

APOSTILA DE PNEUMÁTICA

Sumário

1. Introdução	5
2. Preparação do ar comprimido	6
Pressão	6
▪ Pressão em um atuador pneumático	6
Propriedades Físicas do Ar	6
▪ Expansibilidade	6
▪ Compressibilidade	7
▪ Elasticidade	7
Leis dos Gases Ideais	7
▪ Lei de Boyle	7
▪ Lei de Charles	7
▪ Lei de Amonton	8
▪ Lei de Dalton	8
▪ Hipótese de Avogadro	8
▪ Lei de Poisson	8
▪ Lei de Gay-Lussac	8
Leis da termodinâmica	9
▪ 1 ^a lei	9
▪ 2 ^a lei	9
▪ 3 ^a lei	9
Compressão do ar	9
▪ Compressão Isotérmica	10
▪ Compressão isentrópica	10
▪ Compressão politrópica	10
Ar e ar comprimido	11
3. Características dos Sistemas Pneumáticos	12
4. Produção, Distribuição e Tratamento do Ar Comprimido	13
Qualidade do Ar	13
Sistema de Produção e Preparação do Ar Comprimido	13
Compressores	14
▪ Difusor	15
▪ Critérios para a Escolha de Compressores	15
▪ Pressão	17
▪ Função do Reservatório	17
▪ Impureza	18
▪ Secador	18
Secagem do Ar	18

▪ Resfriamento:.....	19
▪ Adsorção:.....	19
▪ Absorção.....	20
▪ Sobrepressão:.....	20
Distribuição de Ar Comprimido.....	20
▪ Rede de distribuição.....	20
▪ Layout.....	21
▪ Redes.....	21
▪ Inclinação, tomadas de ar e drenagem da umidade.	22
▪ Curvatura	23
▪ Materiais da tubulação principal	23
• Conexões para tubulações secundárias	23
▪ Vazamento.....	24
▪ Dimensionamento da perda de carga	24
Tratamento do Ar Comprimido	25
▪ Filtro	25
▪ Filtro Coalescente	25
▪ Válvula Reguladora de Pressão	26
▪ Filtro/regulador conjugado	26
▪ O Lubrificador.....	27
5. Válvulas Pneumáticas	28
Coeficiente de vazão	28
Válvula de Controle Direcional.....	31
▪ Válvula 3/2 Vias	32
▪ Válvula 5/2 vias	33
▪ Operadores	33
▪ Exemplos de Válvulas Direcionais com Operadores	34
▪ Símbolos de Válvulas	35
▪ Nomenclatura dos orifícios	35
Válvulas de Bloqueio (Anti-Retorno)	36
Válvulas de Controle de Fluxo	36
Válvulas de Controle de Pressão	37
6. Atuadores Pneumáticos	38
Controle da velocidade de deslocamento do êmbolo	38
Seleção de um cilindro (ou atuador) pneumático:	39
▪ Fatores de correção da força.....	39
Atuadores Lineares.....	40
▪ Cilindro de Simples Ação	40

▪ Cilindro de Dupla Ação.....	42
▪ Outros exemplos de atuadores lineares	43
Atuadores Rotativos.....	45
Cilindros de Fixação	46
Elementos Construtivos	47
Amortecimento de Fim de Curso.....	47
Dimensionamento do cilindro.....	49
Flambagem da haste	50
Controle de velocidade	52
Cadeia de comando.....	55
7. Outros Dispositivos Pneumáticos	67
Mesa Pneumática	67
Pinça Pneumática	67
8. Motores Pneumáticos.....	68
Motores Rotativos	68
Motores de Pistões	69
Motores de Turbina.....	70
9. Comandos Pneumáticos Sequenciais	71
Representação dos movimentos.....	71
Formas de representação.....	71
▪ Sequência cronológica	71
▪ Anotação em forma de tabela.....	72
Diagrama de movimentos	72
▪ Diagrama Trajeto-Passo.....	72
▪ Diagrama Trajeto-Tempo	73
▪ Diagrama de Comando	73
Método de construção de comandos pneumáticos	74
▪ Método Intuitivo.....	74
▪ Construção do circuito.....	74
10. Anexos	77
Simbologia.....	77
▪ Atuadores.....	77
▪ Válvulas Direcionais	77
▪ Acionamentos	77
▪ Acessórios.....	78
▪ Componentes Elétricos	78
Tipos de Compressores	78
Sistemas Pneumáticos	79
Visão Geral	80

Anotações:.....	80
Exercícios Práticos	81
▪ Pneumáticos	81
▪ Eletropneumáticos.....	85
11. Bibliografia.....	90

1. Introdução

Pneumática é o ramo da engenharia que estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando. De acordo com a ISO 5598 – Sistemas e Componentes Hidráulicos e Pneumáticos – Terminologia, a **pneumática** refere-se à ciência e tecnologia que trata do uso do ar ou gases neutros como meio de transmissão de potência.

A partir disso podemos identificar dois âmbitos tecnológicos diferentes.

- O primeiro refere-se à produção, condicionamento e distribuição do ar comprimido, envolvendo o estudo de processos de compressão, filtragem e secagem;
- O outro mostra o desenvolvimento tecnológico e dimensionamento dos componentes para realizar tais funções.

As fontes de ar comprimido alimentam os circuitos pneumáticos, que incluem válvulas e cilindros interligados através de tubulações, com objetivo de converter, de forma controlada, a energia pneumática em energia mecânica linear, de translação ou de rotação. O circuito pneumático é entendido como parte de um sistema pneumático, o qual engloba também os sensores, controladores, circuitos elétricos e outros componentes que viabilizam a automação ou controle de um processo.

A pneumática vem ampliando cada vez mais sua presença na indústria em face da capacidade de realizar ações rápidas e de forma segura, principalmente quando se trata de servir como atuação mecânica em equipamentos com ciclos operacionais complexos.

Atualmente existem várias aplicações da pneumática no meio industrial e mesmo na nossa vida diária. Entre alguns exemplos de aplicações atuais de pneumática podemos citar:

- prensas pneumáticas;
- dispositivos de fixação de peças em máquinas ferramenta e esteiras;
- acionamento de portas de um ônibus urbano ou dos trens do metrô;
- sistemas automatizados para alimentação de peças;
- robôs industriais para aplicações que não exijam posicionamento preciso;
- freios de caminhão;
- parafusadeiras e lixadeiras;
- broca de dentista;
- pistola de pintura;



Parafusadeira



Presa Pneumática

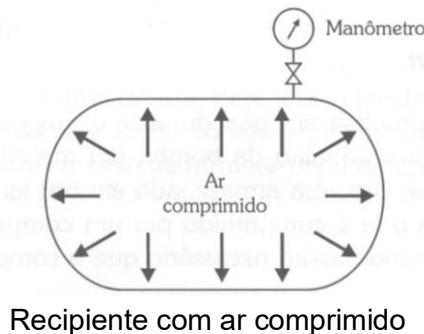
A seguir são apresentados os conceitos de geração, preparação e distribuição de ar comprimido, atuadores e válvulas que compõem os sistemas pneumáticos, além de outros dispositivos.

2. Preparação do ar comprimido

Para entender as características dos sistemas pneumáticos é necessário estudar comportamento do ar. Para isso são apresentados os seguintes conceitos:

Pressão

Em termos de pneumática, define-se pressão como sendo a força exercida em função da compressão do ar em um recipiente, por unidade de área interna dele. Sua unidade S.I. é dada em N/m² ou Pa (pascal), embora seja comum ainda a utilização de unidades como (atm, bar, kgf/mm², Psi, etc).



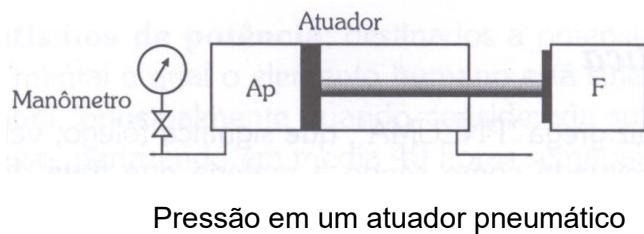
Recipiente com ar comprimido

A pressão atmosférica ao nível do mar vale 1,013 bar ($=1,013 \cdot 10^{-3}$ N/m² = 103 Pa).

- *Pressão em um atuador pneumático*

É a relação entre a força que se opõe ao movimento de extensão de um atuador e a seção transversal interna dele. (A_p = Área do pistão)

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



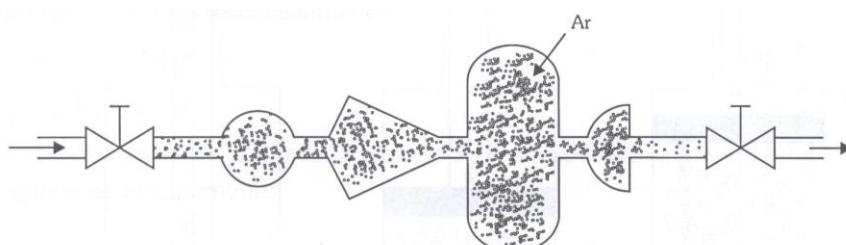
Pressão em um atuador pneumático

Propriedades Físicas do Ar

Para uma melhor compreensão das vantagens da utilização da pneumática como meio de automação, serão estudadas a seguir algumas propriedades físicas do ar que dão a pneumática o status de meio de automatização de custo baixo, limpo e altamente rentável.

- *Expansibilidade*

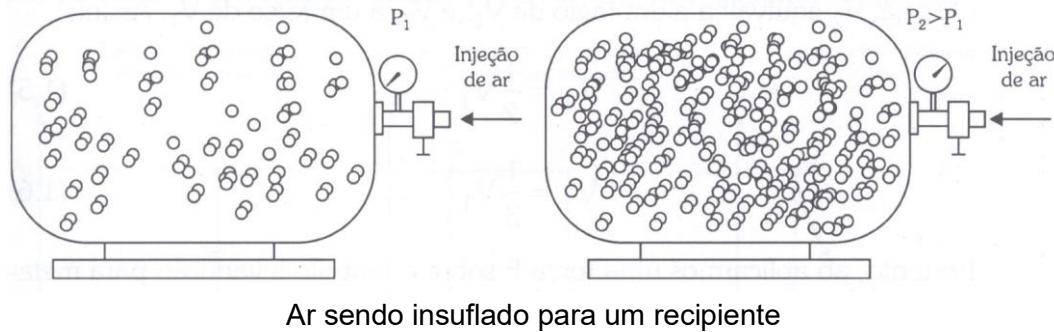
O ar, bem como todos os gases, não tem forma definida, o que lhe permite adquirir a forma do recipiente que o contém, mudando sua forma ao menos esforço.



