

Capítulo 4

Hidráulica

Como o próprio nome indica, a Hidráulica se dedica ao estudo do fluido hidráulico.

Os circuitos hidráulicos são similares aos circuitos pneumáticos, ambos trabalham com fluido, mas a diferença entre eles é que dentro do circuito pneumático escoa o ar comprimido a baixa pressão (relativa) fornecido pelo compressor, enquanto, no outro, o óleo hidráulico, com alta pressão, é enviado pelas bombas hidráulicas.

Outra diferença significativa é que o circuito pneumático é um circuito aberto, isto é, o ar é dispensado na atmosfera; o circuito hidráulico é um circuito fechado, o circuito de retorno volta ao tanque.

Assim, podemos definir hidráulica como um conjunto de elementos físicos que, associados, utilizam um fluido como meio de transferência de energia, permitindo a transmissão e o controle de movimentos e de forças em sistemas produtivos.

A hidráulica e a pneumática são sistemas de geração de energia bastante simples, de fácil manutenção e relativamente seguros. Por esse motivo, são muito utilizados na automação e abrangem vários setores industriais.

4.1 Aplicações da hidráulica

As prensas hidráulicas, sem dúvida, são exemplos típicos de aplicação da hidráulica. As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 exemplificam outras aplicações.

Os comandos hidráulicos e pneumáticos são usados para gerar forças que movimentam diversas máquinas e equipamentos, como guindastes, direção e freio dos carros, betoneiras, robôs industriais, manufaturas industriais, ferramentas automáticas, portas automáticas de ônibus, elevadores de carga, em cadeiras de dentistas, comandos de vôo dos aviões, empilhadeiras, envasadoras de alimentos, sistema de compactação de lixo dos caminhões coletores de resíduos, furadeiras, parafusadeiras, prensas e outras inúmeras máquinas portáteis ou não.

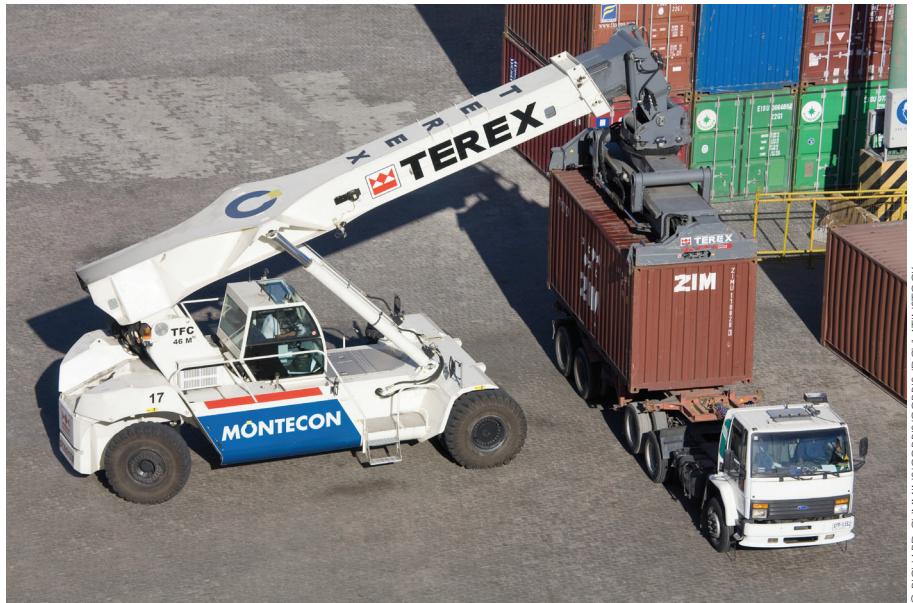


Figura 4.1
Robô hidráulico.



Figura 4.2
Elevadores hidráulicos.

Figura 4.3
Hidráulica móbil.



© RICHARD CUMMINS/CORBIS/COLEÇÃO LATINSTOCK

A **hidráulica** estuda as características e o uso dos fluidos sob pressão. Essa tecnologia vem se destacando em diversos segmentos da indústria como meio seguro e eficiente de transmissão de energia.

Costumamos dizer que, quando precisamos executar um pequeno esforço, como movimentar objetos leves, utiliza-se a pneumática. E, quando o movimento requerer grandes forças, a melhor opção é a hidráulica. Portanto, hidráulica e pneumática são sistemas de controle de movimento e força.

4.2 Manômetros utilizados na hidráulica

O manômetro é um aparelho utilizado para medição de pressão na escala efetiva. Dois tipos desse dispositivo são usados nos sistemas hidráulicos: o de Bourdon (ou manômetro metálico) e o de núcleo móvel.

4.2.1 Manômetro de Bourdon

No manômetro de Bourdon, existe uma escala em unidades de pressão que é ligada a um ponteiro por engrenagens, sendo esse mecanismo conectado a um tubo oval em forma de “C”. Esse tubo é conectado à pressão a ser medida (ver na figura 4.4 um esquema simplificado, que não indica toda a cadeia de engrenagens para transmissão do movimento da ponta do tubo para o ponteiro).

Quando a pressão aumenta, o tubo de Bourdon tende a estender-se por causa das diferenças nas áreas entre os diâmetros externo e interno. A extensão do tubo provoca o movimento do ponteiro que indica o valor da pressão no mostrador.



Figura 4.4
Representação
esquemática de um
manômetro de Bourdon.

Os manômetros de Bourdon (figura 4.5) são instrumentos de boa precisão e tem vasta utilização em laboratórios e na automação industrial.



Figura 4.5
Fotos de alguns
manômetros.

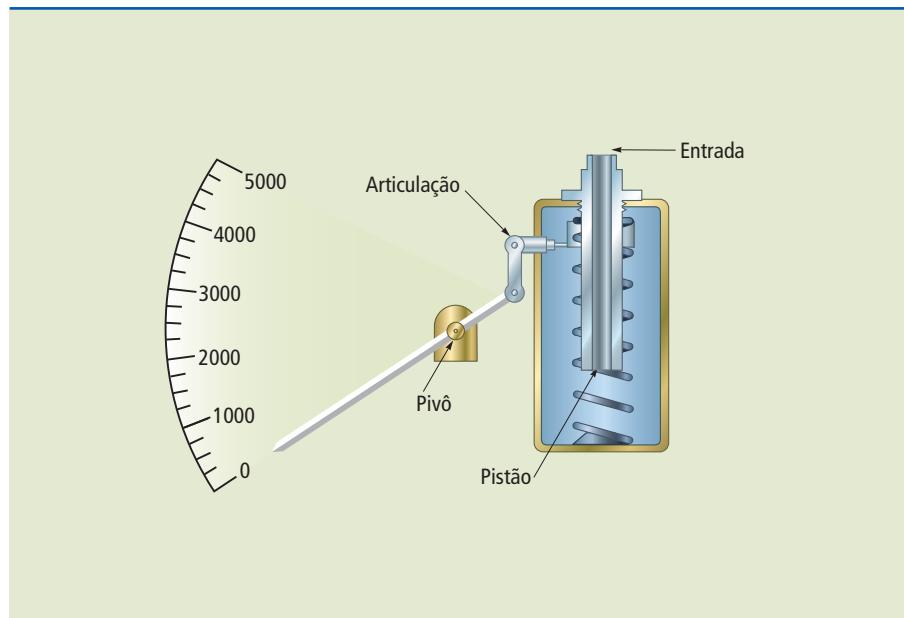
SHUTTERSTOCK

4.2.2 O manômetro de núcleo móvel

O manômetro de núcleo móvel consiste em um elemento móvel ligado à fonte da pressão, uma mola de retração, um ponteiro e uma escala graduada de pressão. À medida que a pressão aumenta, o núcleo é empurrado contra a mola de retração, provocando o movimento do ponteiro que está ligado ao núcleo e registrando o valor da pressão no mostrador graduado (figura 4.6).

Figura 4.6

Representação esquemática do manômetro de núcleo móvel.



4.3 Multiplicação de força, princípio da prensa hidráulica

É possível montar um sistema em que uma pequena força seja “transformada” em uma força de maior intensidade? A resposta a essa pergunta é positiva e, na verdade, é a grande motivação da existência do que se convencionou chamar hidráulica, ou aplicações da hidráulica. O fato é que o princípio de Pascal (visto na seção 1.3) pode ser usado de modo a conseguir o aumento da força desejado. A melhor maneira de exemplificar essa possibilidade é apresentar o princípio da prensa hidráulica. Na figura 4.7, é esquematizado um sistema em que dois cilindros contendo óleo são conectados por uma mangueira. Os êmbolos dos cilindros 1 e 2 têm área de 10 cm^2 e 100 cm^2 , respectivamente. Quatro manômetros são montados para medir a pressão em pontos do sistema. Em uma situação inicial, sem a aplicação da carga F_1 ao êmbolo 1, desprezando o peso próprio dos êmbolos, a pressão no ponto 1 é exatamente igual à pressão do ponto 6, pois estão na mesma altura. Como foi desprezado o peso próprio dos êmbolos, essa pressão é a pressão atmosférica, cujo valor é zero na escala efetiva de pressões. As pressões nos pontos 2, 3 e 5 também serão iguais entre si e podem ser relacionadas com as pressões dos pontos 1 e 6, da seguinte maneira:

$$P_2 = P_3 = P_5 = P_1 + \rho_{óleo} g z_1 = P_6 + \rho_{óleo} g z_1$$



A pressão do ponto 4, analogamente, pode ser relacionada à pressão do ponto 1:

$$P_4 = P_1 + \rho_{\text{óleo}} g (z_1 + z_2)$$

Os manômetros M_1 , M_2 , M_3 e M_4 fariam, pelo posicionamento, a leitura das pressões dos pontos 1, 2, 4 e 6.

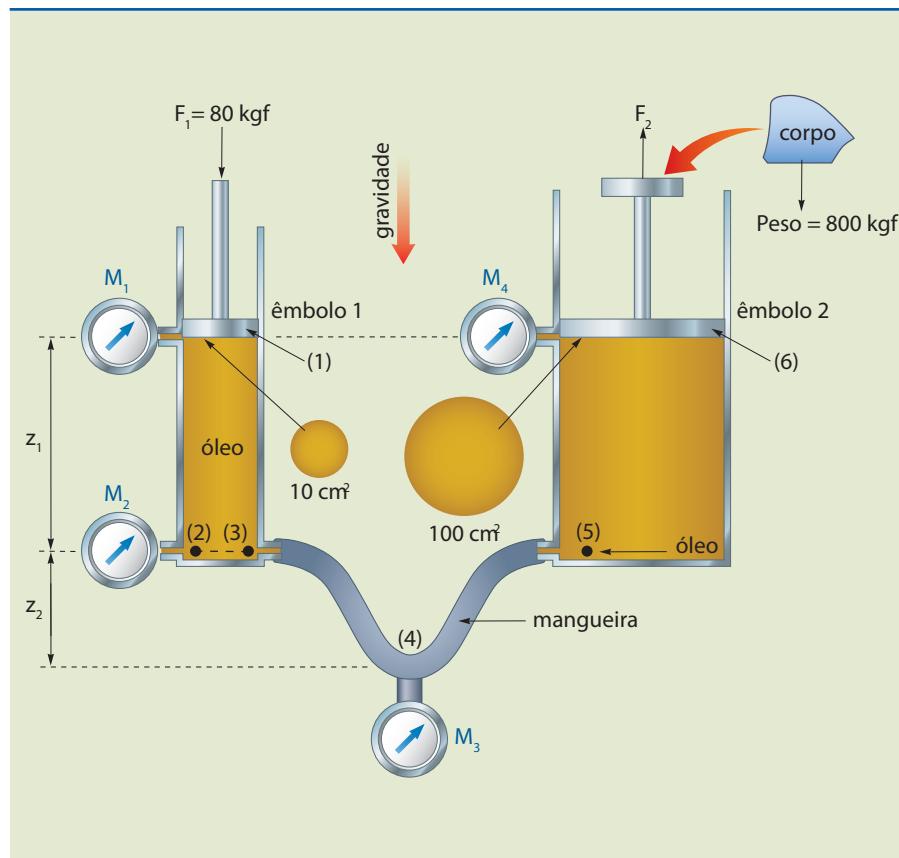


Figura 4.7

Esquema de uma prensa hidráulica.

Ao êmbolo 1, é aplicada uma força de 80 kgf, indicada como força F_1 . A força será transmitida ao óleo no contato da superfície inferior do êmbolo 1, com ele mudando a pressão do ponto 1, de inicialmente zero (igual à pressão atmosférica) para uma pressão (segundo a definição) igual a:

$$P_1 = 80 \text{ kgf}/10 \text{ cm}^2 = 8 \text{ kgf/cm}^2$$

Como a pressão é transportada para todos os pontos do meio fluido, gera aumento em todas as pressões do sistema do valor de 8 kgf/cm^2 . A pressão no ponto 6 (que também era nula sem a presença da força F_1 no êmbolo 1) passa a valer 8 kgf/m^2 . Dessa forma, consegue gerar uma força F_2 de:

$$F_2 = (8 \text{ kgf/cm}^2) \cdot (100 \text{ cm}^2) = 800 \text{ kgf}$$

Essa força é dez vezes maior do que a força F_1 de 80 kgf, capaz, em uma situação estática, de equilibrar um corpo de peso equivalente a 800 kgf colocado sobre



o êmbolo 2. Caso a área do êmbolo 2 fosse 1 000 vezes maior do que a área do êmbolo 1 (ou seja, de $10\,000\text{ cm}^2$), a multiplicação da força seria por 1 000, ou seja, um corpo com 80 000 kgf de peso poderia ser equilibrado se ao êmbolo 1 fosse aplicada a mesma força de 80 kgf.

Poderíamos tirar uma conclusão óbvia do exemplo indicado, que é a possibilidade de multiplicação infinita de uma força, desde que usado um sistema capaz de reproduzir ao esquema indicado aumentos sucessivos de área. Isso é possível? A resposta é positiva. Mas, por que, então, não poderíamos usar apenas esse princípio e dispensar, por exemplo, usinas de geração de energia? Aparentemente, não estamos criando energia ao multiplicar a força? A primeira lei da Termodinâmica (ver seção 3.1) indica irrefutavelmente que não há como criar ou destruir energia, apenas transformá-la de um tipo em outro. Então, o que ocorre?

Na verdade, devemos lembrar que o trabalho realizado por uma força (que é energia) é a multiplicação da força por um descolamento. Sabendo que o fluido, nesse caso, o óleo, é um líquido e pode ser considerado incompressível, o volume deslocado pelo êmbolo 1 ($V_{\text{deslocado}} = z_1 \cdot 10$) deve ser o mesmo volume de fluido deslocado do lado do êmbolo 2 ($V_{\text{deslocado}} = z_2 \cdot 100$). Assim, pela análise da figura 4.7 e do equacionamento, descobrimos que o êmbolo 2 se movimenta muito menos do que o êmbolo 1. Nesse caso, o deslocamento do êmbolo 2 é a décima parte do deslocamento do êmbolo 1 ($z_2 = z_1/10$). A multiplicação do deslocamento do êmbolo 1 pela força aplicada ao êmbolo 1 é igual à multiplicação do deslocamento do êmbolo 2 pela força aplicada pelo êmbolo 2.

Desse modo, a equação da conservação da energia ou primeira lei da Termodinâmica ainda continua válida ($F_1 z_1 = F_2 z_2$).

Resumindo, o trabalho produzido pela força F_1 é o mesmo trabalho produzido pela força F_2 . Como não há meio de criar energia, o aumento da força é compensado pela diminuição de deslocamento.

Exemplo

Um macaco hidráulico é necessário para elevar um automóvel de 2 000 kgf pelo bombeamento manual.

- Calcular a força F_1 necessária para elevar o automóvel da figura 4.8.
- Calcular quantas vezes o operador deve bombear para que o veículo suba 20 cm. O avanço manual é conseguido na razão de 1 cm por bombeamento.

Dados:

$$\begin{aligned}F_2 &= 2\,000\text{ kgf} \\A_1 &= 24\text{ cm}^2 \\A_2 &= 240\text{ cm}^2 \\S_1 &= 10\text{ cm} \\&= 3,14\end{aligned}$$



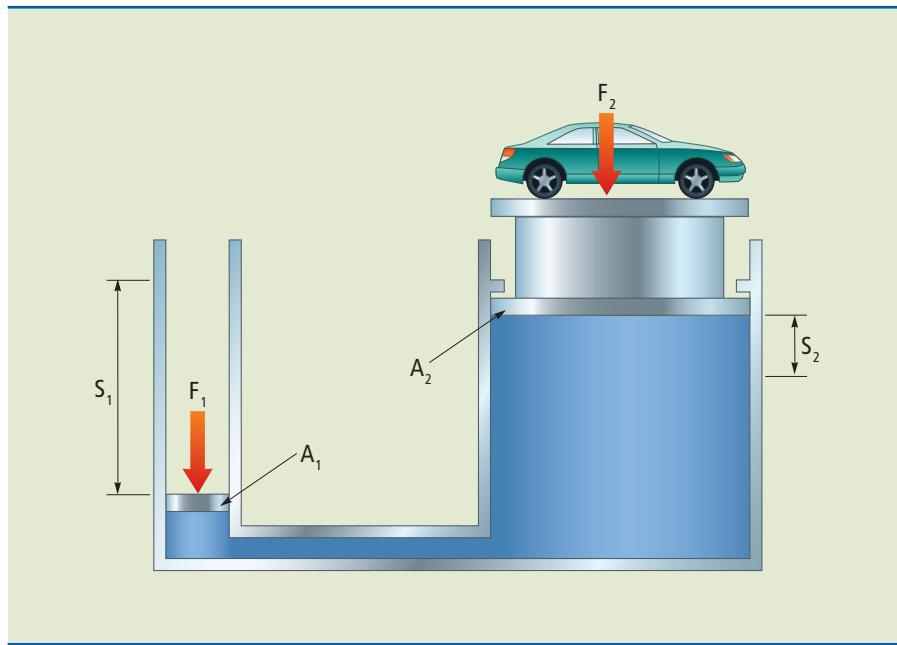


Figura 4.8
Esquema ilustrativo
da prensa.

Solução:

a) $P_1 = P_2$

[admite-se que os dois pistões estejam à mesma altura]

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot A_1}{A_2}$$

$$F_1 = \frac{2000 \cdot 24}{240} = 200 \text{ kgf}$$

b) $V_1 = V_2$

$$A_1 \cdot S_1 = A_2 \cdot S_2$$

$$24 \cdot 10 = 240 \cdot S_2$$

$$S_2 = \frac{240}{240} = 1 \text{ cm}$$

O operador deve bombear 20 vezes para que o automóvel suba 20 cm, pois, em cada bombeamento, o valor de S_2 é de 1 cm.

4.4 Fluido hidráulico

O fluido hidráulico é o insumo fundamental para um sistema hidráulico industrial, pois é ele que transmite a energia, lubrifica e funciona como vedação. É, ainda, um dos meios de transferência de calor.

São vários os tipos de fluidos hidráulicos. Eles são fabricados de acordo com as normas DIN 51524 e DIN 51525 e obedecem às siglas HL, HLP e HV, em que:

H: óleo hidráulico.

L: aditivo para aumentar a proteção contra corrosão e/ou prolongar estabilidade.

P: aditivo para reduzir e/ou aumentar habilidade de carregamento de carga.

V: características de temperatura e viscosidade melhoradas.

4.4.1 Fluido à base de petróleo

É o fluido mais comum. Seus aditivos são importantes em sua composição e conferem ao óleo características adequadas para uso em sistemas hidráulicos, descritas a seguir.

Viscosidade é
a medida de
resistência ao fluxo
das moléculas de
um líquido quando
elas deslizam umas
sobre as outras. É o
inverso da fluidez.

Índice de viscosidade (IV)

O índice de **viscosidade** indica qual é a variação da viscosidade do fluido em diferentes temperaturas. Por exemplo, se o índice de viscosidade é alto, o fluido sofreia pouca mudança de viscosidade em relação à mudança de temperatura.

Efeito da temperatura sobre a viscosidade

O óleo, quando em baixas temperaturas, apresenta alta resistência ao escoamento. Com o aumento da temperatura, escoa com mais facilidade. O aumento da temperatura diminui a força de atração molecular no óleo, permitindo escoamento mais fácil. Nos líquidos, conforme a temperatura aumenta, sua viscosidade diminui. O aditivo regulador do IV (índice de viscosidade) minimiza esses efeitos indesejáveis de variação da viscosidade com a temperatura.

Inibidores de oxidação

A oxidação do óleo ocorre por causa de uma reação entre o óleo e o oxigênio do ar, o que resulta em baixa capacidade de lubrificação, em formação indesejável de ácido, em geração de partículas de carbono e, ainda, em aumento da viscosidade do fluido.

Fatores que aumentam a oxidação do óleo:

- Alta temperatura do óleo.
- O aumento no fornecimento de oxigênio.
- Catalizadores metálicos, tais como cobre, ferro ou chumbo.

