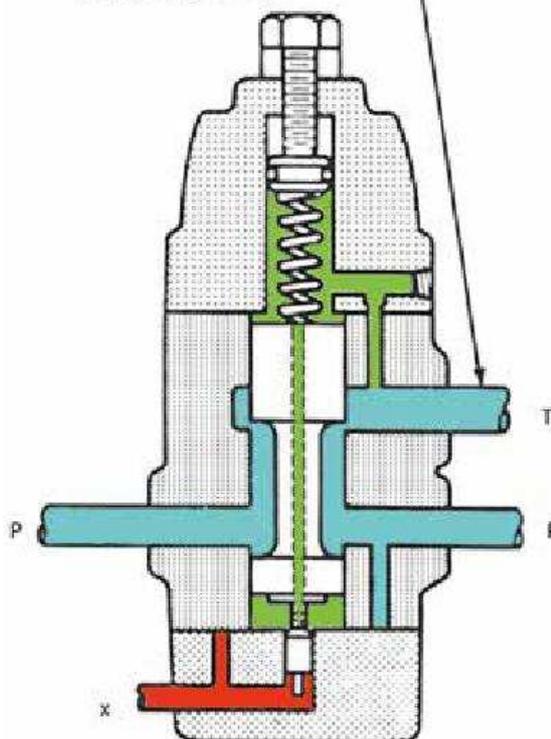
Válvula de descarga de pressão diretamente operada

A tampa superior, por sua vez, continua montada de modo a conectar a câmara da mola com o pórtico secundário de saída ao tanque, efetuando internamente a drenagem do óleo que lubrifica as partes móveis da válvula e evitando que calços hidráulicos possam prejudicar seu funcionamento.

Agora, sem o piloto interno, mesmo que a pressão no pórtico primário suba acima do limite regulado na mola, a válvula não abre, enquanto não for pressurizado de forma remota o pórtico x de pilotagem externa.

Quando houver pressão de pilotagem externa, superior ao valor regulado na mola, o carretel desloca-se do seu assento inferior, abrindo a válvula de descarga e conectando o pórtico primário de entrada de pressão com o pórtico secundário ligado ao tanque.

Quando a válvula é pilotada, remotamente, o pistão piloto levanta o carretel, abrindo totalmente o pórtico de retorno ao tanque, independente da queda de pressão no pórtico primário.

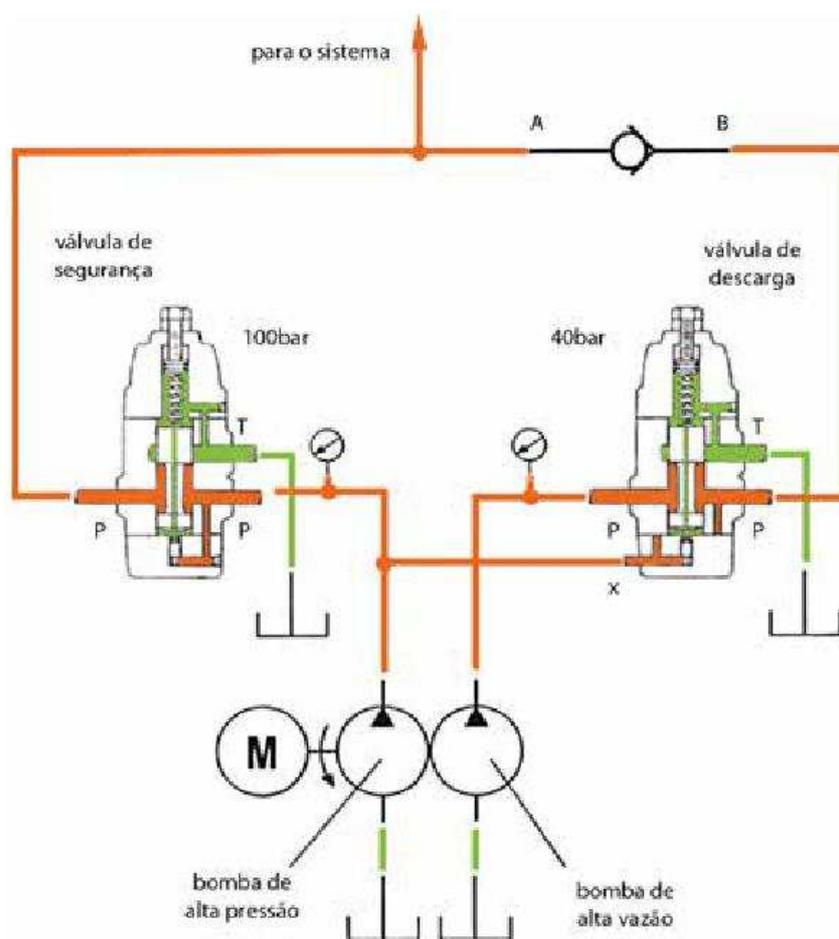


Diferente da válvula de segurança, mesmo que a pressão no pórtico primário caia abaixo do valor ajustado na mola, a válvula de descarga permanece aberta,

enquanto houver pressão no pórtico de pilotagem, descarregando todo o óleo do pórtico primário para o tanque.

Ao contrário da válvula de segurança em que o carretel assume infinitas posições entre totalmente aberta e fechada, modulando de acordo com a pressão do sistema e a tensão da mola de regulagem, na válvula de descarga só há duas posições para o carretel: ou fechado ou totalmente aberto. Essas posições dependem apenas de existir ou não pressão no pórtico x de pilotagem externa, desde que ela seja maior que a tensão regulada na mola.

A aplicação mais comum de válvula de descarga ocorre em sistemas hidráulicos que trabalham com duas bombas, sendo uma de alta pressão e outra de alta vazão. Nesses circuitos, a bomba de alta vazão deve ser totalmente descarregada para o reservatório nos momentos em que a pressão do sistema sobe acima de seus limites de operação. Nesses casos, uma válvula de descarga é montada na linha de saída da

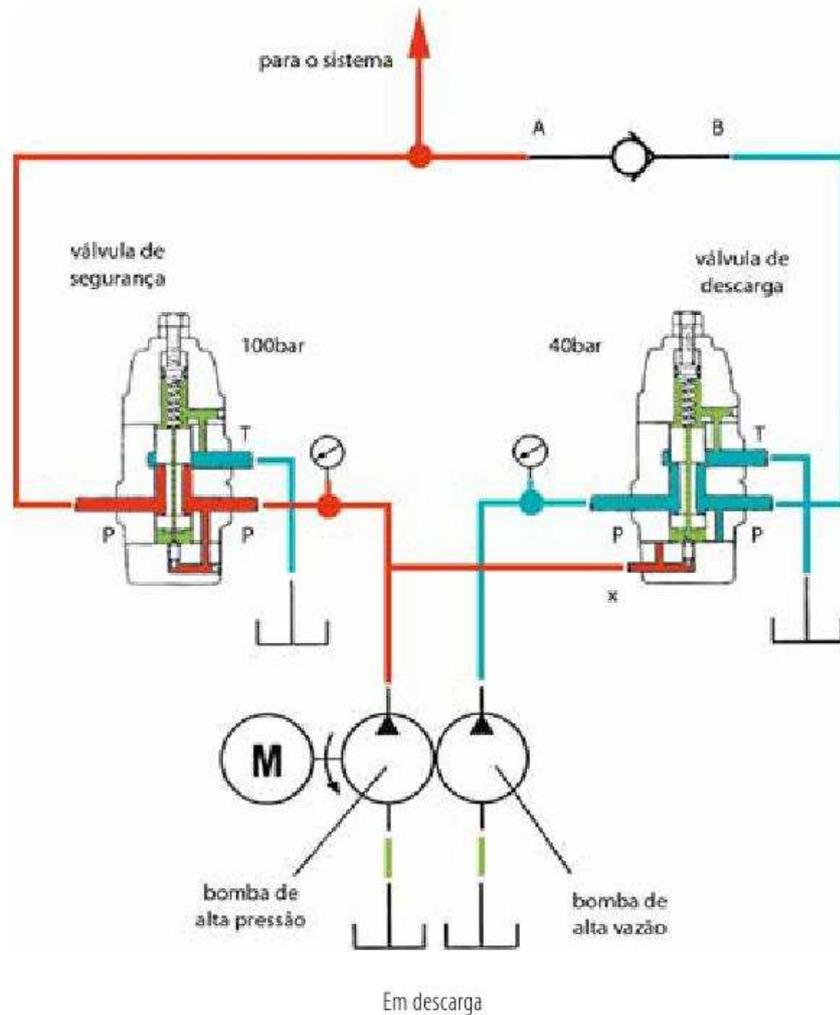


bomba de alta vazão, sendo que seu pórtico x de pilotagem externa é pressurizado remotamente pela linha de saída da bomba de alta pressão, conforme apresentado na figura a seguir.

Nesse exemplo, embora a pressão do sistema hidráulico esteja limitada a 100 bar, a bomba de alta vazão deve ser aliviada quando a pressão ultrapassar 40 bar.

Quando o motor elétrico de acionamento é ligado, o fluxo de óleo da bomba de alta vazão passa pelas válvulas de descarga e de retenção, nesta última, no sentido livre de B para A, junta-se ao fluxo de óleo proveniente da bomba de alta pressão e alimenta o sistema hidráulico.

Nesse momento, a máquina é alimentada com a soma de vazão das duas bombas, enquanto a pressão do sistema hidráulico estiver abaixo dos 40 bar, ajustado na válvula de descarga.



No instante em que a pressão do sistema ultrapassa 40 bar, o carretel da válvula de descarga é pilotado, deslocando-se do seu assento e abrindo a passagem de óleo do pórtico de entrada de pressão **P** para o de retorno ao tanque **T**. Agora, com a válvula de descarga aberta, todo o fluxo de óleo da bomba de alta vazão retorna ao reservatório.

A válvula de retenção bloqueia o fluxo de óleo, no sentido de **A** para **B**, para impedir que a bomba de alta pressão também descarregue para o tanque, através da válvula de descarga aberta. Dessa forma, a bomba de alta pressão continua alimentando o sistema hidráulico, enquanto a bomba de alta vazão é descarregada ao reservatório.

A válvula de segurança, por sua vez, limita a pressão do sistema a 100 bar. Se a pressão ultrapassar esse valor, o carretel da válvula de segurança desloca-se do seu assento, liberando para o reservatório o excesso de óleo causador do acréscimo de pressão indesejado.

Manômetros são instalados nas linhas de saída das bombas para permitir a leitura dos valores de pressão e facilitar a regulagens das válvulas de segurança e de descarga.

## Válvula de sequência

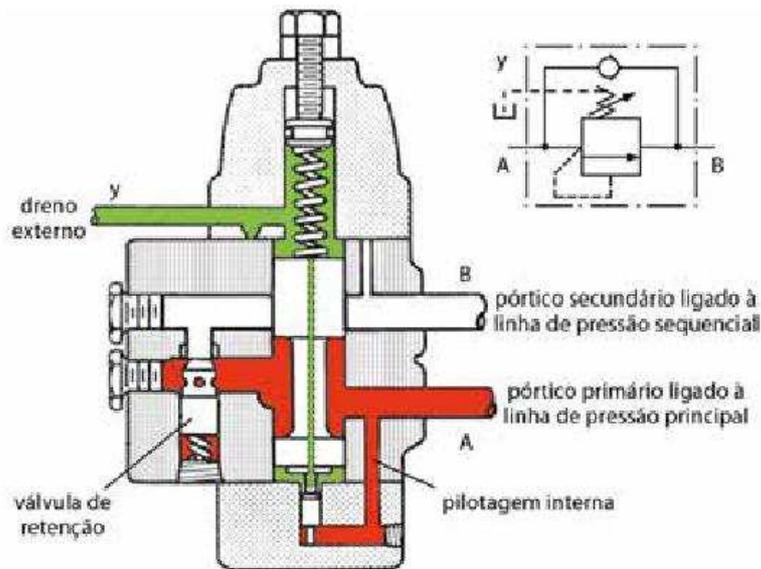
As válvulas de sequência são controladoras de pressão normalmente fechadas cuja função é dar continuidade aos movimentos dos atuadores hidráulicos, em função do aumento de pressão do sistema.

São válvulas idênticas a anterior mas, agora, com o pórtico secundário **B** conectado a uma segunda linha de pressão e não mais ao tanque, como nas válvulas anteriores. Nas válvulas de sequência, a função do pórtico secundário **B** é pressurizar outro setor do circuito hidráulico, onde estão os atuadores que devem se movimentar em sequência, aos da linha principal **A**.

Para poder operar como válvula de sequência, as tampas devem ser montadas de modo que a pilotagem volte a ser interna e o dreno **y** passe a ser externo, considerando que o pórtico secundário **B** não é mais um retorno ao reservatório e sim uma linha de pressão.

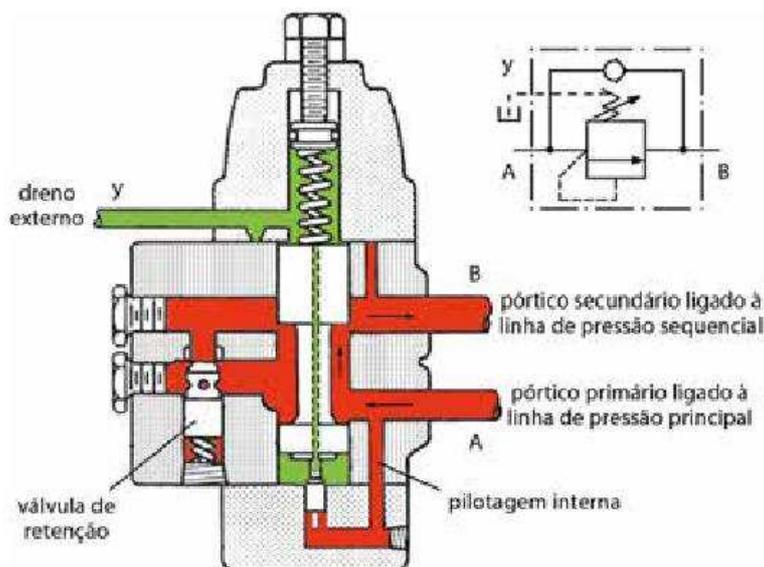
Além disso, as válvulas de sequência possuem, normalmente, uma retenção incorporada a sua carcaça, ligada em paralelo ao controle de pressão, para permitir

fluxo livre de óleo no sentido contrário, ou seja, do pórtico secundário **B** para o primário **A**, fazendo com que as válvulas de sequência sejam unidirecionais.

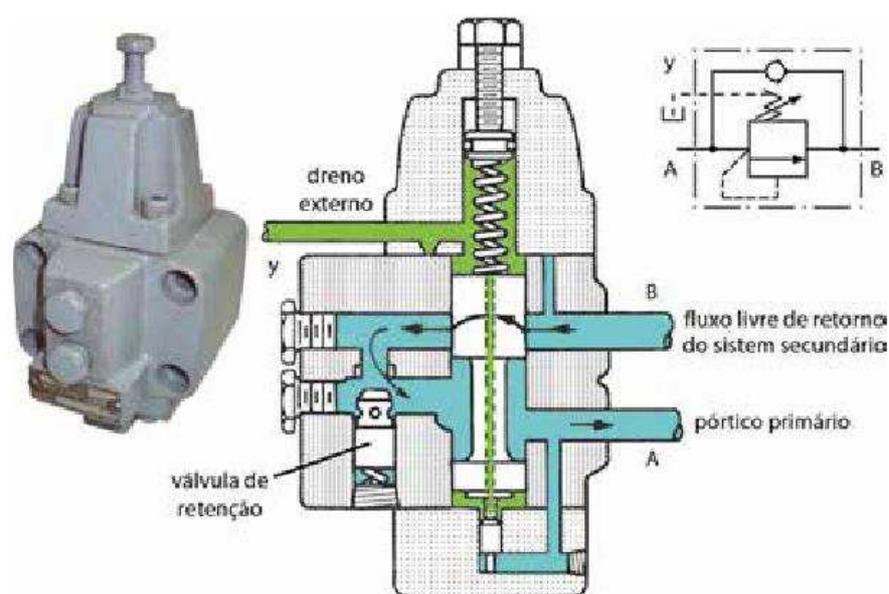


Válvula de sequência diretamente operada

Enquanto a pressão do óleo no pórtico primário **A** for menor que a tensão regulada na mola, o carretel permanece apoiado na tampa inferior, mantendo fechada a passagem entre os pórticos primário **A** e secundário **B**.



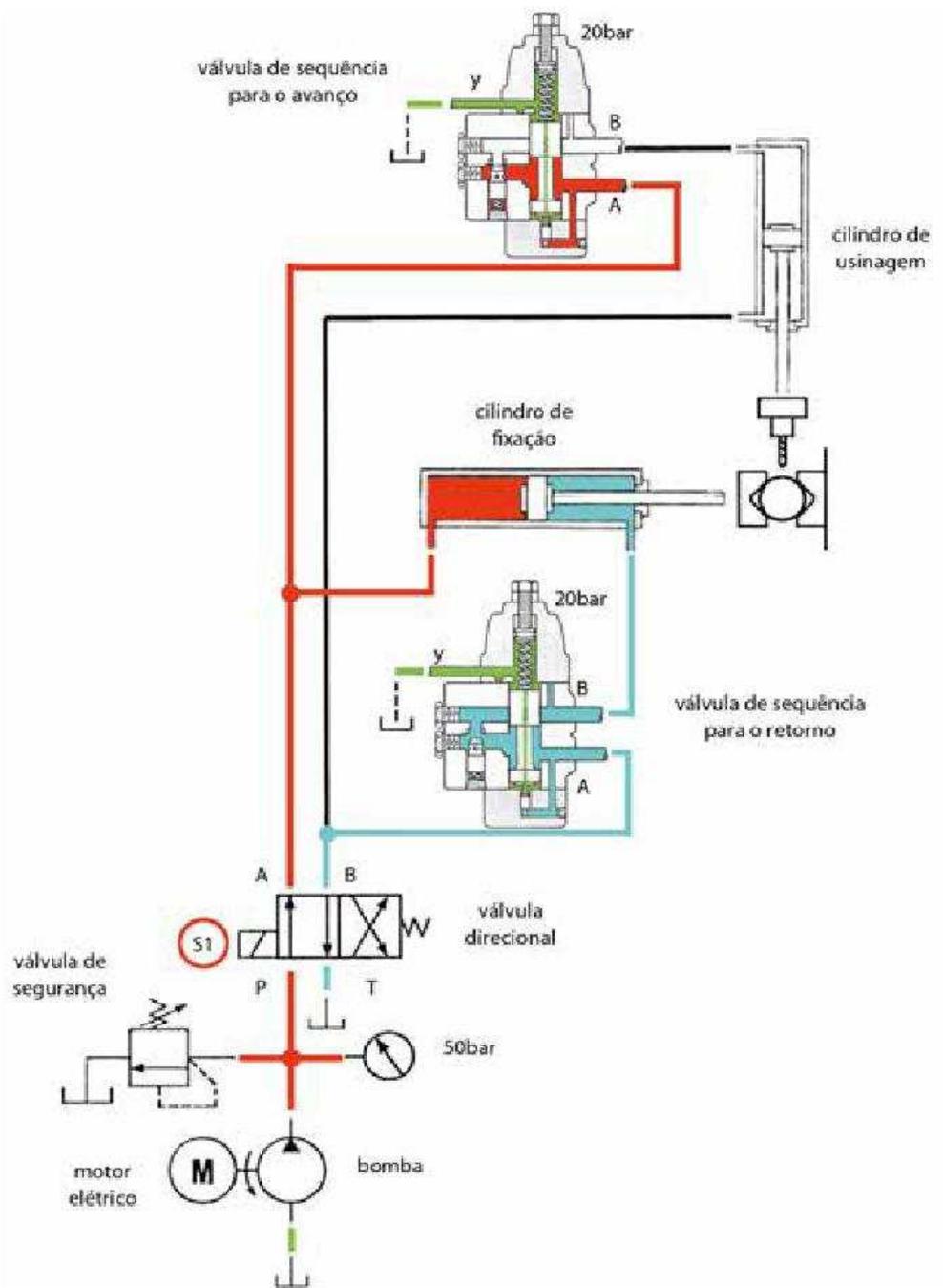
Quando a pressão do óleo no pórtico primário **A** ultrapassa o valor ajustado na mola, o carretel é empurrado para cima, abrindo a passagem de óleo do pórtico primário **A** para o secundário **B**.



Quando o óleo retorna do pórtico secundário **B** para o primário **A**, a retenção incorporada permite fluxo livre, tornando a válvula de sequência inoperante, como se ela não estivesse presente no sistema hidráulico. Trata-se portanto de uma válvula de sequência unidirecional, isto é, controlada apenas de **A** para **B** e livre de **B** para **A**.

As figuras a seguir apresentam um exemplo de aplicação de uma válvula de sequência. Uma furadeira utiliza dois cilindros hidráulicos: um para fixar a peça na mesa e outro para avançar o cabeçote da broca. Os cilindros devem avançar em sequência, comandados por uma única válvula direcional de 4/2 vias, acionada eletricamente por solenoide e reposicionada por mola.

Considerando o risco da ferramenta alcançar a peça sem ela estar totalmente fixada, o cilindro de fixação deve avançar primeiro, prendendo a peça. Em seguida, somente depois que a peça estiver presa, o cilindro de usinagem deve avançar o cabeçote da ferramenta, furando a peça. No retorno, ao contrário, o cilindro de usinagem deve retroceder primeiro, retirando a broca de dentro da peça, para somente então o cilindro de fixação recuar e soltar a peça.



Avanço do cilindro de fixação

Quando o solenoide **S1** é energizado, a válvula direcional é acionada para a posição paralela, enviando o óleo sob pressão para a via de trabalho **A** e descarregando a **B** para o tanque.

Nessa posição, o óleo tem duas possibilidades de fluxo: avançar o cilindro de fixação ou abrir a válvula de sequência para o avanço e avançar o cilindro de usinagem.

Considerando que o óleo flui sempre pelo caminho que exige menor esforço, para garantir que o cilindro de fixação avance antes do de usinagem, a válvula de sequência para o avanço deve estar regulada de modo correto, com uma pressão intermediária, maior que a necessária para o primeiro movimento e, ao mesmo tempo, menor que a principal mantida pela válvula de segurança.

No exemplo dado, a válvula de segurança está limitando a pressão do sistema a 50 bar. Admitindo que o cilindro de fixação necessita de 10 bar para avançar, a válvula de sequência para o avanço deverá ser regulada com uma pressão maior que 10 bar, exigida pela fixação, e menor que 50 bar, pressão máxima de operação do sistema.

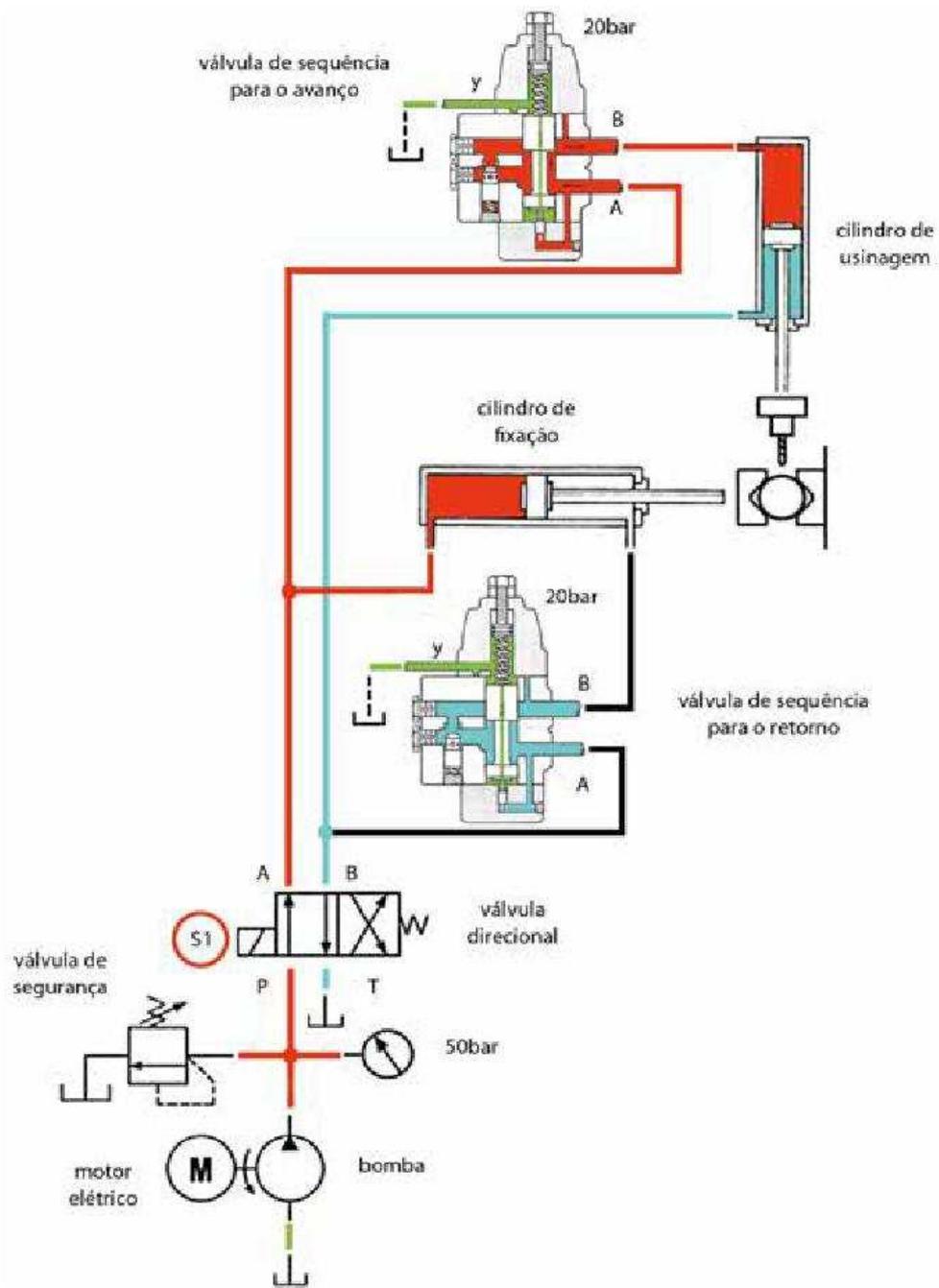
Como a válvula de sequência para o avanço está regulada com 20 bar e o cilindro de fixação exige apenas 10 bar de pressão para prender a peça, a válvula de sequência permanece fechada, bloqueando o fluxo de óleo para a câmara traseira do cilindro de usinagem. Desse modo, apenas o cilindro de fixação avança, prendendo a peça, sendo que o óleo da sua câmara dianteira passa livremente pela retenção da válvula de sequência para o retorno e flui para o tanque através da direcional.

No final do curso de avanço do cilindro de fixação ou, quando a peça estiver devidamente fixada, o óleo não terá mais as duas possibilidades iniciais de fluxo, restando a ele apenas a segunda opção que é abrir a válvula de sequência para o avanço e avançar o cilindro de usinagem.

Na verdade, quando o cilindro de fixação para, a pressão no sistema hidráulico que se encontrava em torno de 10 bar volta a subir, alcançando os 20 bar ajustados na válvula de sequência para o avanço.

Somente então, quando a pressão no sistema atinge 20 bar, a válvula de sequência para o avanço abre, permitindo que o óleo flua em direção a câmara traseira do cilindro de usinagem, avançando a ferramenta para furar a peça, como mostra a figura a seguir.

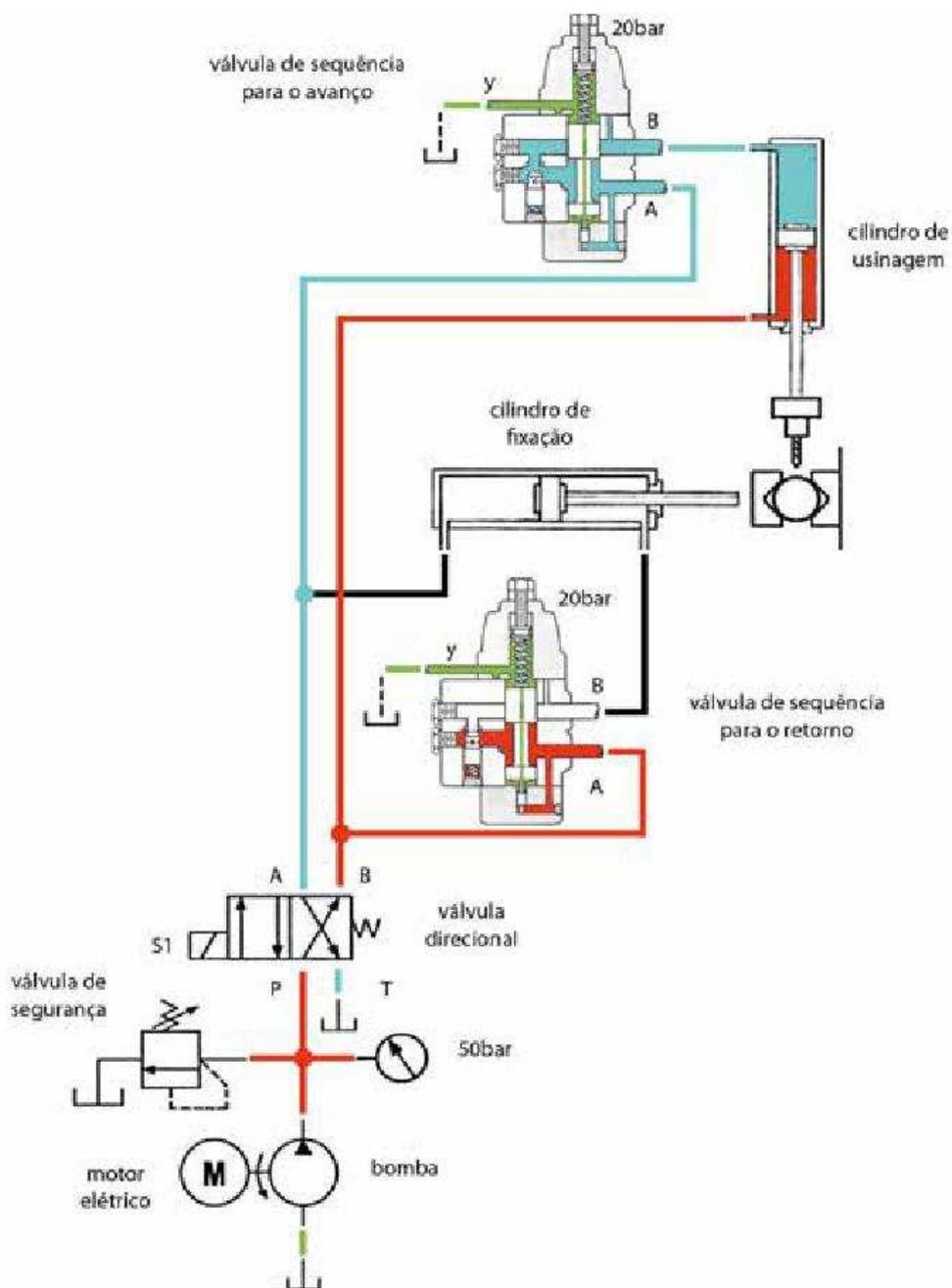
O óleo acumulado na câmara dianteira do cilindro de usinagem flui livremente para o tanque, através da válvula direcional.



Avanço do cilindro de usinagem

Durante o avanço, a retenção incorporada na válvula de sequência para o retorno não permite que ela exerça qualquer influência nos movimentos dos cilindros, liberando a passagem do fluxo de óleo para o tanque.

Uma vez encerrada a operação de usinagem, o solenoide da válvula direcional é desligado.



Retorno do cilindro de usinagem

Quando o solenoide **SI** é desligado, a mola retorna a válvula direcional para a sua posição cruzada, enviando o óleo sob pressão para a via de trabalho **B** e descarregando a **A** para o tanque.

Nessa posição, o óleo tem novamente duas possibilidades de fluxo: retornar o cilindro de usinagem ou abrir a válvula de sequência para o retorno e recuar o cilindro de fixação.

Da mesma forma ocorrida durante os movimentos de avanço, o óleo procura fluir pelo caminho que exige menor pressão. Sendo assim, para garantir que o cilindro de usinagem retire a broca de dentro da peça, antes de soltá-la, a válvula de sequência para o retorno deve estar ajustada com uma pressão intermediária, maior que a necessária para recuar a ferramenta e menor que a pressão principal limitada pela válvula de segurança.