Expansibilidade do ar nas diversas formas pelas quais circula

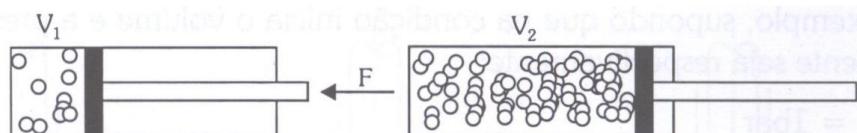
- *Compressibilidade*

Como visto acima, o ar expande-se ocupando totalmente o ambiente pelo qual circule. Assim, pode-se concluir que por meios mecânicos é possível levá-lo à condição oposta, ou seja, comprimi-lo. Desta forma, se tivermos um recipiente que possa ser hermeticamente fechado, e o dotarmos de um mecanismo que impeça a saída desse ar (válvula de retenção), podemos insuflá-lo nesse recipiente, em quantidade, tanto quanto o limite de segurança (resistência do compartimento) suportar. Quanto mais o fluido for insuflado no recipiente, mais a pressão interna do mesmo aumentará.



- *Elasticidade*

É a propriedade que possibilita ao ar retornar a seu volume inicial, uma vez cessado o esforço que o havia comprimido.



Retorno do êmbolo à condição inicial cessada a força F (propriedade de elasticidade)

Leis dos Gases Ideais

As leis dos gases estão embasadas no comportamento de gases perfeitos ou misturas de gases perfeitos. Tais leis são estas a seguir:

- *Lei de Boyle*

Afirma que o volume (V) de um gás, a uma temperatura constante varia inversamente com a pressão (P).

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad \text{ou} \quad P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \text{constante}$$

- *Lei de Charles*

Afirma que o volume de um gás, a pressão constante, varia diretamente com a temperatura absoluta (T).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{ou} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{constante}$$

- *Lei de Amonton*

Afirma que a pressão de um gás, a volume constante, varia diretamente com a temperatura absoluta.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{ou} \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{constante}$$

- *Lei de Dalton*

Indica que a pressão total de uma mistura de gases é igual à soma das pressões parciais dos gases presentes (pressão parcial sendo a pressão que um determinado componente em uma mistura exerce sobre a mistura total).

$$P = \sum_1^m P_n$$

- *Hipótese de Avogadro*

Afirma que volumes iguais de todos os gases sob a mesma condição de pressão e temperatura contêm o mesmo número de moléculas. Uma vez que um mol de uma substância contém o mesmo número de moléculas, o volume molar de todos os gases é o mesmo. O número de moléculas de um mol é:

$$6,02257 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

- *Lei de Poisson*

Afirma que para um processo sem troca de calor com o ambiente, a relação entre a pressão e volume segue o modo matemático abaixo:

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

onde γ é a razão entre o calor específico a pressão constante de calor específico a volume constante: $\gamma = C_p/C_v$

- *Lei de Gay-Lussac*

Afirma que sob volume constante, a pressão de uma quantidade constante de gás aumenta proporcionalmente com a temperatura.

$$\frac{P}{T} = \text{constante}$$

Com base nas leis de Charles, Boyle e Gay-Lussac e na hipótese de Avogadro, Clapeyron estabeleceu uma relação entre as quatro variáveis físicas de um gás, que são: temperatura, pressão, volume e o número de mols. Matematicamente, essa relação é descrita da seguinte forma:

$$PV = nRT$$

Onde: \mathbf{R} é a constante do gás que é igual à 287 J/Kg.K para o ar;

e \mathbf{n} é número de mol do gás, cujo valor pode ser determinado a partir da razão entre a massa do gás e a massa molar do mesmo, ou seja: $n = \frac{m}{M}$

Leis da termodinâmica

- **1^a lei**

Para todo o sistema de massa constante, a quantidade de trabalho aplicado no ou pelo sistema é igual à quantidade de energia para ou do sistema.

- **2^a lei**

A energia existe em vários níveis de temperatura, mas está disponível para uso somente se puder passar de um nível superior para um nível inferior de temperatura.

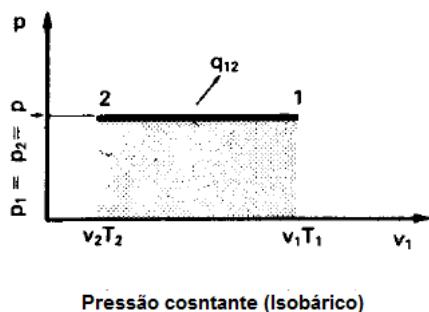
- **3^a lei**

A entropia de uma substância se aproxima de zero quando a sua temperatura se aproxima de zero.

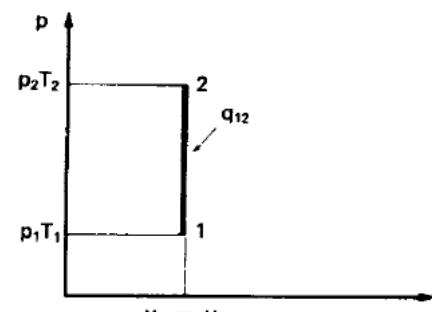
Compressão do ar

Existem quatro formas teóricas de compressão do ar. Destas, apenas a isotérmica e isentrópica precisam ser consideradas como ciclos práticos para a compressão do ar.

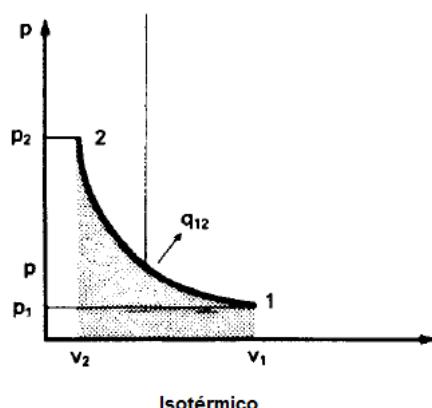
Além disso, existe um quinto ciclo, o politrópico, comumente utilizado como uma base para a estimativa de desempenho, que é o intermédio entre as curvas isotérmica e isentrópica. Isso leva em conta a observação prática que a real compressão pode lugar nem a temperatura constante, nem sem troca de calor para o ambiente. É caracterizado por o valor do expoente politrópico, n , um valor empírico que não é valores capazes de determinação teórica, mas que geralmente aceites para os vários tipos de compressores.



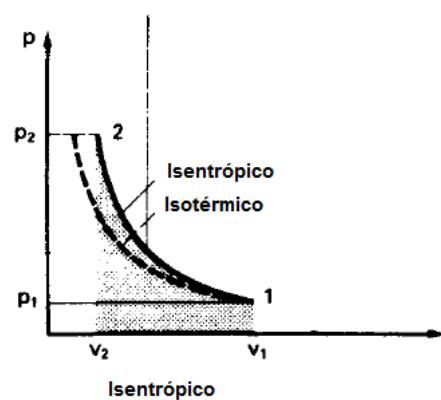
Pressão constante (Isobárico)



Volume constante (Isométrico)



Isotérmico



Isentrópico

Nota: Isentrópica - Diz-se de uma transformação termodinâmica em que a entropia do sistema se mantém constante.

- *Compressão Isotérmica*

$$P1.V1 = P2.V2 = \text{constante}$$

Trata-se de uma hipérbole do diagrama P-V. O trabalho realizado para comprimir e para distribuir o gás é igual à área sombreada no gráfico Isotérmico acima.

$$Q = \int_{V1}^{V2} PdV = \int_{V1}^{V2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \left(\frac{V1}{V2} \right) = P1V1 \cdot \ln \left(\frac{P2}{P1} \right)$$

Nas unidades práticas adequadas a um compressor trabalhando continuamente:

$$W = 0,1 \cdot p1q1 \cdot \ln \left(\frac{P2}{P1} \right)$$

onde p é em bar, q é a taxa de fluxo em l/s e W é a potência em kW.

Neste caso, o trabalho total inclui também a quantidade de calor extraído para manter a temperatura constante.

- *Compressão isentrópica*

Nenhum calor é extraído neste caso e a equação governante é:

$$PV^\gamma = \text{constante}$$

O trabalho realizado na compressão é:

$$Q = \int_{P1}^{P2} VdP = nRT \left[\left(\frac{P2}{P1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] = \frac{\gamma}{\gamma-1} P1V1 \left[\left(\frac{P2}{P1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Como referido anteriormente, o trabalho realizado em unidades práticas citadas acima é dado por:

$$W = 0,1 \cdot p1q1 \left[\left(\frac{P2}{P1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Note que p e q fazem referência às condições de admissão do compressor, que é a forma normal de citar o desempenho.

- *Compressão politrópica*

As equações necessárias para este tipo de compressão são obtidos por substituição dos Y por n, no expoente politrópico. Isto é mais do que para fins práticos um conceito que tem justificação teórica, n é normalmente obtida empiricamente ou por referência ao desempenho de compressores semelhantes.