Inibidores de corrosão

Esses aditivos protegem as superfícies de metal do ataque de ácidos e material oxidante. Eles formam uma película protetora sobre a superfície do metal, neutralizando o material corrosivo ácido à medida que este vai sendo produzido.

Aditivos de extrema pressão ou antidesgaste

Como o nome indica, são usados em situações de alta temperatura e alta pressão, ou seja, em pontos localizados onde essas condições ocorrem.

Aditivos antiespumantes

São destinados a impedir que bolhas de ar sejam recolhidas pelo óleo, fato que leva a falhas no sistema hidráulico. Os aditivos inibidores agem combinados com as bolhas de ar, que se desprendem da superfície do fluido e colapsam.

Fluidos resistentes ao fogo

O fluido proveniente do petróleo é inflamável, portanto, não deve ser usado em condições de temperaturas elevadas ou perto de chamas. Por essa razão, foram desenvolvidos fluidos resistentes ao fogo, que são: emulsão de óleo em água, fluido de água-glicol e fluido sintético.

Emulsão de óleo em água – Consiste em uma mistura de água (elemento dominante) e óleo, que pode variar de 1% a 40%.

Emulsão de água em óleo ou emulsão invertida – É também um fluido resistente ao fogo, com cerca de 40% de água e 60% de óleo. Nesse caso, a proporção de óleo é maior; assim, esse fluido tem características de lubrificação melhores do que as emulsões de óleo em água.

Fluido de água-glicol – Solução de glicol (anticongelante) e água (60% de glicol e 40% de água).

Sintético – Tipo mais caro, costumam ser formados por ésteres de fosfato, hidrocarbonos clorados ou uma mistura de ambos com frações de petróleo.

Componentes que operam com esse tipo necessitam de guarnições de material especial.

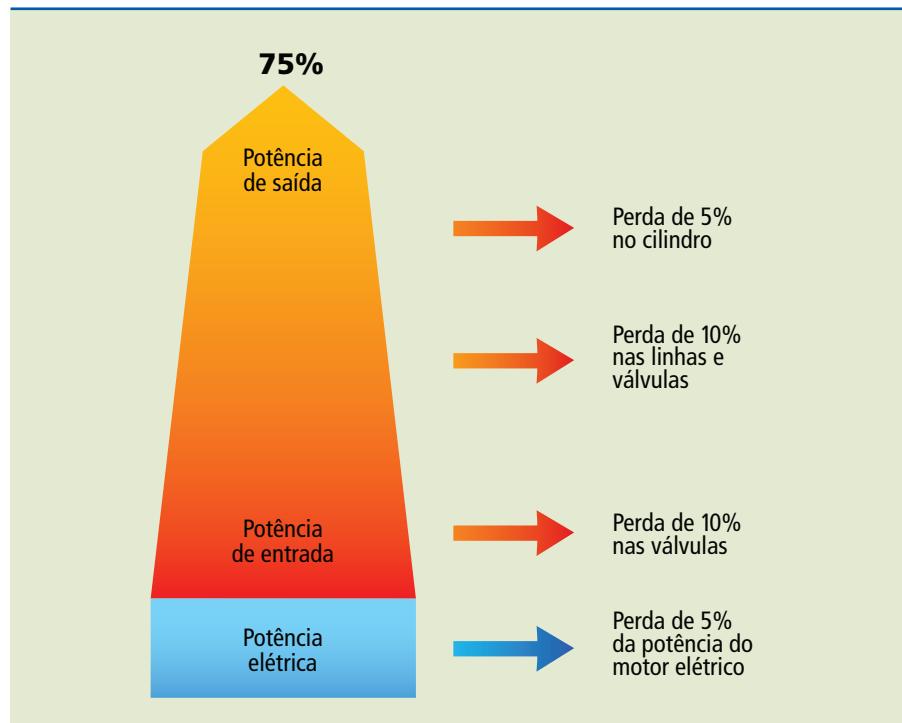
4.5 Potência versus eficiência em sistemas hidráulicos

Estima-se que, nos sistemas hidráulicos, por causa das perdas de carga geradas pelos próprios elementos do circuito (válvulas, curvas, cilindros, instrumentos de medida e a própria tubulação), o aproveitamento final da energia fornecida ao circuito seja por volta de 75% (figura 4.9).



Figura 4.9

Representação esquemática dos valores das perdas de energia nos sistemas hidráulicos (os valores são apenas referenciais, variando de sistema para sistema).



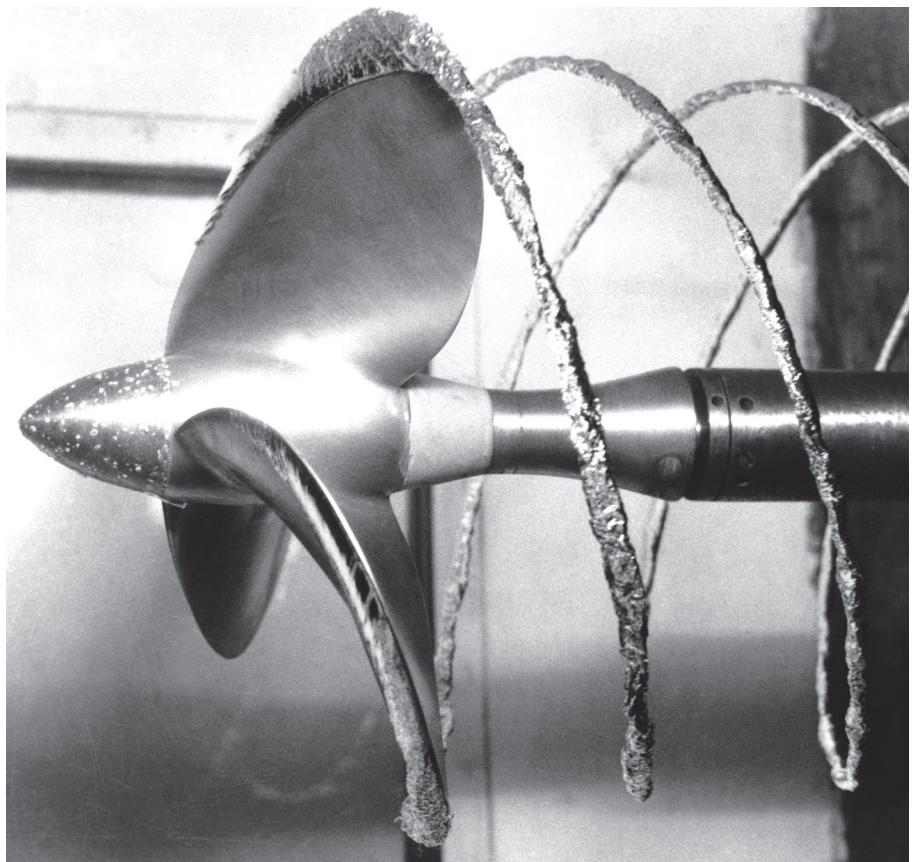
4.5.1 Cavitação

Em uma condição desfavorável, é possível que a pressão de sucção na entrada da bomba atinja valores iguais ou inferiores à pressão de saturação na temperatura de bombeamento (reveja seção 3.4). Nessa condição, o óleo comece um processo de mudança de fase líquido-vapor, formando bolhas de vapor de óleo que adentram a bomba. Já no interior dela, as bolhas de vapor de óleo sofrem compressão pela ação da bomba e retornam à condição de líquido. O colapso das bolhas de vapor de óleo na superfície interna da bomba (implosão) ocorre do modo que elas podem promover retirada contínua de pequenas quantidades de material em um processo altamente danoso à bomba. Esse fenômeno é denominado **cavitação**, ele interfere na lubrificação e destrói a superfície dos metais. A cavitação pode ocorrer em quaisquer regiões em que a pressão atingir valores mais baixos do que a pressão de saturação na temperatura de bombeamento, provocando desgaste, corrosão, destruição de pedaços de rotores, carcaças e tubulações, como se pode ver na figura 4.10.

Causas da cavitação

São causas da cavitação:

- Filtro da linha de sucção saturado.
- Respiro do reservatório fechado ou entupido.
- Linha de sucção muito longa.
- Muitas curvas na linha de sucção (elevada perda de carga).
- Estrangulamento na linha de sucção.
- Linha de sucção congelada.

**Figura 4.10**

Exemplo de defeito provocado pela cavitação em atuador.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Características de uma bomba em cavitação

Podemos distinguir as seguintes características de uma bomba em cavitação:

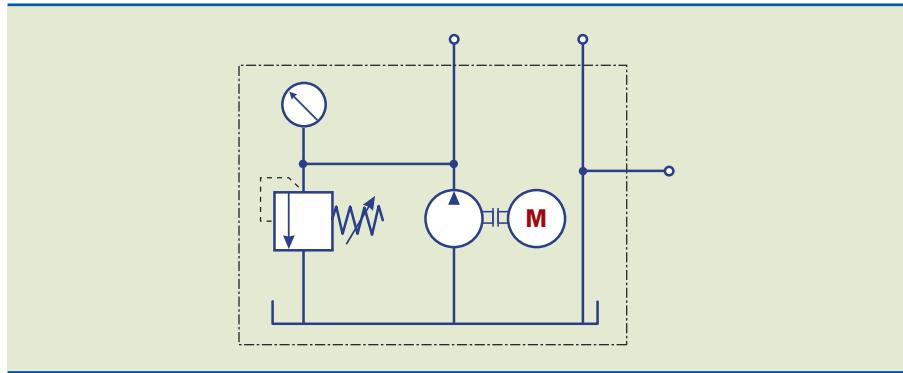
- Queda de rendimento.
- Marcha irregular.
- Vibração e ruído provocados pela implosão das bolhas de vapor.

4.6 Elementos hidráulicos

4.6.1 Grupo de acionamento e reservatório hidráulico

Os reservatórios hidráulicos têm como função armazenar o fluido hidráulico de um sistema. São, em geral, dotados de paredes de aço e têm base abaulada, topo plano com placa de apoio; linhas de sucção, retorno e drenos; plugue do dreno; indicador de nível de óleo; tampa para respiradouro e enchimento; tampa para limpeza e placa deflectora (ou chicana).

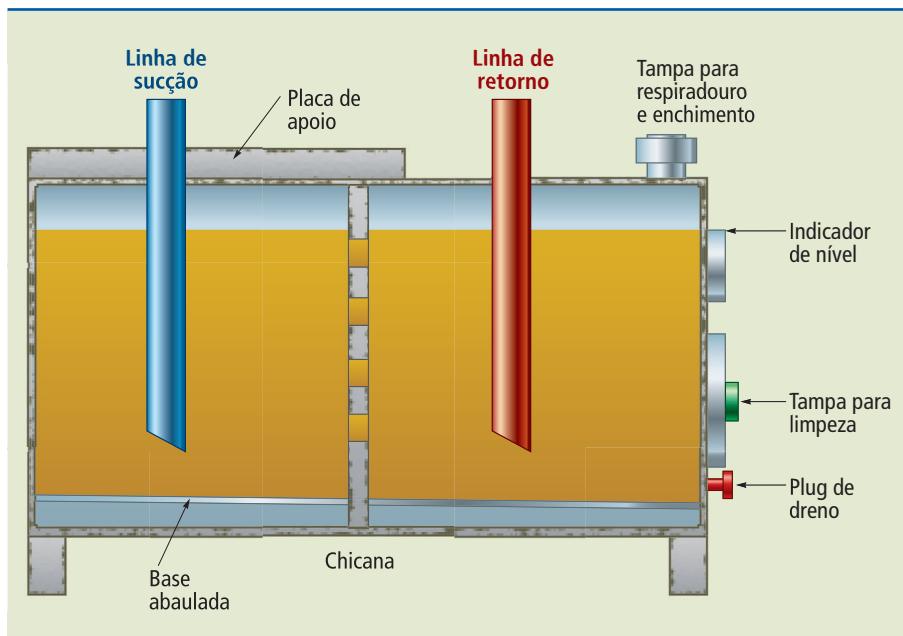
Ver na figura 4.11 o símbolo do reservatório contendo motor elétrico acoplado à bomba hidráulica, manômetro, válvula de alívio, linhas de sucção, pressão e retorno.

Figura 4.11

Um corte indicando as características internas de um reservatório típico pode ser visto na figura 4.12.

Figura 4.12

Ilustração típica de um reservatório de óleo.



Funcionamento de um reservatório hidráulico

Quando o fluido retorna ao reservatório, a chicana impede que vá diretamente à linha de sucção. As linhas de retorno se localizam abaixo do nível do fluido e no lado da chicana oposto à linha de sucção. Impedidas de ir para a linha de sucção, as impurezas maiores sedimentam. O ar sobe à superfície do fluido e faz com que o calor seja dissipado para as paredes do reservatório.

Funções do reservatório

São as seguintes as funções de um reservatório:

- Reserva o fluido hidráulico.
- Dissipa o calor.
- Suporta a bomba, motor e outros componentes (ver figura 4.13).

**Figura 4.13**

Reservatórios hidráulicos.

4.6.2 Resfriadores

Os sistemas hidráulicos aquecem porque a perda de energia (perda de carga) se transforma em calor. Parte desse calor é dissipado no reservatório (figura 4.14). Entretanto, se o reservatório não é suficiente para manter o fluido à temperatura normal, ocorre um superaquecimento. A medida corretiva a ser tomada nesses casos é a utilização de resfriadores ou trocadores de calor.

Os trocadores mais comuns são do tipo água-óleo e ar-óleo.

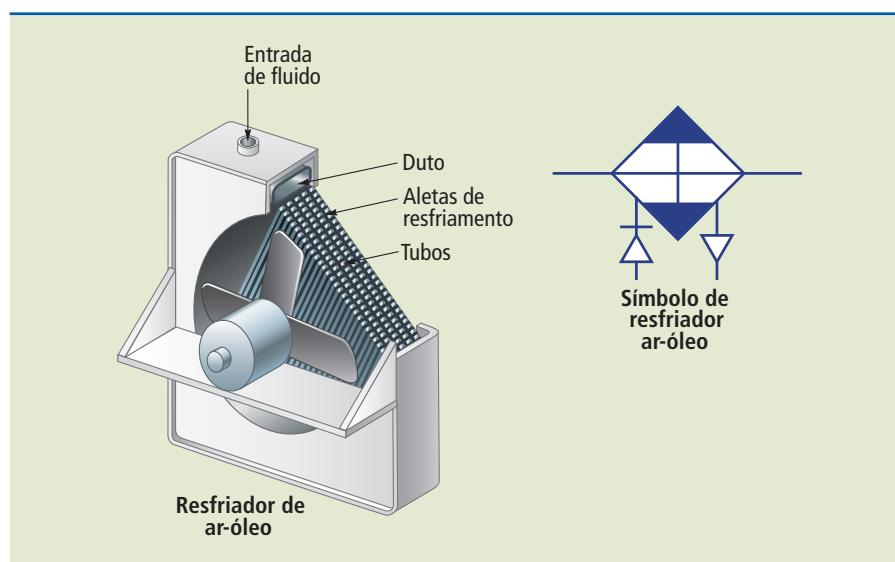
**Figura 4.14**

Ilustração de um dissipador de calor.

Resfriadores a ar

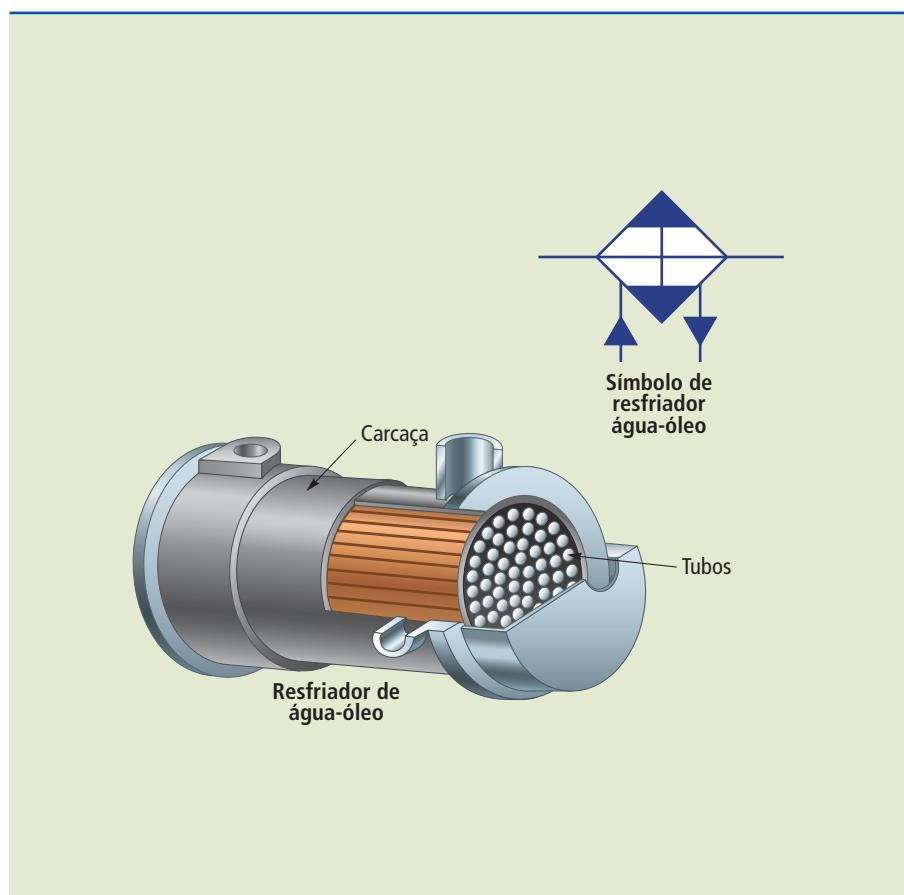
No resfriador a ar, a troca de calor ocorre de forma forçada, pois um ventilador é utilizado para soprar o ar através de tubos aletados. A utilização deste tipo de resfriador se dá em instalações industriais onde a água não é disponibilizada facilmente.

Resfriadores a água

Esses trocadores de calor consistem basicamente em um feixe de tubos encaixados em um invólucro metálico, e o fluido do sistema hidráulico é bombeado através do invólucro e sobre os tubos, que são refrigerados por água fria.

Figura 4.15

Representação esquemática de um resfriador do tipo água-óleo.



Resfriadores no circuito

Os resfriadores, em geral, operam em baixa pressão, o que exige posicioná-los em linha de retorno ou dreno do sistema ou sua instalação em sistema de circulação.

Para preservar os resfriadores quanto a possíveis picos de pressão, esses são ligados ao sistema em paralelo com uma válvula de retenção de pressão de ruptura (figura 4.16).

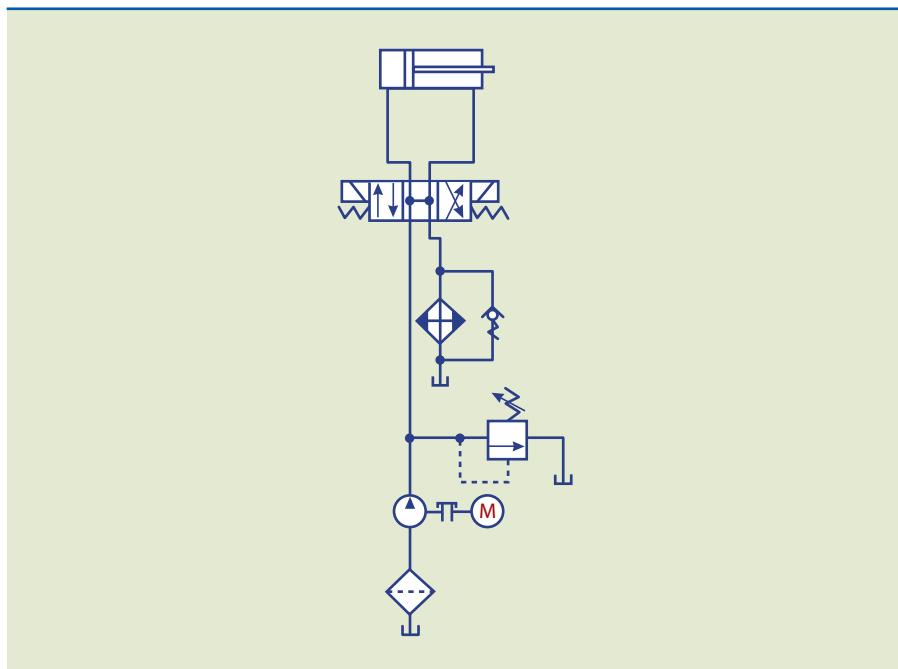


Figura 4.16
Representação de um circuito com sistema de resfriamento.

4.6.3 Filtros hidráulicos

Os elementos que contaminam o fluido estão sempre presentes no sistema hidráulico, e, na maioria das vezes, causam o mau funcionamento dos componentes e do próprio sistema. O processo de filtragem mecânica exige um elemento que, colocado na linha, é capaz de realizar a retenção de materiais particulados (figura 4.17).