A válvula de segurança continua limitando a pressão do sistema a 50 bar. Admitindo que, para recuar o cilindro de usinagem é preciso 12 bar de pressão, a válvula de sequência para o retorno deverá ser regulada com uma pressão maior que 12 bar, exigida pelo retorno da ferramenta, e menor que 50 bar, pressão máxima de operação do sistema.

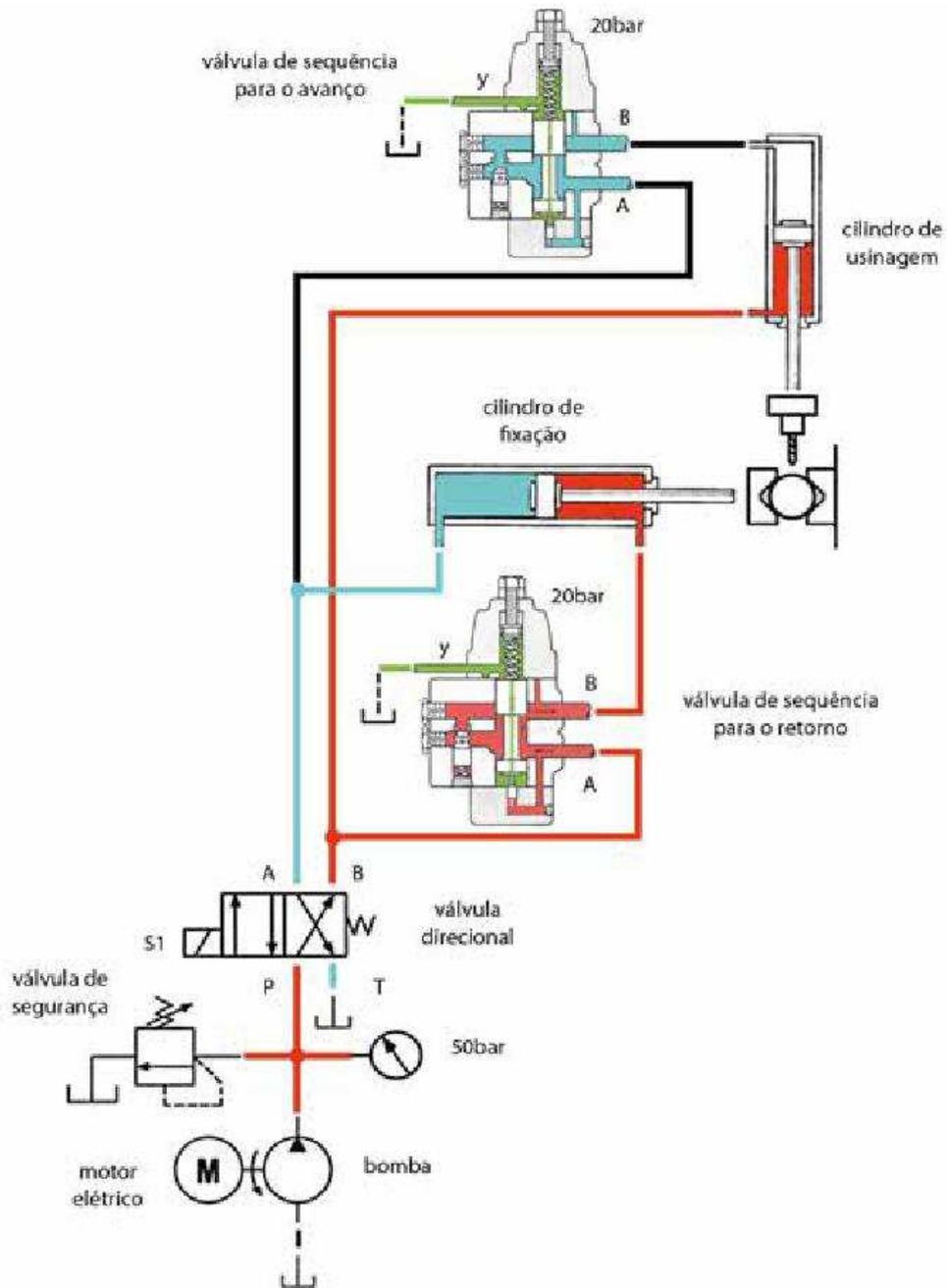
Como a válvula de sequência para o retorno está ajustada com 20 bar e o cilindro de usinagem exige apenas 12 bar de pressão para retirar a ferramenta da peça, a válvula de sequência permanece fechada, bloqueando o fluxo de óleo para a câmara dianteira do cilindro de fixação. Desse modo, apenas o cilindro de usinagem retorna, recuando a broca, sendo que o óleo da sua câmara traseira passa livremente pela retenção da válvula de sequência para o avanço e flui para o tanque através da direcional.

No final do curso de retorno do cilindro de usinagem ou, depois que a broca foi retirada de dentro da peça, o óleo não terá mais as duas possibilidades iniciais de fluxo, restando a ele apenas a segunda opção que é abrir a válvula de sequência para o retorno e recuar o cilindro de fixação.

Na realidade, quando o cilindro de usinagem termina de recuar, a pressão no sistema hidráulico que se encontrava em torno de 12 bar volta a subir, alcançando os 20 bar ajustados na válvula de sequência para o retorno.

Somente então, quando a pressão no sistema atinge 20 bar, a válvula de sequência para o retorno abre, permitindo que o óleo flua em direção a câmara dianteira do cilindro de fixação, soltando a peça, como mostra a figura a seguir.

O óleo acumulado na câmara traseira do cilindro de fixação flui livremente para o tanque, através da válvula direcional.



Retorno do cilindro de fixação

Durante o retorno, a retenção incorporada na válvula de sequência para o avanço libera a passagem livre do fluxo de óleo para o reservatório, não permitindo que ela exerça qualquer influência nos movimentos dos cilindros.

## Válvula de contrabalanço

As válvulas de contrabalanço são controladoras de pressão normalmente fechadas, montadas em circuitos hidráulicos para controlar o movimento de descida de cilindros posicionados na vertical, que estejam sustentando cargas. As válvulas de contrabalanço evitam que a força da gravidade provoque a descida livre de cilindros verticais, mesmo com a máquina desligada.

São válvulas idênticas a anterior mas, agora, com o pórtico primário **A** conectado à câmara inferior do cilindro e o secundário **B** ligado ao tanque, geralmente passando pela válvula direcional de comando.

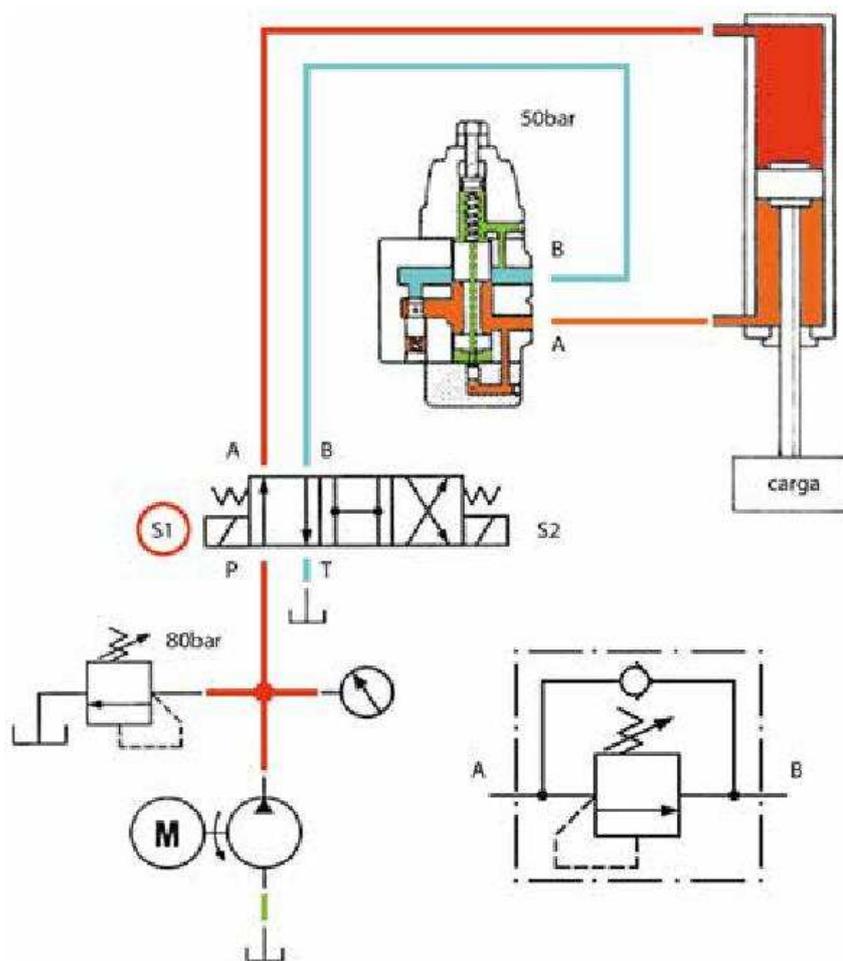
Para operar como válvula de contrabalanço, as tampas devem ser montadas de modo que tanto a pilotagem como o dreno sejam internos, considerando que o pórtico secundário **B**, mais uma vez, é uma saída para o reservatório.

A retenção, mais uma vez, permite fluxo reverso livre pela válvula de contrabalanço, fazendo com que ela controle apenas a descida do cilindro e não interfira no movimento de subida.

As válvulas de contrabalanço devem ser reguladas com uma pressão intermediária, maior que a originada pelo peso da carga e menor que a pressão principal, esta limitada no sistema pela válvula de segurança. Considerando ainda possíveis alterações no peso da carga, a pressão da válvula de contrabalanço deve ser ajustada em, no mínimo, 10% acima do valor de pressão gerado pela carga máxima a ser movimentada pelo sistema hidráulico em operação.

A figura a seguir mostra um circuito hidráulico utilizando uma válvula de contrabalanço para sustentar um cilindro vertical que movimenta o martelo de uma prensa. O cilindro é comandado por uma válvula direcional de 4/3 vias de centro aberto, acionada eletricamente por solenoides e centrada por molas.

A válvula de contrabalanço deve estar regulada para suportar os pesos do martelo, da ferramenta e do próprio cilindro, além de considerar que possíveis substituições da ferramenta poderão alterar o peso total do conjunto e, como consequência, a pressão gerada na câmara inferior do cilindro devido aos efeitos da gravidade.



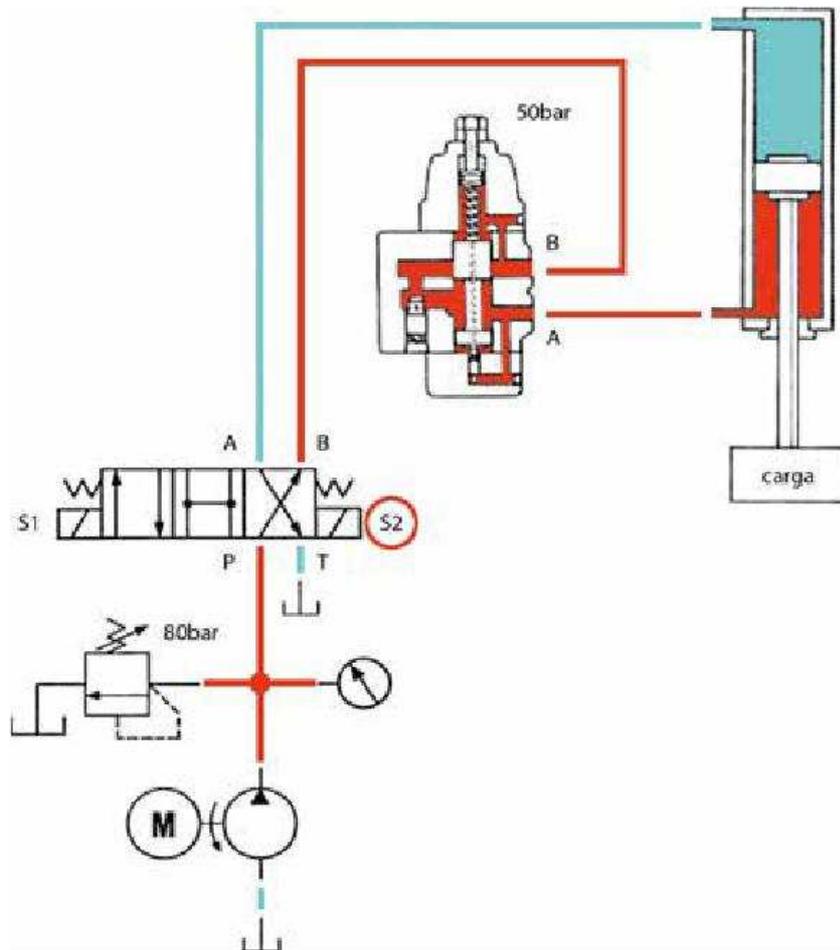
Descida do martelo

Quando o solenoide **S1** é energizado, a válvula direcional é acionada para a posição paralela, enviando o óleo sob pressão para a via de trabalho **A** e descarregando a **B** para o tanque.

Nessa posição, o óleo flui para a câmara superior do cilindro a uma pressão de 80 bar, limitada pela válvula de segurança, comandando a descida do martelo.

Nesse momento, a pressão do óleo da câmara inferior do pistão é igual ao peso do conjunto dividido pela área de retorno do cilindro, somada aos 80 bar que entram pela câmara superior. Sendo assim, o óleo que sai da câmara inferior do cilindro e entra pelo pórtico primário **A** da válvula de contrabalanço, não tem dificuldade para abri-la, considerando que ela está regulada com 50 bar. Dessa forma,

o carretel desloca-se do seu assento e permite ao óleo fluir pelo pórtico secundário **B** em direção ao tanque, através da válvula direcional.



Subida do martelo

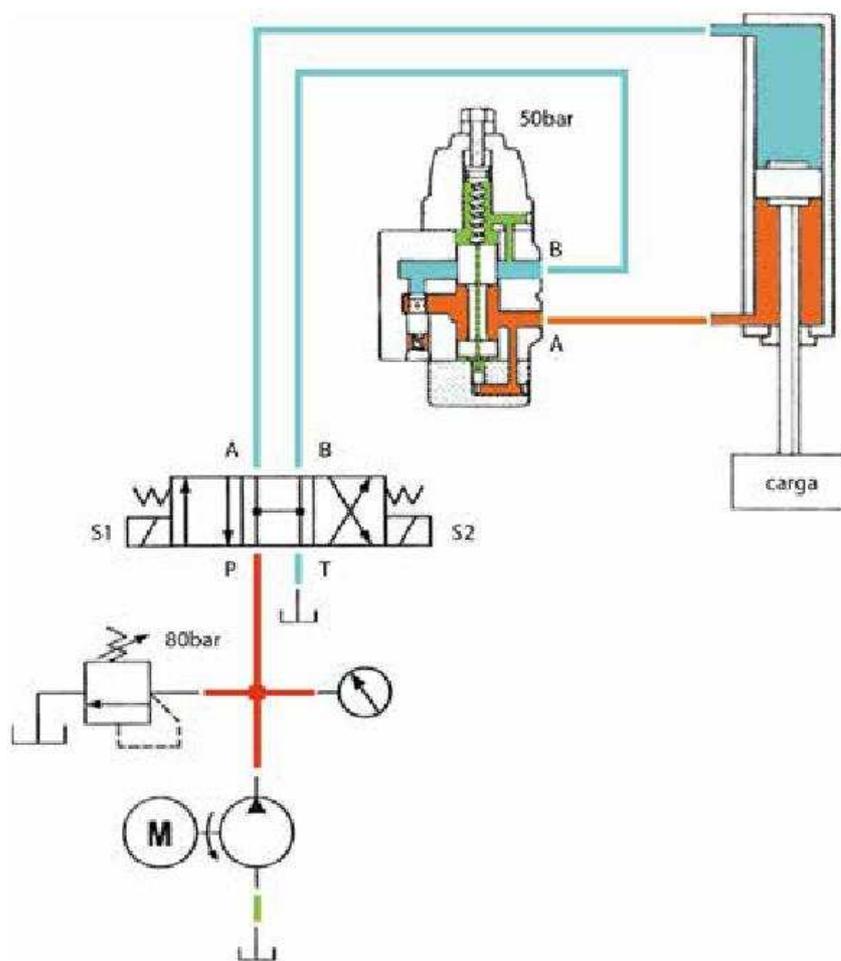
Na subida do martelo, o solenoide **S1** é desligado e o **S2** é energizado, fazendo com que a válvula direcional seja acionada para a posição cruzada, de modo a enviar o óleo sob pressão para a via de trabalho **B** e descarregar a **A** para o tanque.

Nessa posição, o óleo sob pressão entra pelo pórtico secundário **B** da válvula de contrabalanço, passa livremente pela sua retenção, sai pelo pórtico primário **A** e entra na câmara inferior do cilindro, suspendendo o martelo da prensa. O óleo da câmara superior do cilindro, por sua vez, retorna ao tanque pela válvula direcional.

Como a pressão de 80 bar, limitada pela válvula de segurança, é maior que a pressão gerada pelo peso da carga, O cilindro retorna normalmente, levantando o martelo.

Durante a troca da peça estampada pela prensa, assim como nos períodos de substituição e ajuste da ferramenta, os dois solenoides **S1** e **S2** são desligados, fazendo com que as molas centrem a válvula direcional.

Com a válvula direcional na sua posição de descanso, centro aberto, toda a vazão da bomba é descarregada para o tanque, assim como as vias de trabalho **A** e **B**, aliviando toda a pressão do sistema hidráulico, como mostra a figura a seguir.



Máquina parada (carga em suspensão)

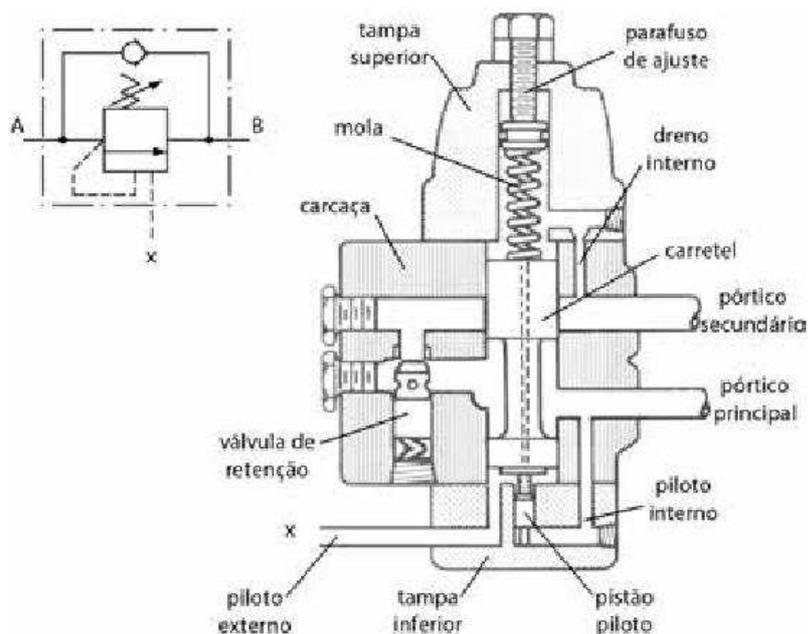
Nesse momento, embora não haja pressão na câmara superior do cilindro, o martelo tende a descer pelo próprio peso do conjunto, o que é evitado pela válvula de contrabalanço. Como a pressão regulada na válvula de contrabalanço é maior que a gerada pela carga, o carretel é mantido apoiado em seu assento inferior, bloqueando a passagem do óleo do pórtico primário **A** para o secundário **B** e impedindo a saída do óleo da câmara inferior do cilindro.

## Válvula de frenagem

As válvulas de frenagem são controladoras de pressão normalmente fechadas, utilizadas para desacelerar e parar motores hidráulicos no menor espaço de tempo possível. Ao mesmo tempo, elas não permitem que as pressões de frenagem ultrapassem os limites máximos estabelecidos para cada um dos componentes hidráulicos do sistema, garantindo total segurança.

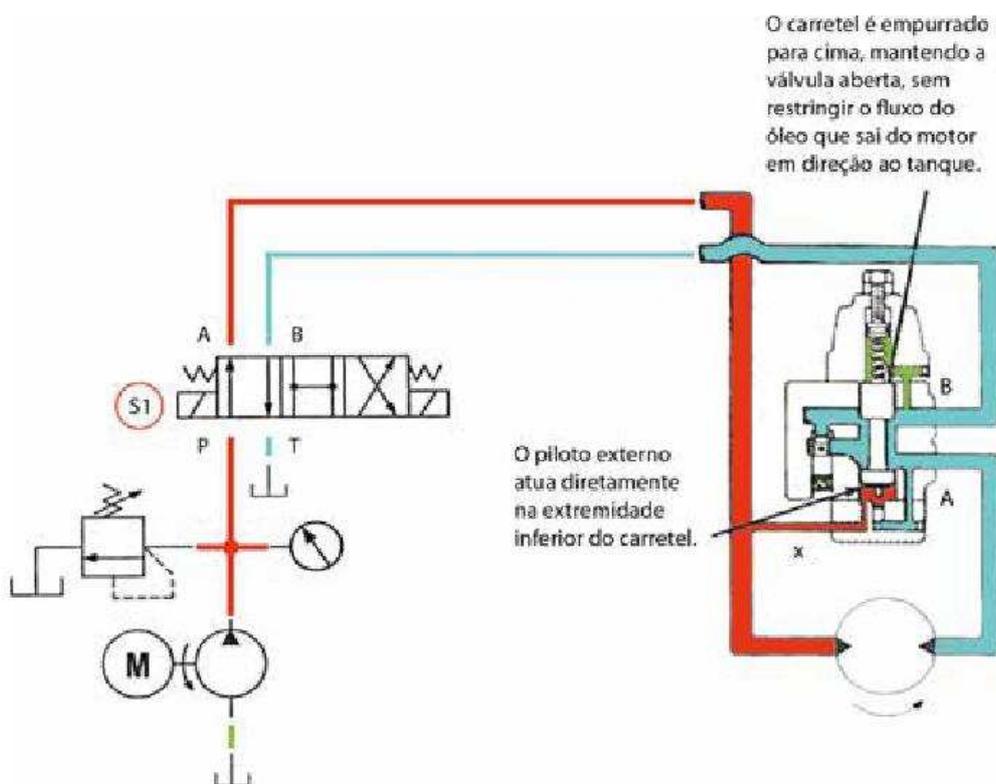
A válvula de frenagem pode ser usada, também, para controlar o movimento de rotação de um motor hidráulico, quando a força imposta pela carga atua no mesmo sentido de rotação do motor.

A válvula de frenagem é idêntica a de contrabalanço, montada com o pórtico primário **A** conectado à saída do motor hidráulico e o pórtico secundário **B** ligado ao tanque, passando por uma válvula direcional de comando.



Em geral, as válvulas de frenagem operam com dois pilotos: um externo, agindo diretamente na extremidade inferior do carretel; e outro interno, atuando no pistão piloto de menor diâmetro. A tampa superior, por sua vez, deve ser montada de modo que o dreno da válvula seja interno.

O circuito, a seguir, mostra a atuação de uma válvula de frenagem para um dos sentidos de rotação de um motor hidráulico reversível, comandado por uma válvula direcional de 4/3 vias de centro aberto, acionada eletricamente por solenóides e centrada por molas.



Quando o solenóide **S1** é energizado, a válvula direcional é acionada para a posição paralela, enviando o óleo sob pressão para a via de trabalho **A** e descarregando a **B** para o tanque.

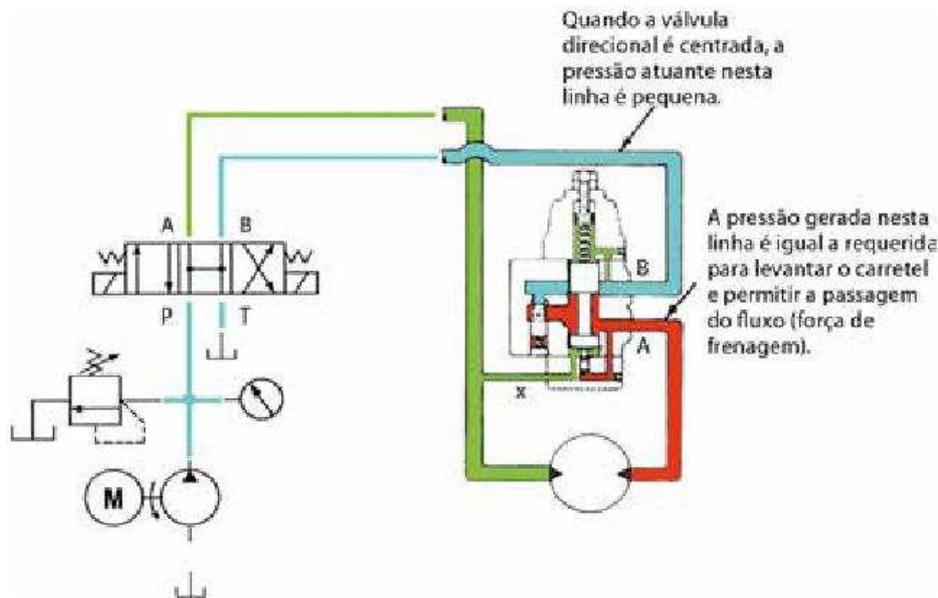
O óleo entra pela pilotagem externa **x** da válvula de frenagem, age em toda a área da extremidade inferior do carretel, empurrando-o para cima e abrindo a passagem do pórtico primário **A** para o secundário **B**.

Ao mesmo tempo, o óleo que entra pelo pórtico esquerdo do motor, movimenta seu eixo no sentido indicado pela seta, sai pelo pórtico direito, passa livremente

através da abertura imposta ao carretel da válvula de frenagem e flui para o reservatório, passando pela válvula direcional.

Quando o solenoide **S1** é desligado, as molas centram a válvula direcional, colocando-a na posição de descanso.

Com a válvula direcional na sua posição de centro aberto, toda a vazão da bomba é descarregada para o tanque, assim como as vias de trabalho **A** e **B**, aliviando toda a pressão do sistema hidráulico, como mostra a figura a seguir.



Embora não haja mais pressão no pórtico esquerdo do motor, a energia gerada pelo peso da carga tende a continuar arrastando o seu eixo. Nesse momento, como não há mais pressão de pilotagem externa **x** na extremidade inferior do carretel, a mola empurra o carretel para baixo, fechando a passagem entre os pórticos **A** e **B** da válvula de frenagem. Isso impede que o óleo proveniente do pórtico direito do motor possa sair para o tanque, cessando seu movimento de rotação.

Durante a frenagem, se o peso da carga elevar a pressão no pórtico direito do motor, acima do valor regulado na mola da válvula, o piloto interno ligado ao pórtico primário **A** levanta o carretel, abrindo a válvula de frenagem e aliviando a pressão.

Dessa forma, a válvula de frenagem garante a parada do movimento de rotação do motor o mais depressa possível, dentro do limite de pressão definido pela sua regulagem.

Se a válvula direcional for acionada para a sua posição cruzada, o óleo sob pressão passará livremente pela retenção da válvula de frenagem e acionará o eixo do motor no sentido de rotação oposto. Entretanto, no sentido inverso de rotação a válvula de frenagem se torna inoperante. Para que haja uma frenagem segura, também no sentido contrário, é necessário utilizar outra válvula montada no pórtico esquerdo do motor, recebendo pilotagem externa da linha que alimenta o pórtico direito.

## Válvula redutora de pressão

As válvulas redutoras são controladoras de pressão normalmente abertas que diminuem a pressão disponível no sistema hidráulico a níveis exigidos por determinados setores do circuito e necessários para algumas aplicações específicas.

Ao contrário das válvulas limitadoras estudadas até aqui, as quais são sempre pilotadas pela pressão do pórtico de entrada, as válvulas redutoras recebem pilotagem do pórtico de saída. Assim, enquanto as limitadoras são, em geral, fechadas, abrindo quando a pressão na entrada ultrapassa sua regulagem, as redutoras são normalmente abertas, fechando quando a pressão de saída for maior que o valor ajustado na mola.

Há dois tipos de válvulas redutoras de pressão:

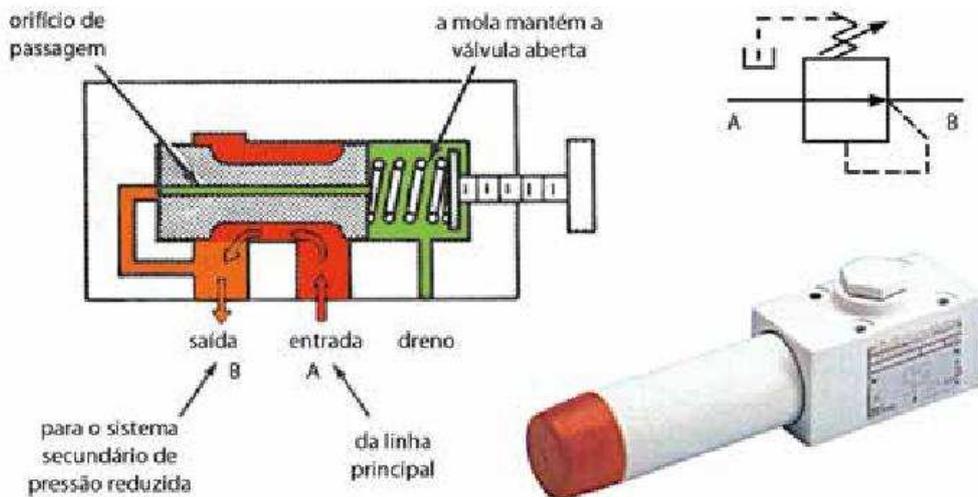
- de ação direta;
- de ação indireta.

### VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DE AÇÃO DIRETA

As válvulas redutoras de pressão de ação direta, também conhecidas como válvulas redutoras de pressão diretamente operadas, possuem um carretel cilíndrico que é mantido apoiado em uma de suas extremidades pela ação de uma mola regulável. Na carcaça, estão dispostos os pórticos de entrada de pressão principal **A** e de saída de pressão reduzida **B**, bem como uma saída de dreno externo.

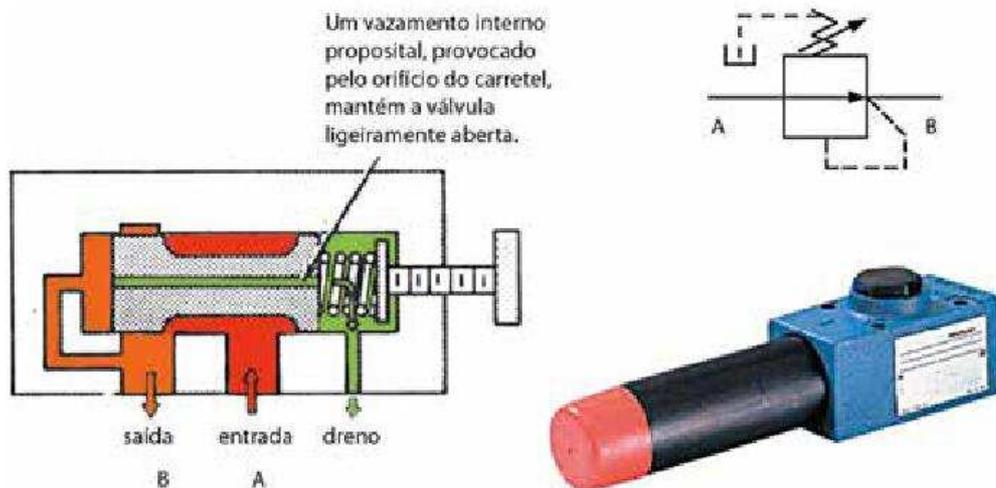
O óleo submetido à pressão principal penetra na válvula pelo pórtico de entrada **A**, passa através do rebaixo do carretel e flui em direção ao pórtico de saída **B**. Um orifício interno de pilotagem transmite a pressão de saída para uma das extremidades do carretel, tentando empurrá-lo contra a ação da mola.

Enquanto a pressão no pórtico de saída **B** for inferior à tensão regulada na mola, o carretel permanece apoiado em seu assento, mantendo a válvula redutora de pressão aberta.



Válvula aberta

Se a pressão no pórtico de saída **B** ultrapassar o valor ajustado na mola, o óleo desloca o carretel de seu assento, fechando a entrada **A** de pressão principal. À medida em que o carretel fecha a entrada **A** da válvula, conseqüentemente, a pressão na saída **B** se estabiliza e para de subir.