Em contínuas condições de estado estacionário, é impossível atingir um ciclo isotérmico aproximado. A maioria das operações é adiabática. Isotérmico representa um objetivo teórico e, portanto a eficiência de uma unidade é geralmente calculada com base nisso.

$$\text{Eficiência Isotérmica, } \eta_{is} = \frac{\text{poder isotérmico}}{\text{poder real}}$$

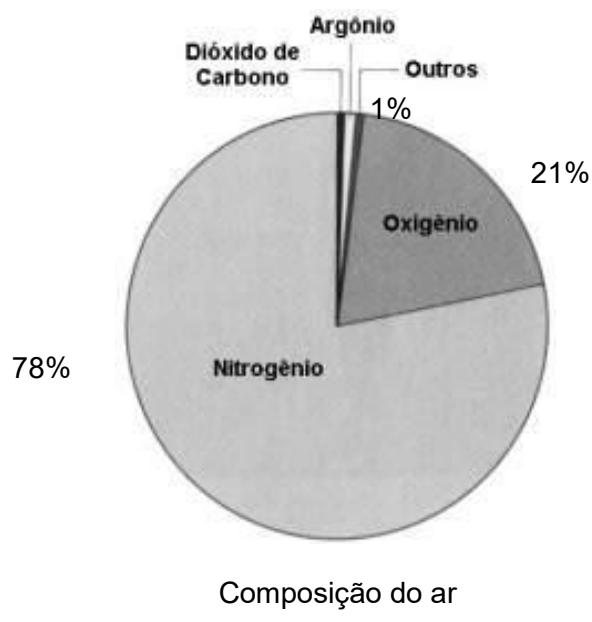
Uma vez que um compressor real é, normalmente, isentrópico ao invés de isotérmico, a eficiência isentrópica também é utilizada.

$$\text{Eficiência Isentrópica (ou adiabática)}, \eta_a = \frac{\text{poder adiabático}}{\text{poder real}}$$

Por vezes, pode acontecer num compressor muito eficiente que este valor excede a unidade. Isto ocorre quando medidas excepcionais foram tomadas para alcançar a refrigeração interna, como em alguns exemplos de injeção de óleo em compressores de parafuso.

Ar e ar comprimido

O ar seco é uma mistura de aproximadamente 78% de Nitrogênio, 21% de Oxigênio e 1% de uma minoria de outros gases.



O ar atmosférico normalmente contém água em forma de vapor (vapor d'água), e a pressão total desse ar é a soma das pressões parciais do ar seco e do vapor d'água. O ar se torna saturado quando a pressão parcial do vapor d'água é igual a pressão de saturação do vapor d'água em uma certa temperatura.

Quando o ar é resfriado a uma pressão constante, o ponto de orvalho é atingido quando a pressão é igual à pressão de saturação. O ponto de orvalho também pode ser definido como a temperatura à qual deve ser resfriado um gás para obter a condensação do vapor d'água. Qualquer resfriamento posterior irá resultar em água separada por condensação.

O ar comprimido é o ar atmosférico condensado, que possui energia de pressão armazenada e, portanto está em condição de realizar trabalho. Durante a compressão se produz calor. Quando o ar comprimido se expande, ocorre um resfriamento.

3. Características dos Sistemas Pneumáticos

Analisando as características do ar comprimido comentadas anteriormente podemos entender as características dos sistemas pneumáticos.

Entre as vantagens da utilização do ar comprimido temos:

- Facilidade de obtenção (volume ilimitado);
- Não apresenta riscos de faísca em atmosfera explosiva;
- Fácil armazenamento;
- Não contamina o ambiente (limpo e atóxico);
- Não necessita de linhas de retorno (escape para a atmosfera), ao contrário de sistemas elétricos e hidráulicos;
- Acionamentos podem ser sobrecarregados até a parada.

No entanto, o ar apresenta vapor d'água (umidade) como comentado. Esse vapor d'água pode se condensar ao longo da linha pneumática dependendo das condições de pressão e temperatura ao longo da linha. Se não houver um sistema para retirar a água, ela pode se acumular causando corrosão das tubulações. Para isso devem ser instalados drenos (purgadores), que podem ser manuais ou automáticos, colocados nos pontos mais baixos, distanciados aproximadamente 20 a 30m um do outro.

O ar apresenta também uma baixa viscosidade. A viscosidade mede a facilidade com que um fluido (gás ou líquido) escoa. Se um fluido tem baixa viscosidade implica que ele pode escoar por pequenos orifícios e, portanto a chance de ocorrer vazamentos é muito grande. Assim, vazamentos de ar em linhas pneumáticas são muito comuns.

Um ponto importante é a compressibilidade do ar. Se considerarmos um atuador pneumático que é essencialmente um pistão acionado pelo ar não conseguimos fazer esse pistão parar em posições intermediárias com precisão, pois o esforço na haste do pistão comprime o ar retirando o pistão da sua posição inicial de parada. Por isso, os atuadores pneumáticos possuem apenas duas posições limitadas por batentes mecânicos, uma vez que não é possível atingir posições intermediárias com precisão. Esse problema já não ocorre com os atuadores hidráulicos, pois o óleo é incompressível. Outra dificuldade imposta pela compressibilidade do ar é o controle e estabilidade da velocidade dos atuadores. Os atuadores pneumáticos não apresentam velocidades uniformes ao longo de seu curso.

Outro fator de extrema importância são os custos envolvidos, que quando levados em consideração para implantação dentro de uma indústria (produção, preparação, distribuição e manutenção), por exemplo, eles podem se considerados significativos. Entretanto o custo da energia é em parte compensado pelos elementos de preço vantajosos e pela rentabilidade do equipamento.

4. Produção, Distribuição e Tratamento do Ar Comprimido.

Qualidade do Ar

Os equipamentos pneumáticos (principalmente as válvulas) são constituídos de mecanismos muito delicados e sensíveis e para que possam funcionar de modo confiável, com bom rendimento, é necessário assegurar determinadas exigências de qualidade do ar comprimido:

- Pressão;
- Vazão;
- Teor de água;
- Teor de partículas sólidas;
- Teor de óleo.

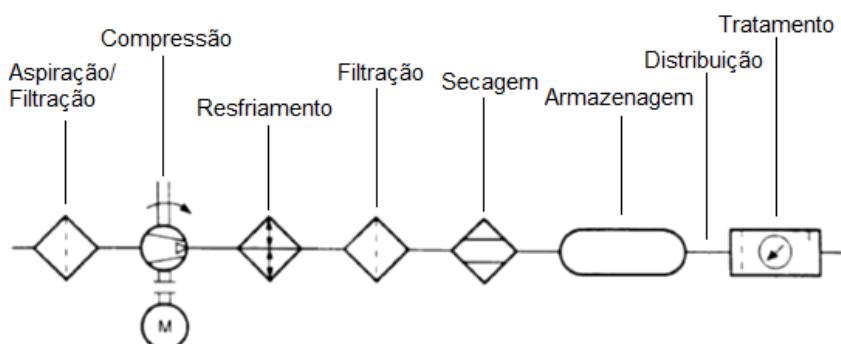
As grandezas de pressão e vazão estão relacionadas diretamente com a força e velocidade, respectivamente, do atuador pneumático. Cada componente pneumático tem sua especificação própria de pressão e vazão de operação. Para atender a essas especificações é necessária suficiente vazão no compressor, correta pressão na rede e tubulação de distribuição corretamente dimensionada em função da vazão. Já água, óleo e impurezas têm grande influência sobre a durabilidade e confiabilidade de componentes pneumáticos. O óleo em particular é usado para lubrificar os mecanismos dos sistemas pneumáticos.

Assim o ar deve passar por um tratamento rigoroso, que envolve filtros, secadores e lubrificadores, antes de ser distribuído na fábrica.

Sistema de Produção e Preparação do Ar Comprimido

A figura mostra as etapas que o ar comprimido passa desde a sua geração e tratamento até ser distribuído nas máquinas. Em geral, o ar comprimido é produzido de forma centralizada e distribuído na fábrica. Para atender às exigências de qualidade, o ar após ser comprimido sofre um tratamento que envolve:

- Filtração;
- Resfriamento;
- Secagem;
- Separação de impurezas sólida e líquidas inclusive vapor d'água.



Geração, tratamento e distribuição do ar comprimido.

Nessa figura cada equipamento por onde o ar passa é representado, por um símbolo. Em pneumática existe uma simbologia para representar todos os equipamentos pneumáticos. Assim

estão representados na figura, por exemplo, os símbolos do filtro, compressor, motor (elétrico ou de combustão), resfriador, secador e reservatório.

Vemos que o ar é aspirado pelo compressor, que é a máquina responsável por comprimir o ar. Na entrada do compressor existe um filtro para reter partículas sólidas do ar do meio ambiente. Ao ser comprimido, o ar aquece aumentando a temperatura em sete vezes. Assim é necessário resfriá-lo, pois a alta temperatura pode danificar a tubulação. Após o resfriamento o ar passa por um processo de secagem na tentativa de remover a água do ar que está sob a forma de vapor, além disso, sofre uma filtração para eliminar partículas sólidas introduzidas pelo compressor, por exemplo. O ar então é armazenado num reservatório que tem duas funções:

- Garantir uma reserva de ar de maneira a garantir que a pressão da linha se mantenha constante, evitando que o compressor tenha que ser ligado e desligado várias vezes.
- Alguns compressores, como o compressor de êmbolo geram pulsos de pressão na compressão do ar. O reservatório evita que esses pulsos de pressão sejam transmitidos para linha pneumática da fábrica.

Do reservatório, o ar é distribuído na fábrica e em cada máquina existe uma unidade de tratamento de ar que irá ajustar as características do ar comprimido de acordo com as necessidades específicas da máquina. O ar comprimido é então convertido em trabalho mecânico pelos atuadores pneumáticos.

Compressores

O compressor é uma máquina responsável por transformar energia mecânica (ou elétrica) em energia pneumática (ar comprimido), através da compressão do ar atmosférico.

Basicamente os compressores de ar se classificam em dois grupos distintos:



Compressor

Compressores Volumétricos (ou de deslocamento

positivo): A elevação de pressão é conseguida com a redução do volume ocupado pelo gás.

Na operação dessas máquinas podem ser identificadas diversas fases, que constituem o ciclo de funcionamento: inicialmente, certa quantidade de gás é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução do volume. Finalmente, a câmara é aberta e o gás liberado para consumo.