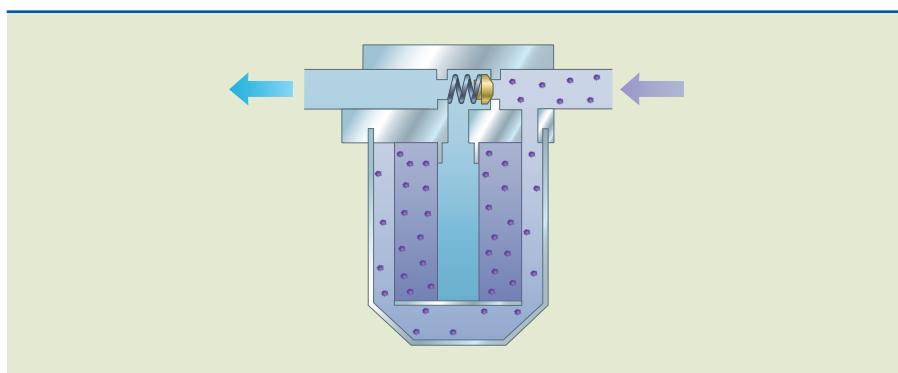


Figura 4.17
Filtro hidráulico.

A contaminação dos fluidos interfere no bom desempenho do fluido hidráulico, causando os seguintes problemas:

- Interferência na transmissão de energia, vedando pequenos orifícios nos componentes hidráulicos. Nessa condição, a ação das válvulas seria imprevisível, improdutiva e, sobretudo, insegura.
- As partículas de sujeira interferem no resfriamento do líquido, porque formam um sedimento que prejudica a transferência de calor para as paredes do reservatório.



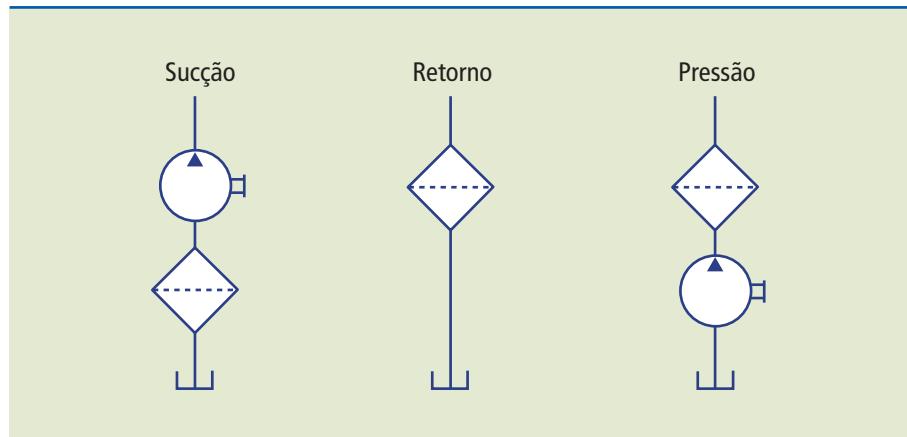
- Interfere na lubrificação, causando desgaste excessivo, lentidão nas respostas, operações não sequenciadas, falha prematura do componente e queima da bobina do solenoide. É o maior problema de contaminação em um sistema hidráulico.

4.6.4 Tipos de filtragem

São três os tipos de filtragem, definidos pela posição no sistema de filtragem: sucção, retorno e pressão (ver figura 4.18).

Figura 4.18

Indicação da posição de filtro em um sistema hidráulico.



Filtros de sucção

Existem dois tipos de filtro de sucção: interno e externo.

Filtros de sucção internos

São os filtros mais simples (ver figura 4.19) e mais utilizados. Sua instalação é feita dentro do reservatório hidráulico, imerso no fluido, impedindo a passagem de partículas grandes.

Figura 4.19

Filtro de sucção interno.



Vantagens:

1. Protegem a bomba da contaminação do reservatório.
2. São baratos

Desvantagens:

1. Sua manutenção é difícil, principalmente quando o fluido está aquecido.
2. Não possuem indicador de saturação.
3. Não protegem os elementos do sistema das partículas geradas pela operação da bomba.
4. Podem prejudicar a bomba se não estiverem dimensionados corretamente e bloquear a passagem do fluido se não conservados adequadamente.”

Filtros de sucção externos

Instalados na linha de sucção, fora do reservatório, podem ser instalados acima ou na lateral dos reservatórios.

Vantagens:

1. Protegem a bomba, pois filtram as impurezas depositadas no reservatório.
2. Possuem indicador que mostra quando o elemento filtrante está sujo.
3. Podem ser trocados sem necessidade de desmontagem da linha de sucção do reservatório.

Desvantagens:

1. Podem prejudicar a bomba hidráulica caso não dimensionados de forma adequada ou não conservados.
2. Os elementos do sistema não ficam protegidos de partículas geradas pela bomba.

Filtros de linha de retorno

Como o nome indica, esse tipo de filtro (figura 4.20) está posicionado no circuito de retorno, próximo do reservatório.

Vantagens:

1. Retêm partículas provenientes do sistema antes que elas entrem no reservatório.
2. Aproveitando-se da pressão do sistema para impulsionar o fluido através do elemento filtrante – este tipo de fluido pode reter partículas finas.

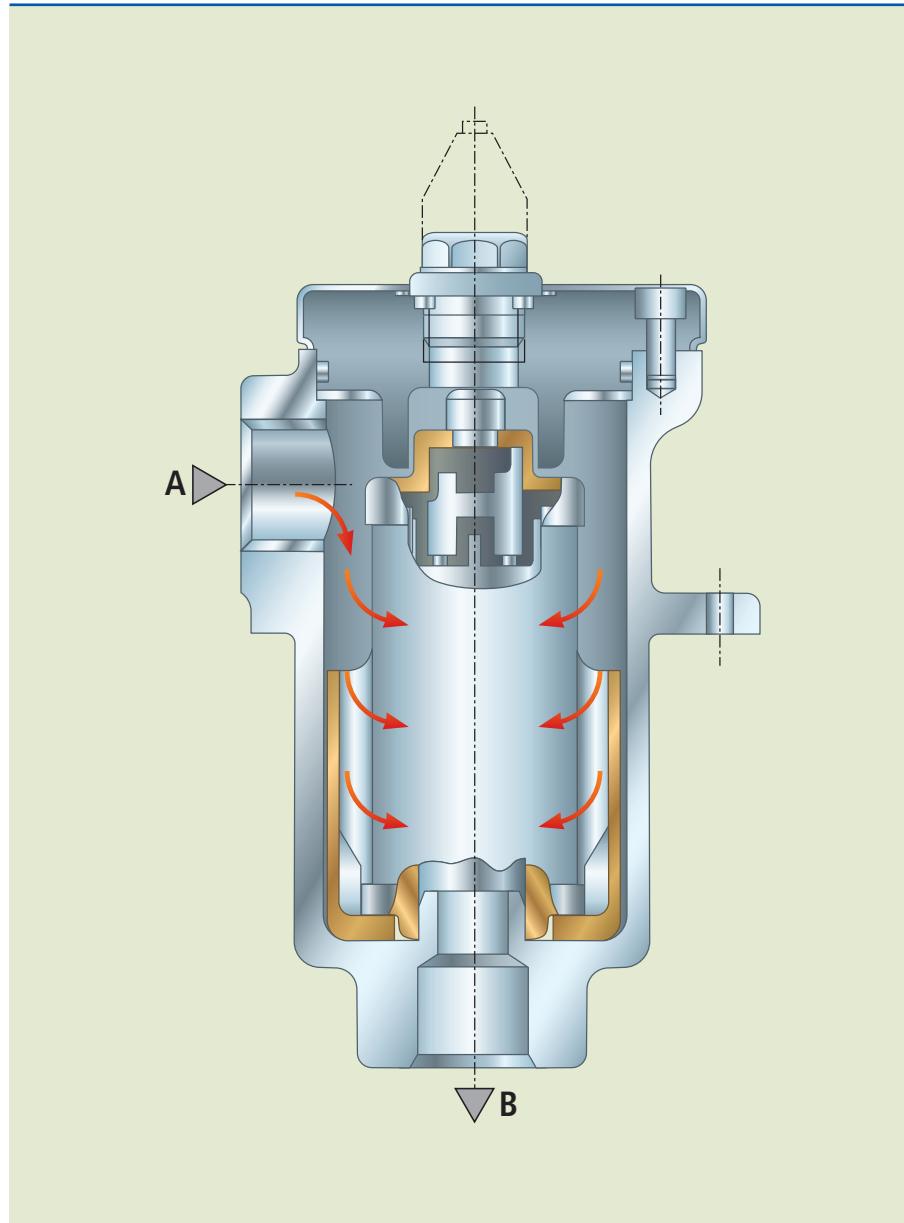
Desvantagens:

1. Não há proteção direta para os componentes do circuito.
2. Pode ocorrer dano em alguns componentes do sistema por causa da contra-pressão gerada pelo filtro.



Figura 4.20

Filtro de linha de retorno.



Pode ser encontrado em uma versão duplex, cuja característica é a filtragem contínua, realizada em duas ou mais câmaras de filtro com válvulas que permitem o processo ininterrupto. Quando um componente necessita de manutenção, a válvula duplex é acionada de fora para desviar o fluxo para a câmera oposta do filtro, deixando livre o elemento sujo para que possa ser substituído, enquanto o fluxo continua a passar pelo outro filtro, prevenindo qualquer bloqueio.

Filtros de pressão

Seu posicionamento é no circuito, mais exatamente entre a bomba e um componente do sistema. Entretanto, pode também ser posicionado entre os componentes do sistema.

Vantagens

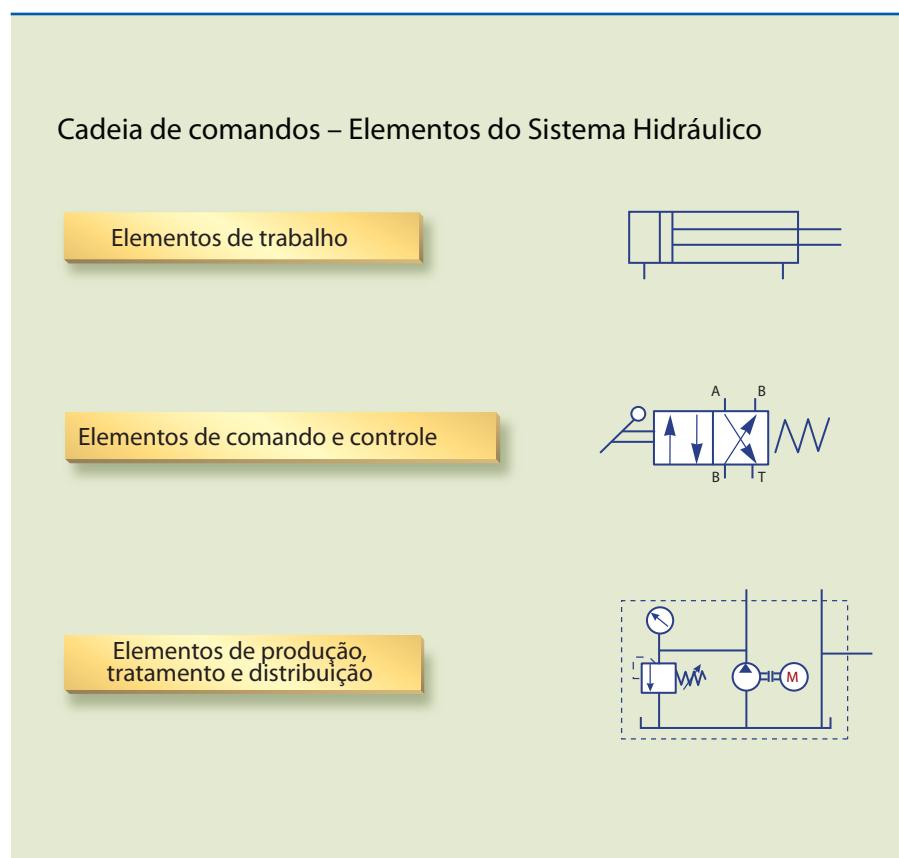
1. Podem filtrar partículas finas.
2. Protegem um componente específico contra contaminação por partículas finas.

Desvantagem:

Custo elevado, pois a carcaça de um filtro de pressão deve ser projetada para resistir a alta pressão, choques hidráulicos e diferenciais de pressão.

4.6.5 Cadeia de comandos

Em um sistema hidráulico, os atuadores são os elementos responsáveis para executar o trabalho hidráulico. Já os elementos de comando e controle são encarregados de fornecer o fluido hidráulico para promover o avanço ou recuo dos atuadores, uma vez que recebem o fluido do elemento de produção, tratamento e distribuição (figura 4.21).



Atuadores hidráulicos

São os elementos hidráulicos responsáveis por converter a energia de trabalho em energia mecânica.

Figura 4.21

Representação dos elementos de trabalho, de comando e controle e dos elementos de produção, tratamento e distribuição.

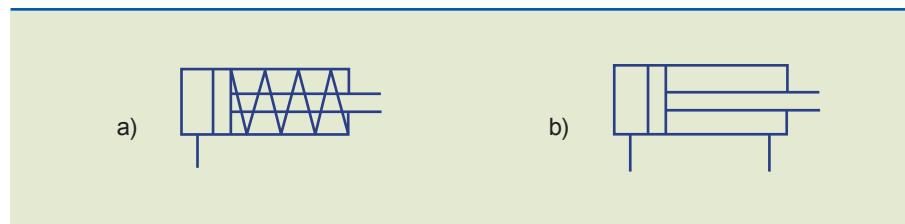


Os atuadores hidráulicos podem ser divididos basicamente em dois tipos:

1. Lineares, que podem ser de simples ação ou de dupla ação (figura 4.22):

Figura 4.22

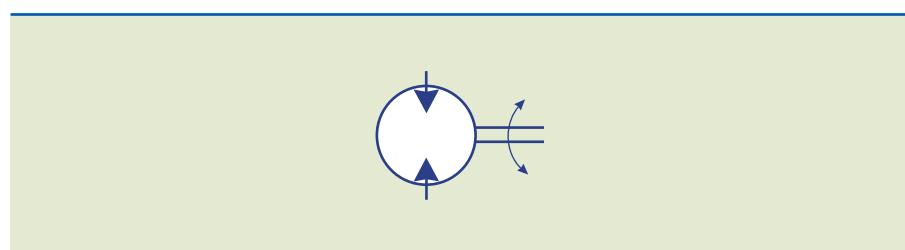
Atuadores hidráulicos lineares: a) de simples ação; b) de dupla ação.



2. Rotativos (figura 4.23).

Figura 4.23

Atuador hidráulico rotativo.



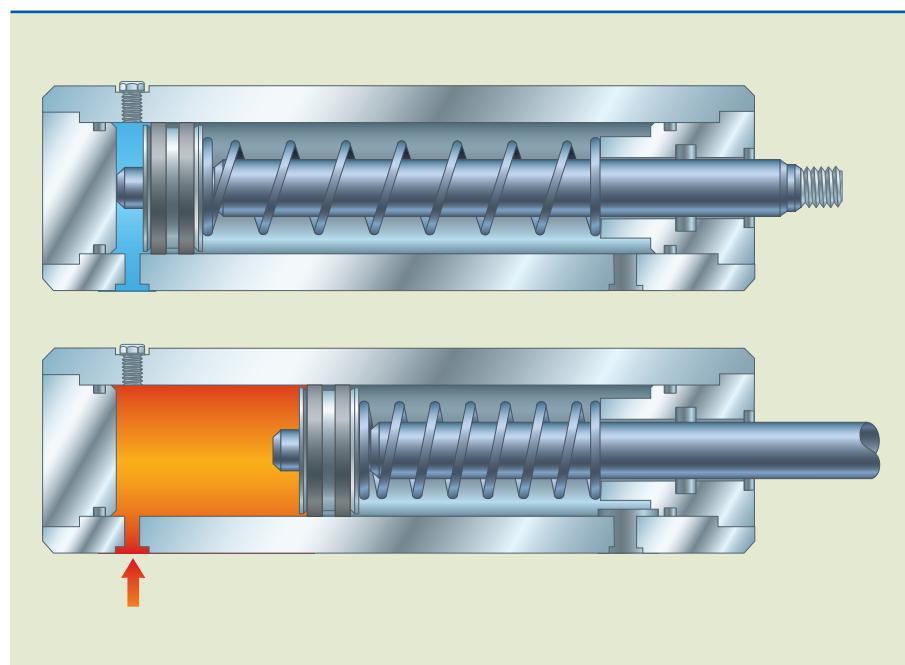
Atuadores de simples ação

Atuadores de simples ação – Um cilindro no qual a pressão de fluido é aplicada em somente uma direção para mover o pistão.

Atuador de simples ação e retorno por mola – Um cilindro no qual uma mola recua o conjunto do pistão (figura 4.24).

Figura 4.24

Atuador de simples ação.



Atuadores de dupla ação

É cilindro de dupla ação com haste em um lado (figura 4.25). Em alguns casos, o êmbolo do cilindro tem um ímã permanente que pode ser usado para operar um sensor de proximidade.

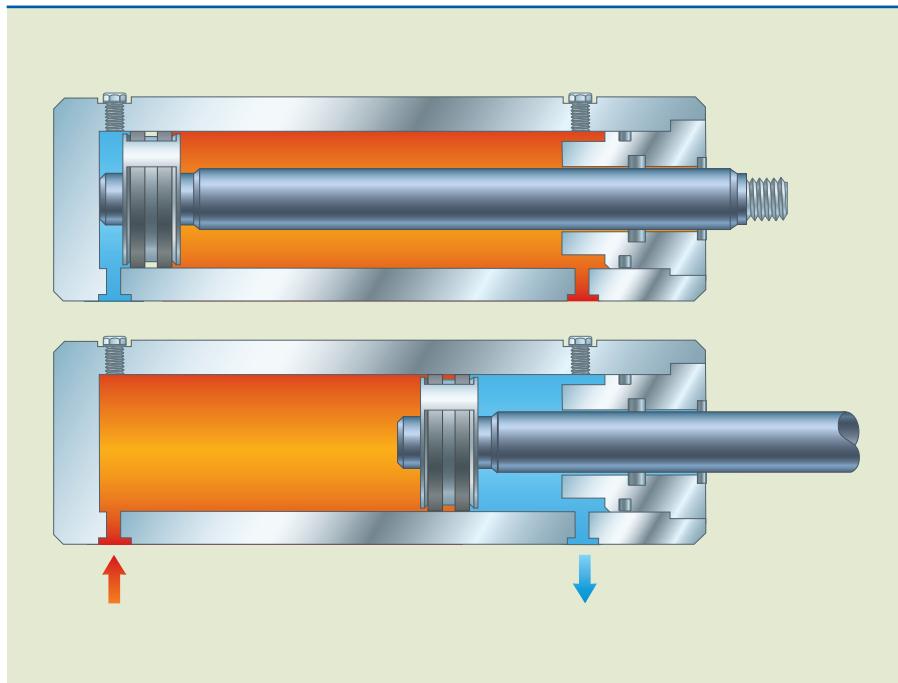


Figura 4.25

Atuador de dupla ação.

Choque hidráulico – O trabalho hidráulico move o cilindro e, se este encontra um obstáculo (final de curso de um pistão, por exemplo), a inércia do líquido do sistema é transformada em choque, denominado choque hidráulico. Choques exageradamente intensos podem causar dano ao cilindro

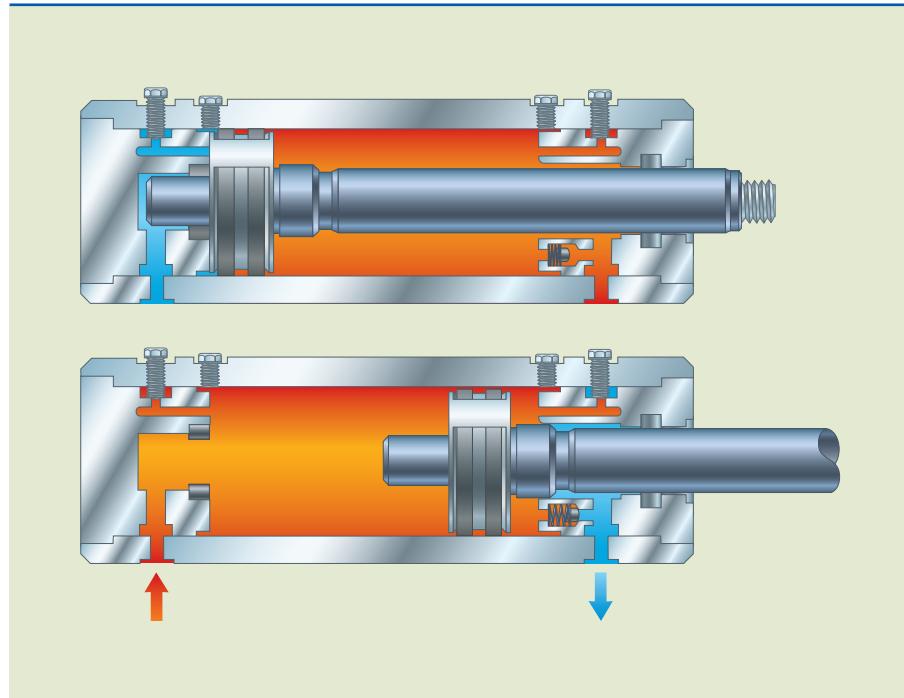
Amortecimento – Diminui o movimento do cilindro antes do impacto no final de seu curso. Os amortecedimentos podem ser instalados em ambos os lados de um cilindro (figura 4.26).