Válvula fechando

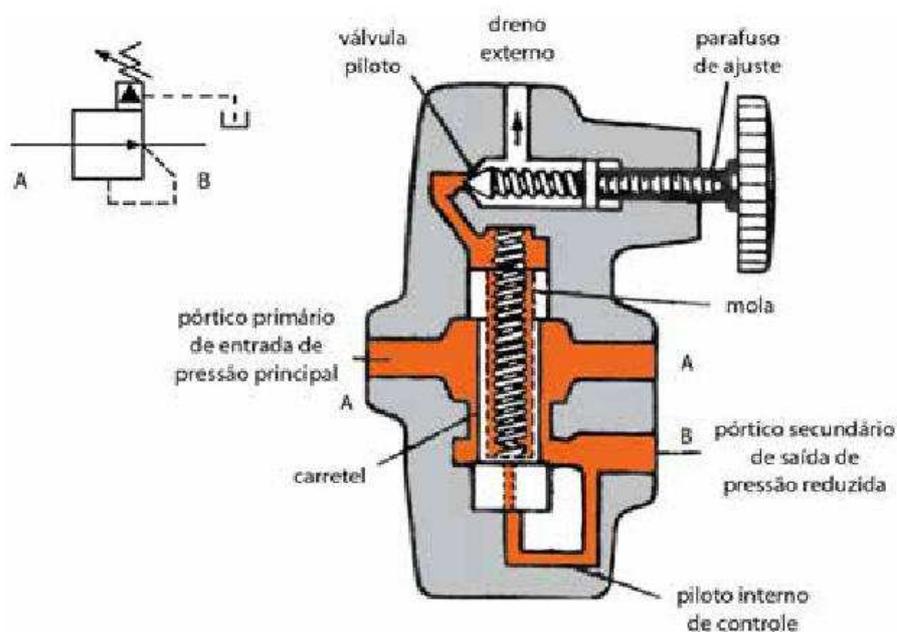
### VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DE AÇÃO INDIRETA

As válvulas redutoras de pressão de ação indireta, também conhecidas como válvulas redutoras de pressão compostas ou pré-operadas, foram desenvolvidas para permitir maior vazão de óleo sem aumentar o tamanho e, como consequência, o espaço ocupado na máquina ou equipamento hidráulico.

As válvulas redutoras de pressão pré-operadas trabalham em dois estágios: um estágio piloto, de pequeno porte, disposto no cabeçote superior; e um estágio de operação efetiva, localizado na carcaça, onde estão situados o carretel principal e os pórticos primário **A**, de entrada de pressão principal, e secundário **B**, de saída de pressão reduzida.

No cabeçote superior encontram-se a agulha cônica de pré-operação e seu respectivo assento de vedação, a mola regulável com seu parafuso de ajuste de tensão, a manopla de regulagem manual e um pórtico de drenagem externa.

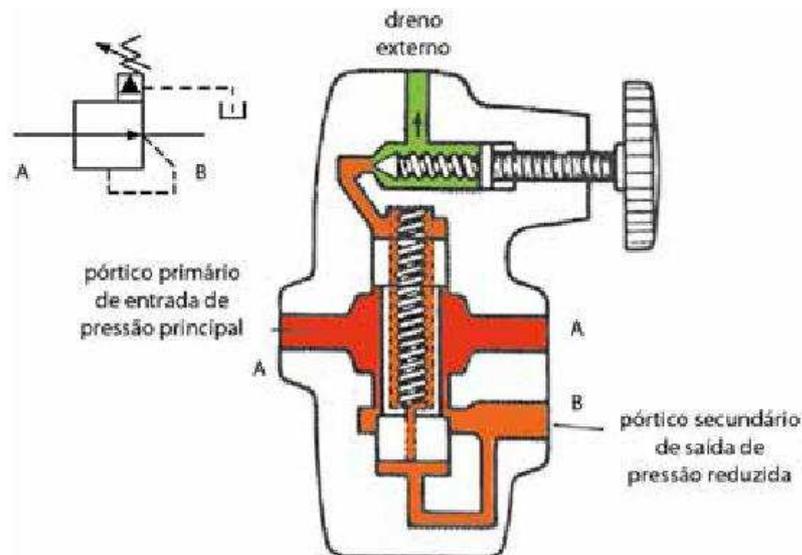
O carretel principal é balanceado hidraulicamente e mantido apoiado no seu assento inferior pela ação de uma mola fixa.



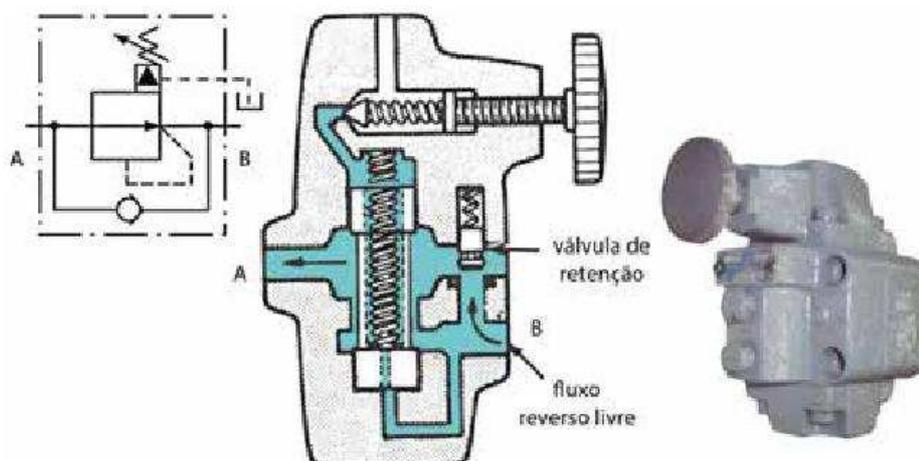
Válvula redutora de pressão de ação indireta ou pré-operada

O primeiro estágio possui uma válvula limitadora de pressão diretamente operada que, ao abrir, drena para fora o óleo da câmara superior do carretel principal

para o tanque, limitando a pressão na câmara de cima ao valor regulado na mola da válvula de ação direta. Como o orifício central do carretel restringe a passagem do óleo da câmara inferior para a superior, se a pressão na câmara de baixo continuar subindo, o carretel é deslocado do seu assento, fechando a passagem do óleo do pórtico primário **A** para o secundário **B**.



Na maioria das vezes, além de reduzir a pressão no sentido do pórtico primário **A** para o secundário **B**, as válvulas redutoras de pressão devem permitir fluxo livre do óleo no sentido oposto, de **B** para **A**. Nesses casos, emprega-se uma válvula redutora de pressão unidirecional, com uma retenção incorporada em sua carcaça, montada em paralelo com o carretel principal.

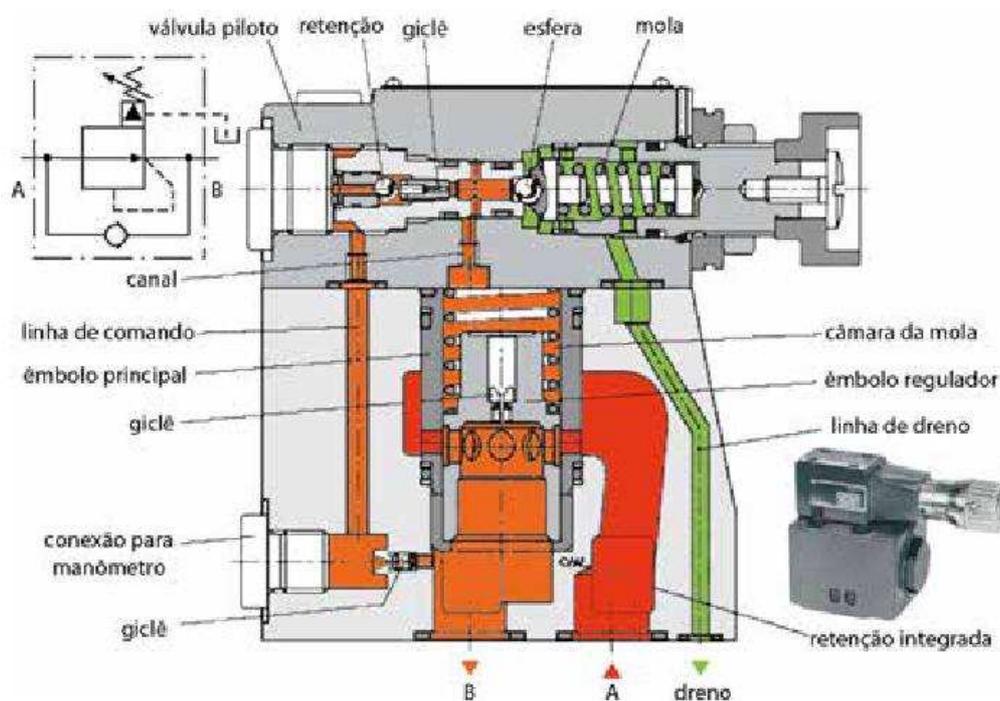


Se o fluxo ocorre no sentido de **A** para **B**, a mola mantém a retenção fechada, fazendo com que a válvula reduza a pressão do óleo de acordo com a sua regulagem.

Ao contrário, se o fluxo ocorrer no sentido oposto, de **B** para **A**, o óleo passa livremente pela retenção, independente do ajuste da válvula redutora de pressão.

Portanto, uma válvula redutora de pressão unidirecional reduz a pressão do óleo apenas em uma das direções, de **A** para **B**. No sentido reverso, de **B** para **A**, o fluxo é livre, como se a válvula não estivesse presente no circuito.

No mercado, há vários tipos de válvulas redutoras de pressão pré-operadas, de diferentes fabricantes. Muito embora suas características construtivas possam variar de um fabricante para o outro, o princípio de funcionamento é o mesmo para todas elas.



Válvula redutora de pressão pré-operada

Embora o carretel principal tenha sido substituído por um cartucho de êmbolo, seu princípio de funcionamento é o mesmo da válvula anterior.

# SERVOVÁLVULAS

As servoválvulas são componentes hidráulicos especialmente desenvolvidos para controlar, com precisão, tanto a direção do fluxo de óleo como também a vazão. Quando acopladas a sensores eletrônicos de realimentação, as servoválvulas permitem controles precisos de posicionamento, velocidade e aceleração dos atuadores hidráulicos.

Em termos de funcionamento, a principal diferença entre uma válvula direcional convencional e uma servoválvula mecânica está nas posições de comando. Enquanto uma válvula direcional convencional possui posições definidas de comando, tais como aberta ou fechada, acionada ou desacionada, paralela ou cruzada; uma servoválvula pode assumir infinitas posições, abrindo ou fechando gradativamente seus pórticos, de acordo com a necessidade do sistema hidráulico.

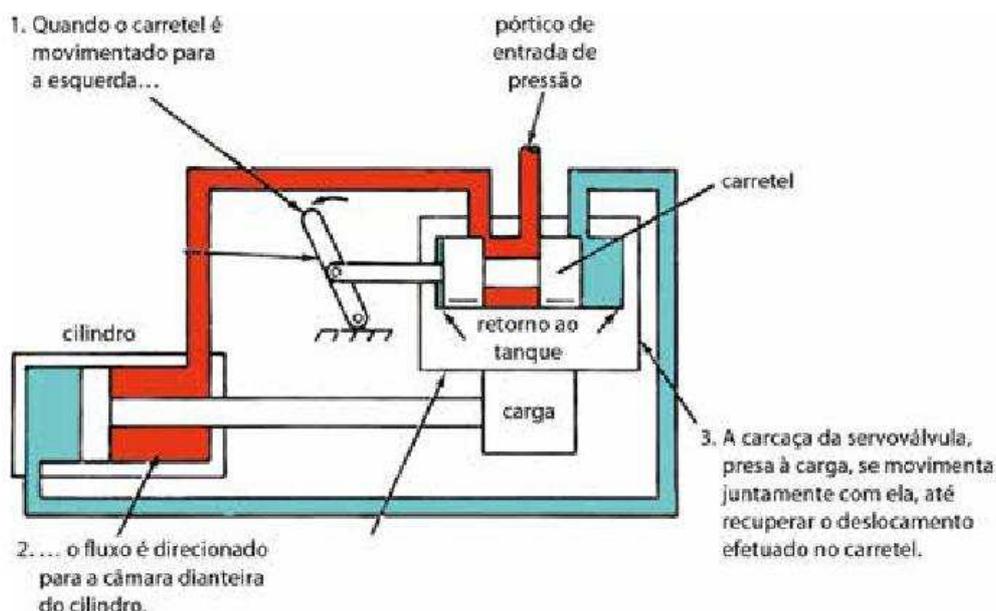
Em outras palavras, uma válvula direcional convencional pode ser acionada ou não, ou seja, não há meio termo. Já uma servoválvula oferece um controle preciso de acionamento, isto é, pode ser acionada um pouco mais ou um pouco menos, de acordo com a necessidade.

Um exemplo claro de funcionamento de uma servoválvula, comparado ao de uma válvula direcional convencional, é o controle de direção hidráulica de um veículo. Com a servoválvula, o veículo pode ser esterçado um pouco mais ou um pouco menos para ambos os lados, conforme a exigência de cada manobra. Se fosse utilizada uma válvula direcional convencional, ao invés da servoválvula, com um pequeno toque no volante, a válvula acionaria as rodas totalmente para um lado ou para o outro, não permitindo o controle de posições intermediárias.

Na verdade, uma servoválvula mecânica, também chamada de válvula seguidora, consiste de um amplificador de força empregado para controlar o posicionamento preciso de um atuador hidráulico. Além de sistemas de direção hidráulica de veículos, as servoválvulas são utilizadas em dispositivos copiadores de retificadoras cilíndricas, fresadoras pantográficas, tornos automáticos e centros de usinagem.

O acionamento de uma servoválvula mecânica pode ser efetuado manualmente, por meio de sistemas de alavanca ou volantes giratórios, ou mecanicamente através de hastes apalpadoras.

A figura a seguir apresenta, de forma esquemática, uma servoválvula mecânica acionada por meio de uma alavanca manual.



A carcaça da servoválvula mecânica é fixada à carga e se movimenta junto com o atuador. Já o acionamento da servoválvula, neste caso, uma alavanca manual, é feito mecanicamente ao carretel e independe dos movimentos do atuador.

Quando a alavanca desloca o carretel da servoválvula para a esquerda, conforme indicado na figura, o pórtico de entrada de pressão é aberto, direcionando o óleo para a câmara dianteira do cilindro, fazendo com que ele retorne. Como a carcaça da servoválvula está presa à haste do cilindro, ela se desloca para a esquerda, seguindo o movimento do carretel, até que a carcaça se centralize novamente com o carretel, fechando o pórtico de entrada de pressão e interrompendo o retorno do atuador.

Dessa forma, podemos dizer que o movimento do atuador é proporcional ao acionamento da servoválvula, isto é, quanto maior for o curso de acionamento do carretel da servoválvula, maior será a velocidade e a distância percorrida pelo atuador.

# VÁLVULAS PROPORCIONAIS

As válvulas proporcionais possuem as mesmas características simples de construção das válvulas tradicionais, agregadas às de funcionamento das servoválvulas. Enquanto as válvulas convencionais controlam apenas as variáveis básicas do sistema hidráulico, tais como direção, pressão e vazão, as válvulas proporcionais, além dessas mesmas variáveis, são capazes de controlar, também, a aceleração e a desaceleração, a pressurização e a despressurização, assim como o posicionamento preciso dos atuadores hidráulicos, exigidos em comandos mais complexos.

As proporcionais são válvulas de construção convencional, acionadas eletricamente por solenoides proporcionais, comandados e controlados por cartelas eletrônicas. Ao contrário dos solenoides tradicionais, de corrente alternada, que possuem somente duas condições de operação, ligado ou desligado, os solenoides proporcionais de corrente contínua, podem ser acionados analogicamente, de acordo com a corrente elétrica do sinal de alimentação. Quanto maior for a corrente elétrica enviada ao solenoide proporcional, maior será sua força, no caso de controles de pressão, ou o seu curso de acionamento, quando se tratar de controles de direção ou de vazão.

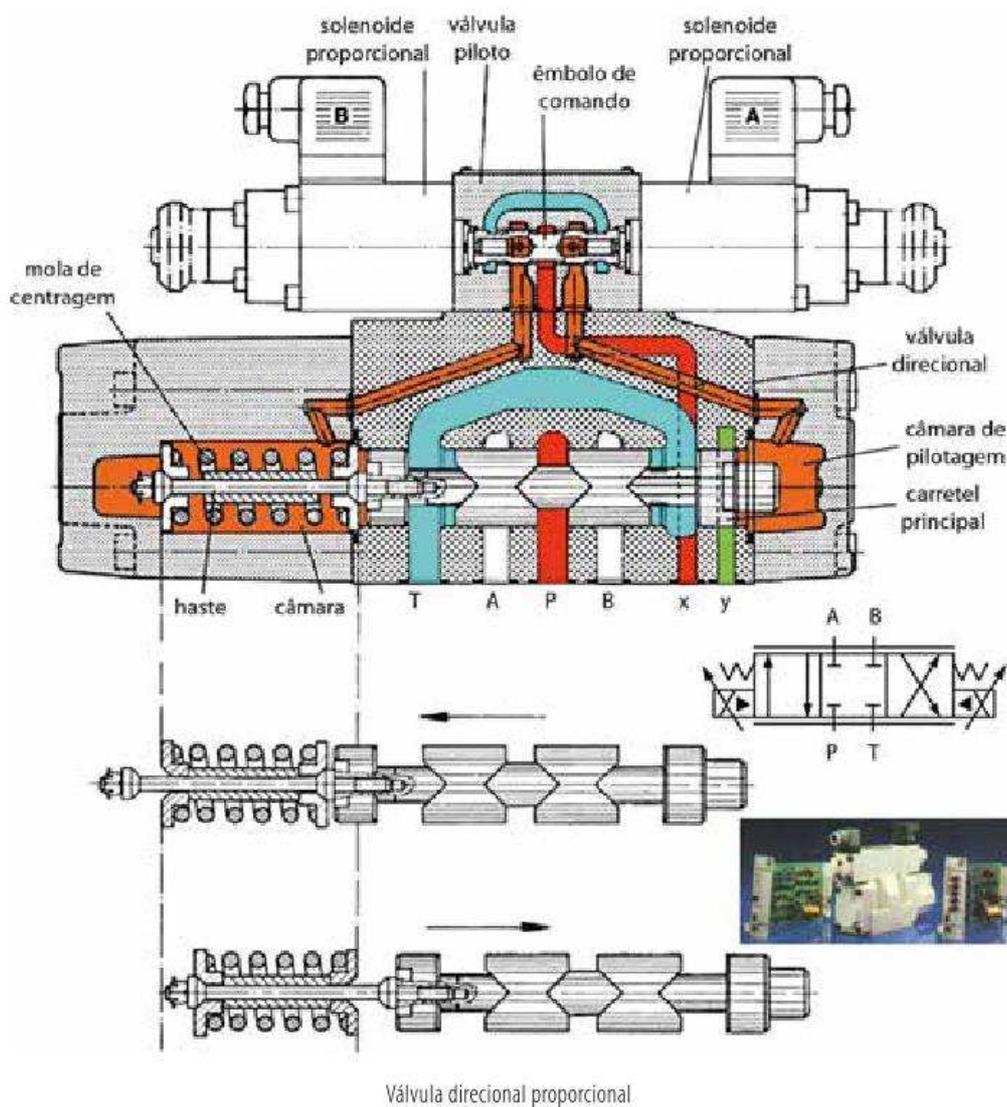
Há três tipos de válvulas proporcionais:

- válvulas direcionais proporcionais;
- válvulas limitadoras de pressão proporcionais;
- válvulas controladoras de vazão proporcionais.

## Válvulas direcionais proporcionais

As válvulas direcionais proporcionais podem ser diretamente operadas ou pré-operadas. As mais usadas, devido principalmente a maior capacidade de vazão, são as pré-operadas, constituídas de uma válvula direcional principal e uma válvula piloto, acionada por solenoides proporcionais.

Os solenoides proporcionais transformam um sinal elétrico de entrada em uma força proporcional à corrente elétrica desse sinal, ajustando a pressão de operação da válvula piloto. Assim, alternando-se a corrente elétrica de acionamento do solenoide, a válvula piloto aumenta ou diminui a pressão do óleo que deverá pilotar o carretel principal da válvula direcional, deslocando-o para infinitas posições dentro de sua carcaça.



Quando o sinal de entrada é igual a zero, as duas câmaras nas extremidades do carretel principal da válvula direcional são descarregadas para o reservatório,

através da drenagem efetuada pelos orifícios dos êmbolos pré-operados da válvula piloto. Dessa forma, o carretel é mantido na sua posição central por meio da mola, mantendo todos os pórticos bloqueados.

Se a corrente elétrica for aumentada, em um dos solenoides proporcionais, seu êmbolo desloca-se e amplia a pressão em uma das câmaras das extremidades do carretel principal da válvula direcional, comprimindo a mola de centragem e deslocando o carretel, até que a pressão piloto, proporcional ao sinal elétrico enviado ao solenóide, se equilibre com a força da mola.

Quanto maior for a corrente elétrica enviada ao solenoide proporcional, maior será sua força, maior será a pressão de pilotagem e, como consequência, maior será o deslocamento do carretel principal da válvula direcional.

Em sua maioria, as válvulas direcionais proporcionais controlam simultaneamente a direção e a vazão do fluxo de óleo, graças aos rasgos em forma de “V” usinados nos ressaltos do carretel principal.

## Válvulas limitadoras de pressão proporcionais

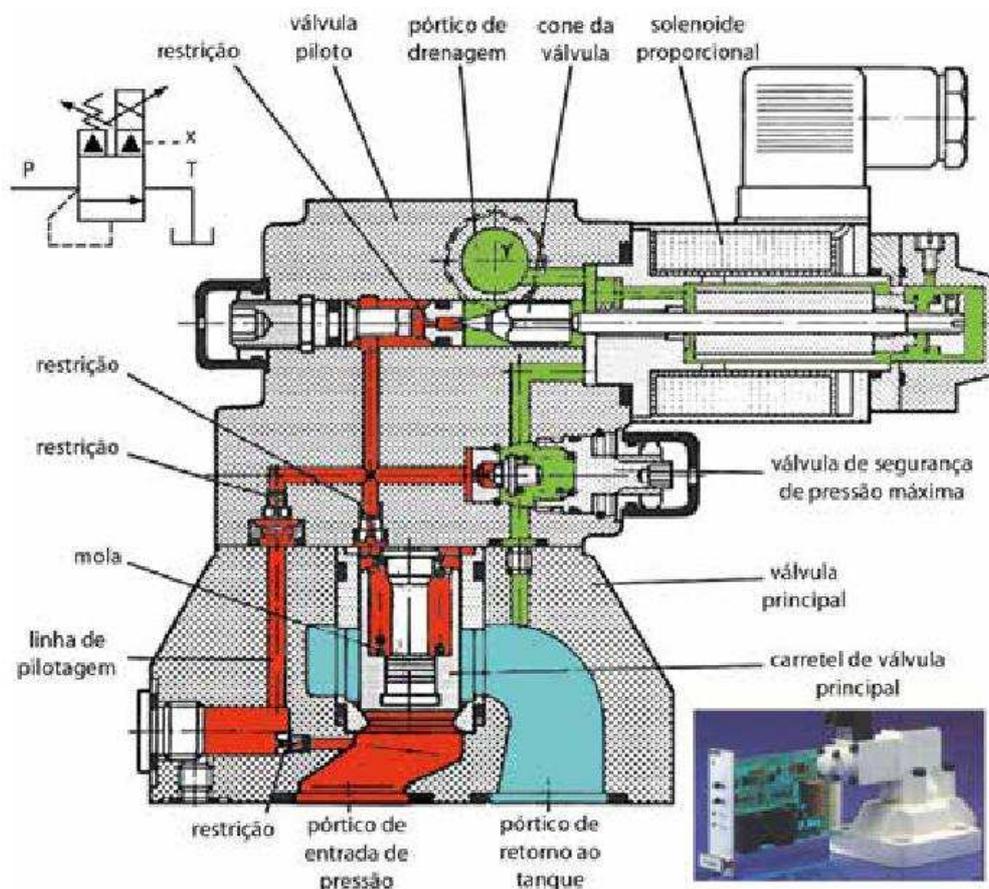
As válvulas limitadoras de pressão proporcionais são reguladas de acordo com a corrente elétrica enviada ao solenoide, o qual substitui os tradicionais parafusos de ajuste manual, utilizados nas limitadoras de pressão convencionais.

Normalmente, são válvulas de ação indireta, pré-operadas, com um estágio piloto, de pequeno porte, disposto no cabeçote superior; um estágio de operação efetiva, localizado na carcaça, onde estão situados o cartucho de êmbolo e os pórticos de entrada de pressão e de retorno para o tanque; e uma válvula de segurança para pressão máxima, montada entre o estágio piloto e o de operação efetiva.

No cabeçote superior estão a agulha cônica de pré-operação e seu respectivo assento de vedação, acionada por um solenoide proporcional. Quanto maior a corrente elétrica enviada ao solenoide, maior será a força com que a agulha cônica se apoiará contra o assento de vedação, gerando um ajuste maior de pressão no sistema hidráulico.

No caso de falha no circuito eletrônico de alimentação do solenoide proporcional, a válvula de segurança de pressão máxima impede que o limite de pressão admissível pelo sistema hidráulico seja ultrapassado. Isso permite à válvula limitadora de pressão proporcional operar em faixas de pressão que variam do zero até o

valor ajustado na válvula de segurança de pressão máxima, mediante a intensidade de corrente elétrica enviada ao solenoide proporcional.



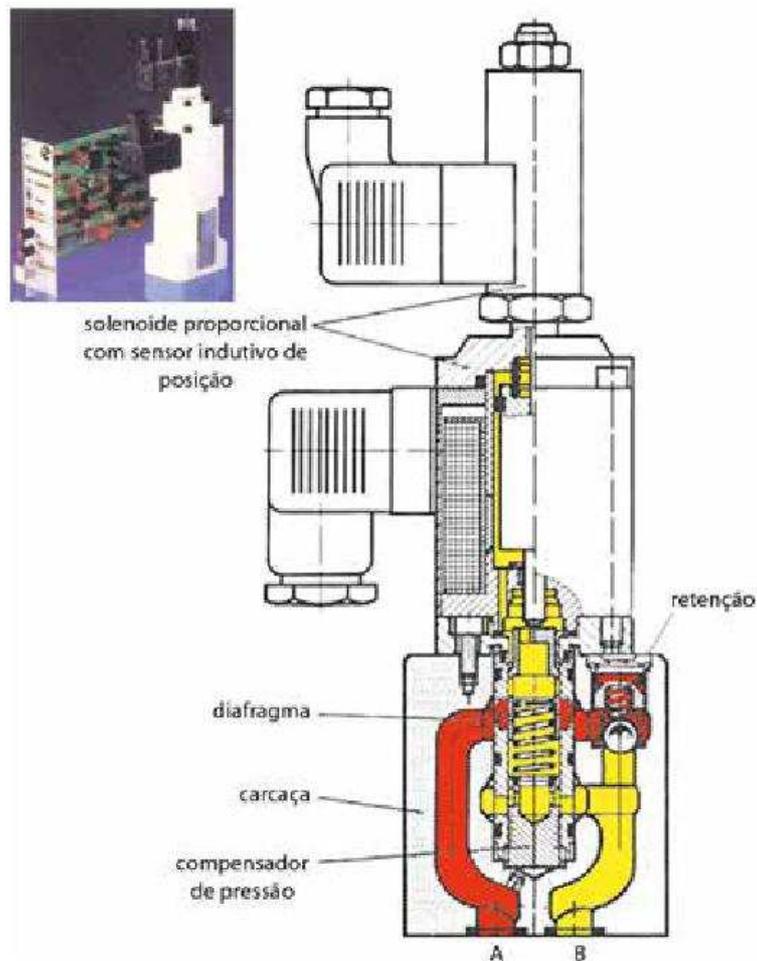
Válvula limitadora de pressão proporcional

## Válvulas controladoras de vazão proporcionais

As válvulas controladoras de vazão proporcionais são ajustadas por solenoides proporcionais de corrente contínua, ao invés das tradicionais manoplas empregadas nas reguladoras de fluxo convencionais.

São utilizadas em circuitos hidráulicos cuja regulagem de vazão deve ser feita à distância, por meio de cartelas eletrônicas de comando e controle.

O solenoide proporcional posiciona o fuso estrangulador de acordo com a intensidade da corrente elétrica, como mostra a figura a seguir.



Válvula controladora de vazão proporcional

A regulagem da vazão de óleo é efetuada através da entrada de uma corrente elétrica de referência, que provoca um movimento proporcional no curso do solenoide, deslocando o diafragma para baixo, abrindo a válvula e aumentando a vazão, no sentido do pórtico de entrada **A** para o de saída **B**. A posição do diafragma é captada pelo sensor indutivo de posição, o qual envia a informação à cartela eletrônica, para que ela efetue os ajustes automáticos na intensidade da corrente elétrica enviada ao solenoide proporcional.

Na falta de corrente elétrica ou ruptura do cabo do sensor de posição, o diafragma fecha totalmente a válvula.

Uma retenção, incorporada na carcaça da válvula controladora de vazão proporcional, permite fluxo reverso livre, no sentido do pórtico **B** para o **A**.



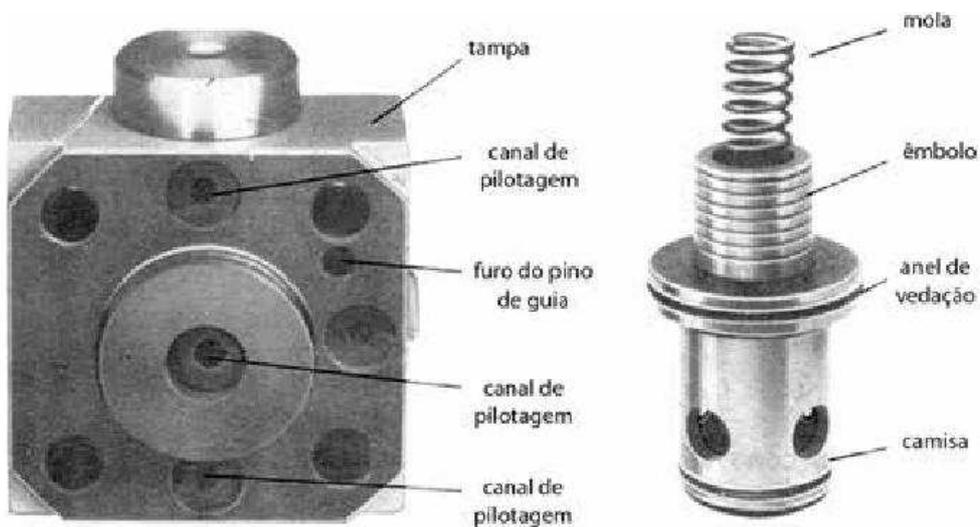
# VÁLVULAS DE CARTUCHO (ELEMENTO LÓGICO)

As válvulas de cartucho, também conhecidas como elementos lógicos, são válvulas direcionais de duas vias que, dependendo do tipo de montagem no bloco, podem assumir uma infinidade de funções dentro de um circuito hidráulico.

Devido a suas características construtivas, as válvulas de cartucho não possuem carcaça própria e são montadas dentro de blocos do tipo *manifold*, permitindo-lhes economizar o espaço ocupado nos sistemas hidráulicos.

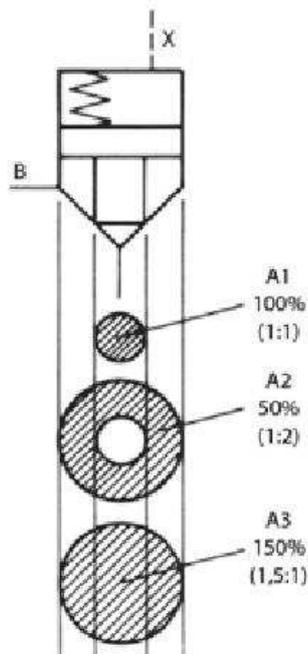
A válvula de cartucho consiste de um êmbolo principal com várias áreas diferenciais de atuação do óleo, uma mola e vários tipos de tampas de fechamento do conjunto, as quais são responsáveis pelas diferentes combinações de pilotagem, dando versatilidade à válvula.

A figura a seguir ilustra as diferentes partes de uma válvula de cartucho.