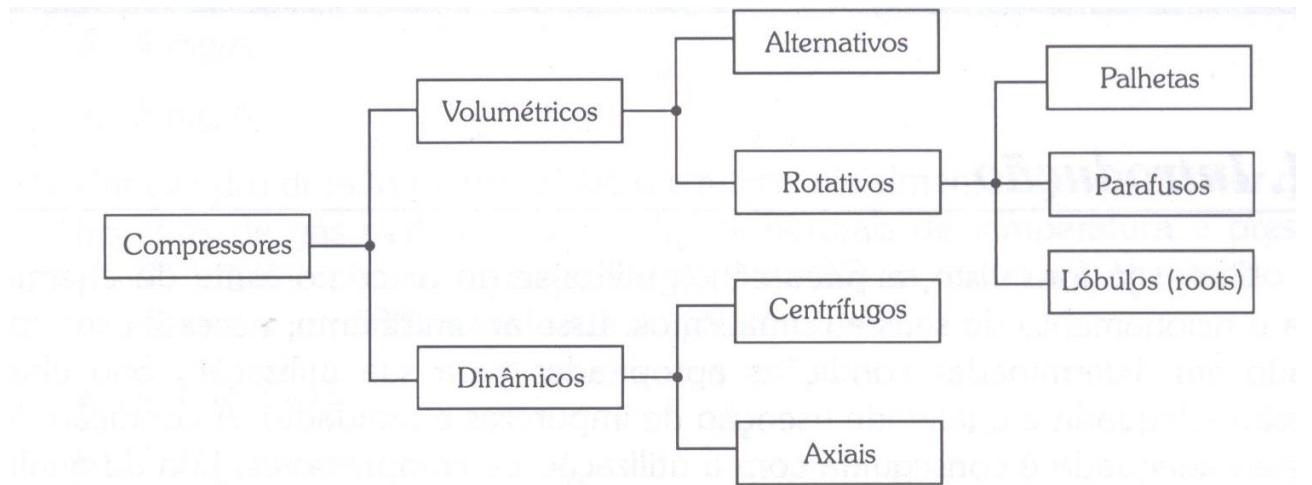
Trata-se de um processo intermitente, no qual a compressão propriamente dita é efetuada em sistema fechado, isto é, sem qualquer contato com sucção ou a descarga.

Compressores Dinâmicos (ou turbocompressores): Possuem dois órgãos principais: impelidor e difusor. O impelidor é um órgão rotativo munido de pás que transfere ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz em parte na forma cinética e em outra

parte na forma de entalpia. Posteriormente, o escoamento estabelecido no impelidor é recebido por um órgão fixo denominado difusor, cuja função é promover a transformação da energia cinética do gás em entalpia, com consequente ganho de pressão.

Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua, portanto corresponde exatamente ao que se denomina, em termodinâmica, um volume de controle.

Os compressores de maior uso na indústria são os alternativos, de palhetas, de parafuso, de lóbulo, centrífugos e axiais. Na figura abaixo essas espécies podem ser assim classificadas:



Tipos de Compressores

Numa comparação grosseira, pode-se dizer que os compressores de deslocamento positivo são adequados para maiores pressões e menores vazões e os dinâmicos, para menores pressões e maiores vazões.

- *Difusor*

É uma espécie de duto que provoca diminuição na velocidade de escoamento de um fluido, causando aumento de pressão.

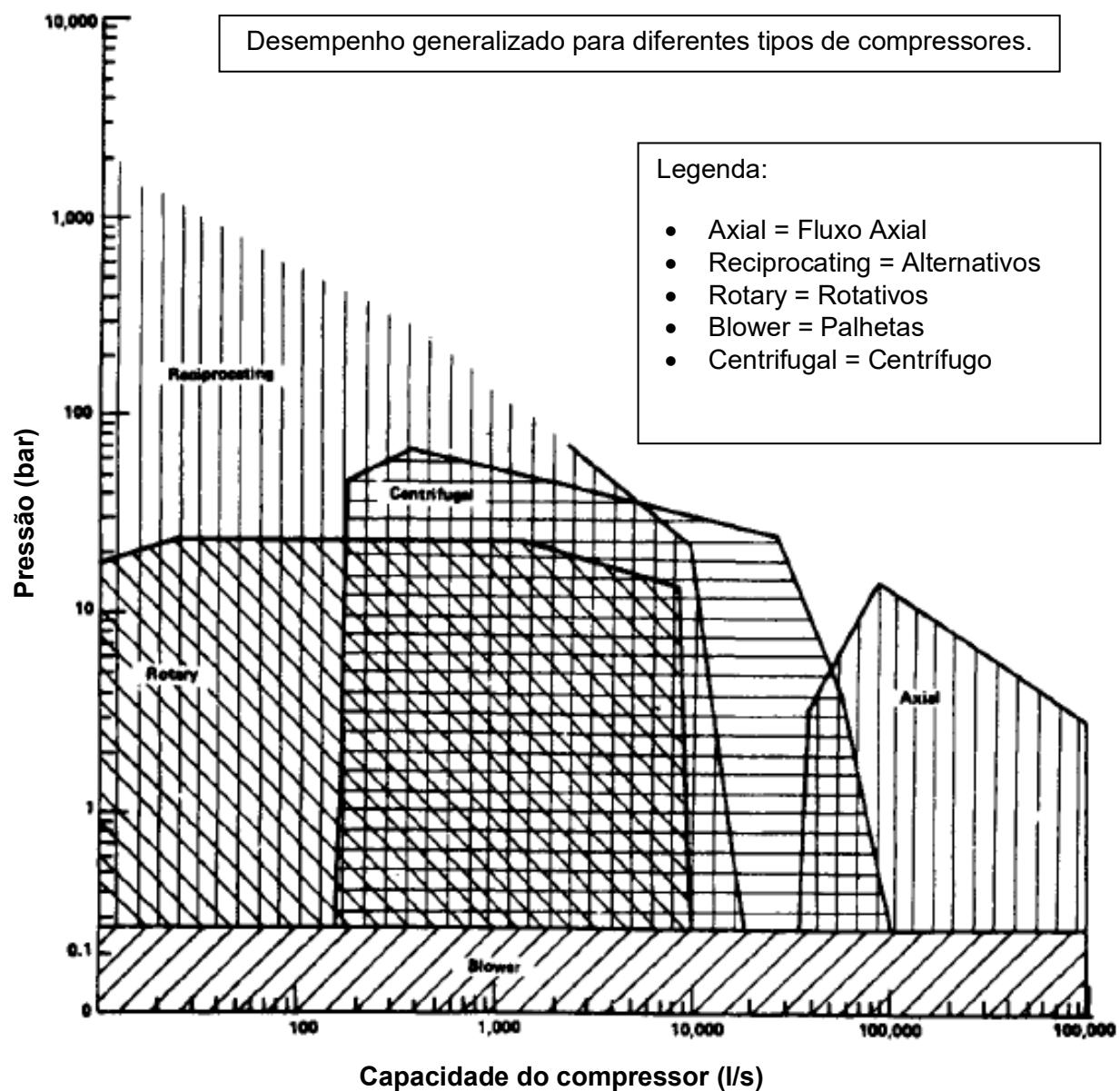
- *Critérios para a Escolha de Compressores*

Ao escolher o compressor correto para uma determinada instalação, os seguintes fatores devem ser levados em consideração:

- Máxima, mínima e média demanda. Se existe uma necessidade intermitente de ar, um conjunto de compressores de grande porte é necessário para satisfazer os requisitos de pico, a instalação pode ser muito pouco econômica, a não ser que o sistema de controle seja bem projetado. Dependendo das características do pico de procura (ou seja, se é a longo ou curto prazo), pode ser conveniente considerar um grande reservatório de ar como uma alternativa econômica para um grande compressor.
- Condições ambientais - altitude, temperatura e umidade. Em elevadas altitudes, devido a baixa densidade do ar, a eficiência do compressor e a sua capacidade são reduzidas. Muita umidade pode resultar em grandes quantidades de água que precisam ser eliminadas.

- Métodos de refrigeração disponível - disponibilidade de água de refrigeração ou temperatura ambiente para o arrefecimento do ar. A possibilidade de utilizar o calor residual para o aquecimento de espaços ou para aquecimento do processo deve ser considerada.
- Fatores Ambientais - ruído e vibração. Alicerces especiais podem ser necessários, particularmente para compressores alternativos.
- Requisitos para o pessoal de manutenção qualificado.

O próprio meio escolhido para a compressão do ar é provavelmente menos importante para o comprador de uma unidade completa do que é o preço de compra e custos de funcionamento. Para pequenos compressores utilizados na construção civil ou para uma utilização intermitente, o custo inicial é um parâmetro importante. Para grandes instalações permanentes, a fábrica, os custos de funcionamento (em particular os custos off-carga) são mais importantes. O desenvolvimento de métodos mais sofisticados de controle permite que praticamente qualquer tipo de compressor possa ser utilizado de forma eficiente. O gráfico abaixo mostra o mapa de ampla aplicação de alguns tipos de compressores.



- *Pressão*

- ✓ *Pressão de Regime:*

É a pressão fornecida pelo compressor acumulada no reservatório (armazém) e/ou a pressão da rede distribuidora até o consumidor.

- ✓ *Pressão de trabalho:*

É a pressão necessária nos lugares de trabalho.

A pressão de trabalho é geralmente de 7 bar. Também os elementos de trabalho são construídos para este limite. Este limite é quase considerado como "pressão de norma".

IMPORTANTE: Pressão constante é uma exigência para um funcionamento seguro e preciso.