O movimento do cilindro é controlado pelas cargas de pressão conectadas. O amortecedor pode ser regulado com dois parafusos de ajuste.

Uma válvula de agulha para fazer o controle de fluxo e um plugue ligado ao pistão auxiliam o amortecimento. Quando o atuador chega próximo do final de seu curso, o batente bloqueia a saída total do fluido e este tem, então, de passar pela válvula de controle de vazão. Nesse momento, algum fluxo escapa pela válvula de alívio (conforme sua regulagem). O fluido que continua contido no fim de curso do atuador é expelido através da válvula de controle de vazão, retardando, assim, o movimento do pistão. Essa válvula determina a taxa de desaceleração, evitando o choque das partes internas do atuador. No sentido inverso, o fluxo passa pela linha de *bypass* da válvula de controle de vazão onde está a válvula de retenção ligada ao cilindro.

Figura 4.26

Cilindro de dupla ação com haste passante e amortecedor na posição final de curso.

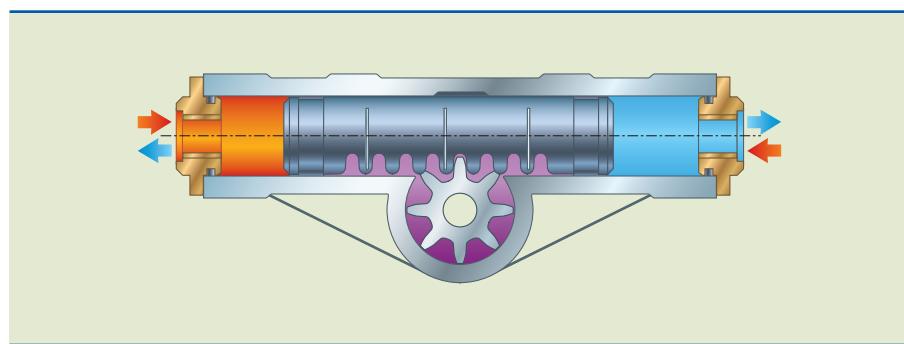


Atuadores rotativos

Operam com o princípio de pinhão e cremalheira, transformando o movimento linear do êmbolo em um movimento rotativo do eixo do pinhão (figura 4.27).

Figura 4.27

Esquema representativo de um atuador rotativo.



Vedações

As vedações devem existir em toda a extensão do pistão do cilindro e também na haste, para garantir o funcionamento dos pistões sem vazamentos e sem perda de pressão. Os pistões do atuador são vedados com as guarnições elásticas ou anéis de vedação de ferro fundido. Os anéis de pistão são duráveis, entretanto, pouco eficazes, pois permitem vazamento na ordem 15 a 45 cm³ por minuto em condições de operação normal. Já as guarnições tipo U elásticas não vazam em condições normais, mas são menos duráveis.

Alguns cilindros são equipados com guarnições com formato em V ou em U, que podem ser fabricadas de couro, poliuretano, borracha nitrílica ou viton.

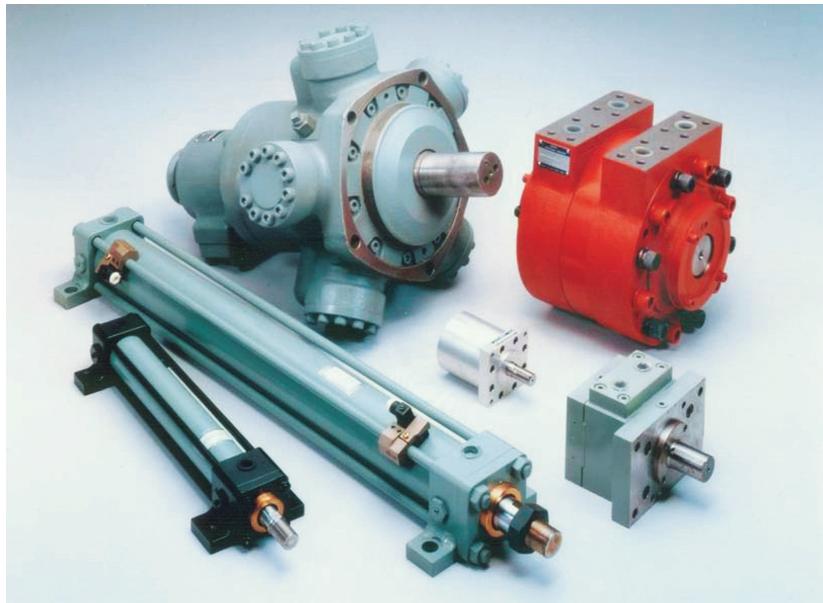


Figura 4.28
Atuadores hidráulicos.

© YUTEC HIDRÁULICA LTDA.

4.6.6 Válvulas de controle de pressão

As válvulas do tipo controladoras de pressão (exemplos nas figuras 4.29 e 4.30) são usadas na maioria dos sistemas hidráulicos industriais.

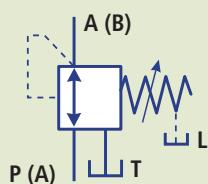


Figura 4.29
Símbolo de uma reguladora de pressão com três vias.

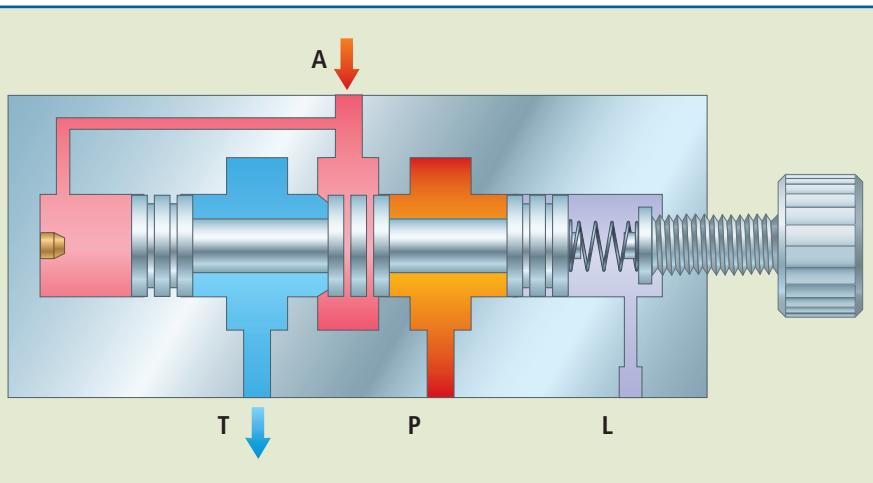


Figura 4.30
Exemplo de uma válvula reguladora de pressão.

Função de uma válvula de controle de pressão:

- Limita a pressão máxima de um sistema.
- Regula a pressão no circuito quando esta é reduzida momentaneamente.
- atua como reguladora de pressão em atividades que envolvem mudanças de pressão na operação.

Essas válvulas são classificadas de acordo com o tipo de conexão, com o tamanho e a faixa de operação. Podem assumir várias posições, entre totalmente fechadas a totalmente abertas.

De acordo com suas funções, temos válvulas:

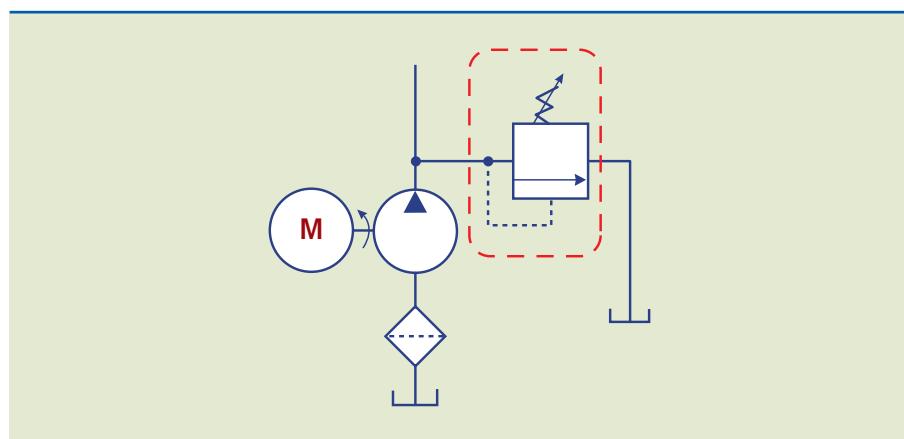
- De segurança.
- De sequência.
- De descarga.
- Redutoras de pressão.
- De frenagem.
- De contrabalanço.

Válvula limitadora de pressão, ou de segurança

Não é interessante que a pressão no sistema atinja valores superiores à pressão de trabalho. Para que essa pressão possa ser controlada, utiliza-se uma válvula de pressão normalmente fechada, conectada à pressão do sistema e ao tanque (figura 4.31). Esta é regulada para um nível predeterminado de pressão. Quando a pressão atinge valores superiores a essa pressão, o fluxo de fluido é desviado para o tanque. Esse tipo de controle é conhecido como válvula limitadora de pressão ou válvula de alívio do sistema ou, ainda, válvula de segurança.

Figura 4.31

Representação esquemática de uma parte de um circuito contendo uma válvula de segurança.



Outras funções das válvulas reguladoras de pressão normal fechada:

- Fazer com que uma operação ocorra antes de outra, para obedecer a uma ordem sequencial.
- Contrabalançar forças mecânicas externas que atuam no sistema.

Válvula de sequência

É a válvula de controle de pressão normalmente fechada (figura 4.32), que faz com que uma operação ocorra antes da outra.

Exemplo:

Em um circuito com operações de fixação de peças e posterior usinagem, o cilindro da morsa deve avançar antes do cilindro da broca. Nesse caso, uma válvula de sequência é posicionada antes do atuador da broca. A mola na válvula de sequência não permitirá que o carretel interligue as vias primárias e secundárias antes que a pressão atinja valores maiores que a pressão calibrada na mola da válvula. Dessa forma, o fluxo para o cilindro da broca é bloqueado e o cilindro da morsa avançará primeiro. No momento que o cilindro entra em contato com a peça, a pressão é aumentada a fim de vencer a resistência. Esse aumento de pressão desloca o carretel na válvula de sequência; assim, o fluxo vai para o cilindro da broca, executando a furação.

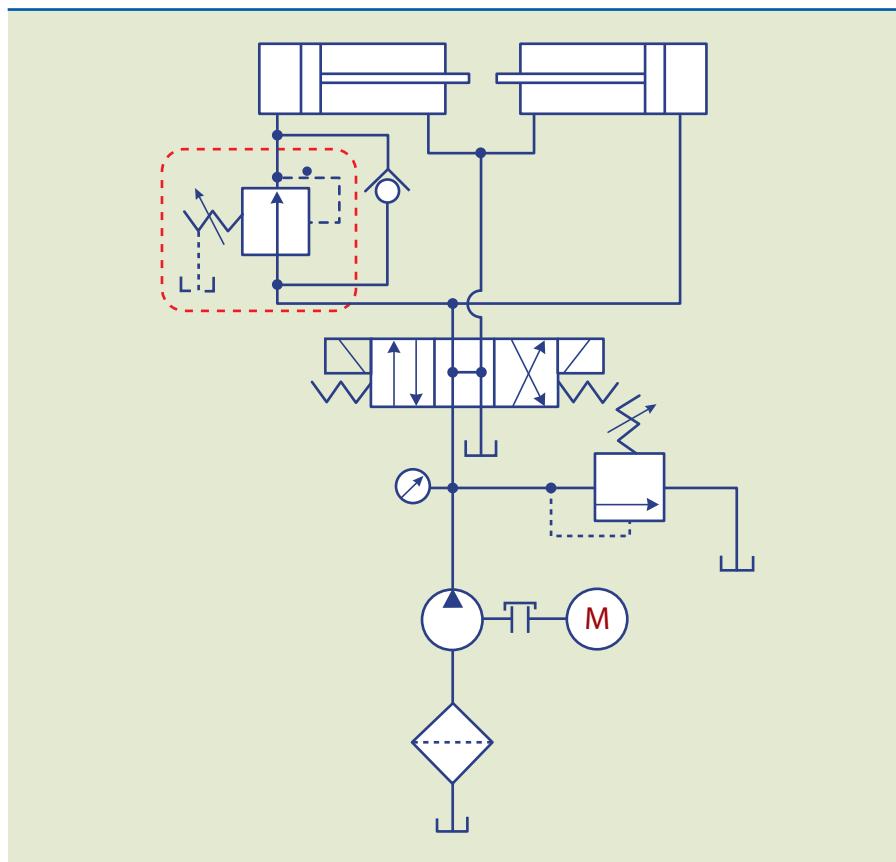


Figura 4.32

Representação esquemática de um circuito contendo uma válvula de sequência.

Válvula de contrabalanço

Para equilibrar ou contrabalançar um peso, pode-se usar uma válvula de controle de pressão normalmente fechada (figura 4.33).

Utilizamos como exemplo típico o circuito hidráulico de uma prensa.



Quando a válvula direcional envia o fluxo para avançar o atuador, o peso fixado à haste descerá de forma incontrolável, pois o fluxo da bomba não é suficiente para manter a carga na posição elevada. Neste caso, ocorre a necessidade de se instalar uma válvula de pressão normalmente fechada abaixo do cilindro da prensa. Assim, o carretel da válvula não conectará as via principal e a secundária até que a pressão seja maior do que a pressão desenvolvida pelo peso, ou seja, até que a pressão do fluido atue no lado traseiro do pistão.

Dessa forma, o peso é contrabalanceado em todo sentido descendente.

Figura 4.33

Exemplo de circuito contendo uma válvula de contrabalanço com retenção.

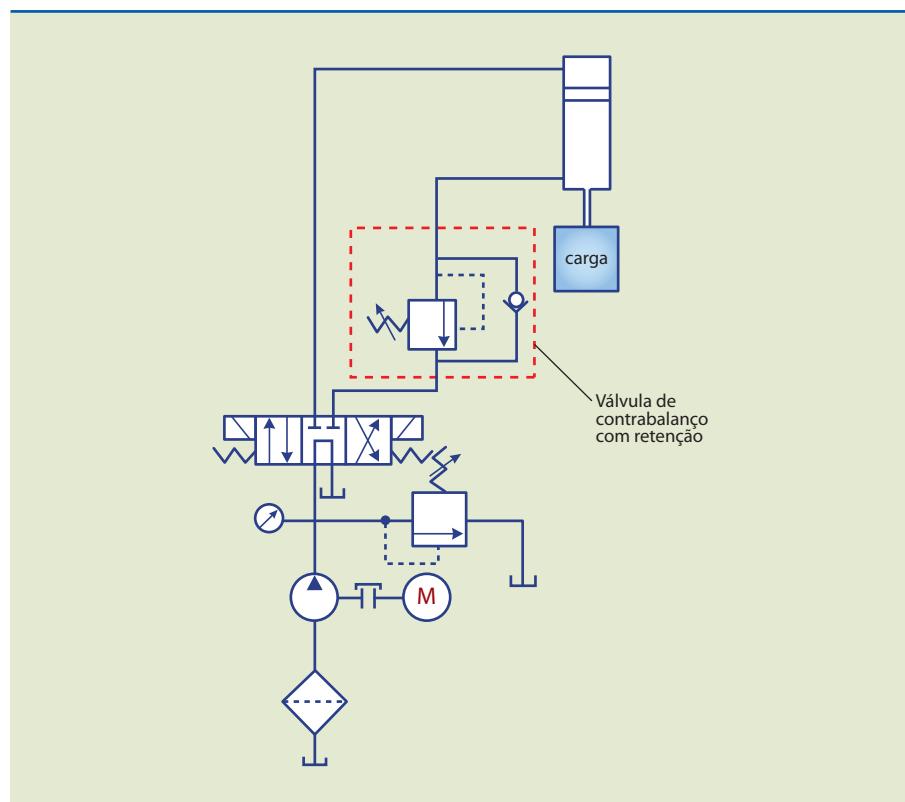
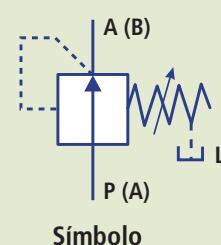
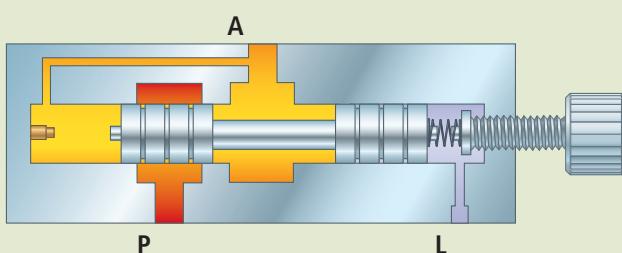


Figura 4.34

Representação esquemática e simbologia de uma válvula normalmente aberta.

Válvula de pressão normalmente aberta

Uma válvula normalmente aberta (figura 4.34) tem a via primária e a secundária interligadas, e a pressão na base do carretel é transmitida pela via secundária.



Válvula redutora de pressão no circuito

É uma válvula de controle de pressão normalmente aberta que opera sentindo a pressão do fluido depois de sua passagem através da válvula. A pressão atingida é igual à pré-ajustada na válvula, de modo que o carretel que atua fechando ou abrindo as vias das válvulas fique parcialmente fechado, restringindo o fluxo. Entretanto, toda restrição em fluidos hidráulicos é transformada em calor. Esse é um dos motivos pelo qual o fluido e alguns elementos hidráulicos se aquecem. Se a pressão cai depois da válvula, o carretel se abre e permite que a pressão aumente de novo.

É usada quando se quer a aplicação de uma força de menor intensidade. Ver como exemplo o circuito da figura 4.35. No circuito, o atuador da direita deve aplicar uma força menor do que o atuador da esquerda. Uma válvula redutora de pressão colocada logo em seguida ao atuador da direita permite que o fluxo vá para o atuador até que a pressão atinja a da regulagem da válvula. Nesse momento, o carretel da válvula é acionado, causando uma restrição na referida linha do circuito e o excesso de pressão, depois da válvula, é transformado em calor. Assim, o atuador trabalha com a pressão reduzida.

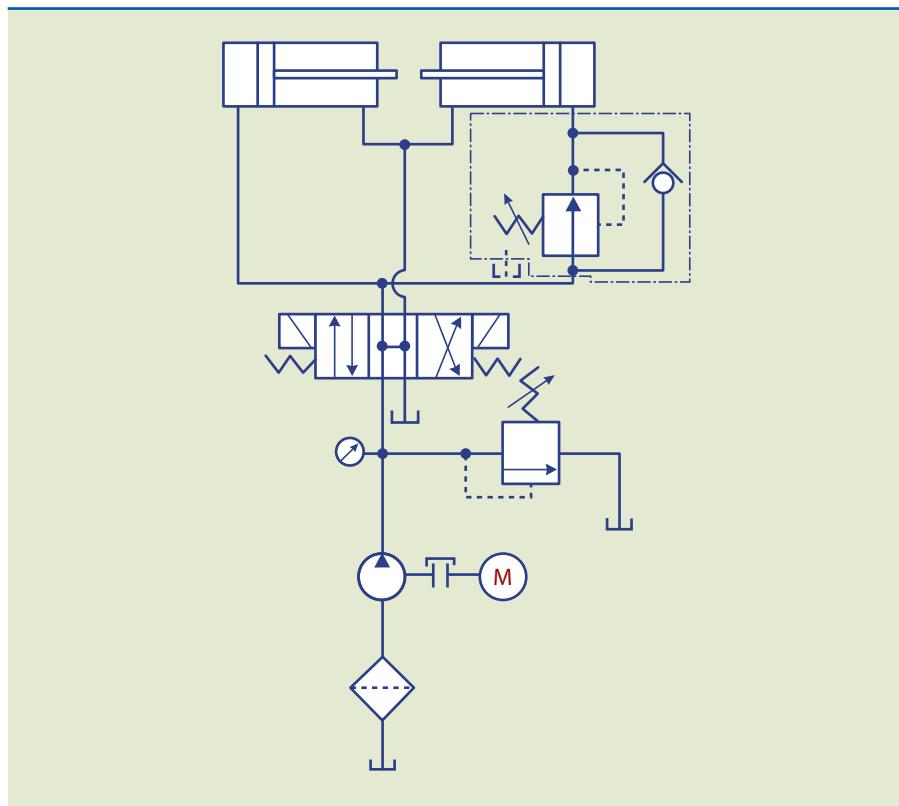


Figura 4.35

Representação esquemática de um circuito contendo uma válvula redutora de pressão no circuito.