Principais componentes da válvula de cartucho

O êmbolo principal da válvula de cartucho pode apresentar vários diferenciais de áreas de ação do óleo. O diferencial de áreas mais usado é mostrado de forma esquemática na figura a seguir.



Diferenciais de área do êmbolo principal

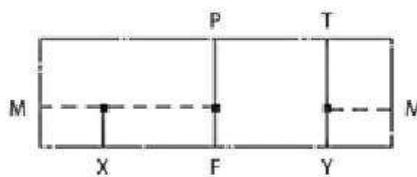
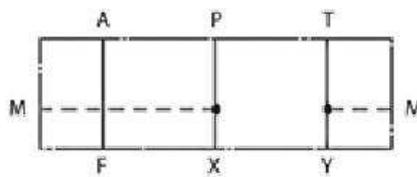
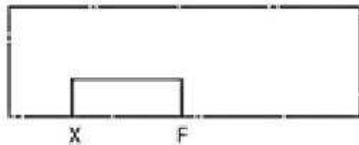
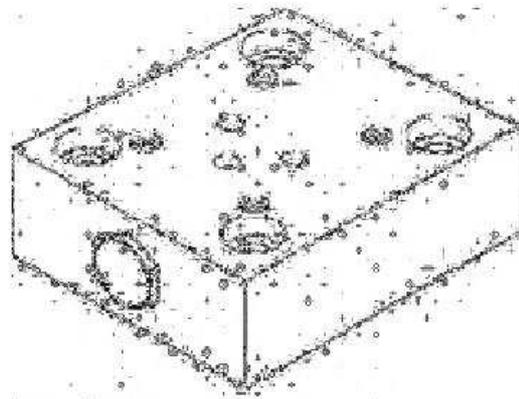
Onde:

$A1$  = área da extremidade inferior do êmbolo principal

$A2 = \frac{A1}{2}$  = área da coroa inferior do êmbolo principal

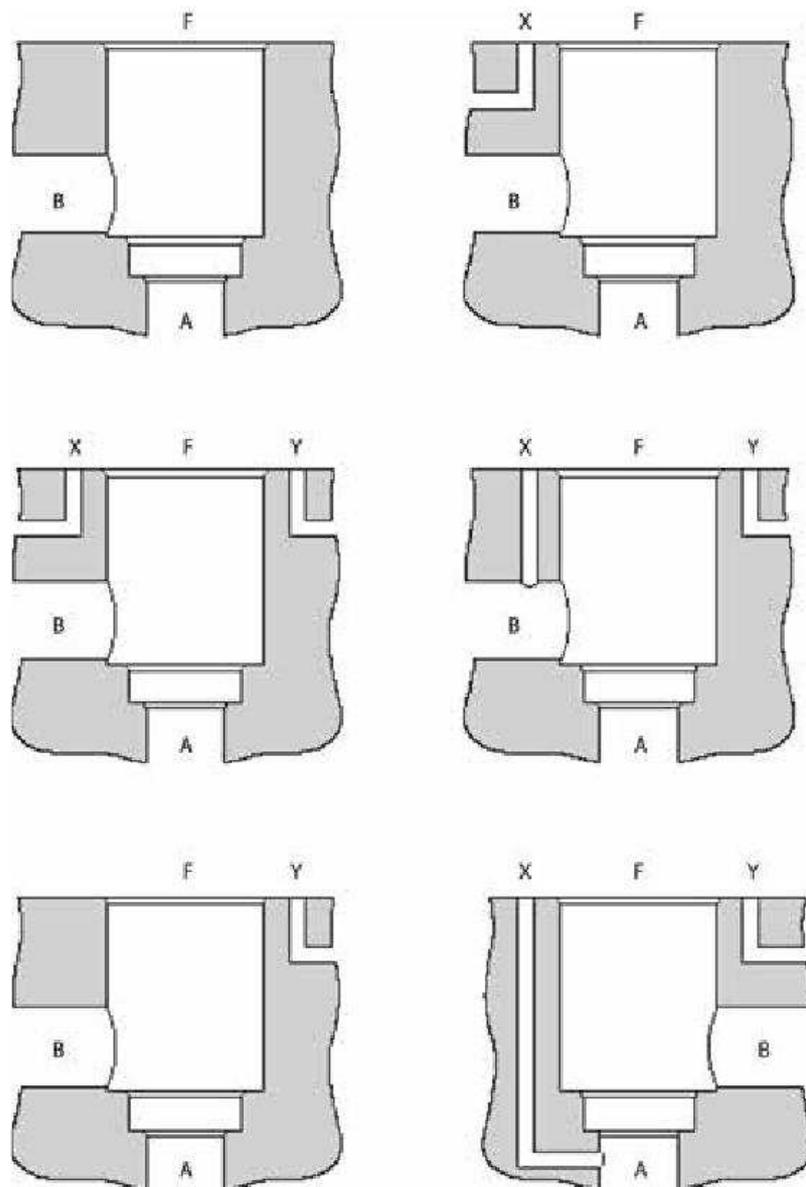
$A3 = A1 + A2 = 1,5 \times A1$  = área da extremidade superior do êmbolo principal

As tampas, por sua vez, são confeccionadas em várias versões, com diferentes canais de pilotagem e com possibilidade de montagem de diversas combinações de válvulas, como mostra a figura a seguir.



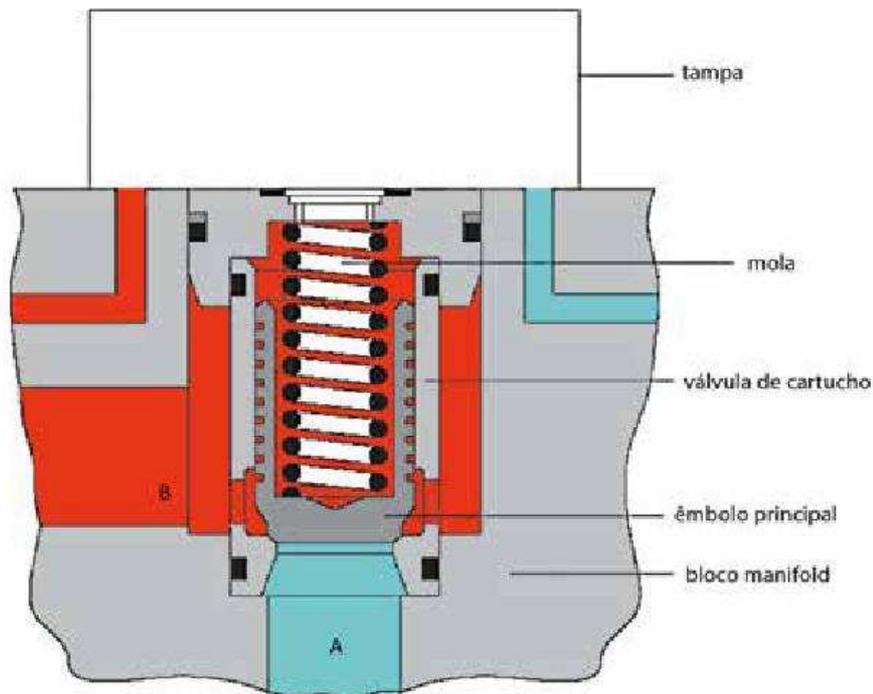
Tipos de tampas de válvulas de cartucho

Os blocos *manifold*, em que as válvulas de cartucho são montadas, em geral possuem dois pórticos de passagem de óleo A e B, além de canais de pilotagem e dreno, conforme apresentado na figura a seguir.



Blocos manifold

A figura a seguir mostra uma válvula de cartucho montada dentro de um bloco manifold e sua respectiva tampa de fechamento do conjunto.



Válvula de cartucho (elemento lógico)

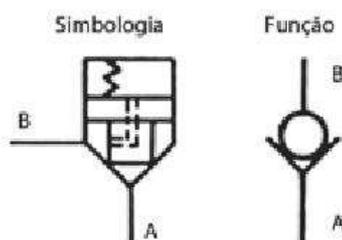
## Características das válvulas de cartucho

- bloqueiam as passagens sem apresentar vazamentos (vazamento zero);
- apresentam rapidez de movimentos;
- podem trabalhar lentamente;
- possuem comandos suaves;
- são extremamente versáteis, podendo realizar várias funções;
- são construídas em vários tamanhos;
- comandam com segurança altas vazões;
- têm pilotagem que depende única e exclusivamente da pressão;
- suportam altas pressões;
- ocupam pouco espaço;

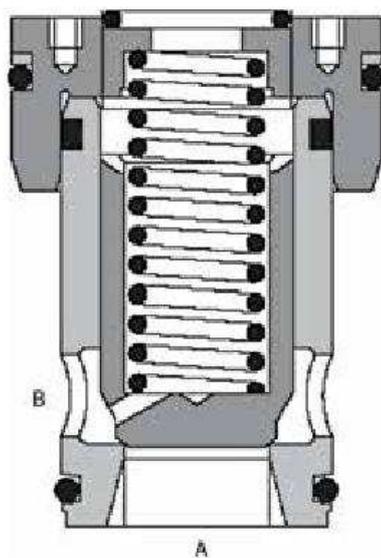
As válvulas de cartucho podem exercer funções especiais, dentro do circuito hidráulico, para as quais seria necessário projetar e construir componentes hidráulicos específicos, o que elevaria, de maneira considerável, o custo das máquinas.

Serão apresentadas a seguir algumas das muitas funções que a válvula de cartucho é capaz de realizar.

### Elemento lógico como válvula de retenção simples



Um orifício no êmbolo principal liga internamente o pórtico **B** da válvula de cartucho à câmara superior do êmbolo, fazendo com que o óleo atue na área **A3** através de um piloto interno.

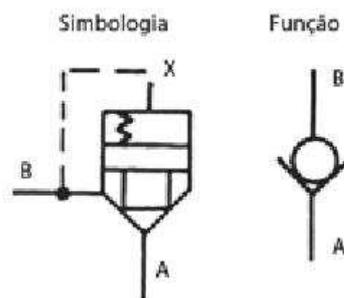


Piloto interno

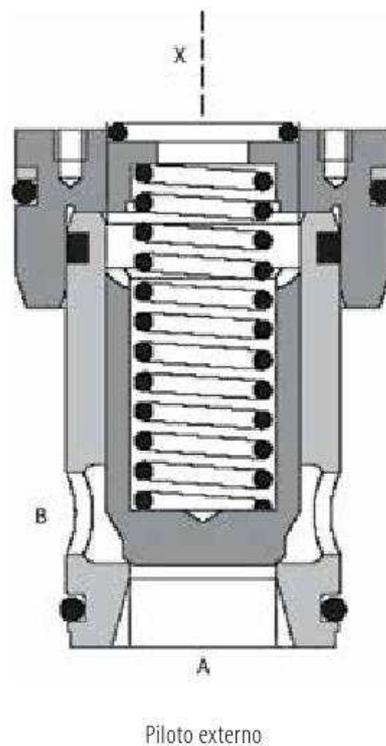
Como válvula de retenção simples, se o óleo fluir no sentido de **A** para **B**, agindo na área **A1**, o êmbolo desloca-se do seu assento permitindo a passagem do fluido de **A** para **B**.

No sentido contrário, através de um orifício de pilotagem no centro do êmbolo, o óleo age na área A3, auxiliando a mola a manter o êmbolo assentado, bloqueando a passagem do fluido de B para A.

Função de retenção de B para A:



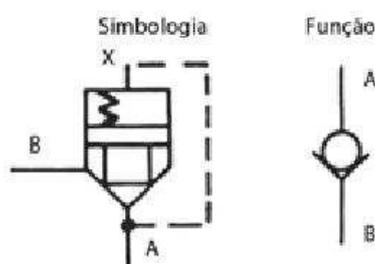
O êmbolo principal é substituído por outro, sem o orifício de pilotagem interna. Com isso, a válvula de cartucho passa a receber um piloto externo x, através da tampa do conjunto.



Quando o óleo flui no sentido de **A** para **B**, agindo na área  $A_1$ , o êmbolo é facilmente deslocado do seu assento, contra a ação da mola, permitindo fluxo livre.

Ao contrário, no sentido de **B** para **A**, o óleo entra na câmara superior da válvula, através da linha de pilotagem **x** da tampa, e atua na área  $A_3$  do êmbolo principal, auxiliando a mola a manter o êmbolo apoiado em seu assento, para bloquear a passagem do óleo.

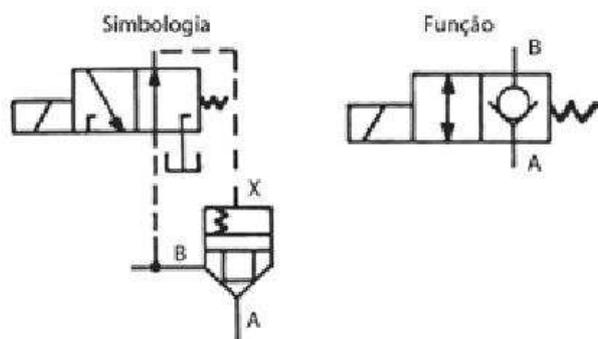
Função de retenção de A para B:



Quando o óleo flui no sentido de **B** para **A**, agindo na área  $A_2$ , o êmbolo é deslocado com facilidade do seu assento, contra a ação da mola, permitindo fluxo livre.

Ao contrário, no sentido de **A** para **B**, o óleo entra na câmara superior da válvula, através da linha de pilotagem **x** da tampa, e atua na área  $A_3$  do êmbolo principal, auxiliando a mola a manter o êmbolo apoiado em seu assento, para bloquear a passagem do óleo.

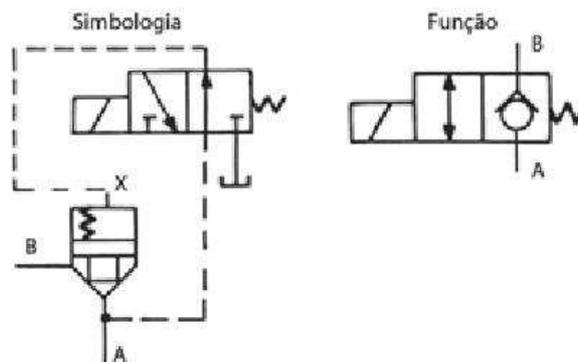
Possibilidade de comando por B:



Com o solenoide da válvula direcional desligado, o elemento lógico comporta-se como uma retenção simples, livre no sentido de **A** para **B** e bloqueada de **B** para **A**, através do pósito externo **x** que auxilia a mola a fechar o êmbolo principal.

Quando o solenoide da válvula direcional é energizado, o piloto externo é bloqueado e a câmara superior do êmbolo principal é descarregada para o tanque, através do pósito **x**. Com isso, o elemento lógico permanece totalmente aberto, permitindo o fluxo livre do óleo nos dois sentidos.

Possibilidade de comando por **A**:



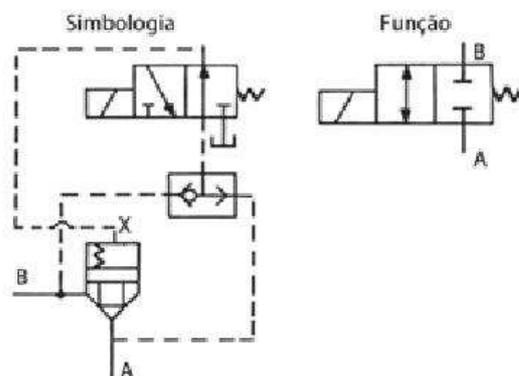
Invertendo a tomada de pressão de pilotagem, do pósito **B** para o **A**, a válvula de cartucho passa a exercer uma função inversa ao caso anterior, enquanto o solenoide da direcional estiver desligado.

Com o solenoide, o elemento lógico comporta-se como uma retenção simples, livre no sentido de **B** para **A** e bloqueada de **A** para **B**, através do piloto externo **x** que auxilia a mola a fechar o êmbolo principal.

Mais uma vez, quando o solenoide da válvula direcional é energizado, o piloto externo é bloqueado e a câmara superior do êmbolo principal é descarregada para o tanque, através do pósito **x**, mantendo o elemento lógico aberto nos dois sentidos de fluxo.

### Possibilidade de comando por A ou por B:

Com o auxílio de uma válvula alternadora, conhecida também como elemento

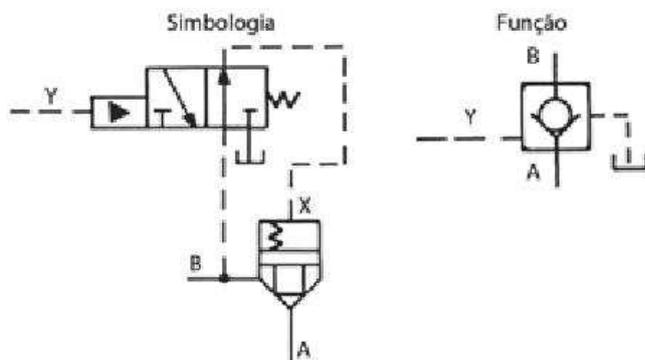


OU, é possível transformar a válvula de cartucho em uma direcional de 2/2 vias normalmente fechada. A tomada de pressão de pilotagem externa **x** passa a ser efetuada pelos dois pórticos, **A** e **B**.

Com o solenoide da válvula direcional desligado, a pilotagem externa **x** mantém o êmbolo principal apoiado em seu assento, bloqueando a passagem do óleo nos dois sentidos, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**.

Entretanto, quando o solenoide é energizado, a pilotagem é bloqueada e a câmara superior do êmbolo principal é descarregada para o tanque através do pórtico **x**, permitindo a passagem livre do óleo, independente do sentido do fluxo.

### Elemento lógico como válvula de retenção pilotada, com desbloqueio hidráulico

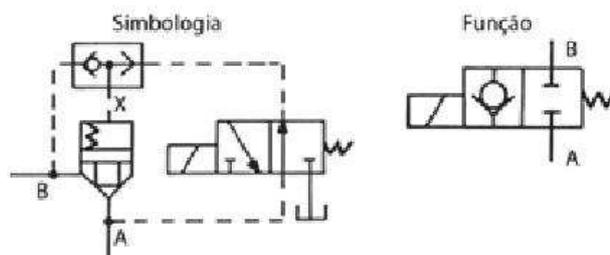


Efetuando-se a tomada de pressão de pilotagem externa **x** pelo pórtico **B** e utilizando-se uma válvula direcional de 3/2 vias, normalmente aberta, pilotada hidráulicamente e com reposição por mola, é possível fazer com que o elemento lógico exerça a função de válvula de retenção com desbloqueio hidráulico.

Enquanto a válvula direcional não for pilotada, o elemento lógico comporta-se como uma retenção comum, isto é, livre de **A** para **B** e bloqueado de **B** para **A**, através da pilotagem externa **x**.

Pilotando-se a válvula direcional, a pilotagem externa do elemento lógico é bloqueada e a câmara superior do êmbolo principal é descarregada ao tanque pelo pórtico **x**, permitindo a passagem livre do óleo nos dois sentidos de fluxo, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**.

### Elemento lógico como integração entre válvula direcional e válvula de retenção



Com o solenoide da válvula direcional desligado, a pilotagem externa **x** mantém o êmbolo principal do elemento lógico apoiado em seu assento, bloqueando a passagem do óleo nos dois sentidos de fluxo, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**.

Quando o solenoide é energizado, a tomada de pressão de pilotagem externa pelo pórtico **B** continua ativa, enquanto a do pórtico **A** é bloqueada pela válvula direcional. Dessa forma, a válvula de cartucho passa a se comportar como uma retenção comum, permitindo a passagem livre do óleo no sentido de **A** para **B** e bloqueando o fluxo no sentido contrário, de **B** para **A**.

## Elemento lógico com possibilidade de estrangulamento da passagem do óleo

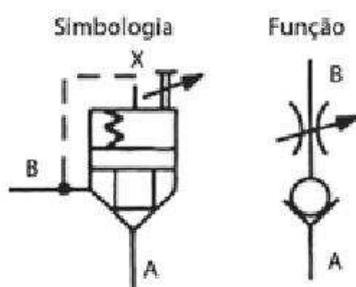
Um limitador de curso, montado na tampa da válvula de cartucho, permite controlar a altura de elevação do êmbolo principal, dando ao elemento lógico características de válvula controladora de vazão.



Limitadores de curso

Há dois casos a se considerar nesta situação:

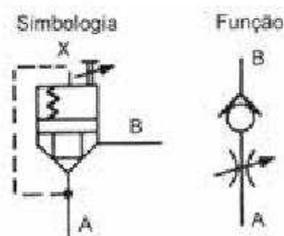
**1º caso:** tomada de pilotagem externa x pelo pórtico B



A válvula de cartucho bloqueia totalmente a passagem do óleo no sentido de **B** para **A** e permite um fluxo controlado no sentido inverso, de **A** para **B**.

No sentido de fluxo controlado, apertando o parafuso de regulagem do limitador de curso, reduz-se a altura de elevação do êmbolo principal, diminuindo a vazão do óleo. Ao contrário, soltando o parafuso, o curso de abertura do êmbolo aumenta, permitindo a passagem de um volume maior de óleo.

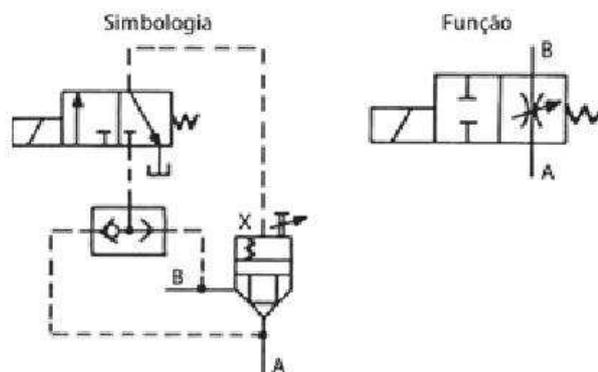
2º caso: tomada de pilotagem externa x pelo pórtico A



Nesse caso, a válvula de cartucho bloqueia por completo a passagem do óleo no sentido de **A** para **B** e permite um fluxo controlado no sentido inverso, de **B** para **A**.

Da mesma forma ocorrida no 1º caso, é possível regular a altura de elevação do êmbolo, ajustando seu curso de abertura e, como consequência, a vazão do óleo.

### Elemento lógico como integração entre válvula direcional e controladora de vazão

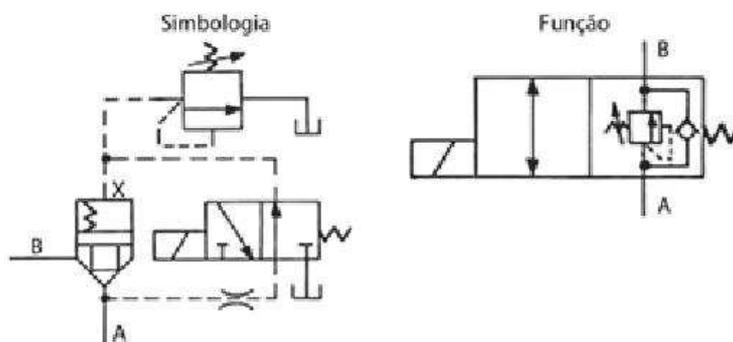


Novamente, a tomada de pressão de pilotagem externa **x** é efetuada tanto do pórtico **A** como do pórtico **B**, passando por um elemento OU e por uma válvula direcional de 3/2 vias, em geral, fechada, acionada eletricamente por solenoide e reposicionada por mola.

Com o solenoide da válvula direcional desligado, a pilotagem externa é bloqueada e a câmara superior do êmbolo principal é descarregada ao tanque através do pórtico **x**. Nessa posição, o limitador de curso permite regular a altura de elevação do êmbolo principal, controlando a vazão do óleo nos dois sentidos de fluxo, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**.

Quando o solenoide é energizado, a pilotagem externa **x** se torna efetiva pelos dois pórticos, **A** e **B**, auxiliando a mola a manter o êmbolo principal apoiado em seu assento e bloqueando por completo a passagem do óleo nos dois sentidos.

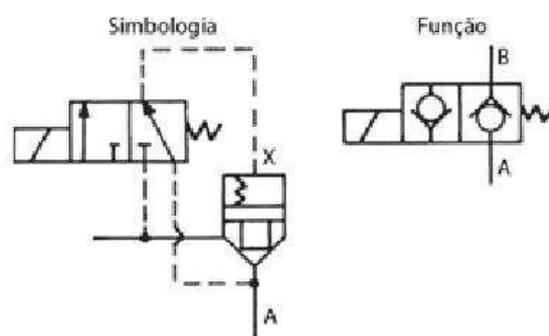
### Elemento lógico como válvula limitadora de pressão



Com o solenoide da válvula direcional desligado, a pressão de pilotagem externa **x**, tomada do pórtico **A**, é controlada por uma válvula de segurança incorporada à válvula de cartucho. Dessa forma, o elemento lógico comporta-se como uma válvula limitadora de pressão unidirecional, somente permitindo a passagem do fluxo, no sentido de **A** para **B**, se a pressão do óleo estiver acima do valor regulado na válvula de segurança. No sentido contrário, entretanto, de **B** para **A**, o êmbolo principal desloca-se do seu assento, permitindo a passagem livre do óleo, independente de sua pressão.

Quando o solenoide é energizado, a pilotagem externa é bloqueada e a câmara superior do êmbolo principal é descarregada ao tanque, através do pórtilco **x**, tornando a válvula de segurança inoperante. Nessa posição, o óleo pode fluir livremente pelo elemento lógico, nos dois sentidos de fluxo, tanto de **A** para **B** como de **B** para **A**, independente de sua pressão.

### Elemento lógico como válvula de retenção dupla invertida



Com o solenoide da válvula direcional desligado, a pilotagem externa **x** é tomada apenas do pórtilco **A**. Isso faz com que o elemento lógico se comporte como uma retenção simples que bloqueia o fluxo de **A** para **B** e permite a passagem livre do óleo no sentido oposto, de **B** para **A**.

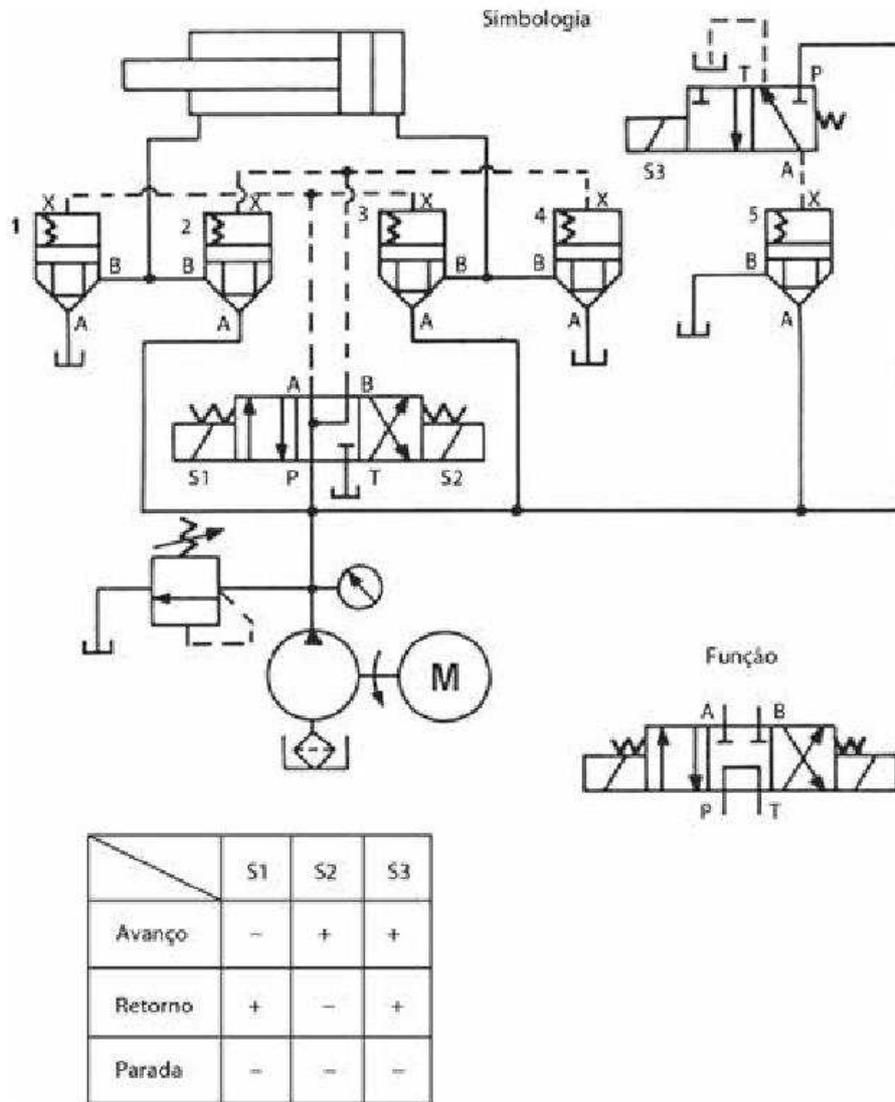
Quando o solenoide é energizado, a pilotagem externa **x** é invertida, passando a receber pressão do pórtilco **B**. Com isso, o elemento lógico inverte o sentido da retenção, bloqueando totalmente a passagem do óleo de **B** para **A** e permitindo fluxo livre no sentido contrário, de **A** para **B**.

### Aplicação das válvulas de cartucho

É preciso deixar bem claro que não faz sentido usar as válvulas de cartucho na substituição pura e simples de válvulas convencionais, fabricadas em série.

As válvulas de cartucho devem ser utilizadas para exercer funções especiais, para as quais não existem componentes hidráulicos padronizados ou, ainda, onde se necessita controlar grandes vazões de óleo.

O emprego indiscriminado das válvulas de cartucho pode tornar o sistema hidráulico bastante complicado e financeiramente inviável, como demonstrado pela figura a seguir. No circuito apresentado, são necessárias cinco válvulas de cartucho



Sistema com circulação livre de óleo na posição central

para exercer a função de uma única válvula direcional de 4/3 vias, com carretel de centro tandem, acionada eletricamente por solenoides e centrada por molas.

Porém, no caso de serem necessárias altas vazões ou combinações de várias funções sem nenhum vazamento, realmente vale a pena procurar uma solução através do uso de elementos lógicos.



# ACUMULADORES DE PRESSÃO

Os acumuladores armazenam determinado volume de óleo, sob pressão, para fornecê-lo ao sistema hidráulico quando necessário.

No geral, o volume de óleo necessário para o ciclo de trabalho de máquinas hidráulicas é menor que a vazão da bomba. O excesso de óleo é, então, armazenado no acumulador, para ser utilizado posteriormente, nos momentos em que se necessita uma vazão maior do que a bomba pode fornecer.

Sendo assim, os acumuladores de pressão podem exercer inúmeras funções como parte integrante de sistemas hidráulicos, como:

- reduzir o tempo de ciclo de trabalho de máquinas operatrizes, diminuindo o tempo de curso morto dos atuadores hidráulicos;
- garantir a conclusão do ciclo de operação ou o posicionamento seguro dos atuadores, em caso de falta de energia ou falha da bomba;
- efetuar frenagens rápidas e seguras de motores hidráulicos;
- manter lubrificação de emergência para mancais ou sistemas mecânicos;
- suprir a necessidade de grandes volumes de óleo em curtos espaços de tempo;
- compensar de perdas de óleo por vazamentos;
- amortecer choques hidráulicos e oscilações de pressão;
- atuar como molas hidráulicas.

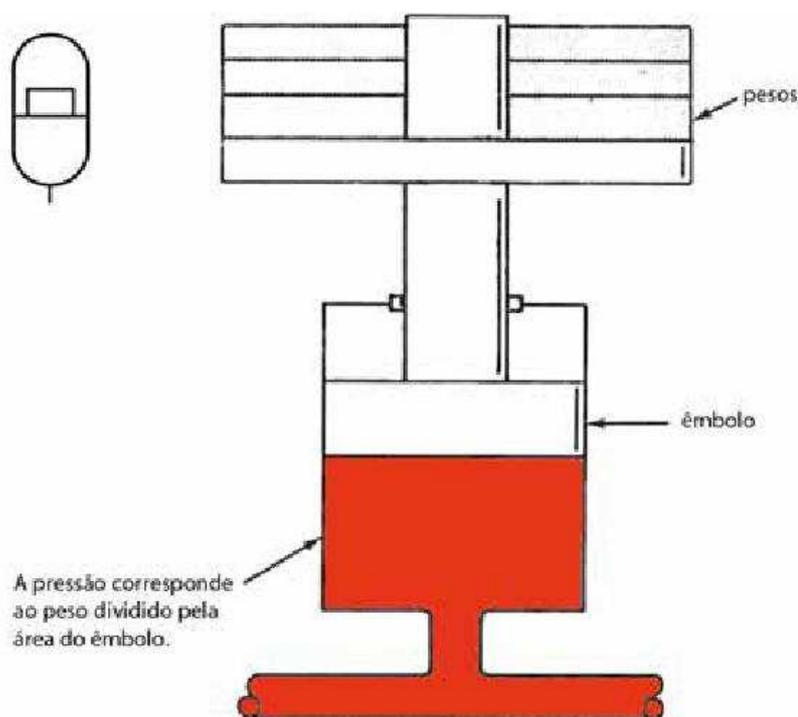
## Tipos de acumuladores

Basicamente, há três tipos construtivos de acumuladores:

- acumulador com peso,
- acumulador com mola,
- acumulador com carga de gás.