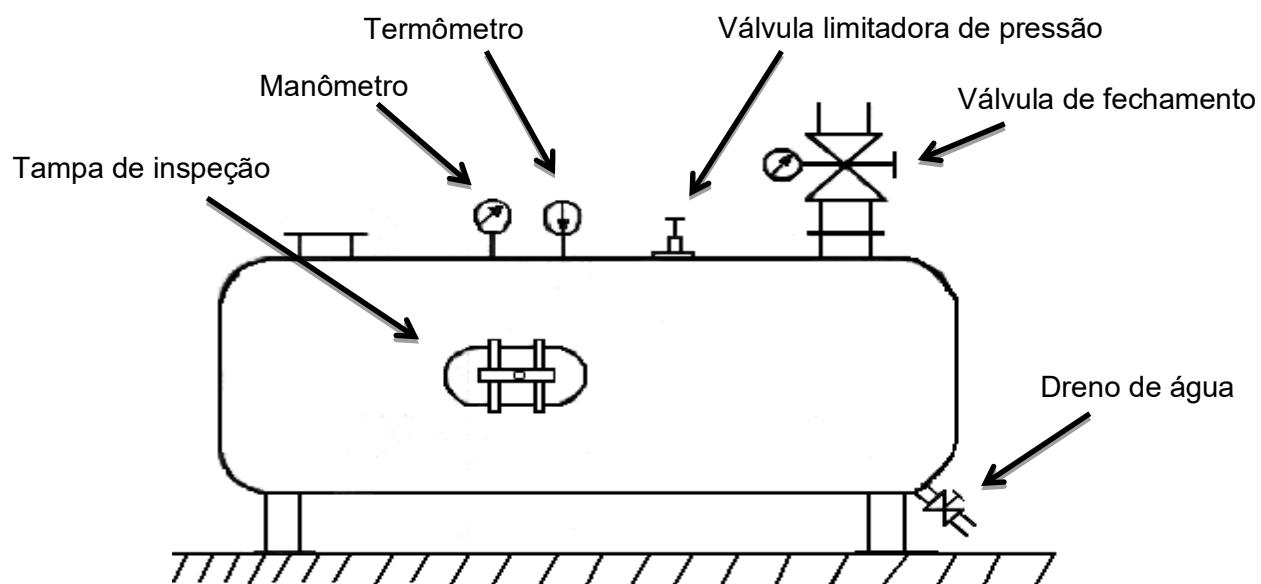
Na dependência da pressão constante estão:

- . as velocidade
- . as forças
- . os movimentos temporários dos elementos de trabalho.

- *Função do Reservatório*

O reservatório serve para a estabilização da distribuição do ar comprimido. Ele nivela as oscilações de pressão na rede distribuidora e, quando há um momentâneo alto consumo de ar, é uma garantia de reserva.

A grande superfície do reservatório refrigerará o ar suplementar. Por isso se separa, diretamente no reservatório, uma parte da umidade do ar como água.



Dimensionamento de Um Reservatório

O tamanho de um reservatório de ar comprimido depende de:

- Volume fornecido;
- Consumo de ar;
- Rede distribuidora (volume suplementar);
- Tipo de regulagem;
- Diferença de pressão da rede desejada.

- *Impureza*

Na prática, sempre se encontram exemplos em que se dá muito valor à boa qualidade do ar comprimido.

A impureza em forma de partículas de sujeira ou ferrugem, de restos de óleo e umidade provoca em muitos casos interrupção nas instalações pneumáticas, podendo ainda destruir os elementos pneumáticos.

A separação grossa da água condensada se faz através do separador, logo após o refrigerador.

A separação fina, filtragem e um possível outro tratamento do ar comprimido são feitos no lugar de trabalho.

É de grande importância dar a maior atenção à umidade eventualmente presente no ar comprimido.

A água (umidade) já entra na rede juntamente com o ar aspirado pelo compressor. O grau de umidade depende em primeiro lugar da umidade relativa do ar que está na dependência da temperatura do ar e da situação atmosférica.

$$Umidade Relativa = 100 \cdot \frac{Umidade Absoluta}{Quantidade de Saturação}$$

A umidade absoluta é a quantidade de água encontrada em 1Nm³ de ar.

A quantidade de saturação é a quantidade de água admitida por 1Nm³ a uma certa temperatura.

- *Secador*

É o elemento intermediário entre a linha de distribuição e o reservatório. É composto por um filtro para a retirada das impurezas e um condensador que tem como função separar e retirar ao máximo a água do ar.

Secagem do Ar

O ar possui água na forma de vapor. Este vapor d'água é aspirado pelo compressor junto com o ar. Esse vapor pode se condensar ao longo da linha dependendo da pressão e temperatura. A água acumulada pode ser eliminada através de filtros separadores de água e drenos dispostos ao longo da linha. No entanto um filtro não pode eliminar vapor d'água e para isso são necessários secadores.

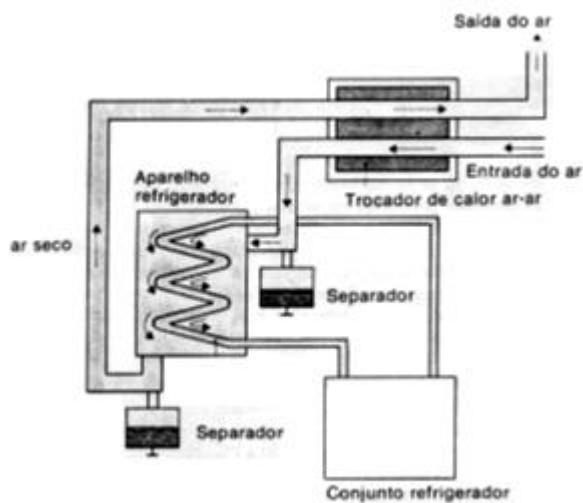
Para entendermos os princípios da secagem do ar vamos usar o fato que o ar é equivalente a uma esponja. Se a esponja estiver saturada de água, não poderá absorver mais água. Da mesma forma se a umidade do ar atingir o seu valor máximo, o mesmo não poderá absorver mais vapor d'água. Comprimindo uma esponja não saturada, diminuímos sua quantidade de água, o que é equivalente a aumentar a pressão do ar e ocorrer condensação do vapor d'água. Ao refriar a esponja, seus poros diminuem de volume, eliminando água, o que é equivalente a aumentar a temperatura do ar e ocorrer condensação.

Essa analogia nos sugere métodos para retirar o vapor d'água do ar. Existem quatro métodos de secagem.

Vejamos cada um deles:

- *Resfriamento:*

Consiste em se resfriar o ar o que reduz o seu ponto de orvalho. O ar é resfriado circulando-o por um trocador de calor (serpentina com fluido refrigerante) como mostrado na figura:

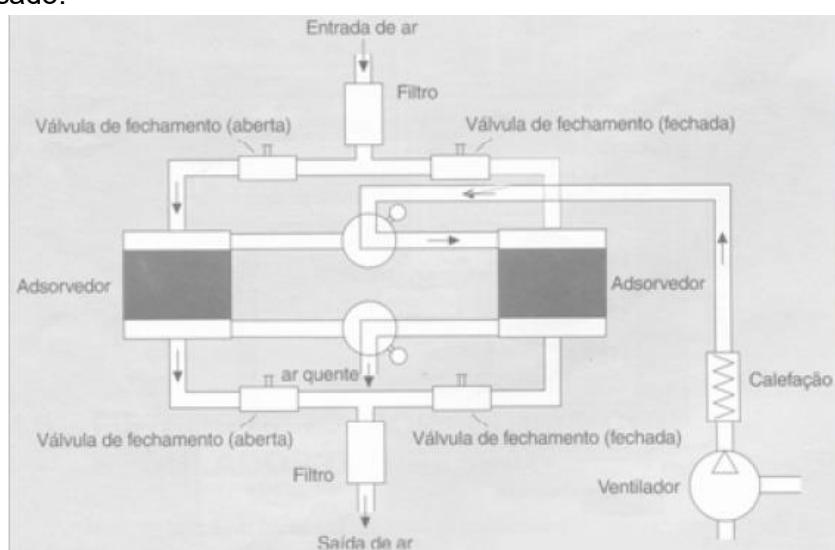


Processo de resfriamento para a secagem do ar.

O ponto de orvalho (umidade) alcançado com esse método situa-se entre 2°C e 5°C. Note que a região após o resfriador é uma região onde há grande ocorrência de condensação na linha pneumática.

- *Adsorção:*

Opera através de substâncias secadoras que por vias físicas (efeito capilar) adsorvem (adsorver - admitir uma substância à superfície da outra) o vapor d'água do ar, as quais podem ser regeneradas através de ar quente. Assim os sistemas de adsorção possuem um sistema de circulação de ar quente em paralelo para realizar a limpeza do elemento secador como mostrado na figura. Devem ser usados dois secadores em paralelo, pois enquanto um está sendo limpo o outro pode ser usado.

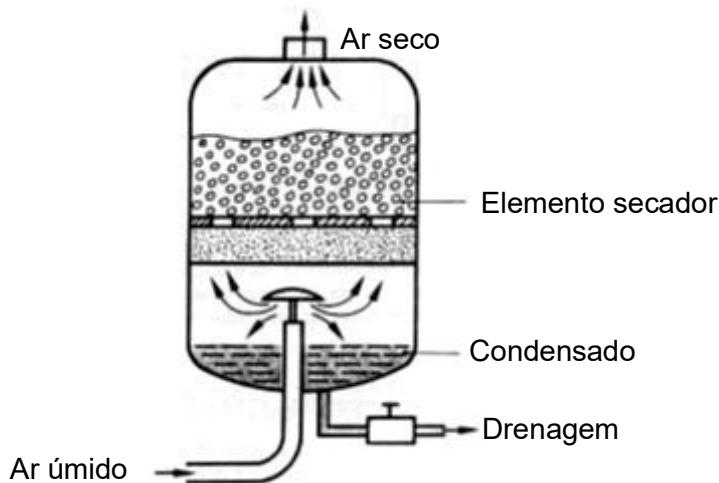


Secagem por adsorção.

O ponto de orvalho alcançável com esse método está em torno de -20°C , em casos especiais -90°C . Em geral, o elemento secador é um material granulado com arestas ou formato esférico. A substância usada é o Dióxido de Silício, mais conhecido como "Sílica gel". Trata-se do sistema mais caro em relação aos demais, mas o que é capaz de retirar a maior quantidade de umidade.

- *Absorção*

É um processo químico por onde o ar comprimido passa por uma camada solta de um elemento secador como mostrado na figura. A água ou vapor d'água que entra em contato com este elemento combina-se quimicamente com ele e se dilui formando uma combinação elemento secador e água. Este composto pode ser removido periodicamente do absorvedor. Com o tempo o elemento secador é consumido e o secador deve ser reabastecido periodicamente.



Secagem por absorção.

O secador por absorção separa ao mesmo tempo vapor e partículas de óleo. Porém, grandes quantidades de óleo atrapalham o funcionamento do secador. Devido a isto é usual antepor um filtro fino ao secador. O ponto de orvalho alcançável com esse método é 10°C . É o método mais barato entre os demais, porém o que retira menor quantidade de água.