Válvulas de controle direcional

Essas válvulas contam com um corpo com vias internas que são abertas e bloqueadas momentaneamente por uma parte móvel. Nas válvulas direcionais, como na maior parte das válvulas hidráulicas industriais, o carretel é responsável pela abertura e fechamento dessas vias. Por esse motivo, as válvulas de carretel



são as válvulas direcionais mais usadas em hidráulica industrial, pois são de fácil construção.

Válvula de retenção

Restringe a passagem do fluido em um sentido (figuras 4.36 e 4.37).

Figura 4.36

Esquema representativo de uma válvula de retenção.

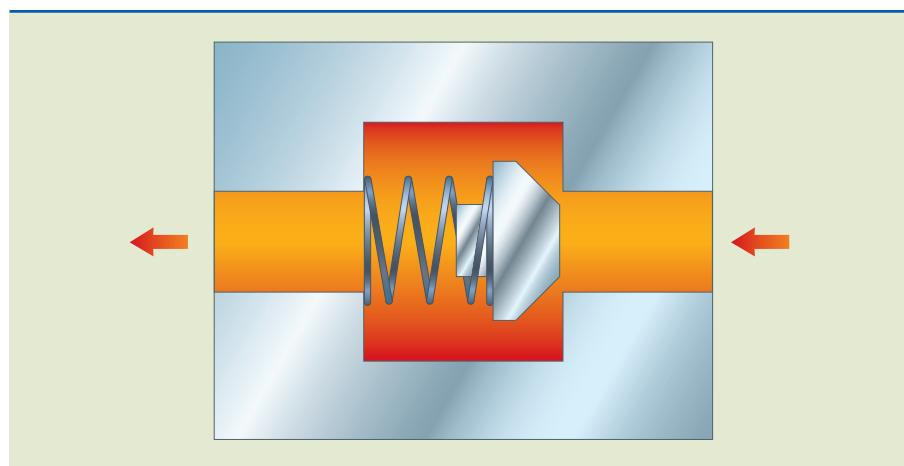
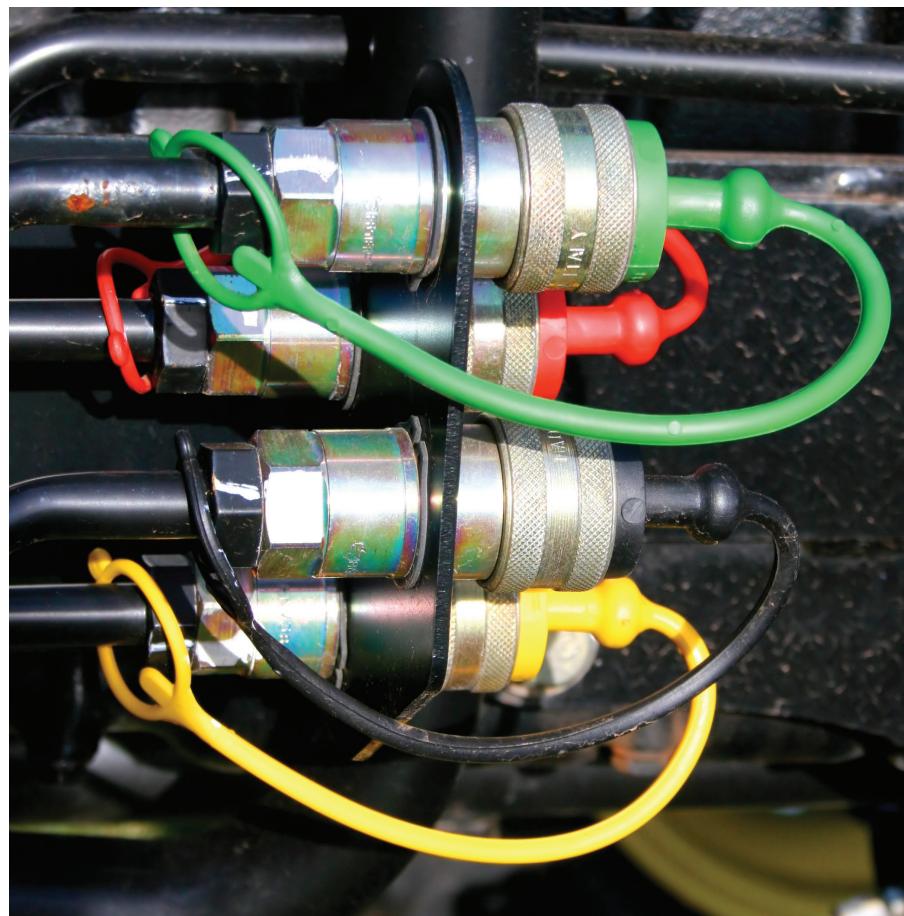


Figura 4.37

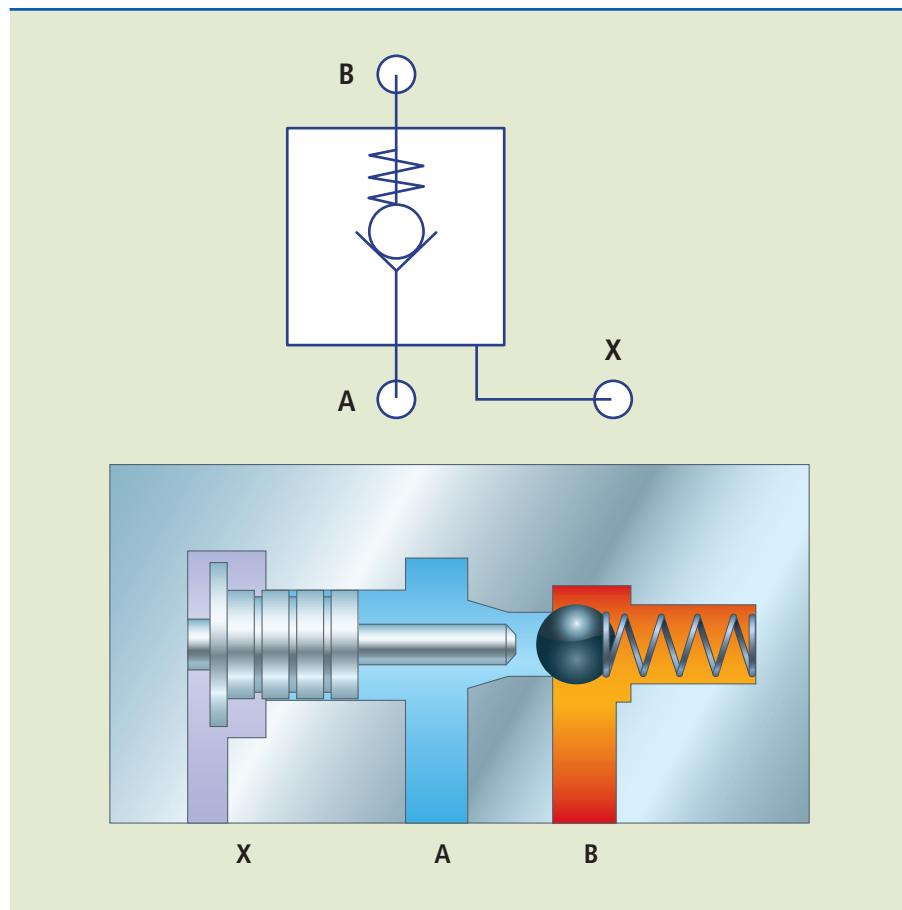
Válvula de retenção.



V.J. MATTHEWS/SHUTTERSTOCK

Válvula de retenção pilotada

Se a pressão de entrada for maior que a pressão de saída, a válvula de retenção abre. Caso contrário, ela fecha. Além disso, a válvula de retenção pode ser aberta através de uma linha de controle, permitindo fluxo em ambos os sentidos (figura 4.38).



Válvula de retenção dupla

Esta válvula (figuras 4.39, 4.40 e 4.41) é composta por duas válvulas de retenção, construídas e montadas em uma única carcaça, operadas por piloto.

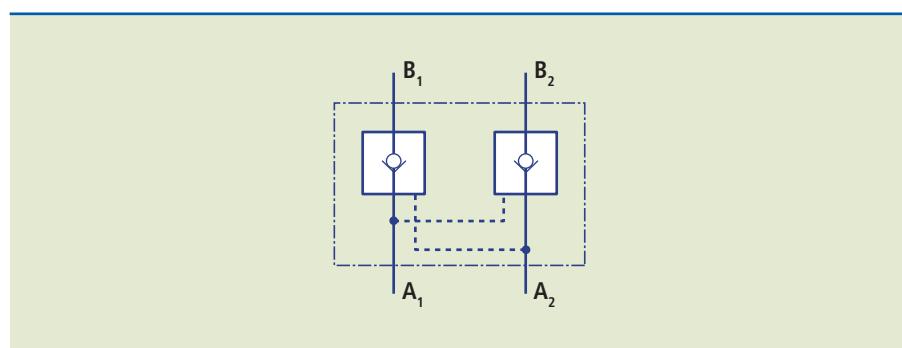


Figura 4.38

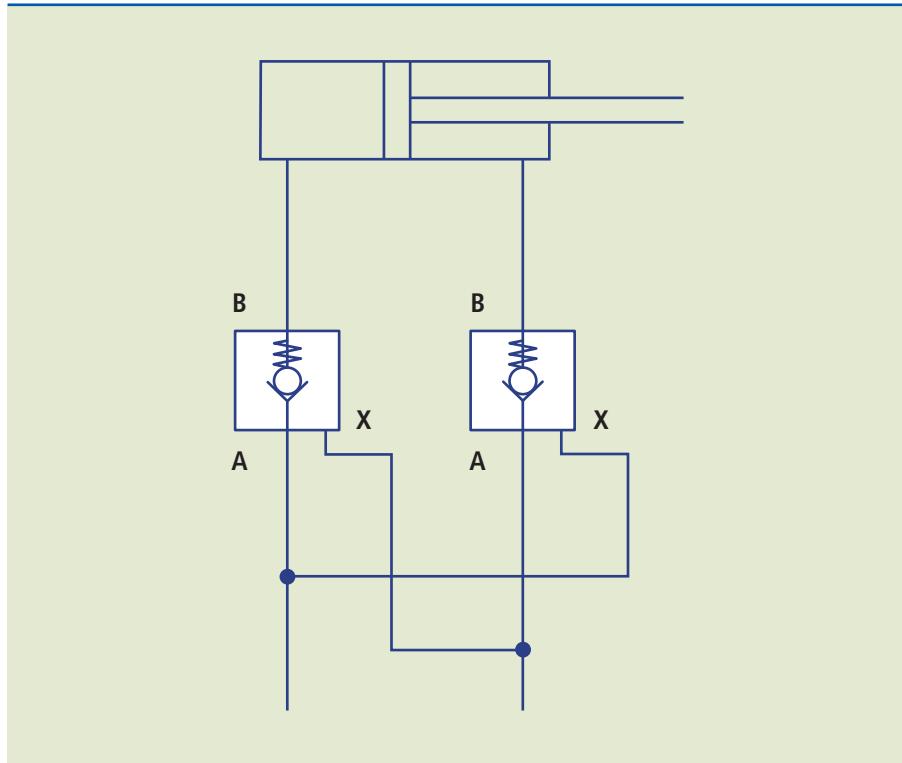
Esquema representativo de uma válvula de retenção pilotada.

Figura 4.39

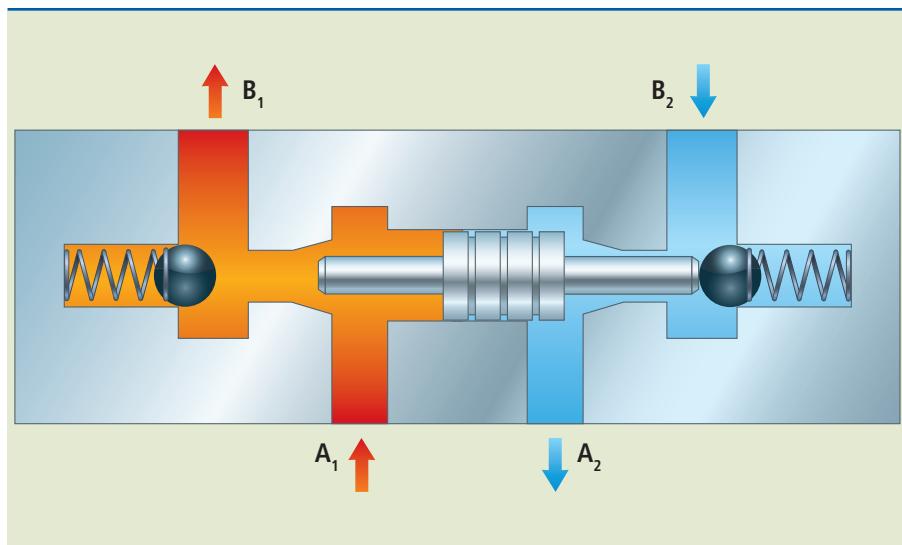
Simbologia de representação de uma válvula de retenção dupla.

Figura 4.40

Representação esquemática de parte de um circuito que utiliza uma válvula de retenção dupla.

**Figura 4.41**

Esquema ilustrativo de uma válvula de retenção dupla.



4.6.7 Identificação de válvula de controle direcional

As válvulas de controle direcional são representadas com símbolos gráficos (figura 4.42). Para identificação da simbologia, devemos considerar:

- Número de posições.
- Número de vias.
- Posição normal.
- Tipo de acionamento.

Símbolo de Válvulas Direcionais	Norma DIN/ISO 1219
	Número de posições da válvula
	A quantidade de traços indica o número de vias
	Setas indicam a direção (sentido) do fluxo do óleo
	Ts representam bloqueios dos fluxos

Número de posições

As válvulas são representadas por quadrados que indicam o número de posições ou manobras distintas que elas podem assumir. Uma válvula de controle direcional possui no mínimo dois quadrados, ou seja, realiza no mínimo duas manobras.

Número de vias

Esse valor corresponde ao número de conexões úteis que uma válvula pode ter (figura 4.43).

Podemos encontrar vias de passagem, vias de bloqueio ou a combinação de ambas. Para fácil compreensão do número de vias de uma válvula de controle direcional, podemos considerar apenas a identificação de um quadrado.

Posição normal

A posição da válvula se divide em normal fechada e em normal aberta (figuras 4.43 e 4.44). Para determinar essa posição, deve ser levado em consideração o quadrado à direita da válvula.

Figura 4.42

Simbologia para as válvulas direcionais.

Figura 4.43

Simbologia para posições e conexões das válvulas de controle direcional.

		Posições e conexões	
	A P	2/2	2 vias por 2 posições normalmente aberta
	A P	2/2	2 vias por 2 posições normalmente fechada
	A P T	3/2	3 vias por 2 posições normalmente fechada
	A T	3/2	3 vias por 2 posições normalmente aberta
	A B P T	4/2	4 vias por 2 posições

Figura 4.44

Simbologia para posições e conexões das válvulas de controle direcional.

		Posições e conexões	
	A B P	5/2	5 vias por 2 posições
	A B P T	4/3	4 vias por 3 posições centro fechado
	A B P T	4/3	4 vias por 3 posições centro aberto para tanque
	A B P T	4/3	4 vias por 3 posições centro tandem
	A B T P	5/3	5 vias por 3 posições centro fechado

A tabela 4.1 indica como devem ser relacionadas as conexões das válvulas direcionais segundo a norma DIN/ISO 1219.

Identificação das conexões	
Conexão	DIN/ISO 1219
Pressão	P
Exaustão	R (3/2 vias)
Exaustão	R, S (5/2 vias)
Sinal de saída	B, A

Acionamento de válvulas direcionais

A movimentação do carretel é capaz de desobstruir passagens, interligando câmaras no interior das válvulas e permitindo o escoamento do fluido no sentido desejado. Como exemplo de movimentação dos carretéis, ver as figuras 4.45, 4.46 e 4.47.

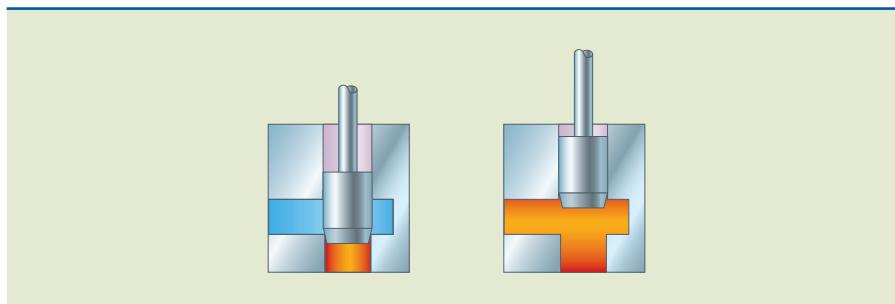


Figura 4.45

Exemplo 1 de movimentação do carretel.

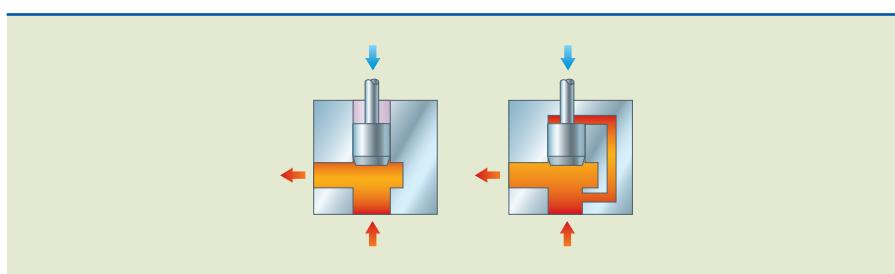


Figura 4.46

Exemplo 2 de movimentação do carretel.

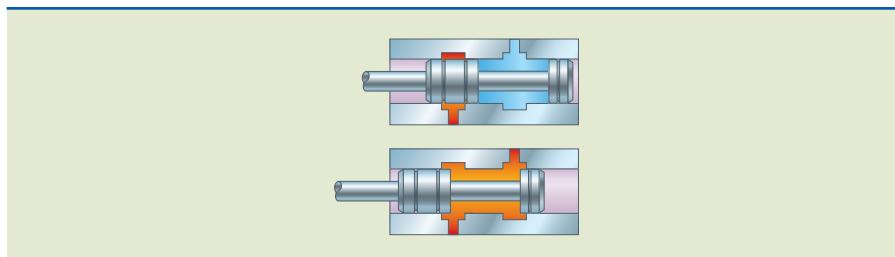


Figura 4.47

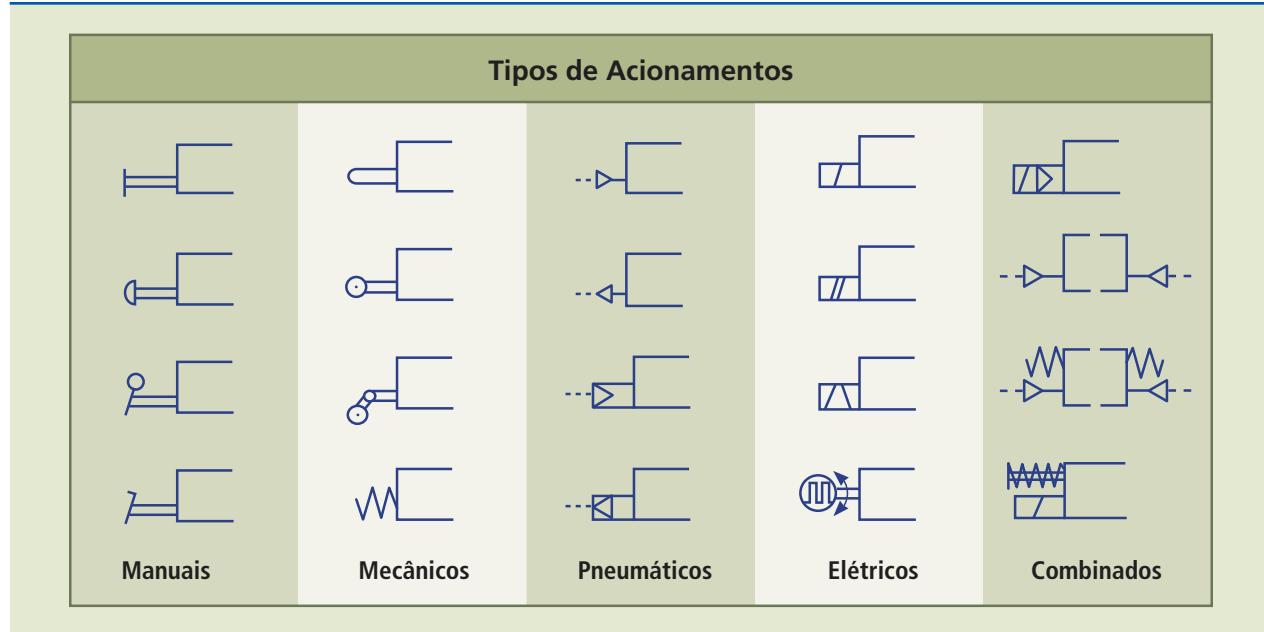
Exemplo 3 de movimentação do carretel.