## Acumulador com peso

O acumulador de pressão com peso é, na verdade, um cilindro hidráulico de ação simples com retorno por gravidade, como mostra a figura a seguir.



Acumulador com peso

O excesso de óleo da linha de pressão preenche a câmara inferior do acumulador, fazendo com que o êmbolo se movimente para cima, elevando a carga de pesos.

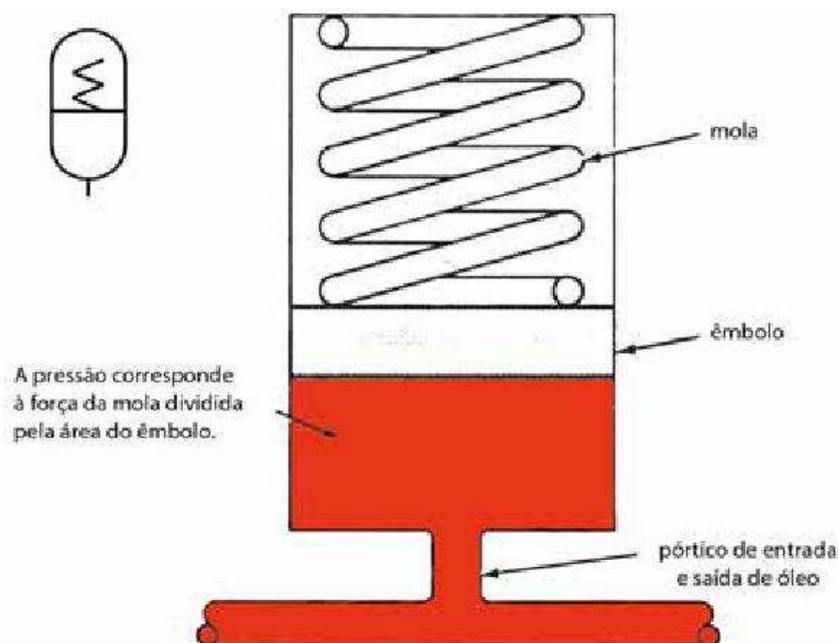
Eventuais quedas de pressão no sistema hidráulico permitem que os pesos forcem o êmbolo do acumulador para baixo, devolvendo ao circuito o óleo armazenado.

Os acumuladores com peso oferecem a vantagem de manter sempre a mesma pressão de óleo, estejam cheios ou vazios. A pressão do óleo corresponde ao peso aplicado, dividido pela área do êmbolo, em qualquer parte de seu curso. Além disso, permitem que os pesos sejam alterados para variar a pressão de operação.

Em contrapartida, os acumuladores com peso ocupam muito espaço, o que torna sua aplicação bastante limitada. Além disso, como operam pela ação da força da gravidade, somente podem ser montados na posição vertical.

## Acumulador com mola

O acumulador de pressão com mola consiste de um cilindro hidráulico de ação simples sem haste e com retorno por mola, como mostra a figura a seguir.



Acumulador com mola

O óleo em excesso, na linha de pressão, preenche a câmara inferior do acumulador, suspendendo o êmbolo e comprimindo a mola.

Nos momentos de queda de pressão no sistema hidráulico, a mola se expande, empurrando o êmbolo para baixo e devolvendo ao circuito o óleo armazenado.

A pressão do óleo corresponde à força da mola, dividida pela área do êmbolo. Entretanto, como a força varia em função da constante da mola, multiplicada pela distância de compressão, a pressão do óleo fornecida pelo acumulador não é sempre a mesma, como no caso dos acumuladores com peso. No acumulador com mola, a pressão aumenta à medida em que a mola é comprimida, e diminui quando a mola se expande.

Os acumuladores com mola oferecem a vantagem de poderem ser montados em qualquer posição, pois não dependem da ação da gravidade. Por outro lado,

têm sua capacidade de pressão limitada, considerando a impossibilidade de se obter molas muito fortes.

## Acumulador com carga de gás

Atualmente, os acumuladores com carga de gás são os mais utilizados em sistemas hidráulicos.

Os acumuladores com carga de gás são cilindros com duas câmaras de pressão, sendo uma para o óleo e outra para o gás. As câmaras são isoladas por um elemento separador que evita o contato direto entre o fluido hidráulico e o gás. Em geral, o nitrogênio seco e o hélio são os gases neutros mais comumente empregados nesse tipo de acumulador.

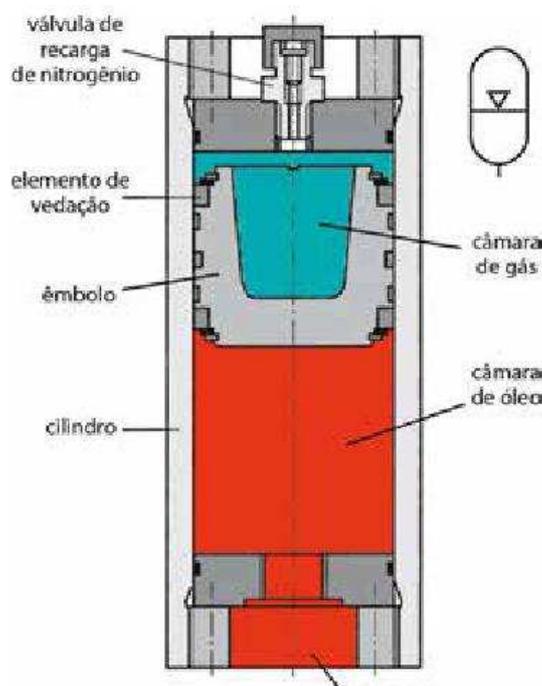
Quanto aos elementos separadores, os acumuladores de pressão com carga de gás são classificados em três tipos:

- de êmbolo,
- de membrana ou diafragma,
- de bexiga.

De maneira construtiva, os acumuladores com elemento separador de êmbolo assemelham-se aos acumuladores com mola. Um êmbolo de movimento linear isola as câmaras de óleo e de gás, como mostra a figura a seguir.

Elementos de vedação são montados em canais usinados no êmbolo, para vedar as folgas existentes entre o diâmetro interno do cilindro e o diâmetro externo do êmbolo.

O óleo em excesso, na linha de pressão, entra pela conexão do acumulador, preenche a câmara hidráulica, empurra o êmbolo e comprime o gás. Assim como uma



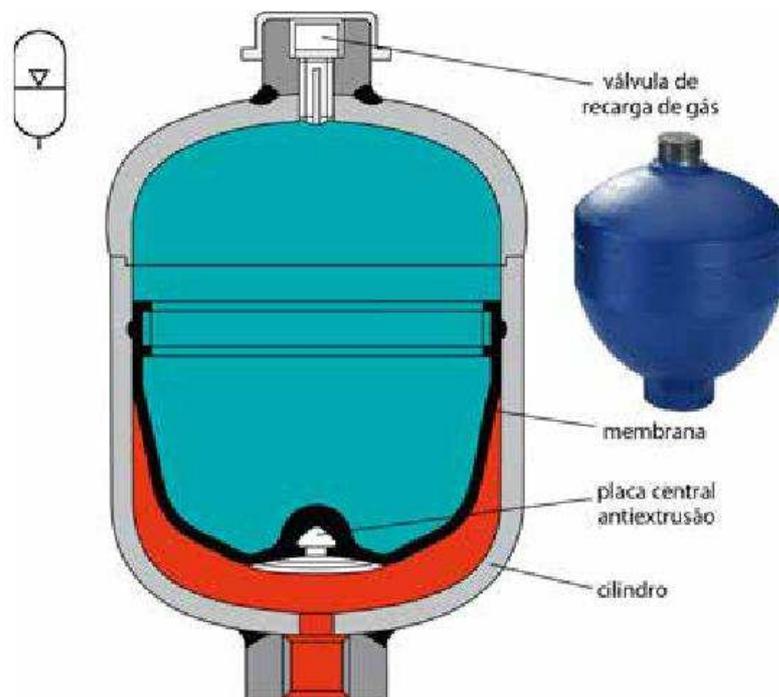
Acumulador de êmbolo

mola, à medida que o volume do gás é comprimido pelo êmbolo, sua pressão aumenta proporcionalmente.

Nos momentos de queda de pressão no sistema hidráulico, a gás se expande para ocupar novamente o seu volume inicial, empurrando o êmbolo em direção à câmara hidráulica e devolvendo ao circuito o óleo armazenado.

Já os acumuladores com elemento separador de membrana ou diafragma possuem um reservatório de aço, de forma circular ou cilíndrica, e uma membrana feita a partir de um elastômero, cuja função é separar as câmaras de nitrogênio e de óleo.

Uma base metálica, localizada no centro do diafragma, evita a extrusão da membrana, durante a descarga total do óleo do acumulador.



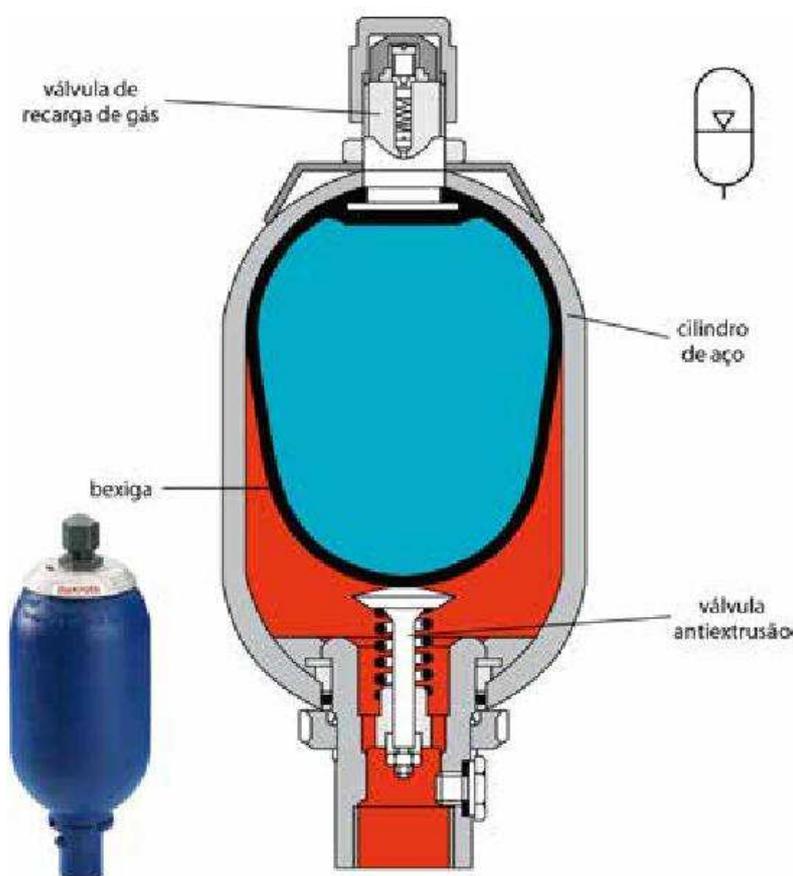
Acumulador de membrana



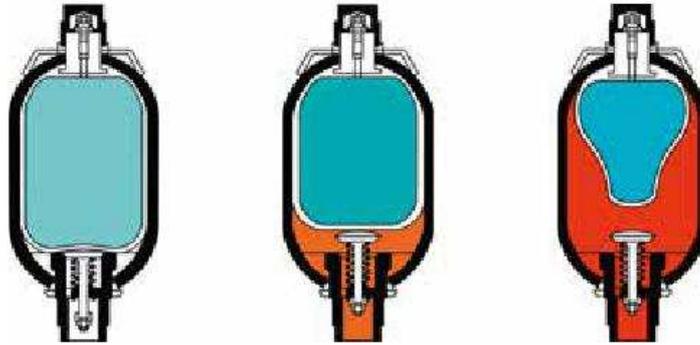
O óleo em excesso, na linha de pressão, entra pela conexão do acumulador e preenche a câmara hidráulica, flexionando a membrana para cima e comprimindo o gás. À medida em que o volume do gás vai sendo comprimido pelo diafragma, sua pressão aumenta proporcionalmente.

Nos momentos de queda de pressão no sistema hidráulico, a gás se expande para ocupar novamente o seu volume inicial, flexionando a membrana para baixo e devolvendo ao circuito o óleo armazenado.

Os acumuladores com elemento separador de bexiga possuem um reservatório de aço, soldado ou forjado, e uma bexiga de borracha compatível com o óleo hidráulico, cuja função é separar as câmaras de nitrogênio e de óleo.



Acumulador de bexiga



Uma válvula de retenção, montada na conexão de óleo, evita a extrusão da membrana, durante a descarga total do óleo do acumulador.

O óleo em excesso, na linha de pressão, entra pela conexão do acumulador e preenche o reservatório, comprimindo a bexiga e, conseqüentemente, o gás. À medida que o volume do gás é comprimido pela bexiga, sua pressão aumenta proporcionalmente.

Nos momentos de queda de pressão no sistema hidráulico, a gás se expande para ocupar novamente o seu volume inicial, inflando a bexiga e empurrando o óleo armazenado no reservatório de volta ao circuito.

Os acumuladores com carga de gás, com elemento separador de êmbolo, são utilizados em caso de grandes volumes úteis. A massa do êmbolo separador é relativamente grande, provocando atritos nos elementos de vedação e tempos de respostas lentos. Como resultado, há uma redução de cerca de 10% a pressão útil.

Já os acumuladores com elemento separador de membrana, são aplicados quando os volumes de gás e de óleo são pequenos. Eles apresentam, como vantagem, uma boa estanqueidade e longa durabilidade.

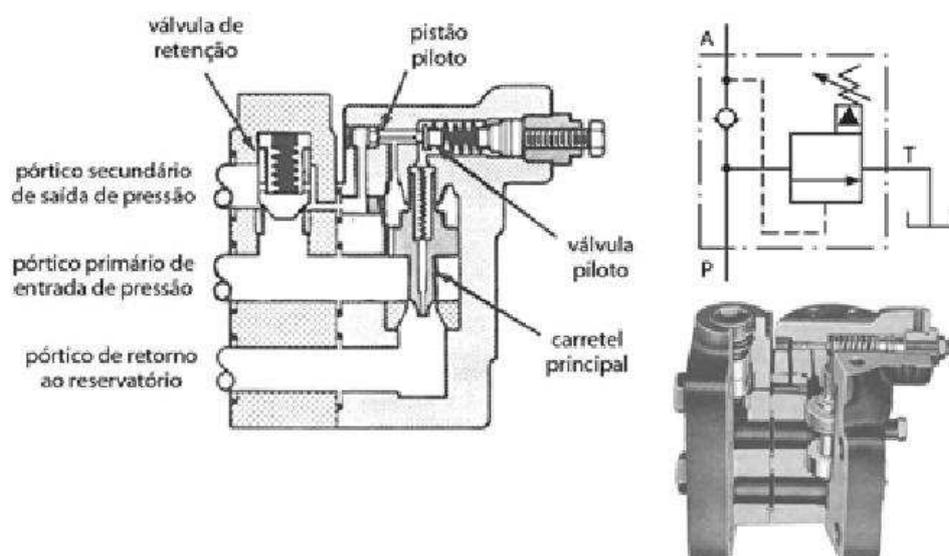
Os acumuladores de bexiga, por sua vez, são empregados nos casos de volumes médios e respostas rápidas. Devido principalmente à melhoria da qualidade do material utilizado na fabricação da bexiga, esses acumuladores alcançaram uma boa estanqueidade de gás e uma longa durabilidade.

## Válvula de segurança e descarga para acumuladores

Em sistemas hidráulicos que utilizam acumuladores de pressão, são empregadas válvulas de segurança e descarga específicas para eles, cujas funções são:

- limitar a pressão máxima de operação do acumulador;
- descarregar a vazão total da bomba para o tanque, quando for atingida a pressão desejada no acumulador;
- impedir que a linha de pressão, mantida pelo acumulador, descarregue para o tanque junto com a vazão da bomba.

A válvula de segurança e descarga para acumuladores possui três pórticos: um primário de entrada de pressão **P**, um secundário de saída **A** e um de retorno ao tanque **T**. No interior do corpo da válvula há uma retenção e uma limitadora de pressão pré-operada com duas possibilidades de pilotagem: pela pressão do pórtico primário como, também, pela pressão do pórtico secundário.

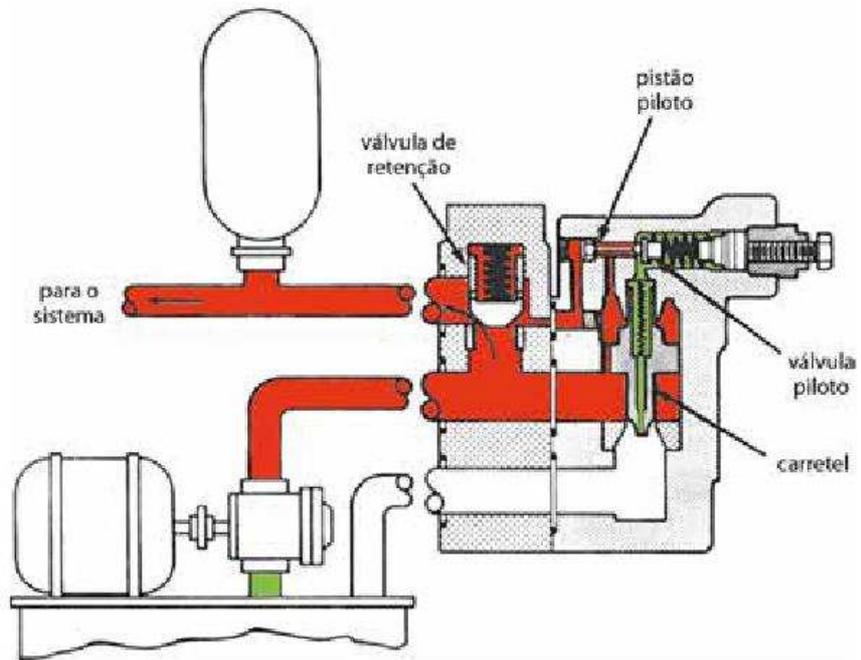


Válvula de segurança e descarga para acumuladores

As figuras a seguir mostram o ciclo de funcionamento de uma válvula de segurança e descarga em um sistema hidráulico provido de acumulador de pressão.

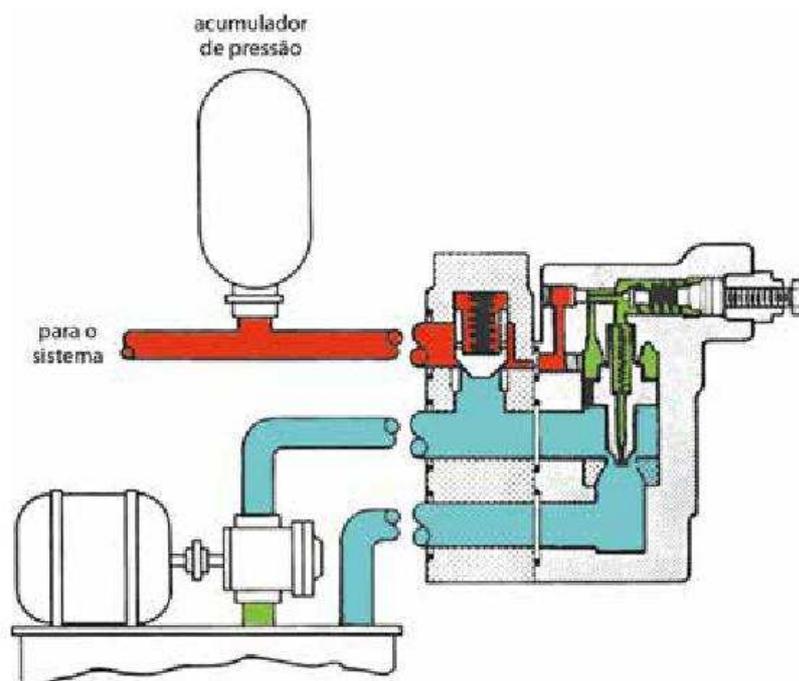
Quando a bomba entra em operação, o óleo passa livremente pela retenção incorporada na válvula de segurança e descarga e flui para o sistema hidráulico. O excesso de óleo, que não está sendo utilizado pelo sistema, entra pela conexão do acumulador e preenche o seu reservatório.

A partir do momento que o acumulador está carregado por completo, como o excesso de óleo não tem mais para onde fluir, a pressão no sistema começa a subir, até atingir o valor regulado na válvula de segurança e descarga.



Carregando o acumulador

Quando isso ocorre, a válvula de segurança e descarga abre para desviar o excesso de óleo de volta ao reservatório, evitando que a pressão continue a subir.



Descarregando a vazão da bomba para o tanque e mantendo o sistema pressurizado

Quando a válvula de segurança e descarga abre, desviando a vazão da bomba para o tanque, a retenção fecha de imediato a fim de evitar que o óleo armazenado no acumulador volte ao tanque, junto com a vazão da bomba, pela abertura do carretel principal. Além disso, a pressão armazenada no acumulador passa ao redor da retenção e agirá no pistão piloto que empurra a agulha da limitadora de pressão, mantendo-a totalmente aberta.

Assim, o carretel principal é deslocado do seu assento, abrindo totalmente a passagem de saída ao tanque. Dessa forma, toda a vazão da bomba é direcionada livremente ao reservatório, enquanto o sistema hidráulico é mantido sob pressão, com o óleo armazenado no acumulador.

Devido à diferença de áreas entre a agulha da limitadora e o pistão piloto, quando a pressão diminui a aproximadamente 85% do valor ajustado na válvula, o pistão piloto retorna e a agulha se fecha, iniciando um novo ciclo de operação.

# FILTROS

A maioria dos casos de mau funcionamento de componentes hidráulicos e falhas no sistema é provocada pela contaminação dos fluidos hidráulicos.

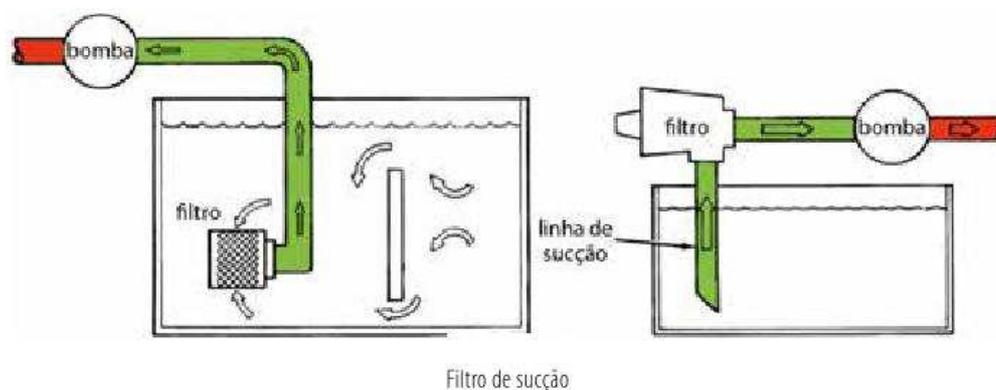
A contaminação interfere na transmissão de energia, vedando os pequenos orifícios dos componentes hidráulicos. Prejudica o resfriamento do óleo, formando sedimentos que dificultam a troca de calor com as paredes internas do reservatório.

Além disso, as partículas sólidas presentes no óleo, muitas vezes provenientes do desgaste dos próprios equipamentos hidráulicos, interferem na lubrificação, causando respostas lentas, falhas operacionais e desgaste excessivo das partes móveis dos componentes utilizados no circuito.

Os filtros são componentes de vital importância nos circuitos hidráulicos, com a função de evitar boa parte da contaminação do óleo, retendo todos os contaminadores insolúveis, partículas sólidas, presentes no fluido.

Dependendo do tipo de máquina ou equipamento hidráulico, os filtros podem ser posicionados em três setores diferentes do sistema:

## Filtros de sucção



Os filtros de sucção, montados na linha de entrada da bomba, evitam que as partículas sólidas, contidas no interior do reservatório, sejam enviadas ao sistema. Esses filtros não podem ser muito finos, para não causarem problemas de cavitação na bomba.

Os filtros de sucção mais utilizados em sistemas hidráulicos são:

### Peneiras:

As peneiras são fabricadas com telas de arame fino, montadas sobre uma estrutura metálica, rosqueada diretamente na linha de entrada da bomba.



As peneiras são classificadas pelo número da malha. Quanto mais alto for esse número, mais fina é a tela da peneira, conforme apresentado na tabela a seguir.

| NÚMERO DA MALHA | DISTÂNCIA ENTRE OS ARAMES DA TELA |
|-----------------|-----------------------------------|
| 50              | 0,297 mm ou 297 microns           |
| 70              | 0,210 mm ou 210 microns           |
| 100             | 0,150 mm ou 150 microns           |
| 140             | 0,105 mm ou 105 microns           |
| 200             | 0,075 mm ou 75 microns            |
| 270             | 0,053 mm ou 53 microns            |
| 325             | 0,044 mm ou 44 microns            |

As peneiras são montadas na extremidade do tubo de sucção das bombas, permanecendo submersas nos reservatórios de óleo.

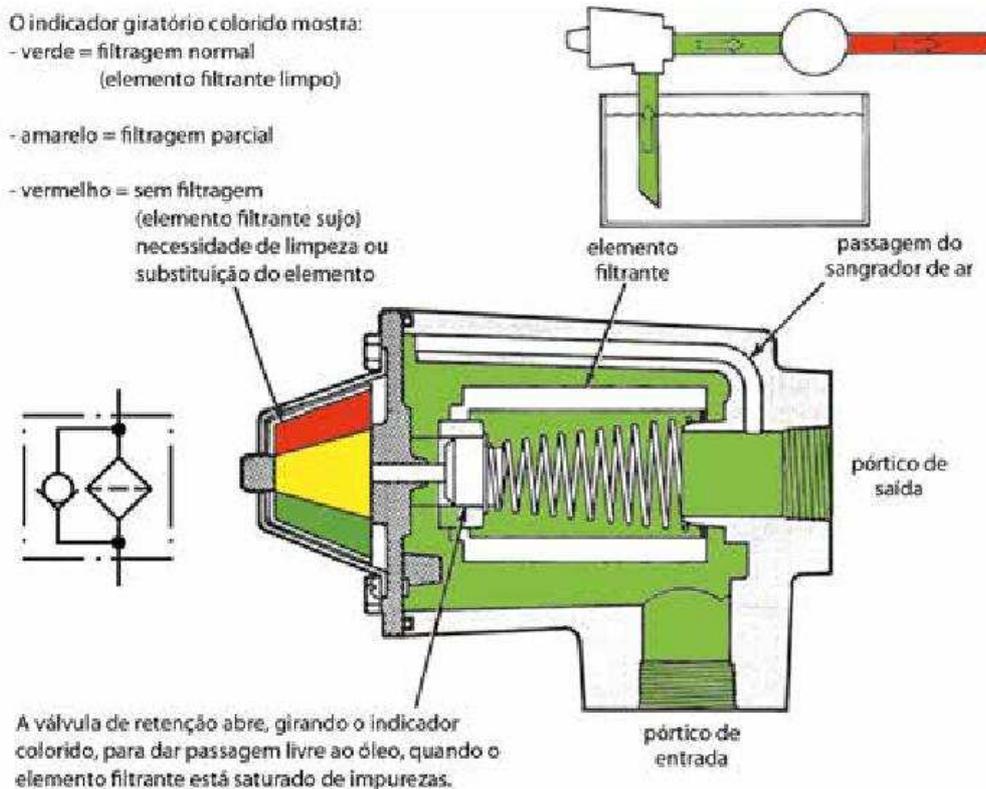


#### Filtro indicador:

Os filtros indicadores utilizam telas de arame fino ou de celulose como elemento filtrante. Possuem um indicador óptico que, com o acúmulo de impurezas no elemento filtrante, avisa quando ele deve ser limpo ou substituído.



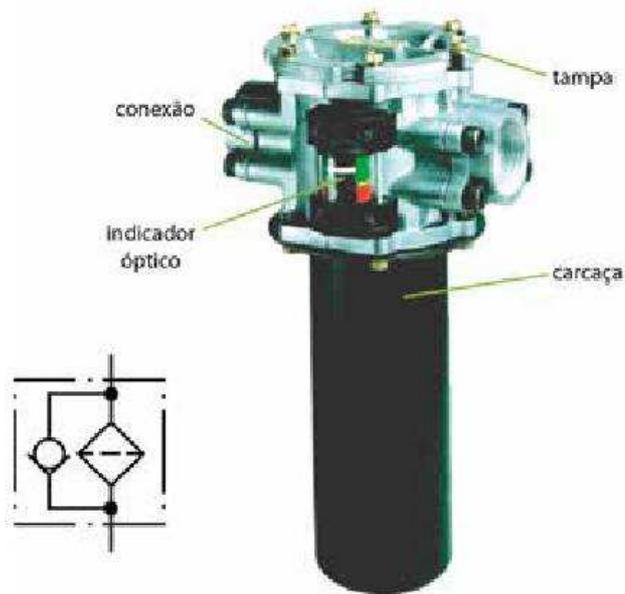
Os filtros indicadores são montados na linha de sucção, entre o reservatório e a bomba.



O óleo, proveniente do reservatório, penetra pelo pórtico de entrada, é filtrado, passando pela tela ao redor do elemento filtrante, e flui em direção à bomba através do pórtico de saída.

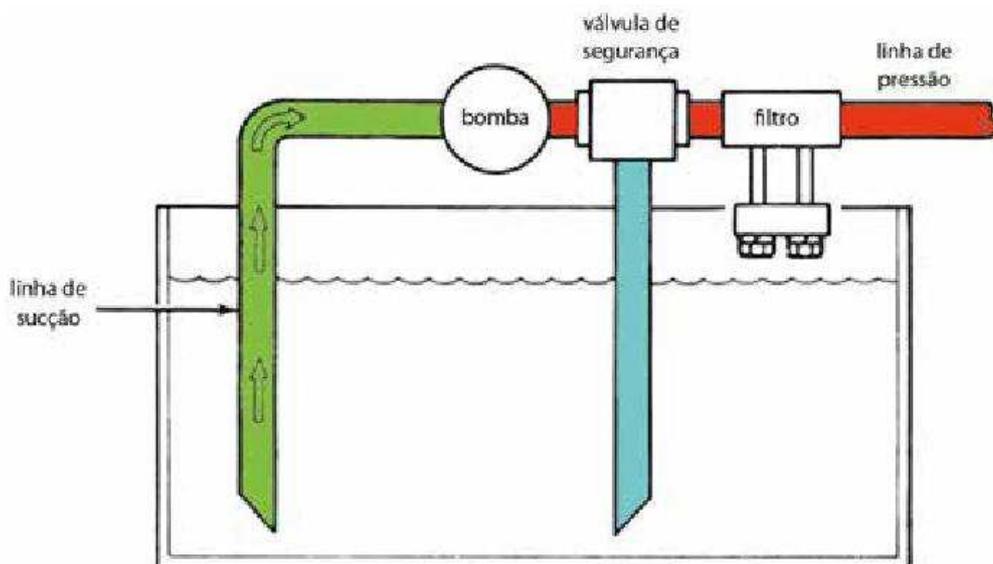
Quando o elemento filtrante está saturado de impurezas, a válvula de retenção se movimenta para a direita, abrindo a passagem livre para o óleo e evitando, assim, que ocorra a cavitação da bomba. Ao abrir, a válvula de retenção gira o indicador colorido, mostrando no visor o alerta de limpeza ou substituição do elemento filtrante.

A figura, a seguir, mostra outro tipo de filtro indicador para linhas de sucção no qual o elemento filtrante, de tela ou celulose, é montado no interior da carcaça.