- *Sobrepressão:*

Aumentando-se a pressão há condensação, como já comentado, e pode-se drenar água.

Distribuição de Ar Comprimido

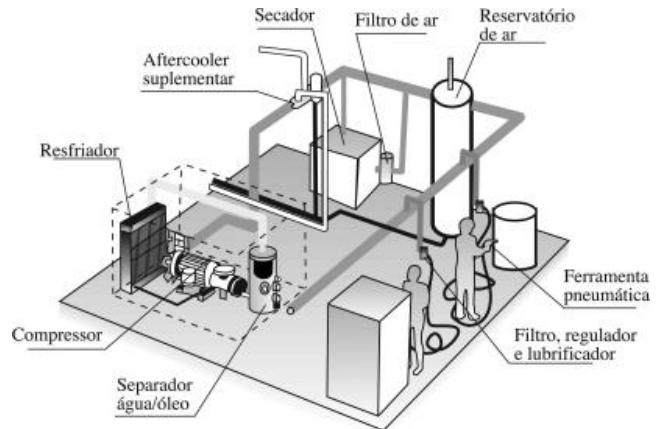
- *Rede de distribuição*

A rede de distribuição de ar comprimido compreende todas as tubulações que saem do reservatório passando pelo secador e que unidas, orientam o ar comprimido até os pontos individuais de utilização. A rede possui duas funções básicas:

- Funcionar como um reservatório para atender as exigências locais.
- Comunicar a fonte com os equipamentos consumidores.

Numa rede distribuidora, para que haja eficiência, segurança e economia, são importantes três pontos:

- Baixa queda de pressão entre a instalação do compressor e os pontos de utilizações;
- Apresentar o mínimo de vazamento;
- Boa capacidade de separação do condensado em todo o sistema.



Rede de distribuição

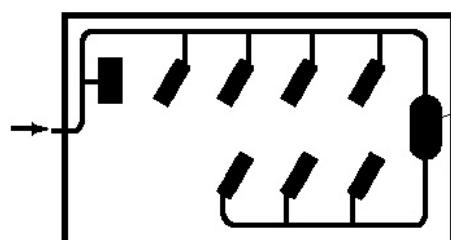
▪ *Layout*

O posicionamento dos equipamentos e tomadas que receberão alimentação pneumática deverá estar definido, para que seja possível a confecção dos projetos e desenhos. Estes trarão consigo comprimento das tubulações, diâmetros, ramificações, pontos de consumo, pressão destes pontos, posições das válvulas, curvaturas etc. Através dos projetos, pode-se então definir o melhor percurso da tubulação, acarretando menor perda de carga e proporcionando economia.

▪ *Redes*

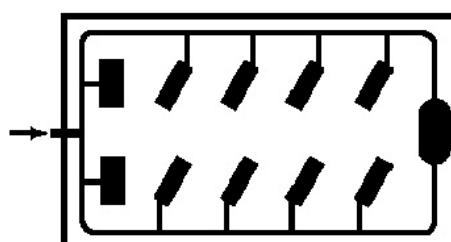
Rede de distribuição em Anel aberto

Assim chamada por não haver uma interligação na rede. Este tipo facilita a separação do condensado, pois ela é montada com certa inclinação, na direção do fluxo, permitindo o escoamento para um ponto de drenagem.



Rede de distribuição em Anel fechado

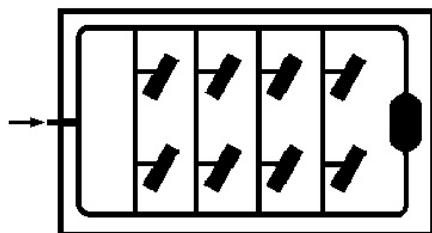
Geralmente as tubulações principais são montadas em circuito fechado. Este tipo auxilia na manutenção de uma pressão constante, proporciona uma distribuição mais uniforme do ar, pois o fluxo circula em duas direções.



Rede de distribuição Combinada

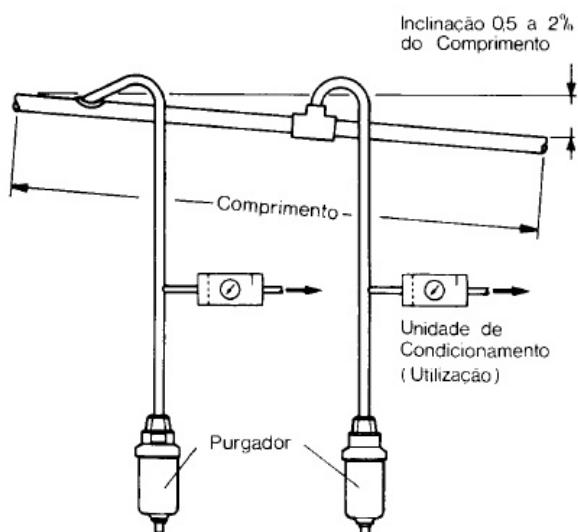
A rede combinada também é uma instalação em circuito fechado, a qual, por suas ligações longitudinais e transversais, oferece a possibilidade de trabalhar com ar em qualquer lugar.

Mediante válvulas de fechamento existe a possibilidade de fechar determinadas linhas de ar comprimido quando as mesmas não forem usadas ou quando for necessário pô-las fora de serviço por razões de reparação e manutenção. Também pode ser feito um controle de estanqueidade



- *Inclinação, tomadas de ar e drenagem da umidade.*

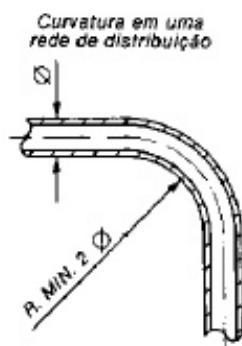
As tubulações, em especial nas redes em circuito aberto, devem ser montadas com um declive de 0,5% a 2%, na direção do fluxo.



Por causa da formação de água condensada, é fundamental, em tubulações horizontais, instalar os ramais de tomadas de ar na parte superior do tubo principal. Desta forma evita-se que a água condensada eventualmente existente na tubulação principal possa chegar às tomadas de ar através dos ramais. Para interceptar e drenar a água condensada devem ser instaladas derivações com drenos na parte inferior da tubulação principal. Os drenos, colocados nos pontos mais baixos, de preferência devem ser automáticos. Em redes mais extensas aconselha-se instalar drenos distanciados aproximadamente 20 a 30 metros um do outro.

- *Curvatura*

As curvas devem ser feitas no maior raio possível para evitar perdas excessivas por turbulência. Evitar sempre a colocação de cotovelos de 90 graus. A curva mínima deve possuir um raio mínimo de duas vezes o diâmetro externo do tubo.



- *Materiais da tubulação principal*

Com relação aos materiais da tubulação, dê preferência aos resistentes à oxidação, como aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plástico de engenharia.

- *Tubulações secundárias*

A seleção dos tubos que irão compor a instalação secundária e os materiais de que são confeccionados são fatores importantes, bem como o tipo de acessório ou conexão a ser utilizado. Devem-se ter materiais de alta resistência, durabilidade, etc.

O processo de tubulação secundária sofreu uma evolução bastante rápida. O tubo de cobre, até bem pouco tempo, era um dos mais usados.

Atualmente ele é utilizado em instalações mais específicas, montagens rígidas e locais em que a temperatura e a pressão são elevadas.

Hoje são utilizados tubos sintéticos, os quais proporcionam boa resistência mecânica, apresentando uma elevada força de ruptura e grande flexibilidade. São usados tubos de polietileno, poliuretano e tubos de nylon.

- *Conexões para tubulações secundárias*

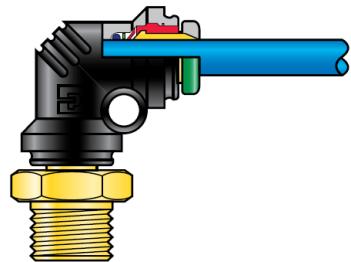
A escolha das conexões que serão utilizadas num circuito é muito importante. Devem oferecer recursos de montagem para redução de tempo, ter dimensões compactas e não apresentar quedas de pressão, ou seja, possuir máxima área de passagem para o fluido. Utilize também conexões de raio longo para minimizar a perda de carga.

Devem também ter vedação perfeita, compatibilidade com diferentes fluidos industriais, durabilidade e permitir rápida remoção dos tubos em casos de manutenção, sem danificá-los.

As conexões para tubulações secundárias podem ser múltiplas, espingões, conexão com anel de pressão ou anilhas etc. Dependendo do tipo de conexão utilizado, o tempo de montagem é bem elevado, devido às diversas operações que uma única conexão apresenta: ser roscada no corpo do equipamento, roscar a luva de fixação do tubo, ou antes, posicionar corretamente as anilhas.

Deve haver um espaço razoável entre as conexões, para permitir sua rotação. Em alguns casos, isso não é possível. Estes meios de ligação, além de demorados, danificam o tubo, esmagando, dilatando ou cortando. Sua remoção é difícil, sendo necessário, muitas vezes, cortar o tubo, trocar as anilhas e as luvas de fixação do tubo; isso quando a conexão não é totalmente perdida.

Uma nova concepção em conexões, para atender a todas as necessidades de instalação de circuitos pneumáticos, controle e instrumentação e outros, são as conexões instantâneas/semelhantes a um engate rápido.



▪ Vazamento

As quantidades de ar perdidas através de pequenos furos, acoplamentos com folgas, vedações defeituosas, etc., quando somadas, alcançam elevados valores. A importância econômica desta contínua perda de ar torna-se mais evidente quando comparada com o consumo do equipamento e a potência necessária para realizar a compressão. Desta forma, um vazamento na rede representa um consumo consideravelmente maior de energia. Podemos constatar isto através da tabela abaixo.