Figura 4.48

Simbologia para indicação dos acionamentos nos esquemas hidráulicos.

A movimentação do carretel das válvulas pode ser realizada utilizando esforço manual (esforço físico de um operador) ou, ainda, acionadores mecânicos, pneumáticos, elétricos ou combinados. A simbologia para indicação dos acionamentos nos esquemas hidráulicos é representada na figura 4.48.



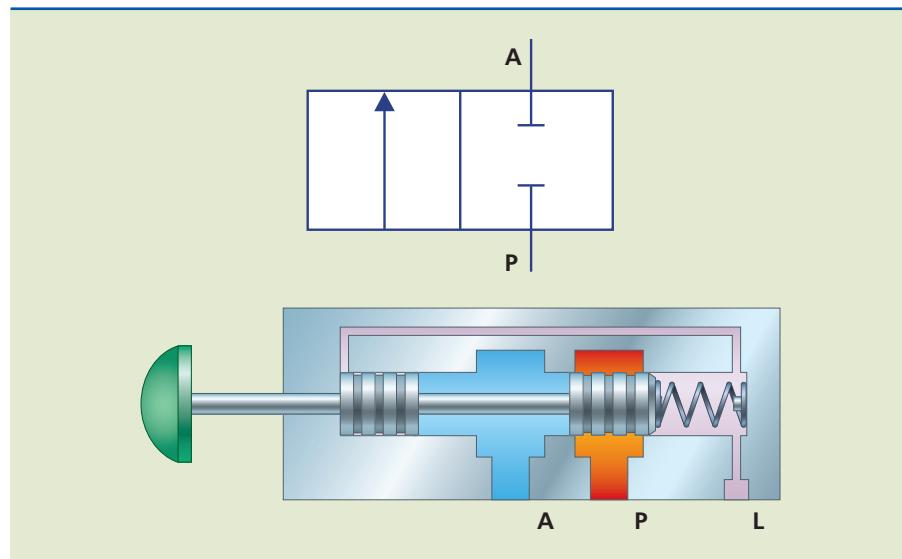
Válvula direcional de duas posições por duas vias

Esse tipo de válvula direcional consiste em duas passagens conectadas e desconectadas de acordo com a posição do carretel.

Uma válvula de duas vias executa uma função liga-desliga que pode ser usada em muitos sistemas, como trava de segurança e para isolar ou conectar várias partes do sistema (figura 4.49).

Figura 4.49

Válvula direcional de duas posições por duas vias.



Válvula direcional de duas posições por três vias

Esse tipo de válvula possui três passagens dentro de um corpo de válvula (figura 4.50):

- Via de pressão.
- Via de tanque.
- Via de utilização.

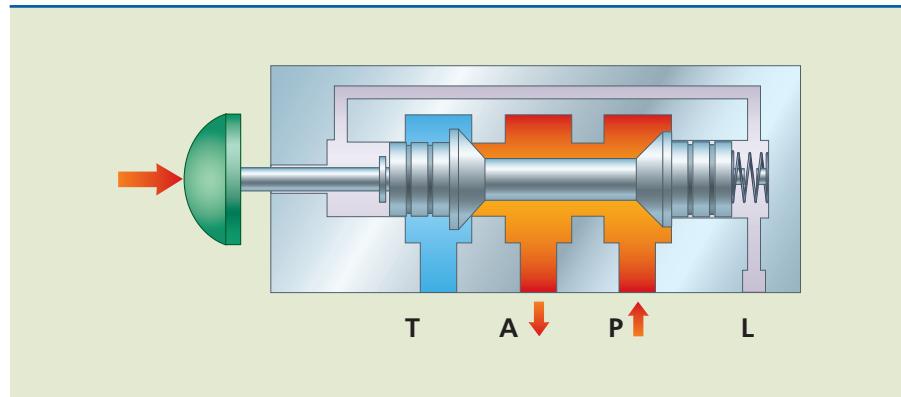


Figura 4.50

Válvula direcional de duas posições por três vias.

A função da válvula direcional de duas posições por três vias é pressurizar e esvaziar alternadamente um orifício do atuador. É usada para operar atuadores de simples ação, como cilindros com retorno por mola (figura 4.51). Em geral, não são encontradas em aplicações hidráulicas industriais.

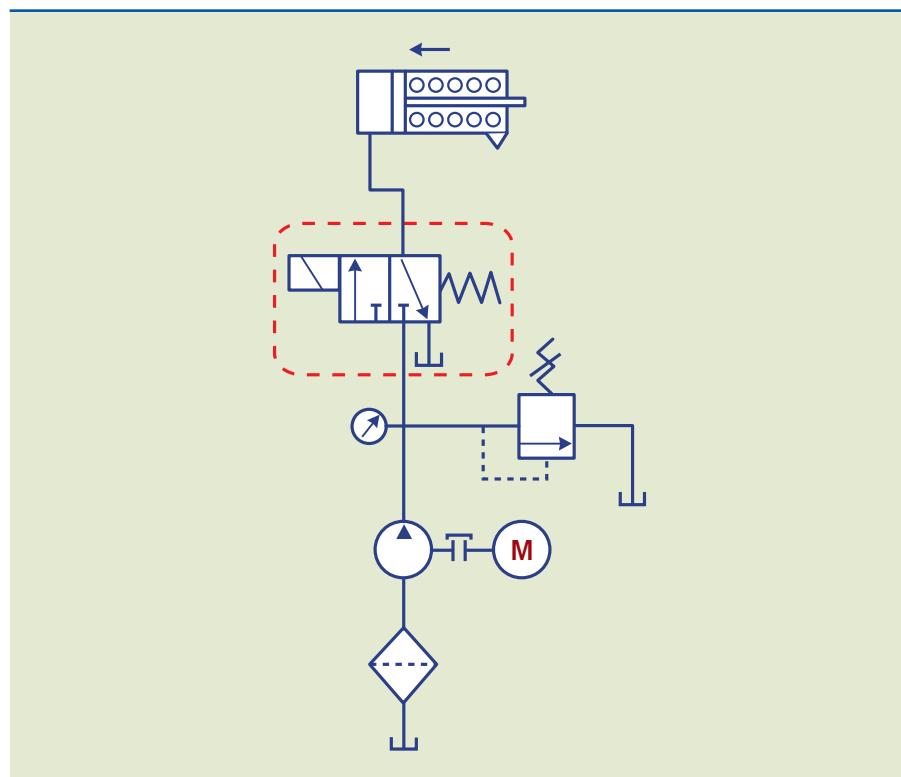


Figura 4.51

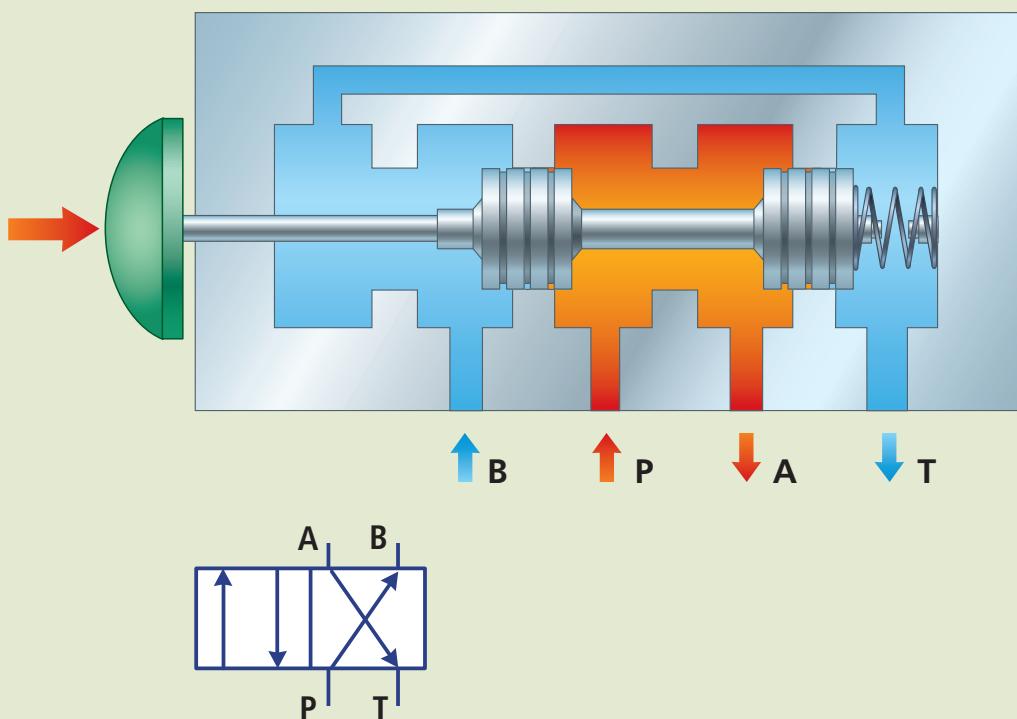
Circuito hidráulico contendo uma válvula direcional de duas posições e três vias.

Válvula direcional de duas posições por quatro vias

Figura 4.52

Válvula direcional de duas posições por quatro vias.

A função dessa válvula (figura 4.52) é reverter o movimento de um cilindro ou de um motor hidráulico. O fluxo é direcionado para o atuador ao passo que o carretel é também posicionado para descarregar o fluxo para o tanque.



Válvula direcional de três posições por quatro vias

As válvulas pneumáticas são providas de carretel interno que pode parar em posições intermediárias, e, por esse motivo, são usadas com frequência na indústria móbil. Já as válvulas hidráulicas industriais de quatro vias são de três posições, sendo duas extremas e uma posição central. As posições extremas estão relacionadas ao movimento e à direção que o atuador executa, e a posição do centro da válvula deve atender a necessidade do sistema. É por esse motivo que válvulas com vários tipos de centro são fabricadas. As mais conhecidas são: centro aberto, centro fechado, tandem, centro aberto negativo e centro aberto positivo. Algumas estão representadas nas figuras 4.53, 4.54, 4.55, 4.56.

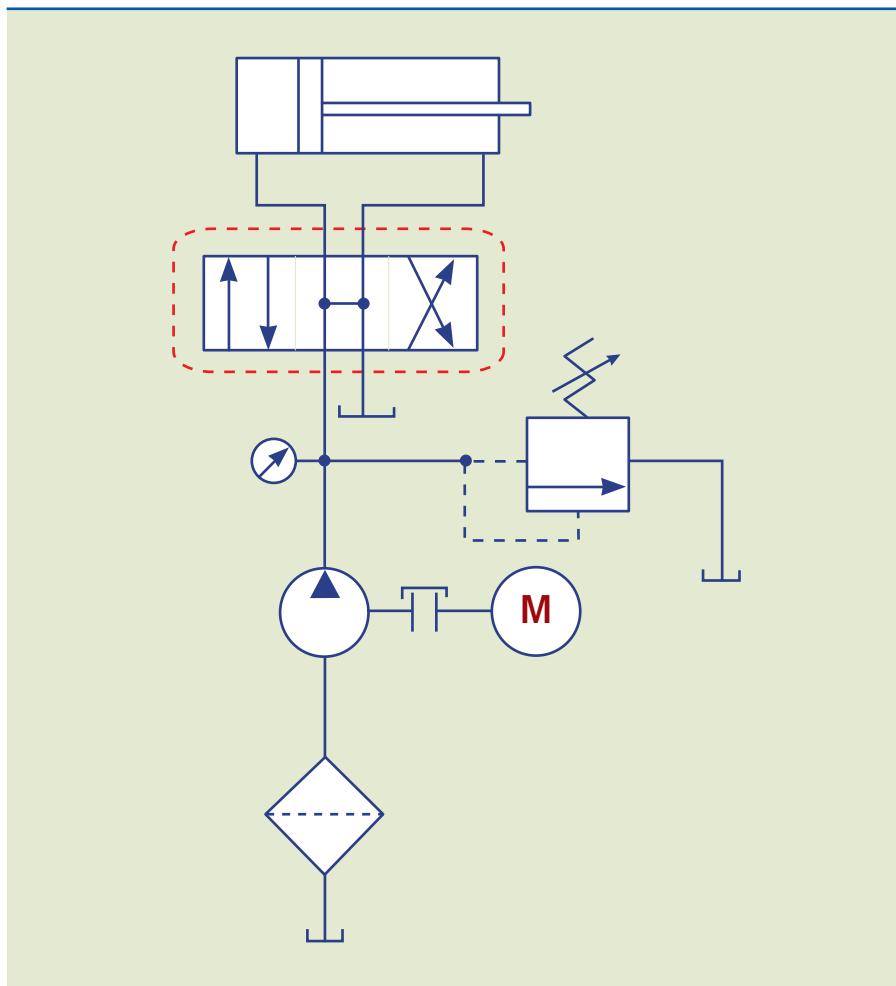


Figura 4.54
Válvula de três posições e quatro vias com centro despressurizado (tandem).

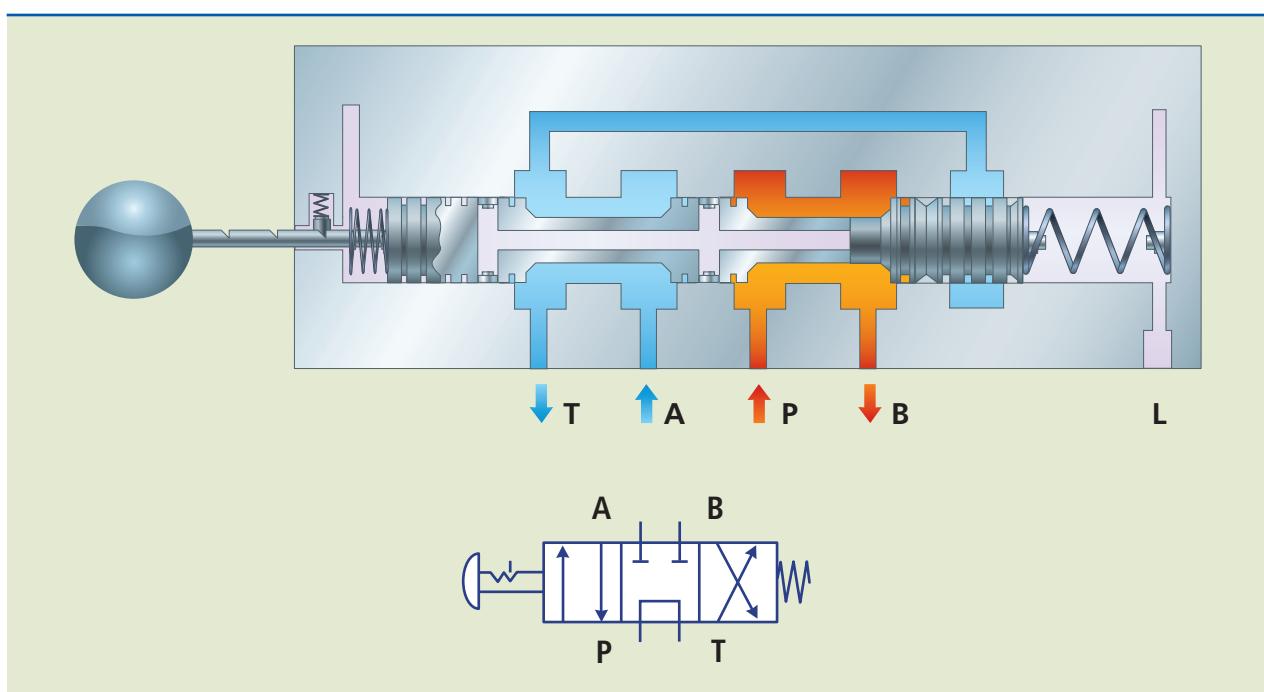
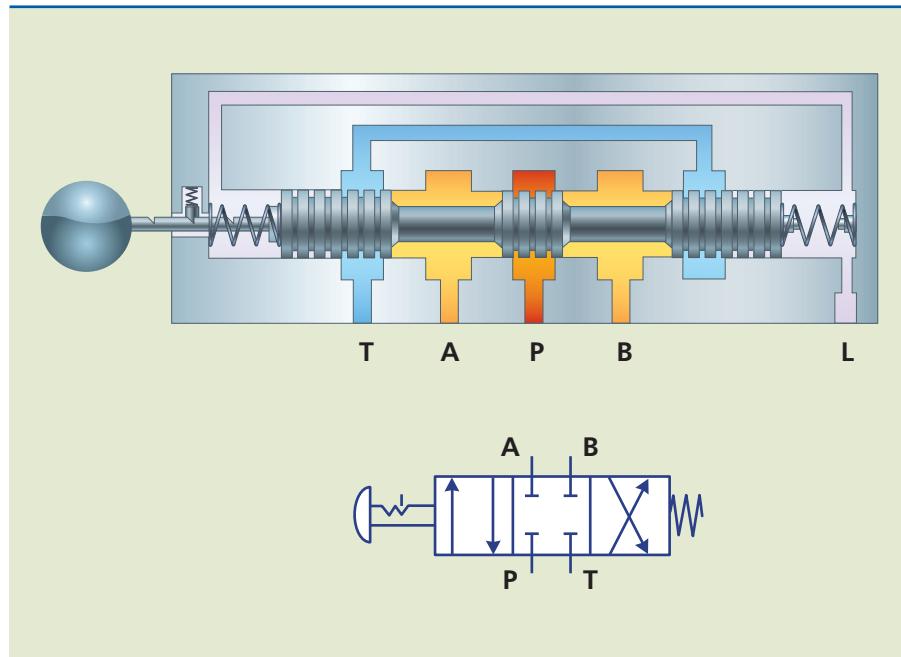
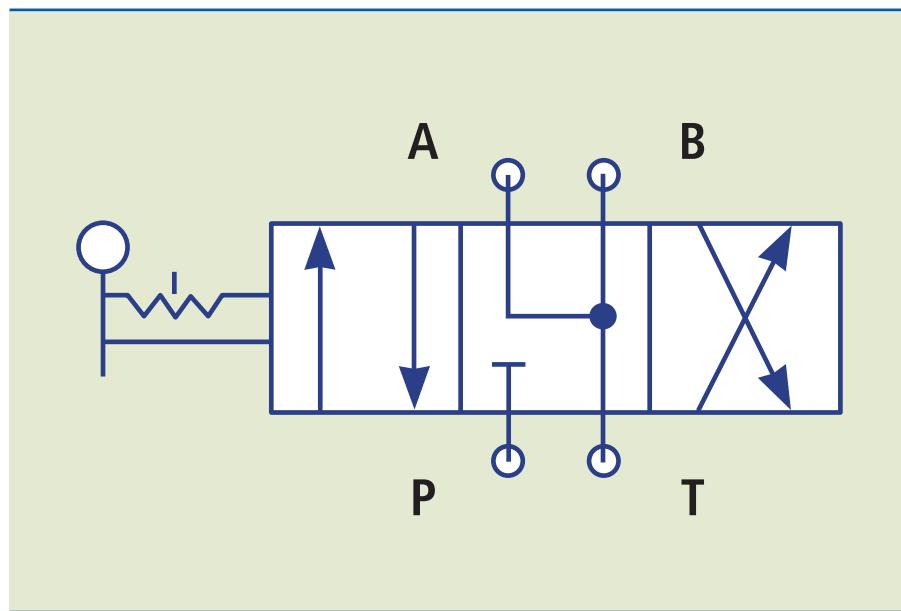


Figura 4.55

Válvula de três posições e quatro vias com centro fechado.

**Figura 4.56**

Válvula de três posições e quatro vias com A e B com retorno para tanque.



4.6.8 Acumuladores hidráulicos

Funções dos acumuladores

São funções básicas dos acumuladores (figuras 4.57, 4.58 e 4.59):

- Armazenamento de energia.
- Operação de emergência.
- Atenuação de golpes de pressão.
- Manutenção de pressão constante.
- Compensação de vazão.



Figura 4.57
Acumulador hidráulico.

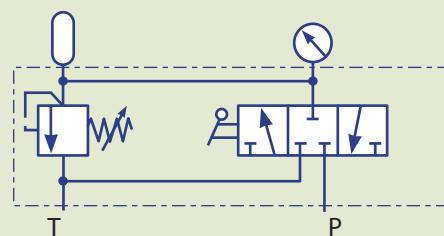


Figura 4.58
Símbolo do acumulador.