Filtro indicador para linhas de sucção

## Filtros de pressão

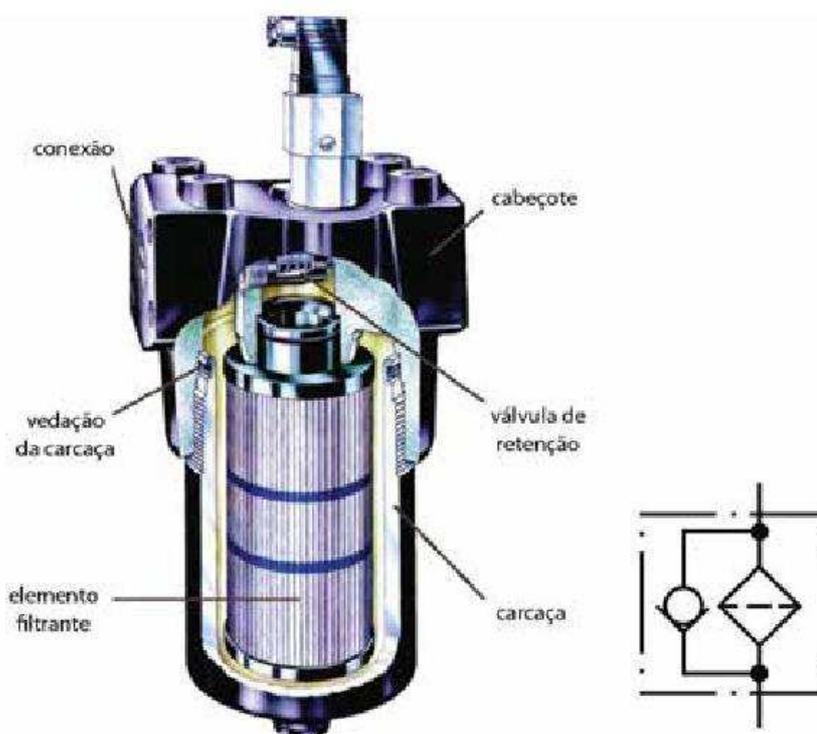


Filtro de pressão

Os filtros de pressão, montados nas linhas pressurizadas, são bem mais finos que os de sucção e, com isso, são capazes de reter partículas bem menores que os filtros anteriores.

Esses filtros, ao contrário dos de sucção, são confeccionados de material poroso e são classificados pelo tamanho micron que corresponde à milésima parte do milímetro. Sendo assim, quanto mais baixo o tamanho micron, mais fino é o filtro.

Dessa forma, um filtro de 10 microns, por exemplo, é capaz de reter impurezas de tamanho superior a 10 milésimos de milímetro, sendo ideal para evitar que essas partículas possam prejudicar o funcionamento dos componentes hidráulicos mais precisos, que não as toleram.

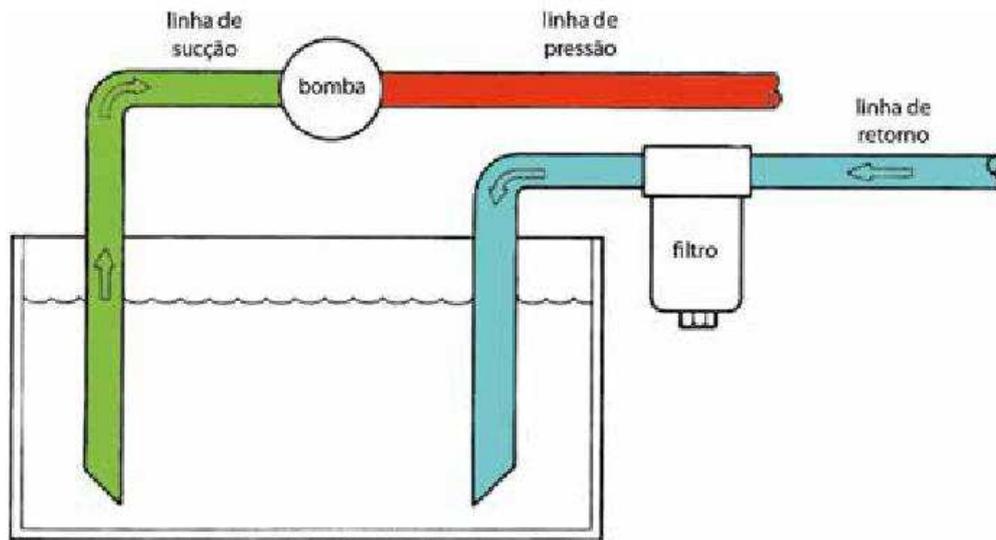


Filtro para linhas de pressão

O cabeçote e a carcaça dos filtros micrônicos, para linhas de pressão, são fabricados em aço de alta resistência para poderem suportar altas pressões.

Os elementos filtrantes são feitos de camadas de tecido trançado ou de papel especial poroso banhado de resina, as quais permitem a passagem do óleo entre suas fibras.

## Filtros de retorno

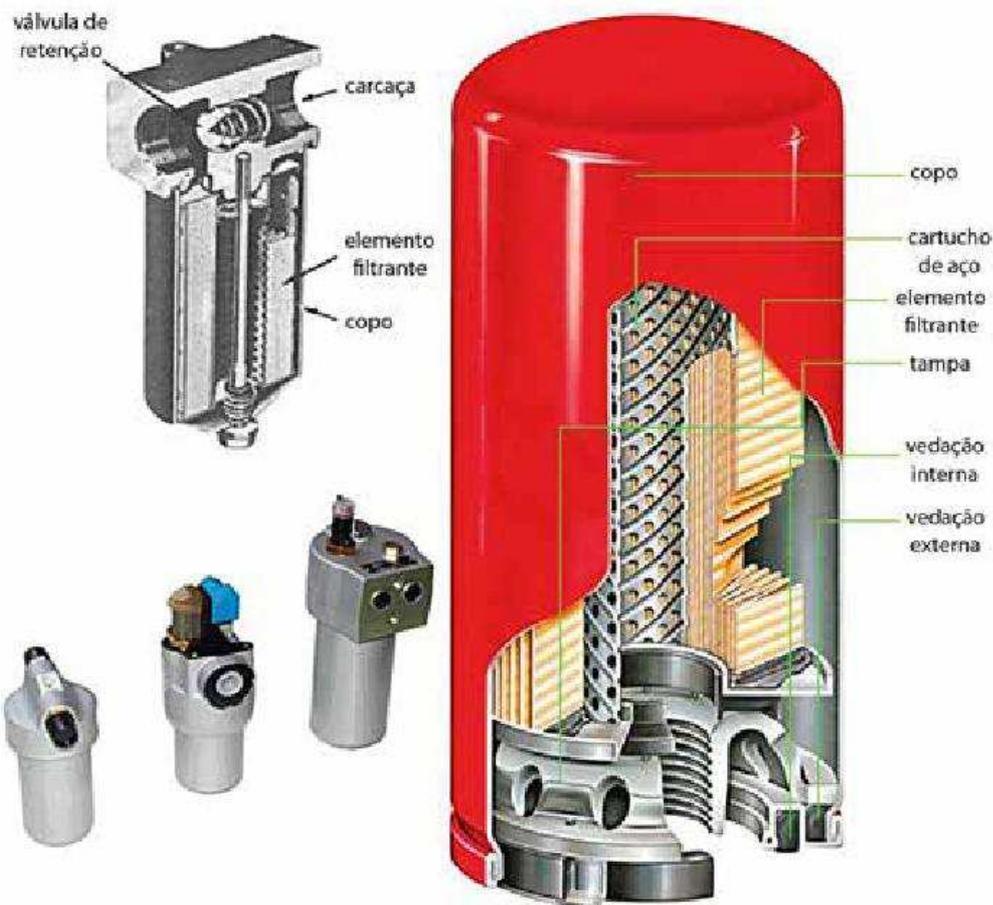


Filtro de retorno

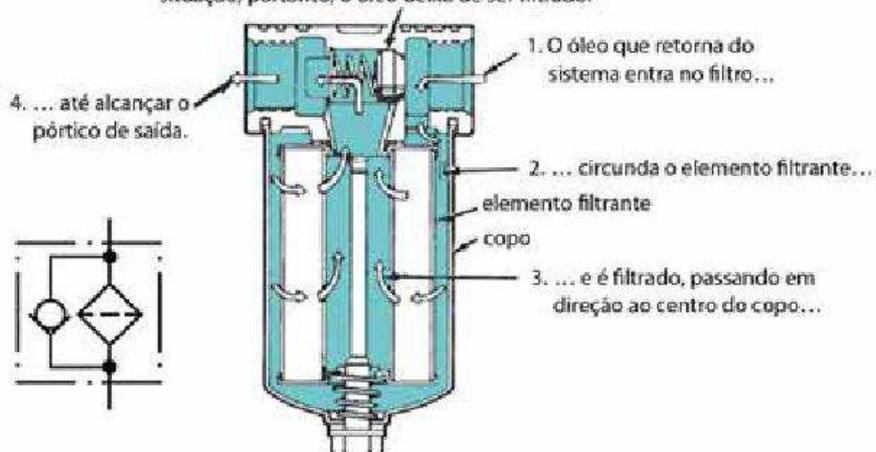
Os filtros de retorno, montados nas linhas que trazem o óleo de volta, da máquina para o tanque, evitam que as partículas sólidas presentes no fluido contaminem o reservatório. São ideais para máquinas com reservatórios de dimensões reduzidas, que não permitem a decantação de impurezas, ou equipamentos hidráulicos que utilizam bombas de alto rendimento as quais, devido à precisão de suas partes móveis, não podem ser protegidas apenas pelos filtros de sucção.

Os filtros de retorno, assim como os de pressão, são confeccionados de material poroso e são classificados pelo tamanho micron.

Em geral, esses filtros possuem visores ópticos, que indicam as condições de saturação do elemento filtrante, e uma válvula de retenção incorporada, para desviar o óleo diretamente para o tanque, quando ocorre a saturação do elemento, evitando contrapressões nas linhas de retorno que possam interferir no funcionamento do sistema hidráulico.

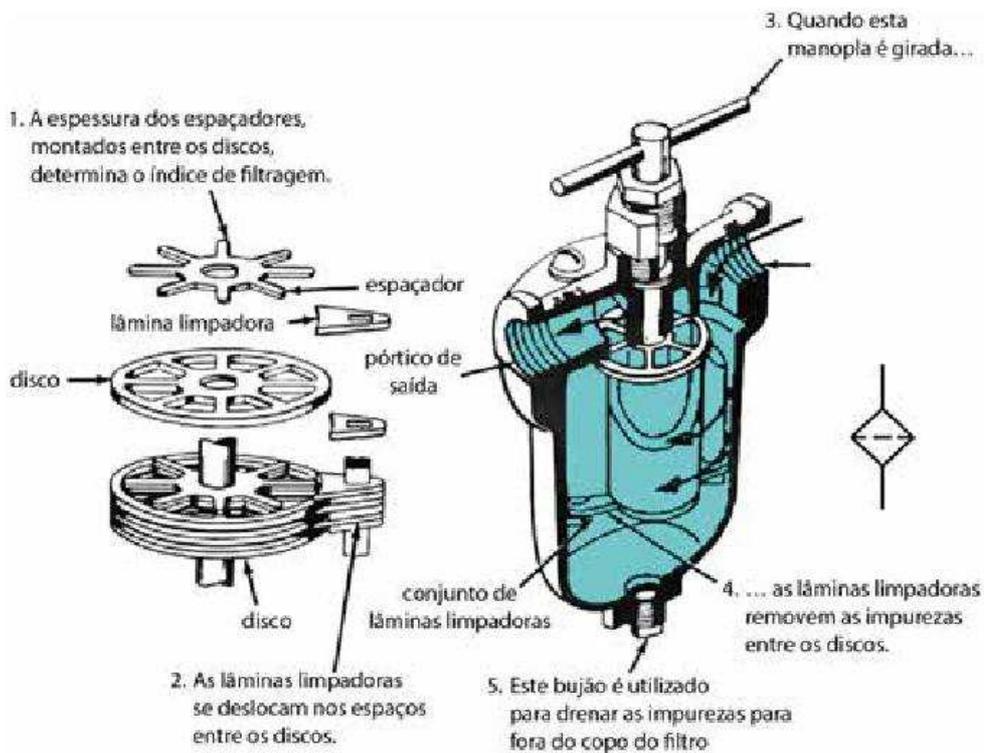


5. Quando o elemento filtrante está saturado de impurezas, a válvula de retenção abre, permitindo a passagem livre do óleo, do produto de entrada para o de saída. Nesta situação, portanto, o óleo deixa de ser filtrado.



### Filtro mecânico rotativo:

O filtro mecânico rotativo é um tipo de filtro utilizado em linhas de retorno ao tanque, ideal para retificadoras ou máquinas que produzem cavacos miúdos, em forma de pó.



Filtro mecânico rotativo

O óleo contaminado passa entre os discos montados sobrepostos no interior do corpo do filtro e separados por espaçadores. Quando a manopla é girada, as lâminas limpadoras raspam as partículas depositadas ao redor dos discos, depositando-as no fundo do copo do filtro. Periodicamente, por meio de uma drenagem feita pelo plugue localizado na parte inferior do copo, as impurezas podem ser removidas.

Em outra versão desse tipo de filtro, os discos são imantados para reter partículas metálicas que estejam presentes no óleo.



# INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO HIDRÁULICA

As medidas de pressão, vazão e temperatura são importantes para que se possam avaliar as condições de operação dos sistemas hidráulicos e o rendimento de seus componentes. Essas medições são úteis, também, na localização de defeitos e de vazamentos.

Os principais instrumentos que permitem efetuar essas medições são:

- manômetro;
- vacuômetro;
- rotâmetro;
- termômetro.

## Manômetro

Os manômetros são instrumentos utilizados na medição de pressões, essenciais para auxiliar na regulação das válvulas controladoras de pressão, bem como determinar as forças desenvolvidas por um atuador hidráulico.

No mercado, há vários tipos construtivos de manômetros. O mais utilizado em sistemas hidráulicos é o de tubo de Bourdon. Sua construção consiste de um tubo fechado em forma de arco acoplado ao sistema hidráulico em uma extremidade e a um conjunto de engrenagens na outra, o qual transmite os movimentos de flexão do tubo para um ponteiro, montado sobre um mostrador.

O manômetro é montado em uma carcaça, em geral, de forma circular, com um visor frontal e uma conexão de entrada de pressão com rosca, disponível em diversas medidas. A conexão pode estar disposta na parte traseira do manômetro ou na base inferior, dependendo do tipo de montagem previamente determinada para o instrumento no sistema hidráulico. O manômetro pode ser fixado em painéis hidráulicos, conectado à tubulação ou roscado diretamente nos componentes hidráulicos.



### Manômetro do tipo tubo de Bourdon

O óleo sob pressão entra pela conexão do manômetro e preenche o tubo de Bourdon, o qual se comporta como uma mola. Quando a pressão do óleo aumenta, o tubo se estica e altera a posição do ponteiro diante do mostrador, fornecendo o valor da pressão no interior do tubo. Ao contrário, quando a pressão do óleo diminui, o tubo tende a voltar a sua posição inicial, posicionando o ponteiro em um valor menor na escala de pressão do mostrador.

Visualmente, a aparência do manômetro pode variar de um fabricante para outro mas, os princípios de funcionamento são os mesmos.



A maioria dos manômetros indica a pressão relativa, isto é, considera a pressão atmosférica não como  $1 \text{ kgf/cm}^2$  e sim como zero.

Com relação às escalas de pressão, estão disponíveis no mercado manômetros em diversas unidades, tais como: bar,  $\text{kgf/cm}^2$ , atm, PSI, Torr, Pa etc. Podem ser encontrados, inclusive, manômetros com duas escalas de pressão, diferenciadas no mostrador por cores diferentes.



Manômetros com duas escalas de pressão

Com o intuito de absorver choques hidráulicos e evitar que oscilações bruscas de pressão possam danificar o mecanismo interno, alguns manômetros possuem suas carcaças preenchidas com glicerina, apresentados nas figuras a seguir.

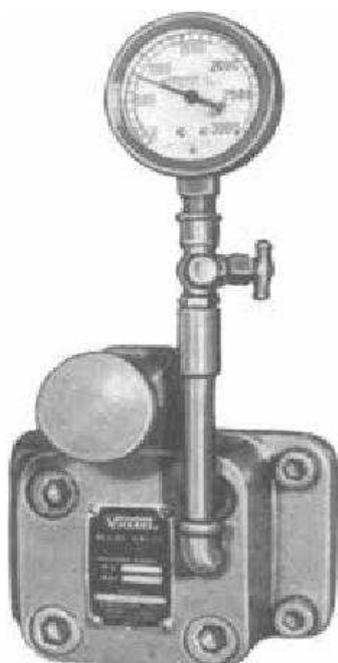


Manômetros com amortecimento por glicerina

Atualmente, podem ser encontrados também manômetros eletrônicos digitais, conhecidos como sensores de pressão, disponíveis em várias escalas.



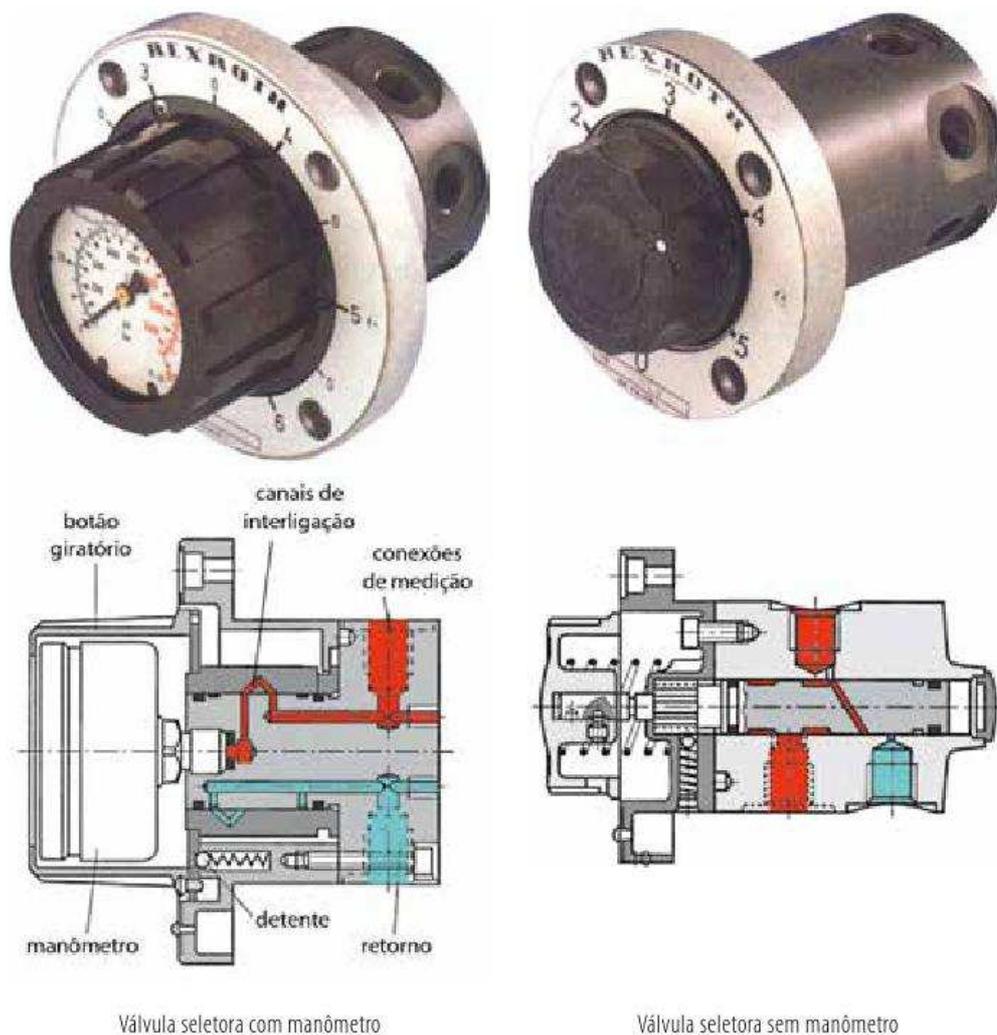
Manômetros eletrônicos digitais (sensores de pressão)



Quando utilizados para auxiliar na regulação de válvulas controladoras de pressão, os manômetros devem ser instalados o mais próximo possível das válvulas, para evitar distorções nos valores medidos. Muitos dos componentes hidráulicos possuem pórticos específicos para a montagem de manômetros.

Outra prática possível é efetuar a leitura de várias pressões diferentes, de diversos setores do sistema hidráulico, utilizando um único manômetro. Para isso foram desenvolvidas as válvulas seletoras de pressão para manômetros, apresentadas nas figuras a seguir.

As válvulas seletoras de pressão para manômetros podem ser encontradas com até seis pórticos diferentes de tomada de pressão, selecio-



nadas uma a uma, a partir do giro manual do botão frontal. Funcionam também como isoladores de pressão, aliviando o manômetro para o tanque nos momentos em que a leitura não se faz necessária.

## Vacuômetro

Os vacuômetros são instrumentos utilizados na medição de pressões negativas, inferiores à pressão atmosférica, ideais para medir a força de sucção de bombas hidráulicas em geral. Com o auxílio de um vacuômetro, é possível detectar pro-

blemas de aeração e, principalmente, de cavitação nas linhas de sucção de bombas hidráulicas.

As características de construção e os princípios de funcionamento dos vacuômetros são semelhantes aos dos manômetros, a pouco estudados.

Visualmente, os vacuômetros são facilmente confundidos com os manômetros. As principais diferenças encontram-se nas escalas de pressão e, em geral, na posição do ponteiro no mostrador. Considerando que os vacuômetros medem pressões negativas, isto é, do valor zero para baixo, o ponteiro do vacuômetro se movimenta no mostrador no sentido inverso ao do manômetro.



As escalas de pressão mais usadas nos vacuômetros são as de milímetros de mercúrio (mmHg) e polegadas de mercúrio (inHg), embora outras escalas possam ser encontradas.

## Rotâmetro

Os rotâmetros são instrumentos utilizados para medição de vazão de óleo, úteis na verificação da eficiência volumétrica de bombas hidráulicas assim como na detecção de vazamentos internos no circuito.

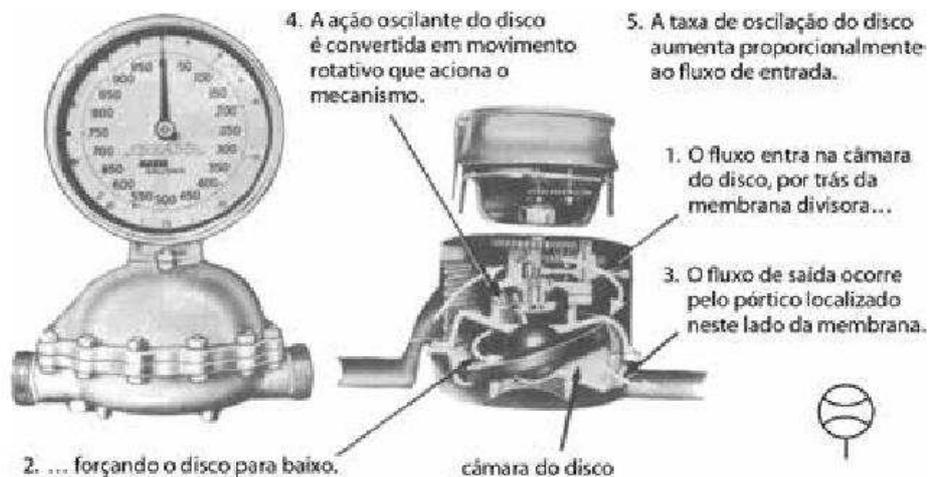
Dos diversos tipos construtivos de rotâmetros, disponíveis no mercado, o mais comum possui uma carcaça com uma conexão de entrada e outra de saída de óleo, um visor acrílico, um anel indicador de posição e um mostrador com duas escalas de vazão (lpm e gpm), como mostra a figura a seguir.

O óleo flui no interior do rotâmetro, da conexão de entrada para a de saída, forçando o anel indicador a se movimentar para a esquerda, contra a força de



uma mola. Quanto maior for a vazão do óleo, mais à esquerda do mostrador o anel indicador será posicionado, indicando a quantidade de óleo por minuto que passa pelo instrumento.

Outro tipo de rotâmetro, muito utilizado em sistemas hidráulicos é o de disco satélite. Ao fluir pelo interior do instrumento, o óleo provoca um movimento de rotação no disco que, por meio de um conjunto de engrenagens, envia a informação a um tacômetro posicionado na parte superior do corpo do rotâmetro. Quanto maior for a quantidade de óleo fluindo através do instrumento, maior será a rotação do disco, posicionando o ponteiro do tacômetro em um valor mais elevado na escala do mostrador.

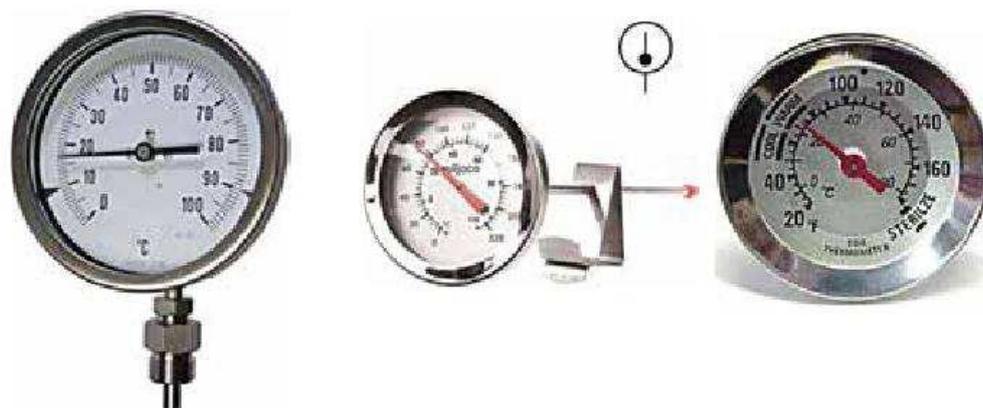


## Termômetro

Os termômetros são instrumentos empregados em sistemas hidráulicos para medir a temperatura do óleo.

No geral, os termômetros funcionam a partir da dilatação térmica de materiais, que alteram a posição de um ponteiro diante de um mostrador, de acordo com a variação da temperatura do óleo.

Os termômetros mais utilizados em sistemas hidráulicos estão apresentados nas figuras a seguir.



Termômetros bimetalícos analógicos



Termômetros eletrônicos digitais

Os termômetros podem ser encontrados em diversas escalas, tais como: Kelvin (K), Celsius (°C) e Fahrenheit (°F), sendo geralmente incorporados nos visores de nível dos reservatórios de óleo.



# TROCADORES DE CALOR

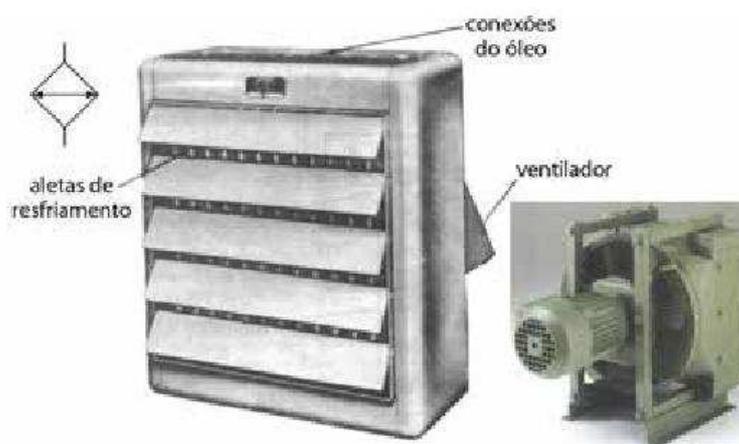
Muitas vezes, os equipamentos hidráulicos que trabalham em temperaturas elevadas ou em ambientes muito quentes, não conseguem dissipar o calor gerado pelo circuito somente através da tubulação e das paredes do reservatório de óleo. Nesses casos, os sistemas hidráulicos requerem trocadores de calor.

Os trocadores de calor, também chamados de intercambiadores de calor, resfriam o óleo, mantendo-o na faixa de temperatura adequada ao trabalho e evitando, assim, perdas de viscosidade que poderiam causar mau funcionamento dos componentes do sistema, provocando alterações indesejáveis de pressão e variações nas velocidades dos atuadores hidráulicos.

Há dois tipos de trocadores de calor:

- resfriadores a ar,
- resfriadores a água.

Os resfriadores a ar são utilizados em sistemas hidráulicos de pequeno porte ou onde não há água disponível. Trata-se de uma carcaça provida de uma conexão de entrada e outra de saída de óleo, uma serpentina aletada, em geral construída de



Trocador de calor a ar

alumínio, cobre ou latão, e um ventilador que sopra as serpentinas para aumentar a troca de calor com o ambiente externo.

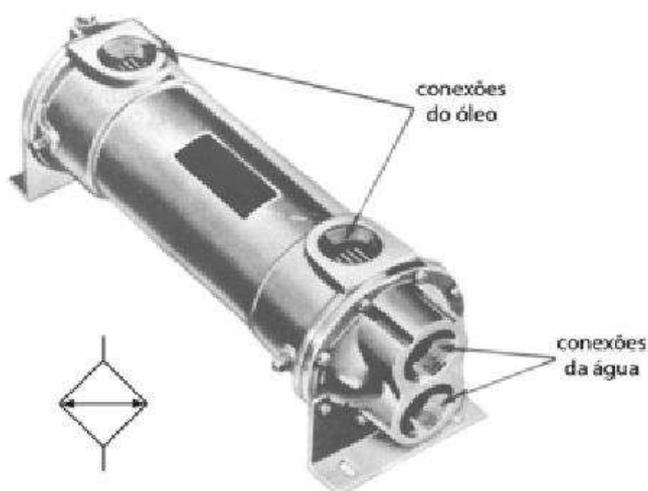
A serpentina e as aletas aumentam a área de contato do trocador de calor com o ambiente.



Trocador de calor a ar com filtro de óleo incorporado

Os resfriadores à água, por sua vez, são utilizados em sistemas hidráulicos de médio e grande portes em que um resfriador a ar não seria suficiente para efetuar a troca de calor ideal com o ambiente.

Os resfriadores a água possuem quatro conexões, sendo duas para entrada e saída de óleo e duas para a serpentina, montada dentro da carcaça cilíndrica do



Trocador de calor a água

trocador de calor, por onde passa a água. A serpentina isola a água do óleo e efetua a troca de calor entre eles.

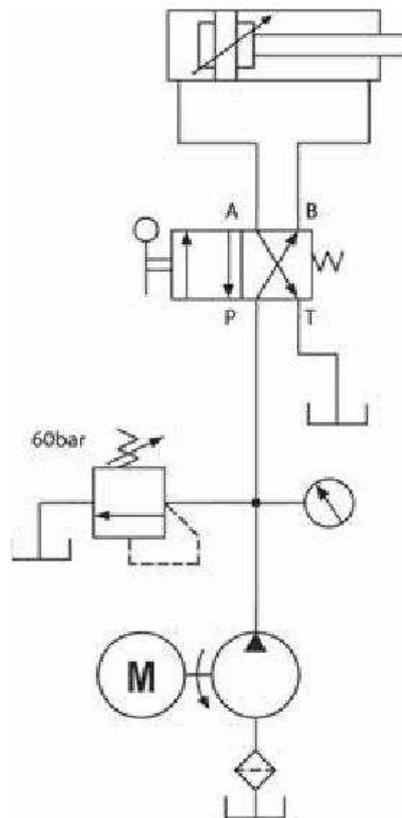
O óleo quente penetra no trocador de calor pela conexão de uma de suas extremidades, entra em contato com a superfície fria da serpentina, por onde está passando a água, se esfria e sai pela conexão da outra extremidade do trocador de calor.

A água pode ser termostaticamente controlada para que se possa manter uma temperatura desejada no óleo. Usando água quente, essa unidade pode operar como um aquecedor.



# CIRCUITOS HIDRÁULICOS

**Ensaio 1:** Um cilindro de ação dupla deve avançar, mediante o acionamento da alavanca de uma válvula direcional. Soltando a alavanca, o cilindro deve retornar a sua posição inicial.