Tamanho real	Diâmetro do furo		Escape do ar em			Potência necessária para compressão	
	588,36 kPa	6 bar	85 psi				
	mm	pol	m³/s	l/s	c.f.m	Cv	kW
•	1	3/64	0,001	1	2	0,4	0,3
●	3	1/8	0,01	10	21	4,2	3,1
●●	5	3/16	0,027	27	57	11,2	8,3
●●●	10	3/8	0,105	105	220	44	33

▪ Dimensionamento da perda de carga

A perda de carga é decorrente do atrito do ar contra as paredes das tubulações. Quanto mais longa a linha maior será a perda. Além de considerar o comprimento físico da tubulação, também deve ser dada especial atenção às perdas localizadas nas válvulas e conexões instaladas, na linha. Através da equação abaixo poderemos calcular a perda de carga na rede de distribuição.

$$\Delta p = 1,663785 \cdot 10^3 \cdot \frac{Q^{1,85} \cdot Lr}{d^5 \cdot p}$$

Onde:

Δp - Perda de carga (não superior a 0,3; em grandes redes pode chegar a 0,5 bar)

Q - Vazão de ar (m^3/s)

Lr - Comprimento real da tubulação (M)

p - Pressão de trabalho absoluta (Bar)

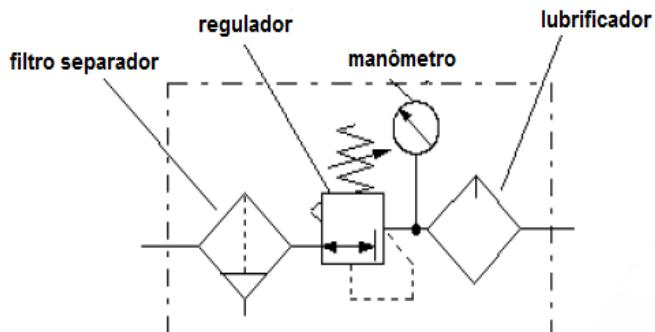
d - Diâmetro interno da tubulação (mm)

Da equação acima deduzimos a fórmula para calcular o diâmetro interno da tubulação:

$$d = 10 \cdot \sqrt[5]{\frac{1,663785 \cdot 10^3 \cdot Q^{1,85} \cdot Lr}{\Delta p \cdot p}}$$

Tratamento do Ar Comprimido

Antes de entrar em cada máquina pneumática o ar passa por uma unidade de tratamento composta por um filtro, uma válvula reguladora de pressão e um lubrificador (Lubrefil ou FRL). Essa unidade tem por objetivo ajustar as características do ar de forma específica para cada máquina. Vejamos cada um de seus componentes:

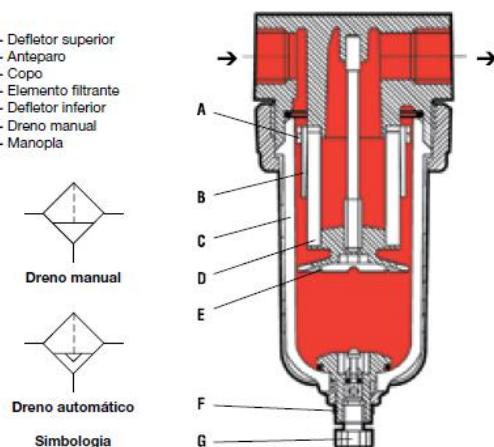


Unidade de Condicionamento ou Lubrefil

■ *Filtro*

O filtro serve para eliminar partículas sólidas e líquidas (impurezas, água, entre outros). A filtração ocorre em duas fases. Uma pré-eliminação é feita por rotação do ar gerando uma força centrífuga. A eliminação fina é feita pelo elemento filtrante. O filtro apresenta um dreno (manual ou automático) para a eliminação de água. A porosidade do filtro é da ordem de 30 a 70 μm .

Secção de um filtro de ar comprimido



Filtro e seus símbolos

■ *Filtro Coalescente*

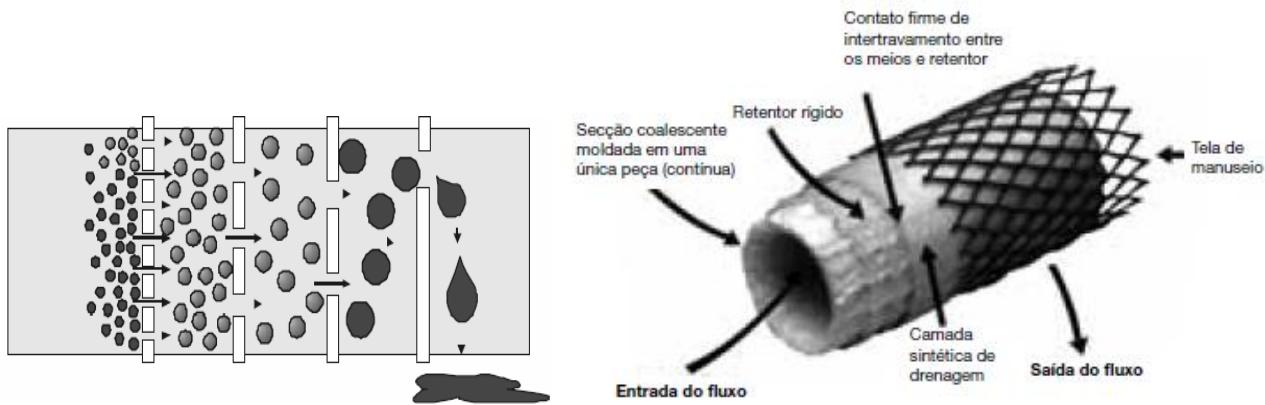
Retira 99,9% das impurezas e umidade. São utilizados em indústrias farmacêutica, Química, Eletrônica, entre outras.

Baseia-se na retenção mecânica e na coalescência.



COALESCÊNCIA: aglutinação de partículas minúsculas de líquidos em suspensão em partículas de maior tamanho.

Construção do elemento

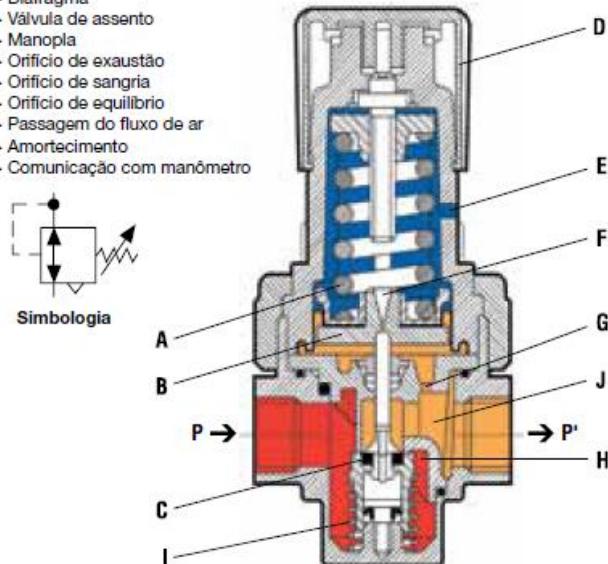


▪ Válvula Reguladora de Pressão

Essa válvula tem a função de manter constante a pressão no equipamento. Ela somente funciona quando a pressão a ser regulada (pressão secundária) for inferior que a pressão de alimentação da rede (pressão primária). Assim essa válvula pode reduzir a pressão, mas jamais aumentá-la.

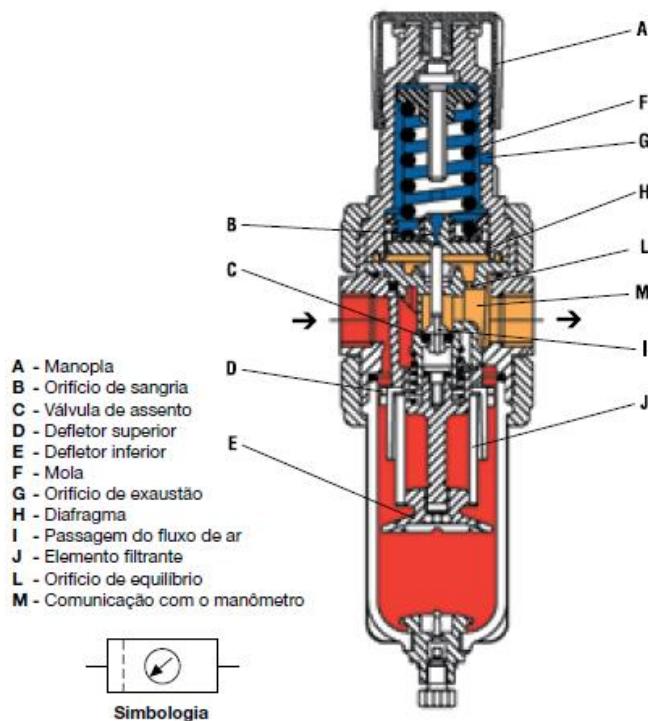
• Secção de um regulador de pressão com escape

A - Mola
 B - Diafragma
 C - Válvula de assento
 D - Manopla
 E - Orifício de exaustão
 F - Orifício de sangria
 G - Orifício de equilíbrio
 H - Passagem do fluxo de ar
 I - Amortecimento
 J - Comunicação com manômetro



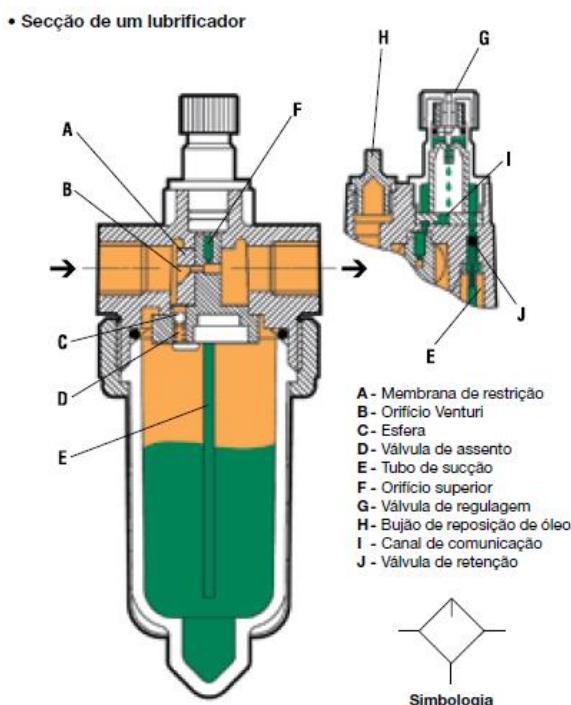
▪ Filtro/regulador conjugado

São válvulas reguladoras de pressão integradas com filtros, ideais para locais compactos. Economiza espaço, pois oferece filtro e regulador conjugados para um desempenho otimizado. Grande eficiência na remoção de umidade.