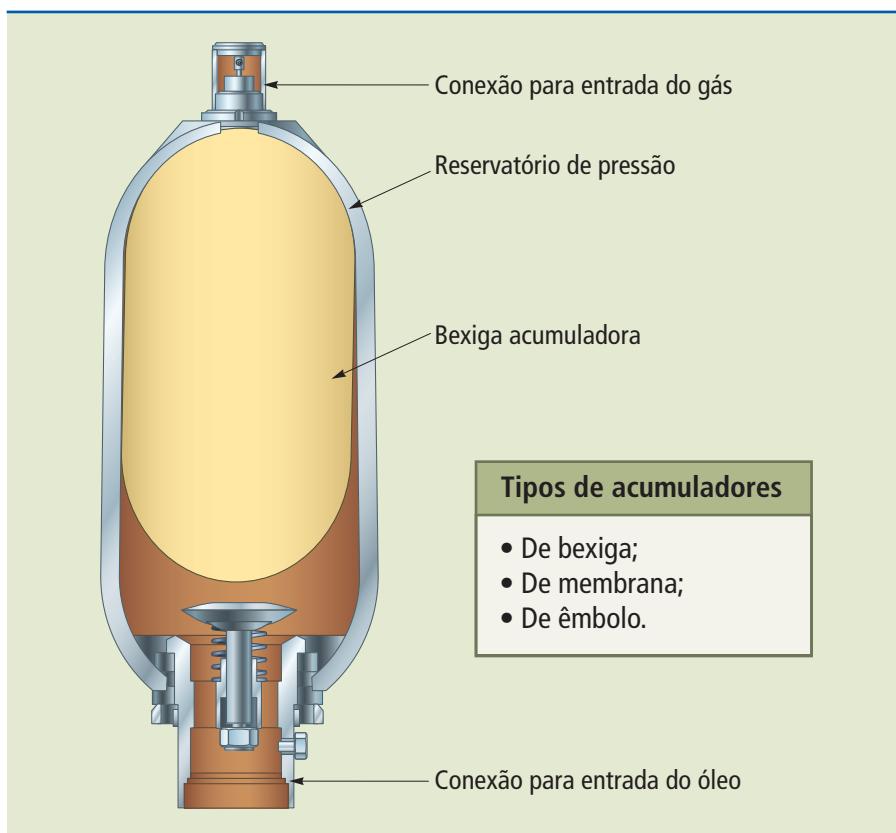


Figura 4.59
Esquema ilustrativo de um acumulador hidráulico e seus vários tipos.

4.6.9 Simbologia hidráulica

Figura 4.60

Simbologia hidráulica (I).

A simbologia utilizada em hidráulica pode ser vista nas figuras 4.60 a 4.64.

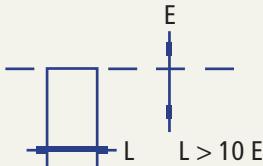
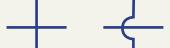
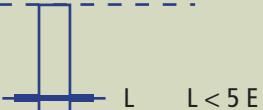
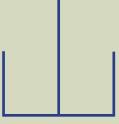
	Linha de pressão		União de linhas
	Linha piloto $L > 10 E$		Linhas cruzadas não conectadas
	Linha de dreno $L < 5 E$		Direção de fluxo
	Linha de contorno. Delimita um conjunto de funções em um único corpo		Reservatório aberto à atmosfera
	Conector		Linha terminando abaixo do nível de fluido
	Linha flexível		Linha terminando acima do nível de fluido

Figura 4.61
Símbologia hidráulica (2).

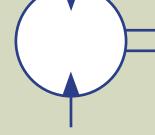
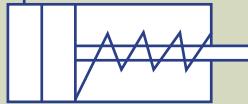
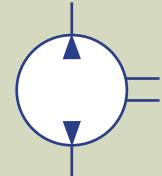
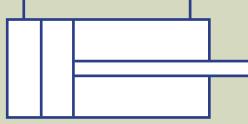
	Linha sob carga		Motor rotativo, deslocamento fixo
	Plugue ou conexão bloqueados		Motor rotativo, deslocamento variável
	Restrição fixa		Motor reversível, dois sentidos de fluxo
	Restrição variável		Motor oscilante
	Bomba simples, deslocamento fixo		Cilindro de simples ação com retração por mola
	Bomba simples, deslocamento variável		Cilindro de ação simples com avanço por mola
	Bomba reversível com dois sentidos de fluxo		Cilindro de dupla ação

Figura 4.62

Símbologia hidráulica (3).

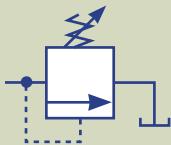
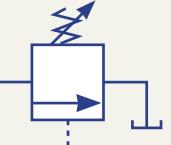
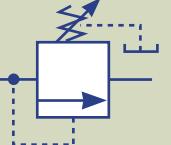
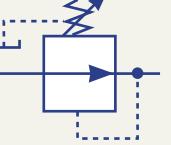
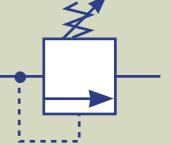
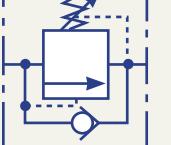
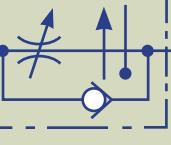
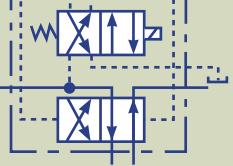
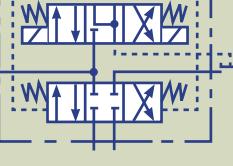
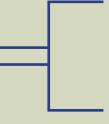
	Acumulador por gás com membrana		Pressostato
	Acumulador por gás com pistão		Válvula de retenção sem mola
	Filtro		Válvula de retenção com mola
	Aquecedor na linha		Válvula de retenção pilotada para abrir
	Regulador de temperatura sem representação das linhas de fluxo do meio refrigerante		Válvula de retenção pilotada para fechar
	Regulador de temperatura (as setas indicam que o calor pode ser introduzido ou dissipado)		Válvula de retenção dupla ou geminada
	Intensificador de pressão		Válvula agulha

Figura 4.63
Símbologia hidráulica (4).

	Componente básico de válvula		Válvula de passagem única, normalmente fechada
	Válvula de passagem única, normalmente aberta		Quatro conexões bloqueadas
	Duas conexões bloqueadas		Válvula direcional duas posições, três vias
	Dois direções de fluxo		Válvula direcional duas posições, quatro vias
	Dois direções de fluxo interligados		Válvula direcional, três posições, quatro vias (centro aberto)
	Uma direção de fluxo em tandem e dois bloqueios		Válvula de posicionamento infinito (indicado por barras horizontais de centro fechado)
			Válvula desaceleradora normalmente aberta

Figura 4.64

Símbologia hidráulica (5).

	Válvula de segurança
	Válvula de descarga com dreno interno controlada remotamente
	Válvula de sequência atuada diretamente e drenada externamente
	Válvula redutora de pressão
	Válvula de contrabalanço
	Válvula de contrabalanço com retenção integral
	Válvula controladora de fluxo com compensação de pressão e temperatura com retenção integral
	Válvula seletora de manômetro simples
	Válvula seletora de manômetro com manômetro incorporado
	Válvula de controle direcional 4/2 operada por pressão por meio de uma válvula piloto, comandada por solenoide, com retorno de mola
	Válvula de controle direcional 4/2 (Simplificada)
	Válvula de controle direcional 4/3 operada por pressão por meio de uma válvula piloto, comandada por solenoide, com centragem por molas
	Válvula de controle direcional 4/3 (Simplificada)
	Por ação muscular (símbolo básico, sem indicação do modo de operação)

4.7 Circuitos hidráulicos práticos

Exercícios de treinamento FESTO

1. Uma indústria de rações realiza a dosagem em suas embalagens através de um silo controlado por atuador hidráulico de dupla ação. O acionamento do dispositivo de abertura é feito com o recuo do atuador, comandado pelo acionamento de um botão. Ao chegar ao início de curso, o atuador permanece nessa posição por 5 segundos, após o qual avança novamente, fechando o silo. Elaborar o circuito hidráulico de trabalho para esse dispositivo (ver figura 4.65).

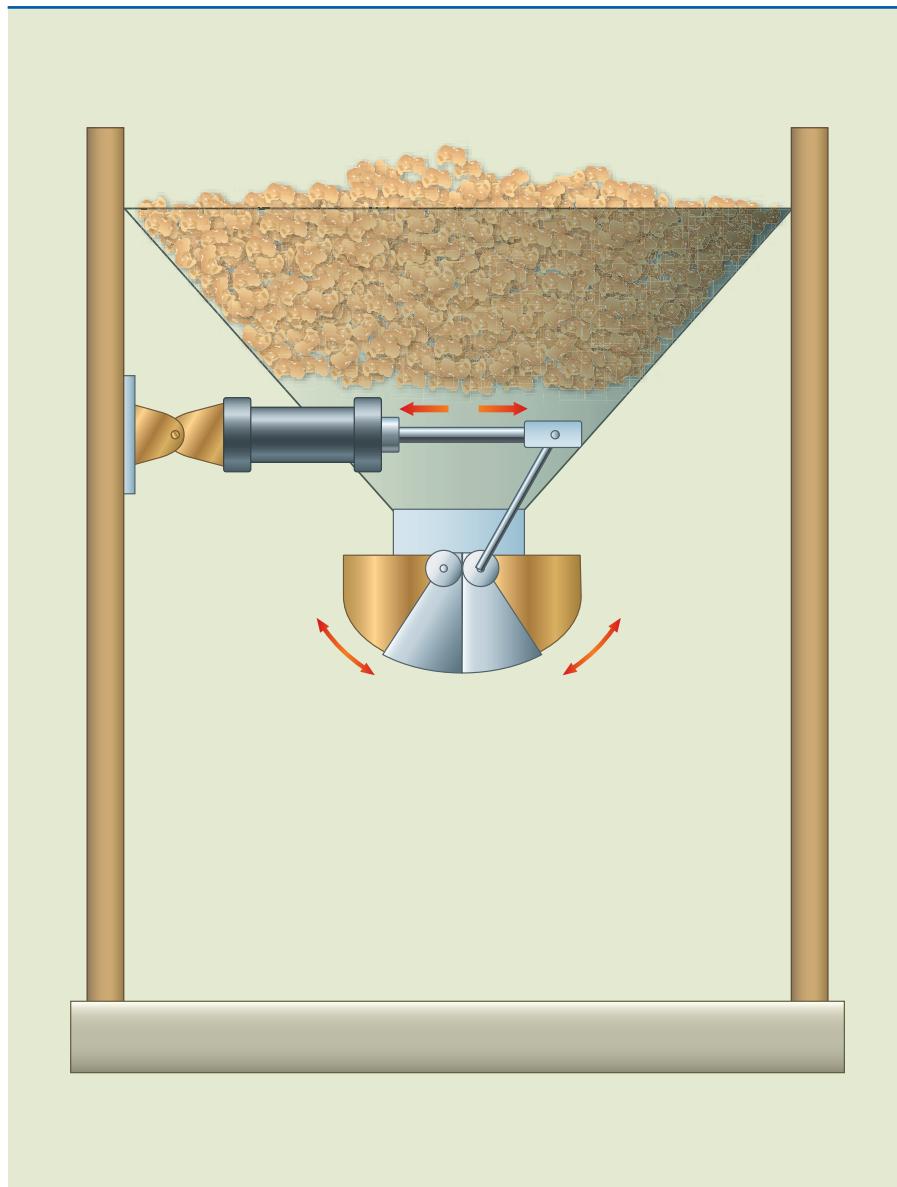


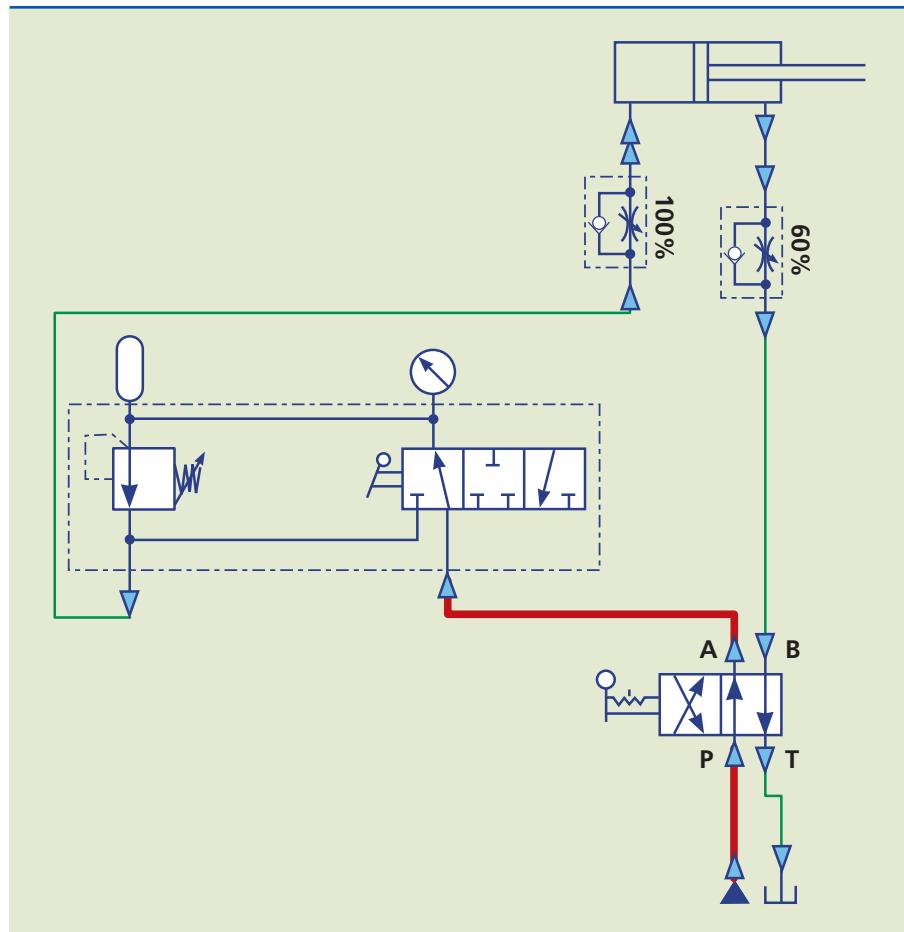
Figura 4.65

Sistema para dosagem de embalagens.

Solução:

Figura 4.66

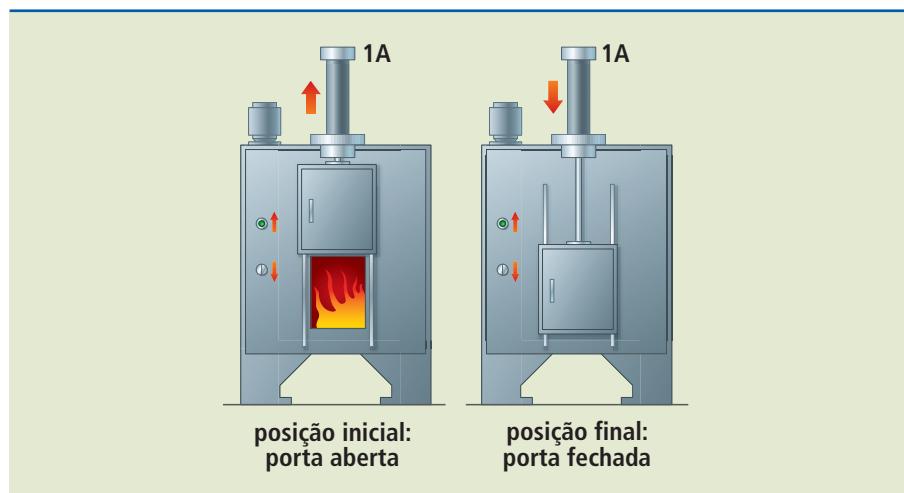
Círculo hidráulico
(solução).



2. Um dispositivo controla a abertura e o fechamento de uma porta de forno, utilizando um cilindro hidráulico de dupla ação. Desenvolver um circuito hidráulico para comandar o fechamento e a abertura total ou parcial da porta (ver figura 4.67).

Figura 4.67

Dispositivo de abertura e fechamento de uma porta de forno.



Solução:

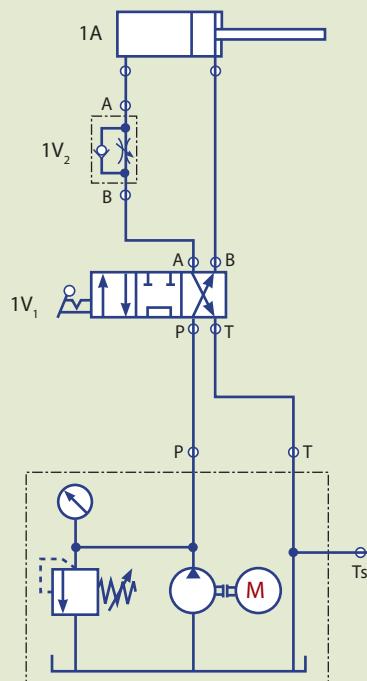


Figura 4.68
Círculo hidráulico
(solução).

3. Uma furadeira (figura 4.69) funciona com a utilização de dois pistões hidráulicos de dupla ação, o primeiro fixa a peça a ser furada, e o segundo avança empurrando a broca de furação assim que a peça esteja totalmente fixada. Elaborar um circuito hidráulico, utilizando a resolução com válvulas de seqüência.

Figura 4.69
Furadeira.

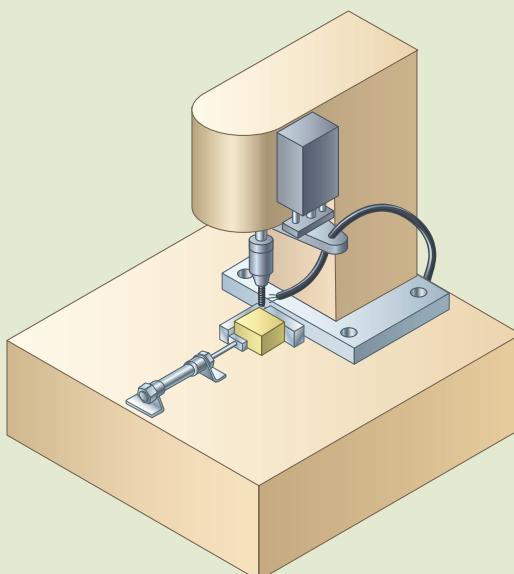
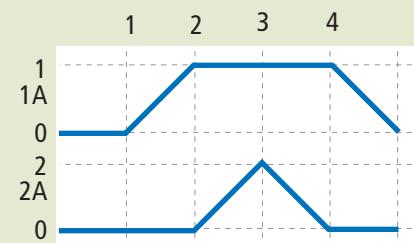


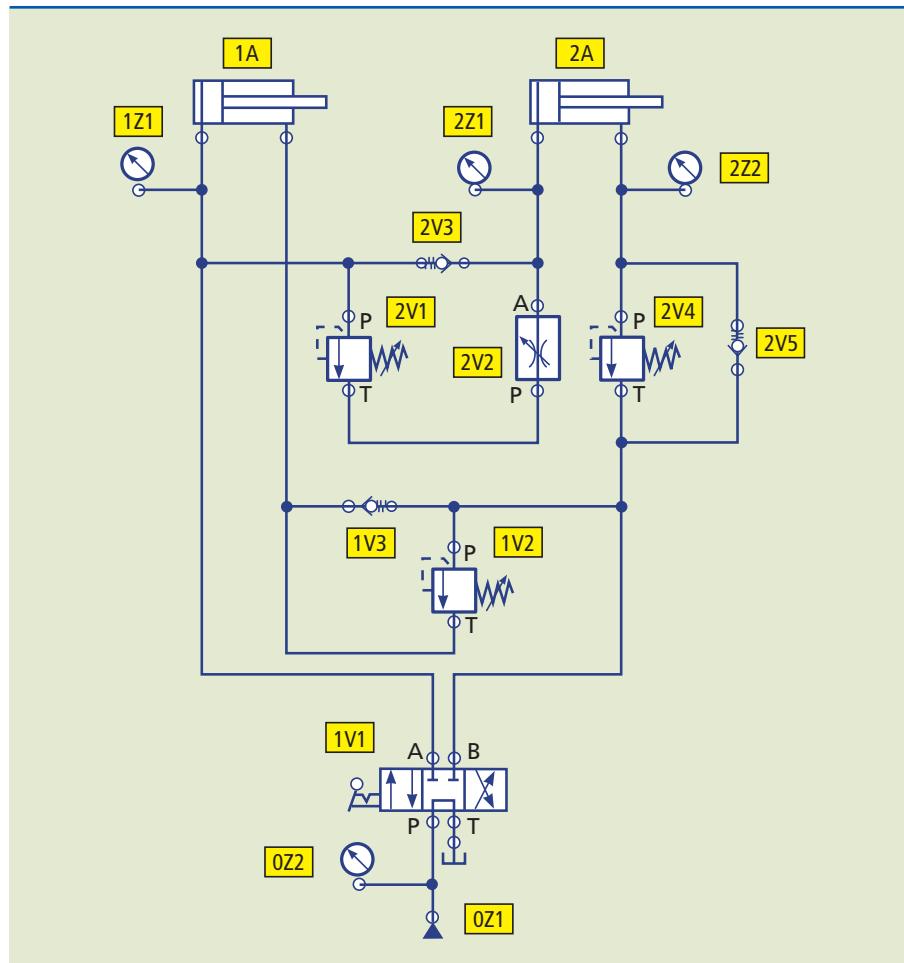
Diagrama Trajeto Passo



Solução:

Figura 4.70

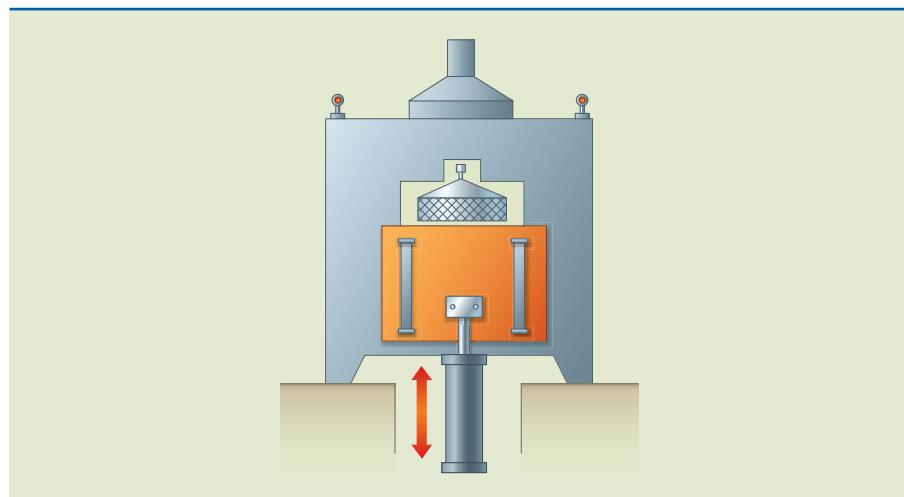
Círculo hidráulico
(solução).