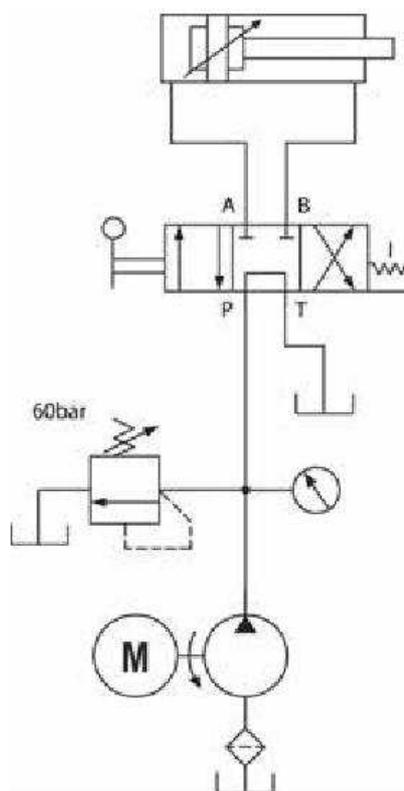
Acionando-se a alavanca da válvula direcional para a direita, na posição paralela, o óleo hidráulico sob pressão flui através dos portos **P** e **A** e daí para a câmara traseira do cilindro, empurrando o êmbolo para a direita e fazendo com que a haste se estenda. O óleo acumulado

na câmara dianteira do cilindro flui livremente ao reservatório através da válvula direcional, pelos pórticos **B** e **T**.

Enquanto a alavanca de acionamento da válvula direcional for mantida acionada, a haste do cilindro permanece avançando, até atingir o final do curso.

Soltando a alavanca, a mola da válvula direcional a reposiciona para a esquerda, na posição cruzada, dirigindo o fluxo do óleo sob pressão para a câmara dianteira do cilindro, através dos pórticos **P** e **B**, empurrando o êmbolo para a esquerda e fazendo com que a haste se retraia. O óleo acumulado na câmara traseira do cilindro retorna livremente ao tanque através da válvula direcional, pelos pórticos **A** e **T**.

**Ensaio 2:** Um cilindro de ação dupla deve avançar, retornar e parar em qualquer ponto de seu curso, mediante três posicionamentos diferentes de uma alavanca de comando.

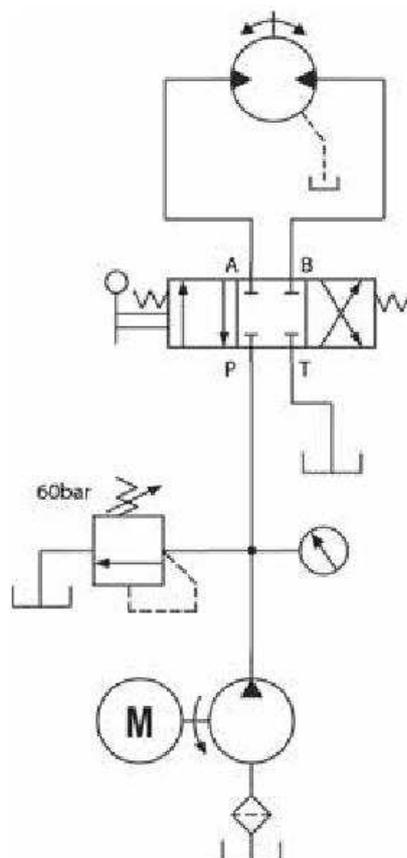


Com a válvula direcional na posição central, a haste do cilindro permanece parada, considerando-se que os pórticos **A** e **B** bloqueiam o fluxo hidráulico. Ao mesmo tempo, o óleo proveniente da bomba pode fluir livremente ao reservatório, por meio do centro tandem da válvula direcional, através dos pórticos **P** e **T** interligados.

Acionando a alavanca da válvula direcional para a direita, na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida para a câmara traseira do cilindro, fazendo com que a haste avance. Caso haja necessidade de interromper o movimento de avanço da haste, em qualquer ponto do seu curso, basta recolocar a alavanca de acionamento da válvula direcional na sua posição central, bloqueando as vias de trabalho **A** e **B** e descarregando a vazão da bomba para o tanque, pelos pórticos **P** e **T**. Acionando a alavanca da válvula direcional para a esquerda, na posição cruzada, a pressão hidráulica é dirigida para a câmara dianteira do cilindro, fazendo com que a haste retorne. Agora, se for necessário interromper o movimento de retorno da haste, novamente em qualquer ponto do seu curso, basta recolocar a alavanca de acionamento da válvula direcional na sua posição central, bloqueando mais uma vez as vias de trabalho **A** e **B** e descarregando a vazão da bomba para o tanque, pelos pórticos **P** e **T**.

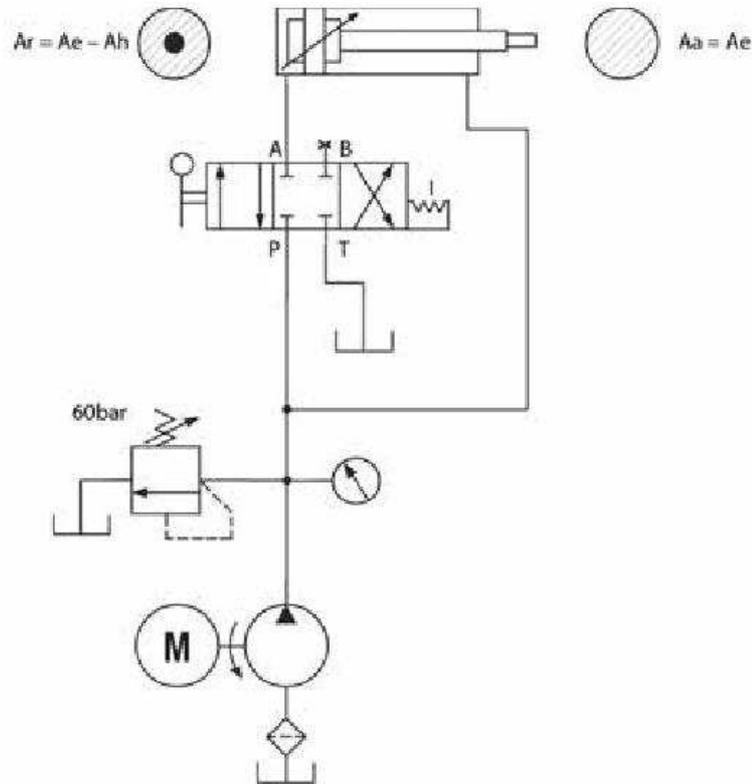
Como a válvula direcional possui um detente que trava o carretel na última posição acionada, não apresentando, portanto, molas de reposição, basta selecionar uma das três posições de comando para que o cilindro avance, retorne ou pare, sem a necessidade de manter o acionamento da alavanca.

- Ensaio 3:** O eixo de um motor hidráulico reversível deve girar em ambos os sentidos de rotação e parar, sob o comando de uma válvula direcional. Acionando-se a alavanca da válvula direcional para a direita, na posição paralela, a pressão hidráulica flui de **P** para **A**, gira o eixo do motor hidráulico no sentido horário e retorna ao reservatório através dos pórticos **B** e **T**. Soltando a alavanca de acionamento, as molas recolocam o carretel da válvula direcional na posição central, bloqueando todos os pórticos e parando o motor hidráulico.



Acionando a alavanca da válvula direcional para a esquerda, na posição cruzada, a pressão hidráulica flui de **P** para **B**, gira o eixo do motor hidráulico no sentido anti-horário e retorna ao reservatório através dos portos **A** e **T**.

- Ensaio 4:** Por meio de um circuito regenerativo, um cilindro hidráulico, com diferencial de áreas de 2 para 1, deve se movimentar apresentando forças e velocidades iguais, tanto no avanço como no retorno.
- Acionando a alavanca da válvula direcional na posição paralela, o óleo proveniente da bomba pode fluir, com a mesma pressão, tanto para a câmara dianteira como para a traseira do cilindro. Como num cilindro diferencial 2:1 a área de avanço mede o dobro da de retorno, em um circuito convencional a haste avançaria com o dobro da força e a metade da velocidade que a mesma teria no retorno. No circuito



regenerativo, entretanto, a haste do cilindro avança e retorna com a mesma força e a mesma velocidade.

Ao avançar, a contrapressão agindo na área de retorno reduz a força de avanço à metade da convencional, deixando-a igual a de retorno. O óleo acumulado na câmara dianteira do cilindro une-se à vazão da bomba e entra na câmara traseira, aumentando a velocidade de avanço ao dobro da convencional e igualando-a à de retorno.

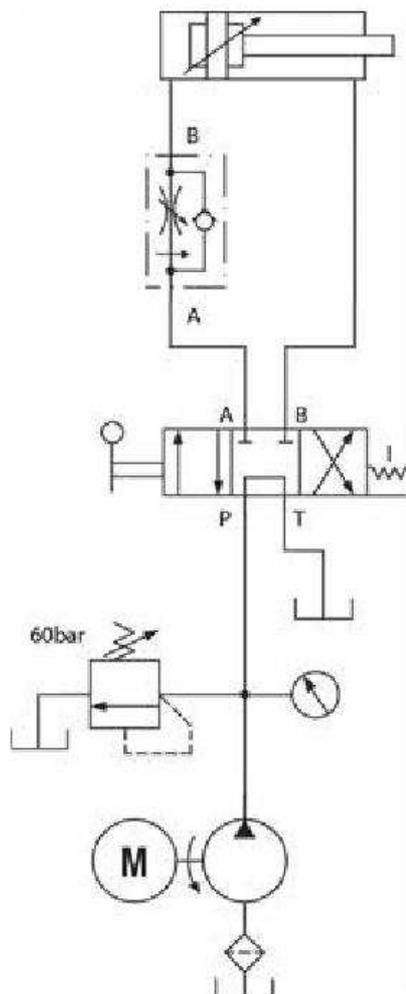
Acionando a alavanca da válvula direcional na posição cruzada, a pressão hidráulica permanece agindo na câmara dianteira do cilindro, ao mesmo tempo que o óleo acumulado na câmara traseira é descarregado para o reservatório, através dos pórticos A e T da válvula direcional. Dessa forma, a haste do cilindro retorna normalmente, como em um circuito convencional, oferecendo força e velocidade de retorno normais, iguais às que o cilindro apresentou durante o movimento de avanço.

Com a válvula direcional na posição central, como todos os pórticos estão bloqueados, o cilindro interrompe seu movimento em qualquer ponto de seu curso de avanço ou de retorno.

**Ensaio 5:** Um cilindro, que movimenta um cabeçote de usinagem, deve avançar com velocidade controlada, compatível com a velocidade de corte da ferramenta. Ao retornar, o cilindro deve apresentar velocidade normal para que a ferramenta seja extraída da peça rapidamente.

**Solução A:**

controle de velocidade de avanço do cilindro na entrada do óleo na câmara traseira.



Acionando a alavanca da válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida à câmara traseira do cilindro e o óleo acumulado na câmara dianteira é descarregado livremente ao reservatório. O óleo hidráulico entra pelo pórtico **A** da válvula reguladora de vazão, passa controlado na restrição variável, sai pelo pórtico **B** e entra na câmara traseira do cilindro. Abrindo a restrição, o óleo flui em maior quantidade, aumentando a velocidade de avanço da haste. Por outro lado, fechando a restrição, a vazão de óleo é menor, o que diminui a velocidade de avanço da haste. Dessa forma, controlando a quantidade de óleo que entra na câmara traseira do cilindro, pode-se regular a velocidade de avanço da haste, compatível com a velocidade de corte da ferramenta atuada pelo cilindro.

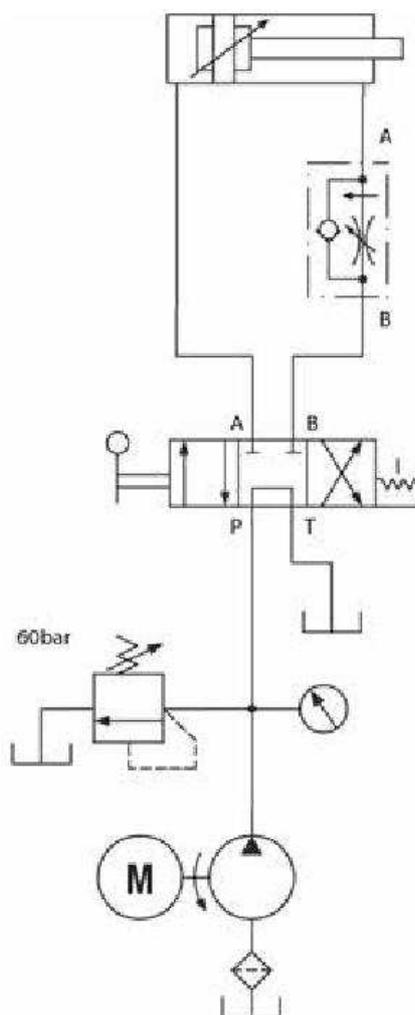
Acionando a alavanca da válvula direcional na posição cruzada, a pressão hidráulica é dirigida à câmara dianteira do cilindro, fazendo com que a haste retorne. O óleo acumulado na câmara traseira sai, passa livremente pela retenção incorporada na válvula reguladora de vazão, no sentido de **B** para **A**, e descarrega diretamente ao reservatório, permitindo que a haste do cilindro tenha uma velocidade normal de retorno, sem nenhum controle.

Com a válvula direcional na posição central, o cilindro interrompe seu movimento em qualquer ponto de seu curso de avanço ou de retorno e o fluxo da bomba retorna livre ao tanque através do centro tandem da direcional.

#### **Solução B:**

controle de velocidade de avanço do cilindro na saída do óleo da câmara dianteira.

Acionando a alavanca da válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida direto à câmara traseira do cilindro e o óleo acumulado na câmara dianteira é descarregado ao reservatório, passando pela válvula reguladora de vazão. O óleo entra pelo pórtico **A** da válvula reguladora de vazão, passa controlado na restrição variável, sai pelo pórtico **B** e descarrega ao tanque através da válvula direcional. Abrindo a restrição, o óleo flui em maior quantidade, o que aumenta a velocidade de avanço da haste. Por outro lado, fechan-

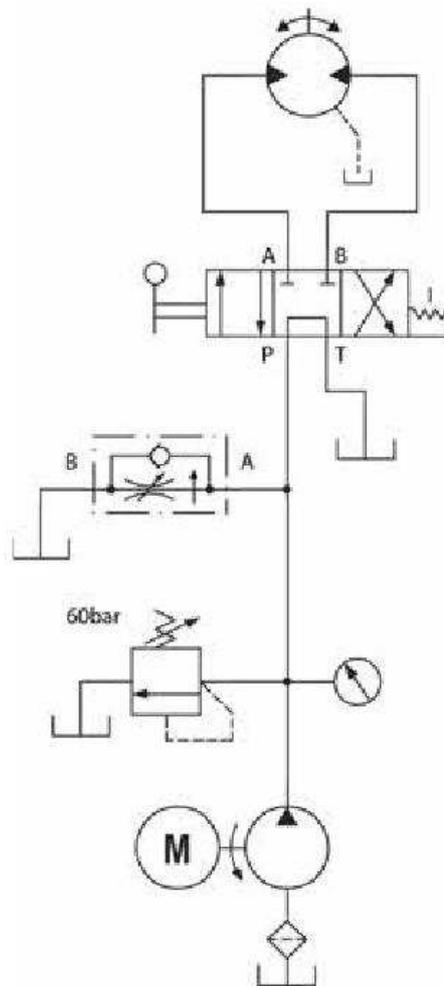


do a restrição, a vazão de óleo é menor, diminuindo a velocidade de avanço da haste. Dessa forma, controlando a quantidade de óleo que sai da câmara dianteira do cilindro, pode-se regular a velocidade de avanço da haste, compatível com a velocidade de corte da ferramenta atuada pelo cilindro.

Acionando-se a alavanca da válvula direcional na posição cruzada, a pressão hidráulica passa livremente pela retenção incorporada na válvula reguladora de vazão, no sentido de B para A, e entra na câmara dianteira do cilindro, fazendo com que a haste retorne com uma velocidade normal, sem nenhum controle. O óleo acumulado na câmara traseira sai e descarrega direto ao reservatório, através da válvula direcional.

Mais uma vez, com a válvula direcional na posição central, o cilindro interrompe seu movimento em qualquer ponto de seu curso de avanço ou de retorno e o fluxo da bomba retorna livremente ao tanque através do centro tandem da direcional.

**Ensaio 6:** A velocidade de rotação de um motor hidráulico reversível deve poder ser controlada em ambos os sentidos, por meio de um controle em desvio do fluxo de óleo da bomba.



Acionando a alavanca da válvula direcional na posição paralela, o eixo do motor hidráulico gira no sentido horário. Na posição cruzada, o

eixo do motor hidráulico passa a girar no sentido anti-horário. Com a alavanca na posição central, o motor interrompe seu movimento e o óleo proveniente da bomba pode fluir livre para o reservatório, através do centro tandem da válvula direcional.

Um desvio na linha de pressão, passando por uma válvula reguladora de vazão e com retorno ao tanque, controla indiretamente a rpm do eixo do motor hidráulico, nos dois sentidos de rotação. Abrindo-se a restrição da válvula, desvia-se mais óleo da linha de pressão para o reservatório e, como consequência, um volume menor é disponibilizado ao motor, fazendo com que sua velocidade de rotação diminua. Fechando-se a restrição, desvia-se menos óleo para o tanque, provocando um aumento da vazão destinada ao motor e, com isso, um acréscimo da velocidade de rotação do seu eixo.

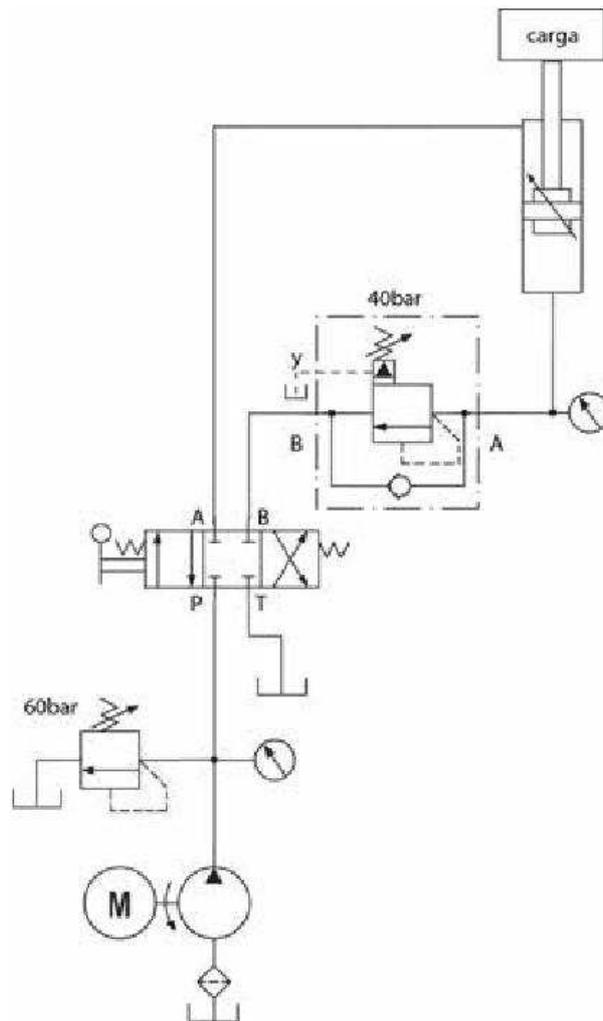
Como o controle do fluxo é feito em desvio, antes da válvula direcional, é possível regular a velocidade de rotação do eixo do motor hidráulico nos dois sentidos, com uma única válvula reguladora de vazão.

**Ensaio 7:** Um cilindro hidráulico deve sustentar uma carga, montada na posição vertical, evitando sua descida livre quando a válvula de comando, com centro de flutuação, for centralizada ou estiver na posição paralela com a bomba desligada.

**Solução A:**

circuito hidráulico com contrabalanço, utilizando válvula limitadora de pressão.

Acionando a válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida para a câmara superior do cilindro, fazendo com que a haste retorne, descendo a carga. Se o óleo acumulado na câmara inferior do cilindro pudesse descarregar livremente para o tanque, através dos pórticos **B** e **T** da válvula direcional, a carga desceria de modo descontrolado, provocando cavitação na câmara superior do cilindro e aumentando os riscos de acidente. Entretanto, com o auxílio de uma válvula limitadora de pressão com retenção incorporada, com a função de contrabalanço, montada na linha de saída do óleo da



câmara inferior do cilindro, a descida descontrolada da carga é evitada. A válvula de contrabalanço faz com que o óleo que sai do cilindro tenha que abrir a limitadora de pressão, a qual é regulada com um valor de pressão superior ao gerado pela carga e inferior ao ajustado na válvula de segurança. Dessa forma, gerando uma contrapressão na saída do óleo do cilindro, a válvula de contrabalanço impede, com total segurança, a descida livre do cilindro.

Acionando a válvula direcional na posição cruzada, a pressão hidráulica passa livremente pela retenção, incorporada na válvula de contrabalanço, e entra na câmara inferior do cilindro, fazendo com que a haste avance, suspendendo a carga. O óleo acumulado na câmara

superior do cilindro flui diretamente ao reservatório, através dos pórticos **A** e **T** da Válvula direcional.

Com a válvula direcional na posição central, o cilindro interrompe de imediato seu movimento de avanço ou de retorno, em qualquer parte de seu curso, considerando que todos os pórticos estão bloqueados. Com a bomba desligada, mesmo que a válvula direcional seja acionada para a posição paralela, a válvula de contrabalanço, regulada com uma pressão maior do que a gerada pela carga, impede a saída do óleo da câmara inferior do cilindro, sustentando a carga e mantendo o cilindro parado na posição.

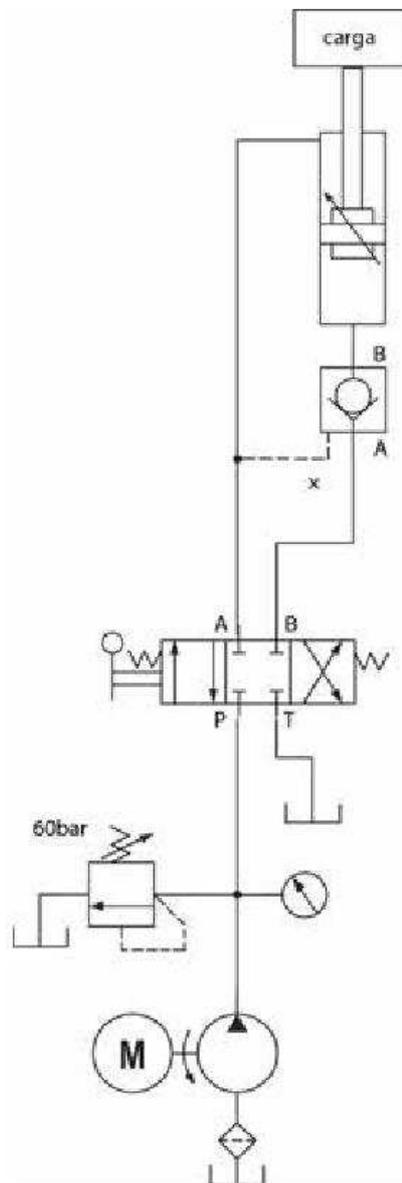
#### **Solução B:**

circuito hidráulico com contrabalanço, empregando válvula de retenção pilotada.

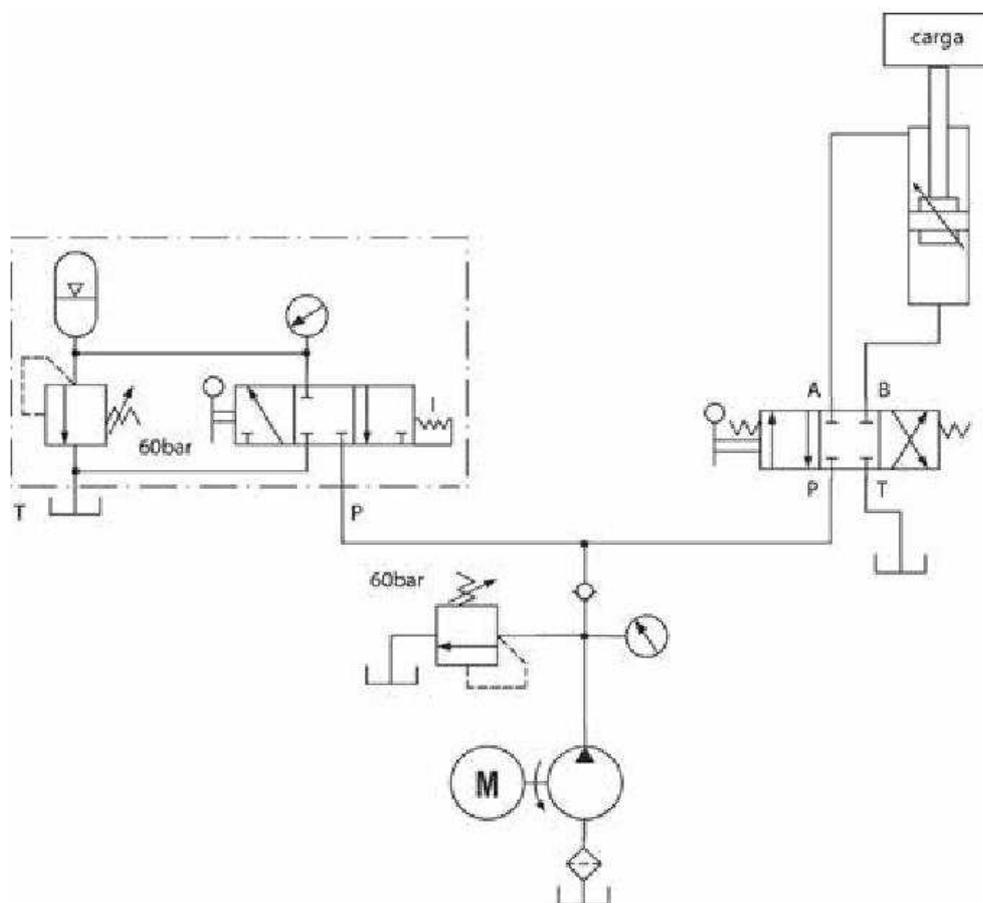
Acionando-se a válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida à câmara superior do cilindro e à linha de pilotagem **x** da válvula de retenção com desbloqueio hidráulico. Essa pilotagem abre a válvula de retenção, permitindo que o óleo acumulado na câmara inferior do cilindro saia livre, no sentido de **B** para **A**, descarregando para o reservatório através dos pórticos **B** e **T** da válvula direcional. Dessa forma, a haste do cilindro retorna permitindo a descida livre da carga.

Acionando-se a válvula direcional na posição cruzada, a pressão hidráulica passa livremente pela válvula de retenção, no sentido de **A** para **B**, e entra na câmara inferior do cilindro, fazendo com que a haste avance, suspendendo a carga. O óleo acumulado na câmara superior do cilindro descarrega direto ao reservatório pelos pórticos **A** e **T** da válvula direcional.

Com a válvula direcional na posição central, o cilindro interrompe de imediato seu movimento de avanço ou de retorno, em qualquer parte de seu curso, considerando que todos os pórticos estão bloqueados. Com a bomba desligada, mesmo que a válvula direcional seja acionada para a posição paralela, como não há pressão na linha de pilotagem **x**, a válvula de retenção bloqueia a saída do óleo da câmara inferior do cilindro, sustentando a carga e mantendo o cilindro parado na posição.



- Ensaio 8:** Um cilindro hidráulico que movimentava um elevador de carga, deve completar seu ciclo de movimentos, mesmo que haja falta de energia ou que a bomba seja desligada por alguma eventualidade. Acionando a válvula de comando principal na posição paralela, o cilindro movimentava o elevador de cargas para baixo. Na posição cruzada, o cilindro avança e o elevador sobe. Quando a válvula direcional

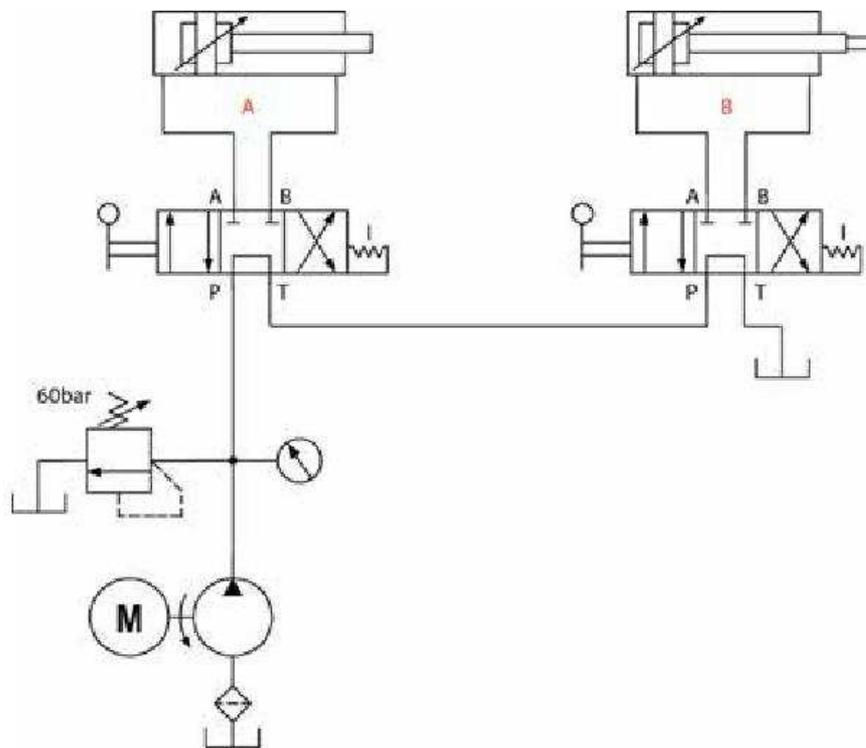


é centralizada, o cilindro pode parar em qualquer ponto de seu curso, interrompendo o movimento do elevador, tanto na subida quanto na descida.

A válvula direcional que controla o acumulador de pressão tem três funções: centrada, o acumulador permanece fora de ação, pois todos os pórticos estão bloqueados. Acionada para a esquerda, a carga do acumulador é descarregada totalmente para o reservatório, possibilitando a montagem e/ou desmontagem dos componentes do circuito, sem riscos de acidente que poderia ser causado pela pressão acumulada. Acionada para a direita, a pressão hidráulica pode entrar e sair livremente do acumulador, suprindo as necessidades de óleo para o circuito caso haja falta de energia.

Dessa forma, se a bomba for desligada com o acumulador carregado de óleo, a retenção impede que o fluxo hidráulico retorne à bomba, mantendo pressurizado o pórtico **P** da válvula de comando principal e permitindo que o cilindro conclua seu ciclo de movimentos, subindo ou descendo o elevador com o óleo armazenado no acumulador.

**Ensaio 9:** Dois cilindros hidráulicos deverão se movimentar de forma independente. Porém, o comando somente poderá ser efetuado para um cilindro de cada vez.



Nesse circuito, duas válvulas direcionais de 4/3 vias com centro tandem são ligadas em série. O óleo hidráulico proveniente da bomba alimenta diretamente apenas a primeira válvula. O pórtico de entrada **P** da segunda válvula recebe alimentação da saída **T** da primeira. Dessa forma, acionando-se somente a válvula direcional esquerda na posição paralela, o cilindro **A** avança. O óleo acumulado na câmara

dianteira de A atravessa a válvula esquerda, de **B** para **T**, passa pelo centro tandem da válvula direita e retorna ao tanque.

Acionando-se somente a válvula esquerda na posição cruzada, o cilindro A retorna. O óleo acumulado na câmara traseira de A atravessa a válvula esquerda, de **A** para **T**, passa também pelo centro tandem da válvula direita e retorna ao reservatório.

Com relação ao cilindro B, acionando-se somente a válvula direcional direita na posição paralela, o óleo proveniente da bomba passa pelo centro tandem da válvula esquerda e atravessa a válvula direita de **P** para **A**, fazendo com que o cilindro B avance. O óleo acumulado na câmara dianteira de B atravessa a válvula direita, de **B** para **T**, e retorna ao tanque.

Acionando somente a válvula direita na posição cruzada, o óleo proveniente da bomba passa pelo centro tandem da válvula esquerda e atravessa a válvula direita de **P** para **B**, fazendo com que o cilindro B retorne. O óleo acumulado na câmara traseira de B atravessa a válvula direita, de **A** para **T**, e retorna ao reservatório.