4. Para abrir e fechar a porta de um forno de tratamento térmico (figura 4.71), utiliza-se um cilindro de dupla ação. Este deverá ser controlado por uma válvula direcional. No desacionamento, promove-se retorno e, no acionamento, o avanço.

Figura 4.71

Forno.



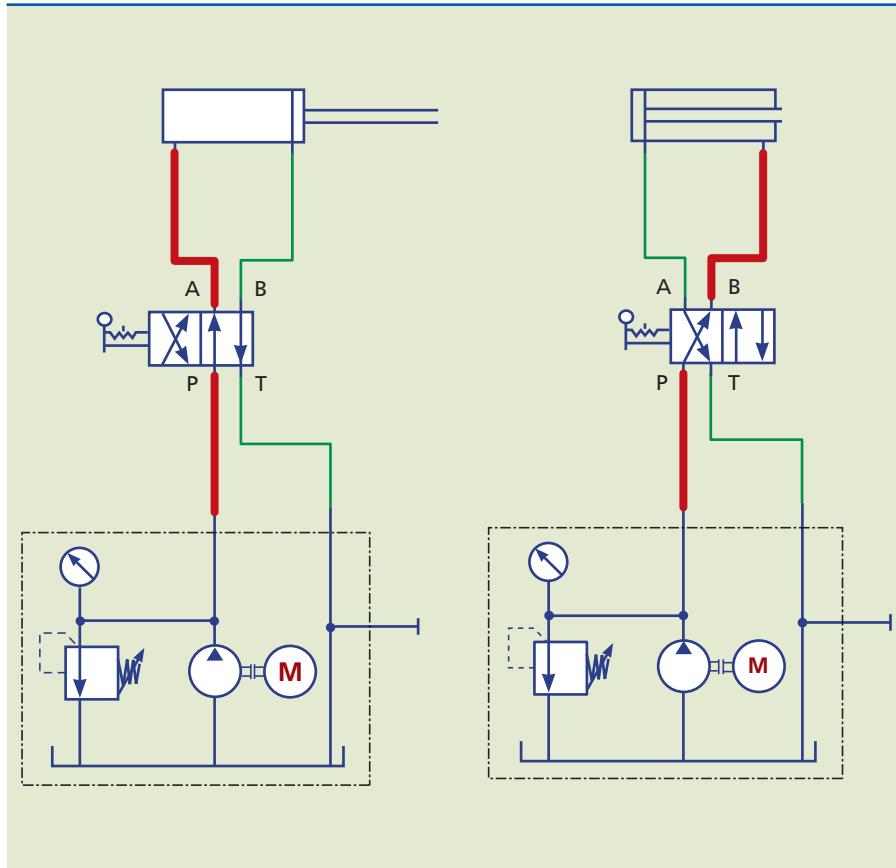


Figura 4.72
Círculo hidráulico
(solução).

5. Um elevador de carga (figura 4.73) deverá transportar volumes de grande peso da linha de produção da plataforma A, para o estoque B ou C. Durante a retirada do material, a plataforma deve ficar hidráulicamente fixada.

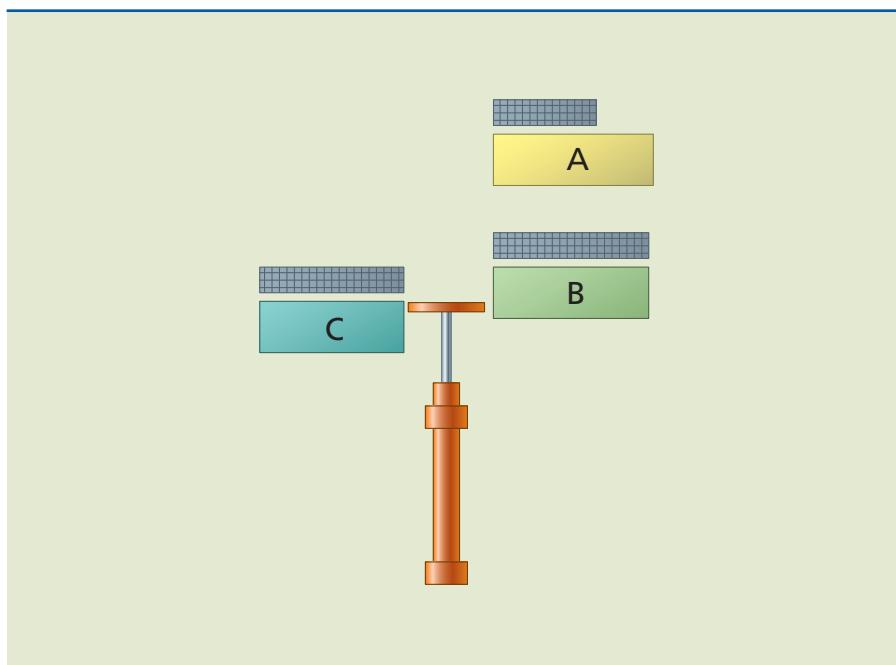


Figura 4.73
Elevador de carga.

Solução:

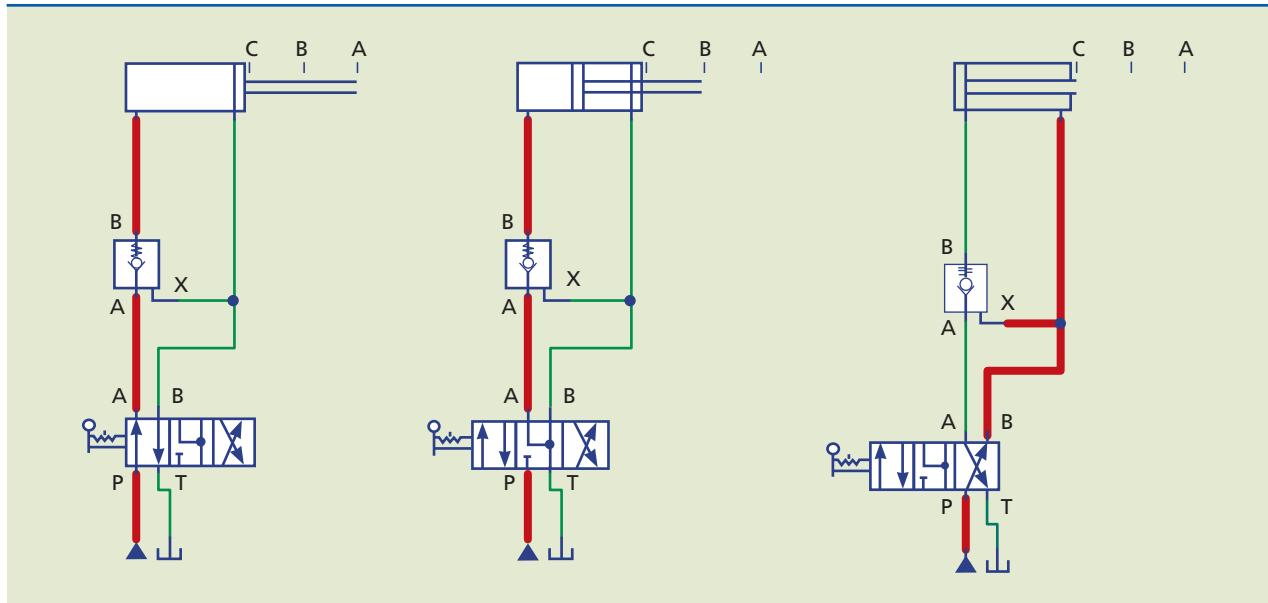


Figura 4.74

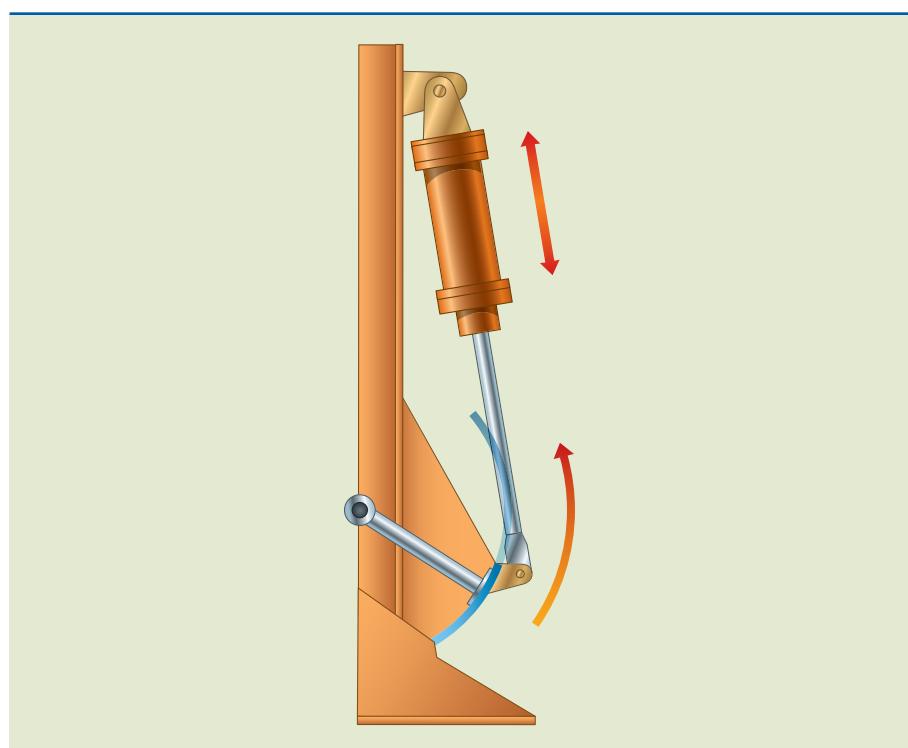
Círculo hidráulico
(solução).

6. Em um forno de tratamento térmico (figura 4.75), o movimento de abertura e fechamento da porta é realizado por meio de um cilindro hidráulico de dupla ação.

A abertura da porta (com o recuo do pistão) deve ser em velocidade normal, e o fechamento deve ser executado lentamente, de forma a não promover impacto durante o processo.

Figura 4.75

Porta de forno.



Solução:

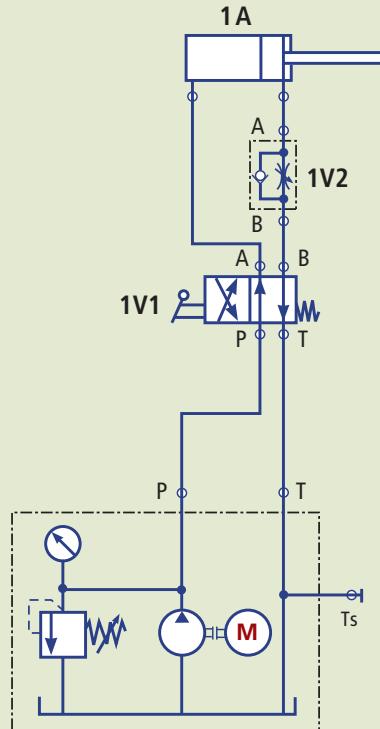


Figura 4.76

Círculo hidráulico (solução).

7. Uma morsa (figura 4.77) é utilizada para fixar peças de diferentes materiais. Essas peças deverão ser furadas e retrabalhadas com alargadores. Como a morsa vai prender vários tipos de materiais com durezas diferenciadas, a pressão de fixação deverá ser regulada em função do material da peça.

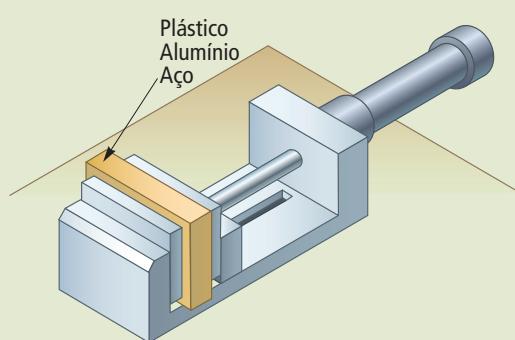
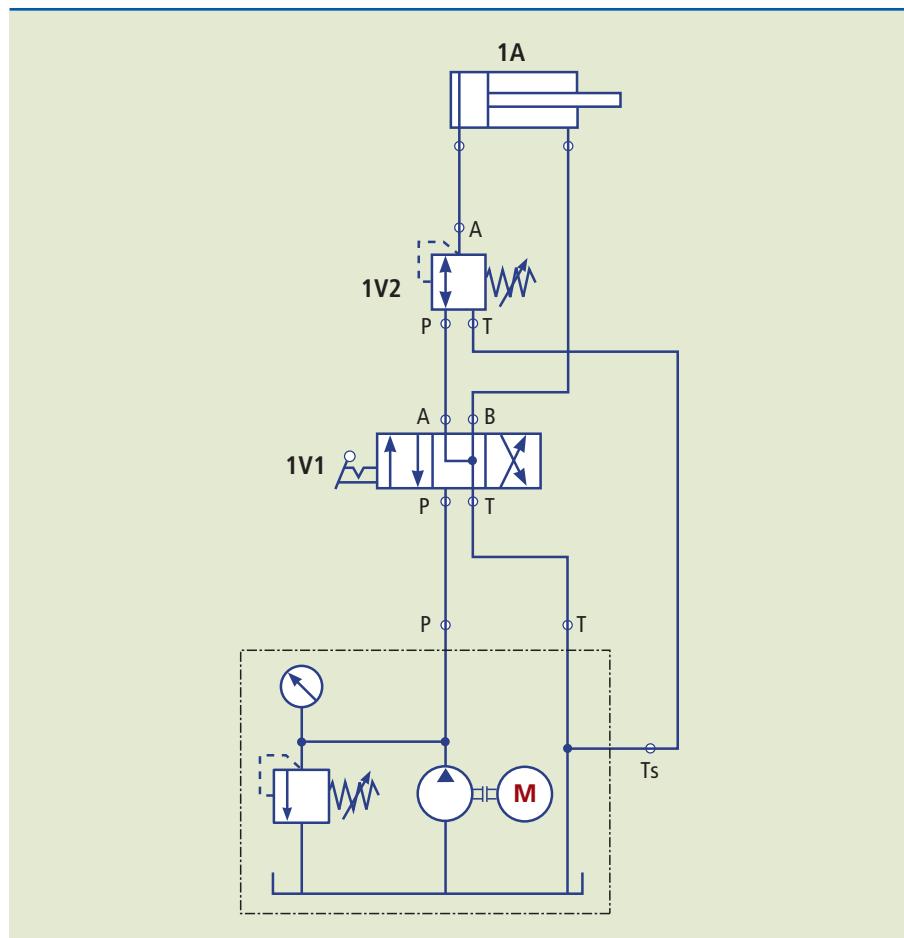


Figura 4.77

Solução:

Figura 4.78

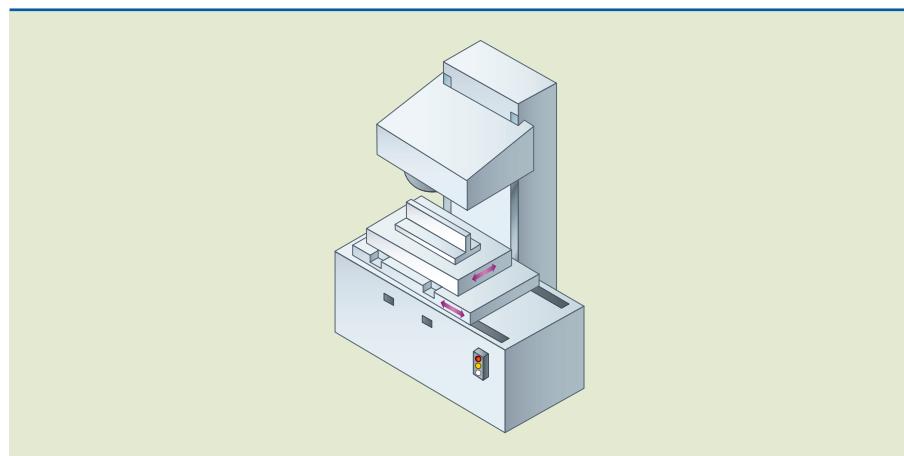
Círculo hidráulico (solução).



8. Uma máquina usada para retificar (figura 4.79) tem o movimento da mesa realizado por um cilindro hidráulico. Durante o processo, não pode existir alteração de velocidade de movimento da mesa, o que pode acontecer em função da resistência ao corte inerente do processo no momento da usinagem. Por esse motivo, as velocidades de avanço e retorno deverão ser compensadas quanto à pressão.

Figura 4.79

Retífica.



Solução:

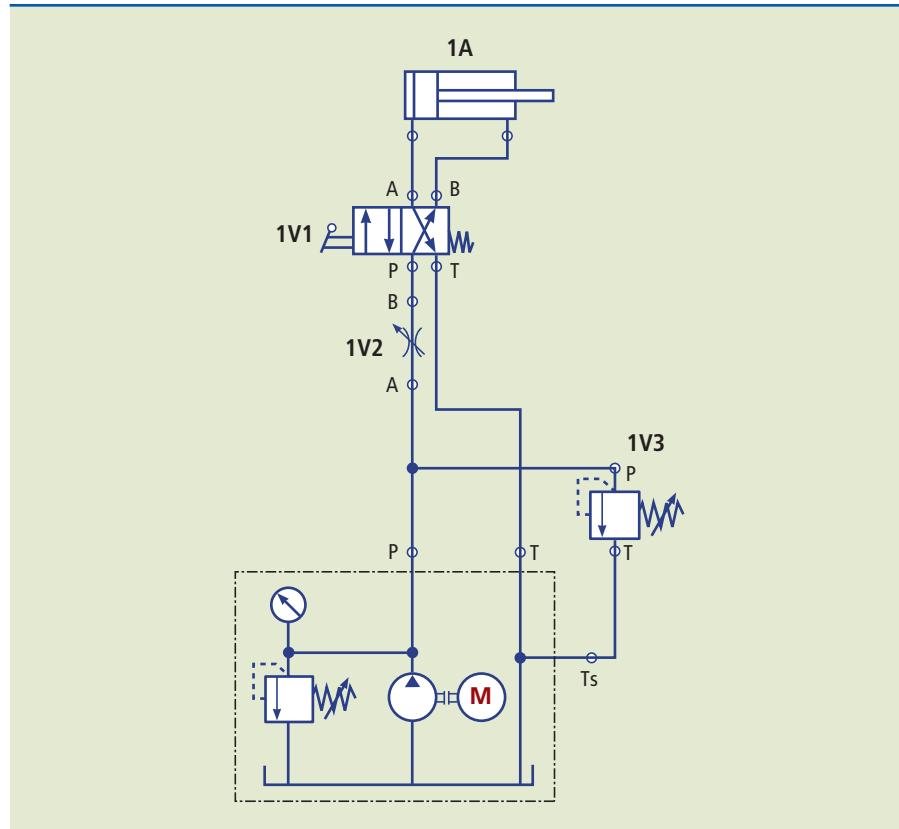


Figura 4.80

Círculo hidráulico
(solução).