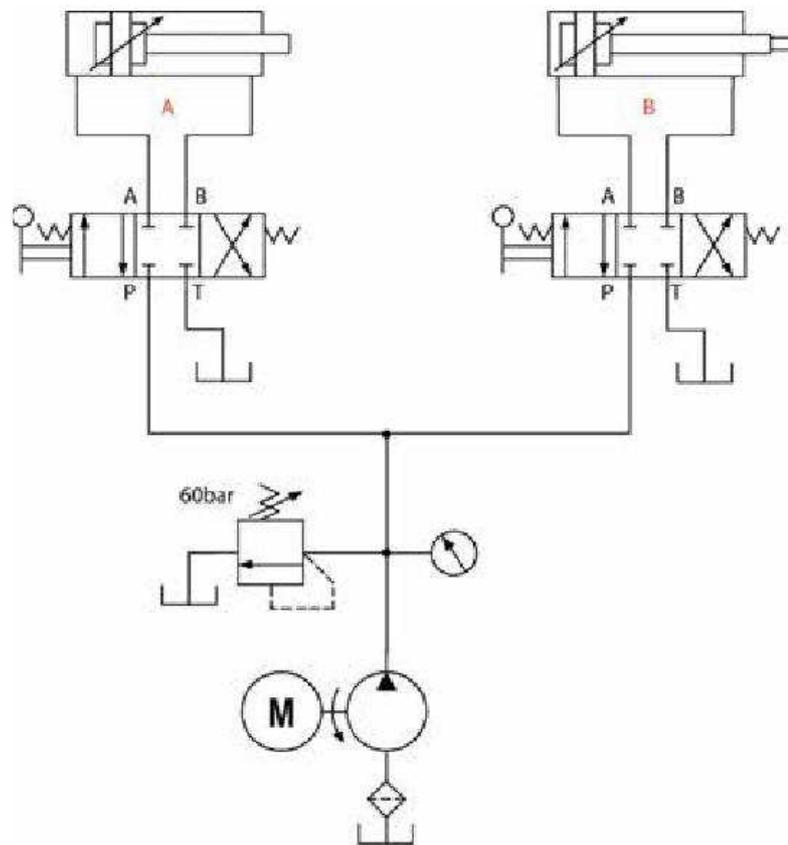
Com as duas válvulas centralizadas, o óleo hidráulico atravessa o centro tandem das duas e descarrega ao tanque, mantendo baixa a pressão do circuito e os dois cilindros parados.

**Ensaio 10:** Dois cilindros hidráulicos deverão se movimentar de forma independente. O comando poderá ser efetuado para um cilindro de cada vez ou para os dois, de modo simultâneo.

Nesse circuito, duas válvulas direcionais de 4/3 vias com centro fechado são ligadas em paralelo. O óleo hidráulico proveniente da bomba alimenta simultaneamente as duas válvulas, permitindo que os cilindros se movimentem separados ou ao mesmo tempo.

Acionando qualquer uma das válvulas na posição paralela, o cilindro a qual ele está conectado avança. Na posição cruzada das válvulas os cilindros retornam.

Se ambas as válvulas forem acionadas, ao mesmo tempo e em qualquer posição, os cilindros se movimentam em simultaneidade mas com velocidade reduzida, considerando que, nesse caso, a vazão da bomba será dividida entre os dois cilindros. É importante destacar



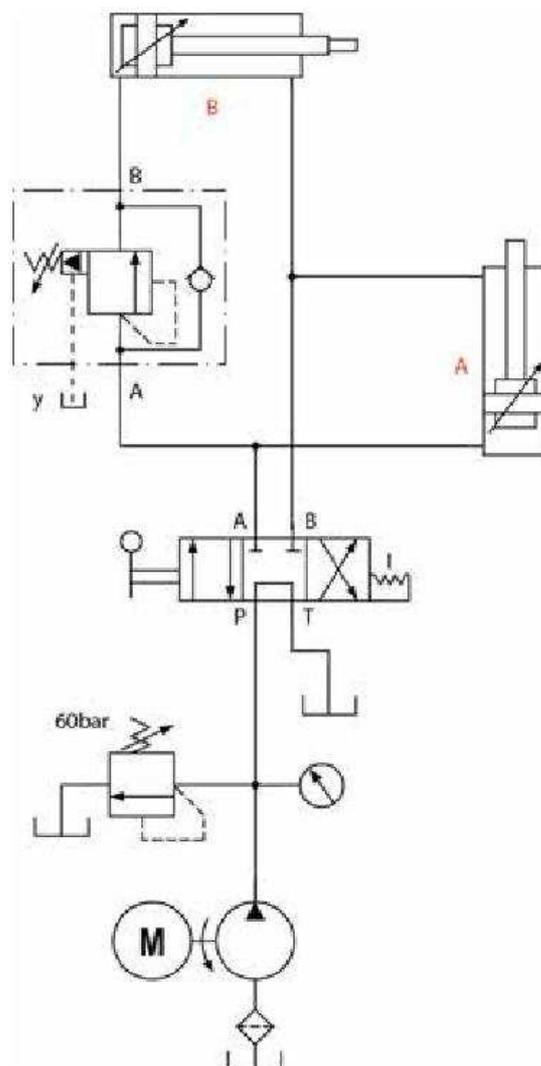
que o cilindro submetido a menor carga tende a se movimentar primeiro ou com maior velocidade, considerando que o óleo hidráulico procura sempre o caminho mais fácil, isto é, exercer de início a menor pressão possível.

**Ensaio 11:** Dois cilindros hidráulicos A e B devem se movimentar, quando uma válvula de comando for acionada, respeitando as seguintes seqüências de operação:

**Seqüência 1:**

o cilindro B, somente deverá avançar, depois que o A tiver alcançado o final do curso de avanço. No retorno, os cilindros deverão se movimentar simultaneamente:  $A + B + (A - B -)$ .

Acionando a válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida para a câmara traseira dos dois cilindros, A e B.



Partindo do princípio que o óleo procura sempre o caminho mais fácil, onde poderá exercer a menor pressão possível e, considerando que a válvula de sequência gera um obstáculo ao fluxo para o cilindro B, o cilindro A avança primeiro, executando o primeiro movimento da sequência prevista para o avanço.

Somente quando o cilindro A alcançar o final do curso de avanço e sua câmara traseira estiver cheia de óleo, a pressão aumenta e abre a válvula de sequência a qual permite a passagem do fluxo hidráulico

para que o cilindro B avance, executando o segundo e último movimento da sequência prevista para o avanço.

Para que a válvula de sequência exerça de modo correto sua função, que é garantir a partida do cilindro B somente após o A chegar no final do curso, ela deve estar adequadamente regulada, ou seja, sua mola deve ser ajustada com uma pressão maior que a necessária para o primeiro movimento, que é avançar o cilindro A, e menor que a pressão regulada na válvula de segurança.

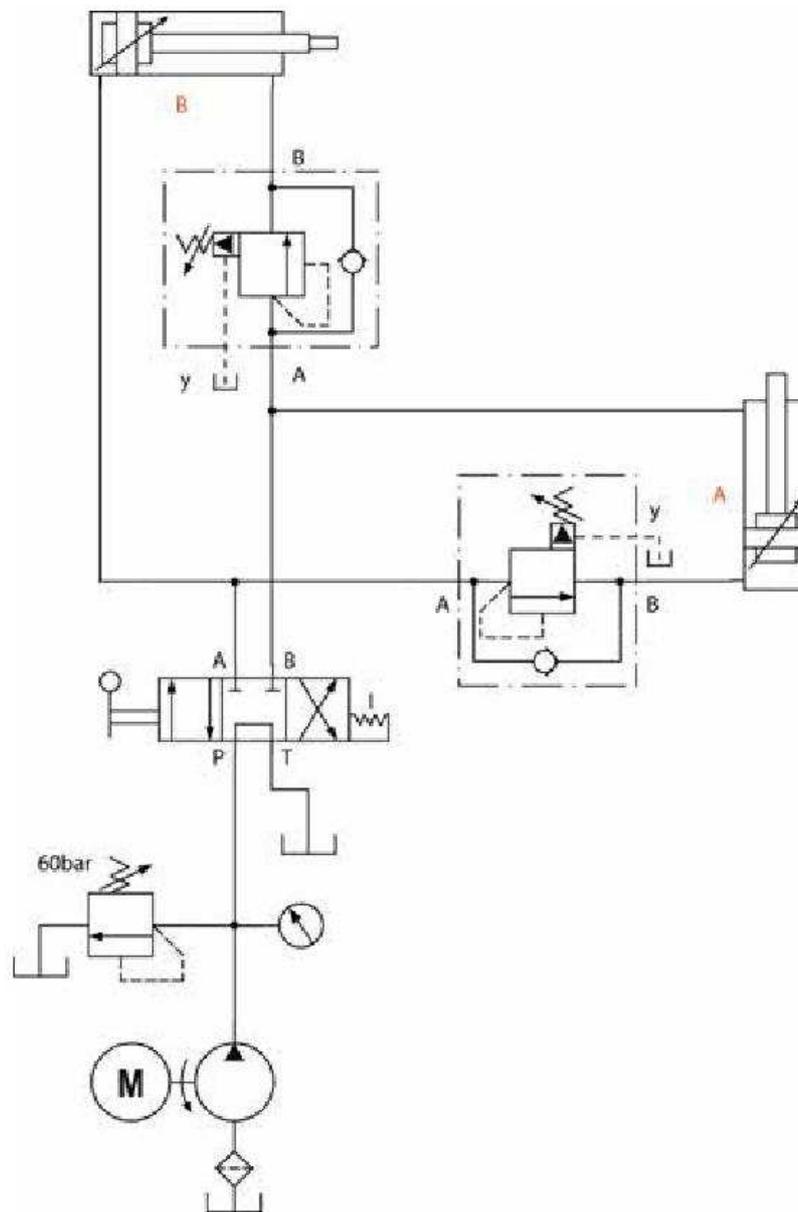
Acionando-se a válvula direcional na posição cruzada, a pressão hidráulica é dirigida para a câmara dianteira dos dois cilindros, A e B. Em teoria, como os dois caminhos estão livres, os dois cilindros deveriam retornar juntos e com a mesma velocidade. Na prática, ambos retornam em simultaneidade mas, como existem diferenças construtivas entre os dois, aquele que apresentar menor esforço contra o movimento, deverá retornar com maior velocidade.

#### **Sequência 2:**

no avanço, em primeiro lugar, movimentar-se o cilindro B e depois o A. No retrocesso, ao contrário, primeiro retorna o cilindro A para depois retornar o B: B + A + A - B -.

Acionando a válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica tem dois caminhos a seguir: dirigir-se diretamente à câmara traseira do cilindro B ou abrir a válvula de sequência que dá acesso à câmara traseira do cilindro A. Como a válvula de sequência é regulada com uma pressão maior que a necessária para o avanço do cilindro B, e menor que a pressão principal, ajustada na válvula de segurança, ela garante a sequência da movimentos prevista para o avanço. Dessa forma, o cilindro B avança, executando o primeiro movimento, e somente então a válvula de sequência abre, permitindo o segundo movimento, o avanço do cilindro A.

Acionando-se a válvula direcional na posição cruzada, novamente a pressão hidráulica tem dois caminhos a seguir: dirigir-se diretamente à câmara dianteira do cilindro A ou abrir a válvula de sequência que dá acesso à câmara dianteira do cilindro B. Dessa vez, como a válvula de sequência é regulada com uma pressão maior que a necessária para



o retorno do cilindro A e menor que a pressão principal, ajustada na válvula de segurança, ela garante a sequência de movimentos prevista para o retorno. Assim, o cilindro A retorna, executando o primeiro movimento, e somente então a válvula de sequência abre, permitindo o segundo movimento, o retorno do cilindro B.

As válvulas de sequência, portanto, são recursos utilizados para gerar resistência à passagem do óleo, desviando temporariamente o fluxo

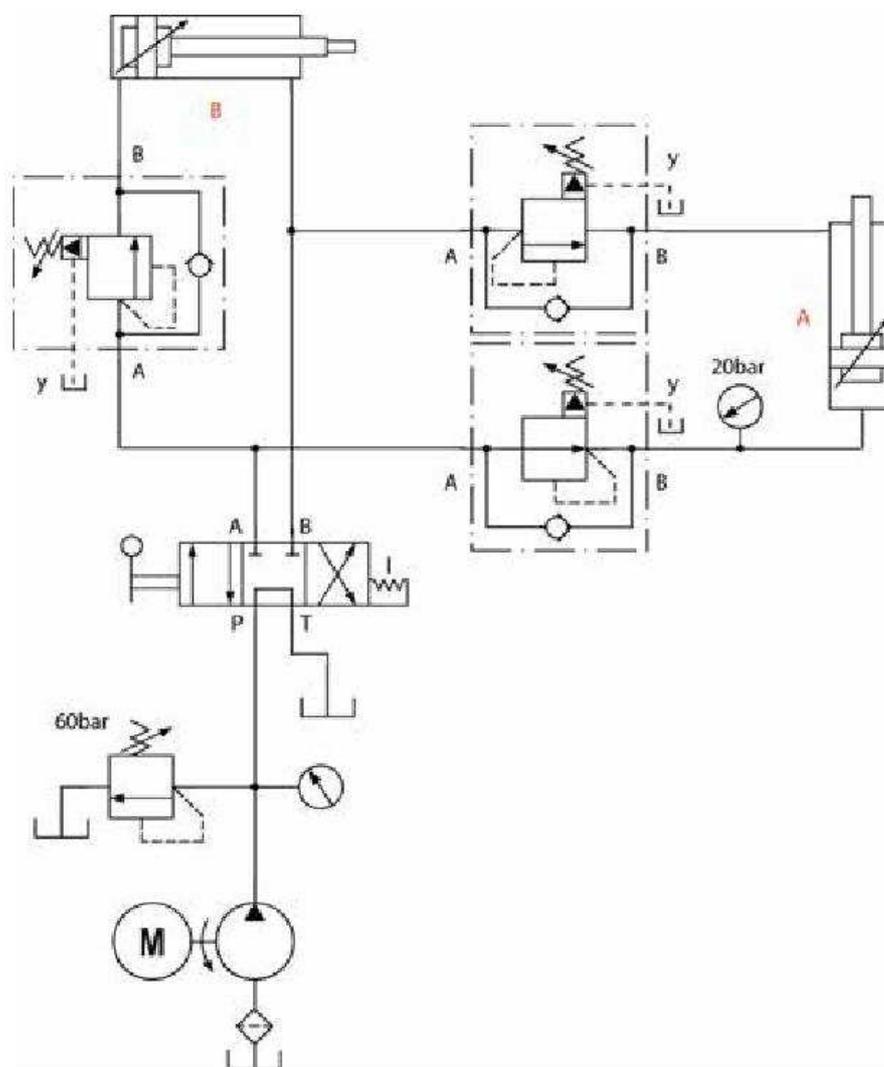
hidráulico a outro ramo do circuito e garantindo a ocorrência de movimentos consecutivos dos atuadores.

### Sequência 3:

o cilindro A é responsável pela fixação de uma peça a ser estampada, enquanto que o B movimenta o martelo da prensa. Dessa forma, ao ser acionada a válvula direcional de comando, o cilindro A deverá avançar, com uma pressão máxima de 20 bar, e prender a peça. Em seguida, o cilindro B deverá avançar, efetuando a estampagem, a uma pressão de 60 bar. No retorno, o cilindro B deverá retroceder primeiro, suspendendo o martelo da prensa, para somente então o A retornar, soltando a peça: A + B + B – A – (com pressão reduzida no avanço de A).

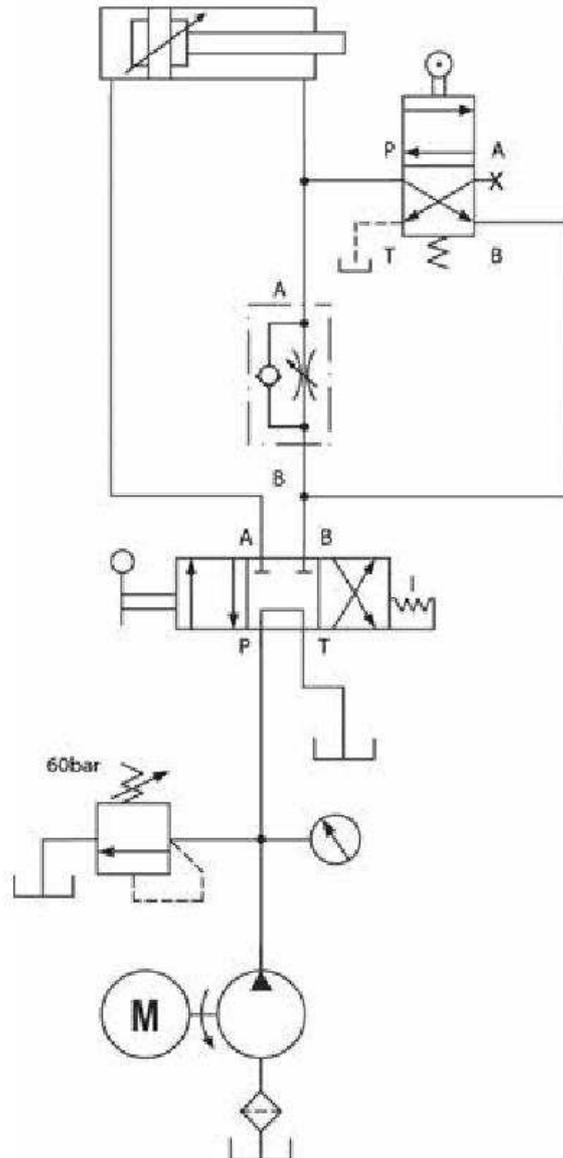
Acionando a válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica tem dois caminhos a seguir: dirigir-se à câmara traseira do cilindro A, com uma pressão reduzida de 20 bar, ou abrir a válvula de sequência que dá acesso à câmara traseira do cilindro B. Como a válvula de sequência é regulada com uma pressão maior que 20 bar, utilizada para o avanço do cilindro A, e menor que a pressão principal de 60 bar, ajustada na válvula de segurança, ela garante a sequência da movimentos prevista para o avanço. Dessa forma, o cilindro A avança, efetuando a fixação da peça com a pressão reduzida de 20 bar, regulada na válvula redutora de pressão, e somente então a válvula de sequência abre, permitindo o avanço do cilindro B que movimenta a descida do martelo da prensa.

Acionando-se a válvula direcional na posição cruzada, novamente a pressão hidráulica tem dois caminhos a seguir: dirigir-se direto à câmara dianteira do cilindro B ou abrir a válvula de sequência que dá acesso à câmara dianteira do cilindro A. Dessa vez, como a válvula de sequência é regulada com uma pressão maior que a necessária para o retorno do cilindro B e menor que a pressão principal, ajustada na válvula de segurança, ela garante a sequência de movimentos prevista para o retorno. Assim, o cilindro B retorna, suspendendo o martelo da prensa, e somente, então, a válvula de sequência abre, permitindo que o cilindro A retorne, soltando a peça estampada.



As válvulas de sequência, assim como a redutora de pressão, possuem retenções incorporadas em suas carcaças, ligadas em paralelo com as mesmas, para permitir a passagem livre do óleo quando o fluxo ocorre no sentido contrário. Assim, por exemplo, a válvula redutora de pressão em nada interfere no movimento de retorno do cilindro A. O óleo que sai da câmara traseira passa livre pela retenção da válvula redutora, e retorna direto ao tanque.

**Ensaio 12:** Um cilindro hidráulico que movimenta um cabeçote de usinagem deve avançar rapidamente, aproximando a ferramenta da peça a ser usinada, prosseguir num avanço lento, compatível com a velocidade de corte da ferramenta, e retornar rápido, extraindo a ferramenta de dentro da peça.



Acionando a válvula direcional na posição paralela, a pressão hidráulica é dirigida para a câmara traseira do cilindro, fazendo com que a haste avance o cabeçote de usinagem. O óleo acumulado na câmara dianteira, ao sair, tem dois caminhos a seguir: passar livre pela válvula de 4/2 vias, de **P** para **B**, e daí ao tanque; ou passar controlado na válvula reguladora de vazão. Como o desvio pela válvula de 4/2 vias impõe uma restrição menor ao fluxo, o óleo flui livre ao reservatório e a haste do cilindro avança com rapidez, aproximando a ferramenta da peça a ser usinada.

Alguns milímetros antes da ferramenta tocar a peça, o rolete mecânico da válvula de 4/2 vias é acionado, invertendo a posição da válvula e bloqueando a passagem do óleo pelo desvio. Assim, o óleo que continua a sair da câmara dianteira do cilindro tem de passar, de modo forçado, pela válvula reguladora de vazão, a qual restringe a fluxo do óleo para que o cilindro avance lentamente, de forma compatível com a velocidade de corte da ferramenta, a partir do momento em que o rolete da válvula de 4/2 vias é acionado.

Acionando-se a válvula direcional na posição cruzada, independente da posição do cilindro e do rolete da válvula de 4/2 vias estar ou não acionado, a pressão hidráulica passa livre pela retenção da válvula reguladora de vazão e entra livremente na câmara dianteira do cilindro. Assim sendo, a haste do cilindro retorna com velocidade normal, extraindo com rapidez a ferramenta de dentro da peça. O óleo acumulado na câmara traseira do cilindro flui livre ao reservatório, através dos pórticos **A** e **T** da válvula direcional de comando.

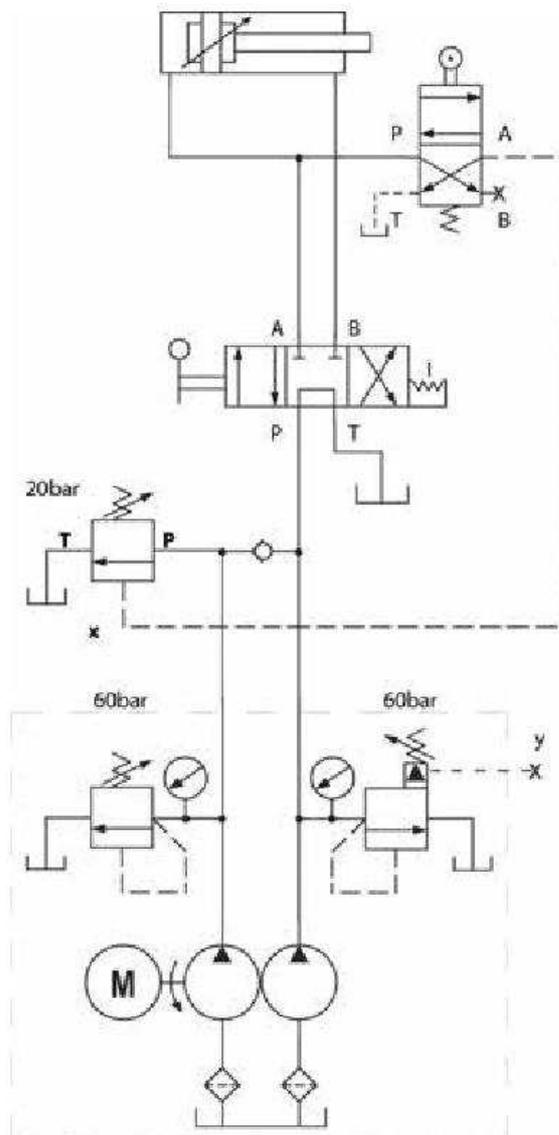
A válvula direcional de 4/2 vias, acionada por rolete mecânico e reposicionada por mola, deve utilizar uma linha de dreno ao tanque para evitar que possíveis vazamentos internos, normais entre o carretel e a carcaça da válvula, possam gerar um calço hidráulico que prejudique o funcionamento do sistema.

**Ensaio 13:** A haste de um cilindro hidráulico deve avançar com rapidez, até que o rolete mecânico de uma válvula de 4/2 vias, posicionada no meio do curso de deslocamento da haste, seja acionado. A partir desse ponto, a haste deverá prosseguir no seu movimento de avanço, com velocidade

reduzida à metade. No retorno, a haste deve se movimentar de modo rápido durante todo o curso, independentemente do rolete da válvula estar acionado ou não.

**Solução A:**

utilizando um conjunto de duas bombas e empregando uma válvula de descarga para desviar ao reservatório toda a vazão de uma das bombas.



Nesse circuito, é utilizado um conjunto de duas bombas de mesmo deslocamento volumétrico, acionadas por um único motor elétrico. Quando a haste do cilindro se movimentar rapidamente, somam-se as vazões das duas bombas. Ao contrário, para reduzir a velocidade da haste à metade, uma das bombas é descarregada ao tanque e apenas a vazão da outra é utilizada.

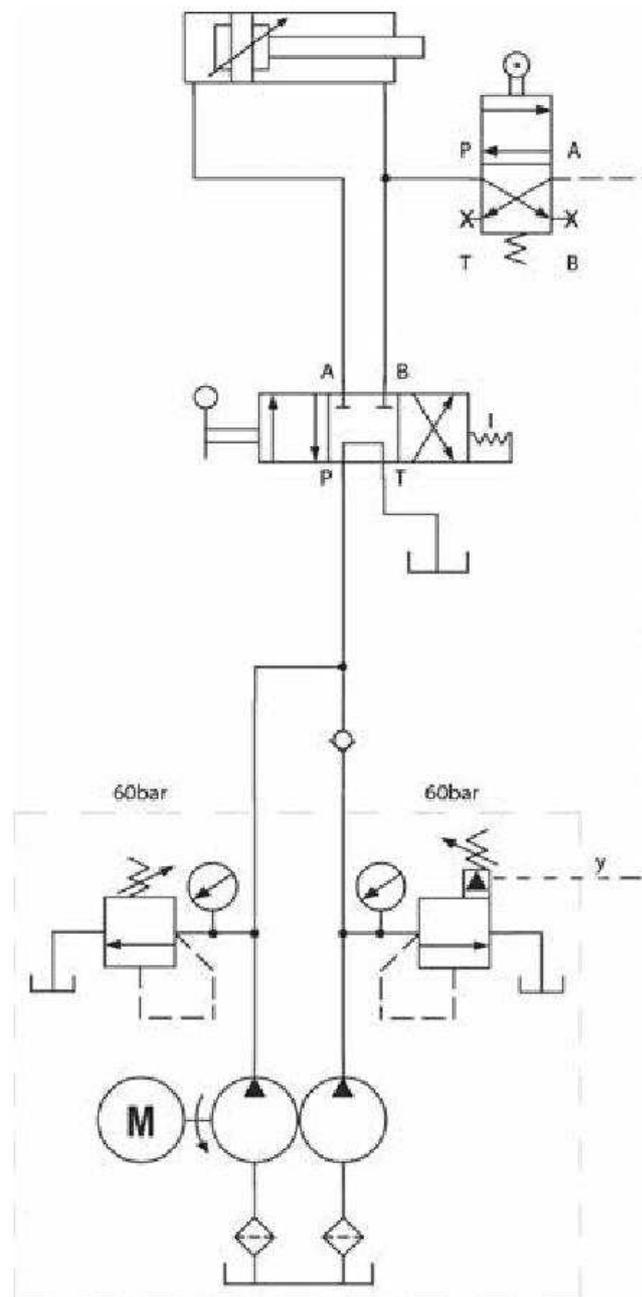
Acionando-se a válvula de comando na posição paralela, as vazões das duas bombas se unem na válvula de retenção e são enviadas à câmara traseira do cilindro e ao pórtico **P** da válvula de rolete, que se encontra desacionada. A haste do cilindro avança com rapidez, até acionar o rolete da válvula de 4/2 vias. Quando o rolete é acionado, a pressão hidráulica de 60 bar, presente na câmara traseira do cilindro, atravessa a direcional de **P** para **A**, pressurizando o piloto **x** da válvula de descarga. Como a válvula de descarga está regulada com uma pressão de 20 bar, ela abre facilmente perante os 60 bar presentes em seu piloto e descarrega toda a vazão da bomba esquerda para o tanque. A válvula de retenção impede que a vazão da bomba direita também retorne ao tanque pela válvula de descarga. Sendo assim, a partir do acionamento da válvula de rolete, a haste do cilindro passa a avançar apenas com o óleo proveniente da bomba direita, reduzindo sua velocidade à metade.

Acionando-se a válvula de comando na posição cruzada, independente da válvula de rolete estar ou não acionada, como a câmara traseira do cilindro é despressurizada, não há pressão suficiente na linha de pilotagem da válvula de descarga. Dessa forma, a válvula de descarga fecha e bloqueia o desvio da bomba esquerda para o tanque, fazendo com que a haste do cilindro retorne de modo rápido, com a vazão das duas bombas, durante todo o percurso.

**Solução B:**

utilizando um conjunto de duas bombas e empregando o recurso de ventagem da válvula limitadora de pressão pré-operada para desviar ao reservatório toda a vazão de uma das bombas.

Nesse circuito, é utilizado mais uma vez um conjunto de duas bombas de mesmo deslocamento volumétrico, acionadas por um único



motor elétrico. Da mesma forma, quando a haste do cilindro deve se movimentar com rapidez, somam-se as vazões das duas bombas. Ao contrário, para reduzir a velocidade da haste à metade, uma das bombas é descarregada ao tanque e apenas a vazão da outra é utilizada.

Acionando a válvula de comando na posição paralela, as vazões das duas bombas se unem na válvula de retenção e são enviadas à câmara traseira do cilindro. A haste do cilindro avança rapidamente e o óleo acumulado na câmara dianteira sai livremente ao reservatório, através dos pórticos **B** e **T** da válvula de comando. Quando o rolete é acionado, o cabeçote superior da válvula de segurança pré-operada é ventado, ou seja, a válvula de rolete descarrega para o tanque, junto com o óleo acumulado da câmara dianteira do cilindro, a pressão de controle da válvula de segurança, tornando-a inoperante. Dessa forma, a válvula de segurança pré-operada descarrega toda a vazão da bomba direita para o reservatório. A válvula de retenção impede que a vazão da bomba esquerda também retorne ao tanque pela abertura da válvula de segurança pré-operada. Sendo assim, a partir do acionamento da válvula de rolete, a haste do cilindro passa a avançar apenas com o óleo proveniente da bomba esquerda, reduzindo sua velocidade à metade.

Acionando-se a válvula de comando na posição cruzada, independentemente da válvula de rolete estar ou não acionada, como a câmara dianteira do cilindro é pressurizada, a pressão de controle da válvula de segurança pré-operada é restabelecida. Dessa forma, a válvula de segurança pré-operada fecha e bloqueia o desvio da bomba direita para o tanque, fazendo com que a haste do cilindro retorne de modo rápido, com a vazão das duas bombas, durante todo o percurso.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FESTO DIDACTIC. *Introdução à Hidráulica H11*. Esslingen, 1983.
- ISO 1219-1. *Fluid Power Systems and Components – Graphic Symbols and Circuit Diagrams*. International Organization For Standardization. 1991.
- MANNESMANN REXROTH. *Hidráulica – Princípios básicos e componentes da tecnologia dos fluidos*. Treinamento Hidráulico, Volume 1. RP 00290/11.94, 1991.
- MANNESMANN REXROTH. *Tecnologia das válvulas proporcionais e servoválvulas*. Treinamento Hidráulico, Volume 2. RP 00303/01.86, 1987.
- MOREIRA, Ilo da Silva. *Hidráulica móbil – Transparências eletrônicas*. Mídia Eletrônica. CNI-SENAI / FIESP-SENAI. Núcleo de Automação Hidráulica e Pneumática. São Paulo, 1999.
- \_\_\_\_\_. *Tecnologia Eletro-Hidráulica*. Mídia Eletrônica. CNI-SENAI / FIESP-SENAI. Núcleo de Automação Hidráulica e Pneumática. São Paulo, 1999.
- PARKER HANNIFIN IND.COM.LTDA. *Tecnologia hidráulica industrial*. Apostila M2001-1 BR. Junho de 1999.
- RACINE HIDRÁULICA LTDA. *Manual de hidráulica básica*. 6. ed. Porto Alegre, 1987.
- SENAI-SP e MOREIRA, Ilo da Silva. *Hidráulica móbil*. Divisão de Planejamento Curricular e Divisão de Recursos Didáticos. São Paulo, 1995.
- \_\_\_\_\_. *Mantenedor e reparador de circuitos hidráulicos. Comandos hidráulicos. Informações tecnológicas*. Divisão de Material Didático. São Paulo, 1987.
- SPERRY-VICKERS. *Manual de hidráulica industrial*. 935100-BR. 6. ed. Impressora Ipsis. São Paulo, 1980.

Este livro foi composto em Minion Pro e impresso  
em papel Offset alta alvura 90 g/m<sup>2</sup> pela gráfica  
Nywgraf, em junho de 2015.