■ O Lubrificador

O lubrificador tem a função de lubrificar os aparelhos pneumáticos de trabalho e de comando. Essencialmente quando o fluxo de ar passa por uma seção de menor área, a sua velocidade aumenta e a sua pressão diminui e, portanto o óleo contido no tubo é pulverizado no ar. A figura ilustra um lubrificador e seu símbolo. O nível do óleo deve ser verificado periodicamente e a sua dosagem controlada.



Lubrificador

5. Válvulas Pneumáticas

A válvula é um componente do circuito pneumático que se destina a controlar a direção, pressão e/ou vazão do ar comprimido. Elas podem ser de controle direcional de 2, 3, 4 ou 5 vias, reguladores de vazão ou pressão e de bloqueio.

Coeficiente de vazão

A vazão de uma válvula é o volume de fluido que pode passar através dela em um determinado tempo. A maneira padronizada para especificar a vazão de uma válvula é através dos coeficientes Cv e Kv, os quais permitem a seleção de válvulas por um métodoprático, dimensionando-as corretamente para cada caso em particular. O Cv é definido como sendo o número de galões (USA) de água que passam pela válvula em um minuto, a temperatura de 68°F, provocando uma queda de pressão de 1 psig. Para o Kv a definição é a mesma, porém alteram-se as unidades, ou seja, vazão em L/min, pressão em bar e temperatura em °C. A vazão efetiva de uma válvula depende de vários fatores, entre os quais a pressão absoluta na saída, temperatura e queda de pressão admitida. A determinação dos fatores Cv e Kv obedece condições normalizadas como, por exemplo, o nível constante de água em relação à válvula, distância e posição dos instrumentos e detalhes sobre a tomada de pressão.

$$Kv = 0,8547 \text{ Cv}$$

Método Cv para gases:

$$Cv = \frac{Q}{22,48 \sqrt{\frac{\Delta P \cdot (P1 - \Delta P + Pa)}{T1 \cdot G}}}$$

Onde: No sistema internacional de unidades (S.I.)

Cv = Coeficiente de vazão

Q = Vazão em L/s a 760 mm Hg, 20°C, 36% umidade relativa

ΔP = Queda de pressão admitida em bar

Pa = Pressão atmosférica em bar (1,013 bar)

P1 = Pressão de alimentação (pressão de trabalho) em bar

T1 = Temperatura absoluta em K (Kelvin) K = °C + 273

G = Gravidade específica do gás (G ar = 1) = $\frac{\text{Peso molecular do gás}}{\text{Peso molecular do ar}}$

No sistema americano:

Cv = Coeficiente de vazão

Q = Vazão em SCFM a 14,7 psig, 68°F, 36% umidade relativa

ΔP = Queda de pressão admitida em psig

Pa = Pressão atmosférica em psig (14,7 psig)

P1 = Pressão de alimentação (pressão de trabalho) em psig

T1 = Temperatura absoluta em °R (Rankine) °R = °F + 460

G = Gravidade específica do gás (G ar = 1)

Gráfico para coeficiente de vazão:

As curvas de vazão mostradas no gráfico são para uma válvula teórica com $Cv = 1$ e para o ar nas condições normais de temperaturace pressão (20°C , 760 mm Hg e 36% umidade relativa). Para se calcular a vazão de uma válvula conhecendo-se a pressão inicial, devemos seguir a curva correspondente a esta pressão até o eixo vertical do gráfico e ler diretamente o valor. Multiplicar esse valor de vazão (para $Cv = 1$) pelo Cv da válvula escolhida para se obter a sua vazão real.

Exemplo:

Pressão inicial = 7 bar.

Válvula escolhida $Cv = 1,8$.

Para $Cv = 1$, do gráfico obtemos $Q = 26,42 \text{ L/s}$.

Para $Cv = 1,8$ a vazão real será: $Q_r = 1,8 \times 26,42 \text{ L/s} = 47,56 \text{ L/s}$.

Para se conhecer a vazão de uma válvula a uma pressão final específica, selecionar o valor da pressão final desejada no eixo horizontal do gráfico, seguir a linha vertical até a intersecção com a curva de pressão inicial e, a partir deste ponto, seguir uma linhahorizontal até o eixo vertical lendo-se diretamente a vazão. Multiplicar o valor obtido pelo Cv da válvula escolhida para se obter a vazão final.

Exemplo:

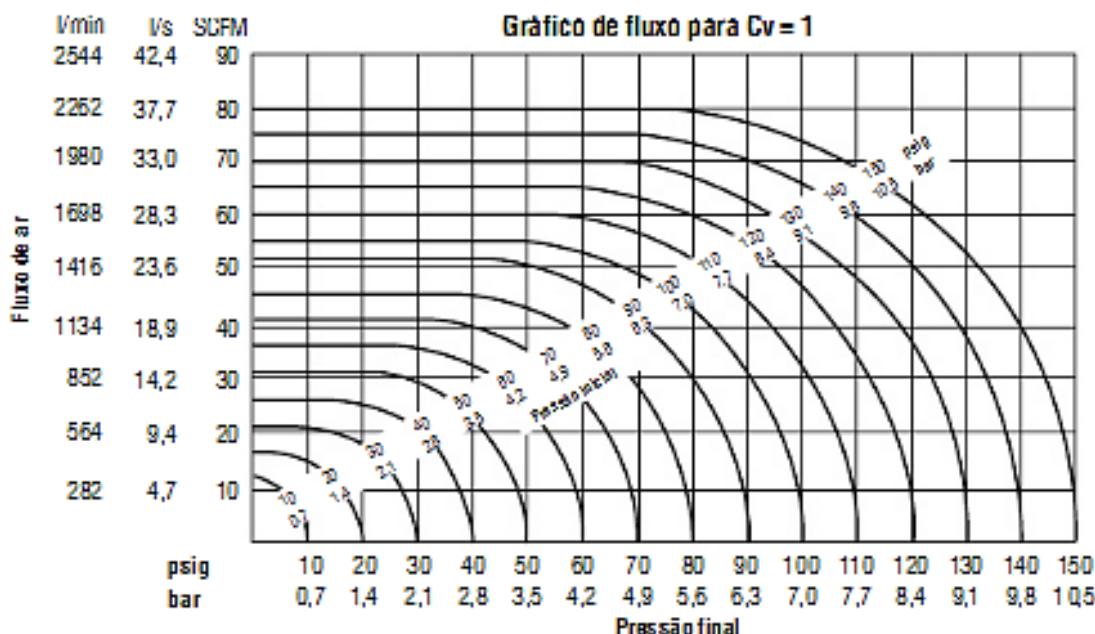
Pressão inicial = 6,3 bar (90 psig)

Pressão final = 5,6 bar (80 psig)

Válvula escolhida $Cv = 1,8$

Para $Cv = 1$, do gráfico, obtemos $Q = 14,2 \text{ L/s}$

Para $Cv = 1,8$ a vazão real será: $Q_r = 14,2 \times 1,8 = 25,6 \text{ L/s}$



Seleção de válvula através de fórmula simplificada:

Na fórmula do Cv, a vazão Q pode ser substituída pelo consumo de ar de um cilindro para executar o movimento de avanço ou retorno em um determinado tempo. O tempo escolhido é o crítico, ou seja, aquele que tem prioridade no trabalho a ser executado.

$$Cv = \frac{\frac{14,7+P}{14,7} \cdot a \cdot Ct \cdot 60}{22,48 \sqrt{\frac{\Delta P \cdot (P1 - \Delta P + Pa)}{T1 \cdot G}}} \quad Cv = \frac{a \cdot Ct \cdot A \cdot Fc}{tc \cdot 29}$$

Onde:

a = Área interna do cilindro em polegadas quadradas (in²)

Ct = Curso de trabalho em polegadas (in)

A = Constante conforme tabela (P + 14,7)

Fc = Fator de compressão: tabela ou Fc = 14,7

P = Pressão de entrada em psig

tc = Tempo para realização do curso (avanço ou retorno) em segundos (s)

Pressão de entrada bar	Fator de compressão	Constante "A" para várias quedas de pressão			
		Queda de pressão: Δp			
		0,14 bar	0,35 bar	0,70 bar	1,40 bar
0,70	1,7	0,156	0,103	-	-
1,40	2,4	0,126	0,084	0,065	-
2,00	3,0	0,111	0,073	0,056	0,046
2,76	3,7	0,100	0,065	0,048	0,039
3,45	4,4	0,091	0,059	0,044	0,034
4,14	5,1	0,085	0,055	0,040	0,031
4,83	5,8	0,079	0,051	0,037	0,028
5,52	6,4	0,075	0,048	0,035	0,026
6,20	7,1	0,071	0,046	0,033	0,025
6,90	7,8	0,068	0,044	0,032	0,023
7,60	8,5	0,065	0,042	0,030	0,023
8,30	9,2	0,063	0,040	0,029	0,021

Exemplo:

Um cilindro pneumático de diâmetro 4" e curso de 16" deve transportar uma peça num tempo máximo de 2 s, para que a produção seja atingida. A válvula direcional é alimentada com 80 psig e é admitida uma queda de pressão máxima de 10 psig para que a força do cilindro seja compatível com o trabalho.

Pede-se para determinar o Cv da válvula.

$\emptyset = 4"$, ou seja, $a = 12,566 \text{ in}^2$

$Ct = 16" \cdot tc = 2\text{s}$

$P1 = 80 \text{ psig} = 5,52 \text{ bar}$

$\Delta P = 10 \text{ psig} = 0,7 \text{ bar}$

Da tabela:

$$A = 0,035$$

$$Fc = 6,4$$

$$Cv = \frac{a \cdot Ct \cdot A \cdot Fc}{tc \cdot 29}$$

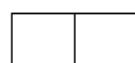
$$Cv = \frac{12,566 \cdot 16 \cdot 0,035 \cdot 6,4}{2 \cdot 29}$$

$$Cv = 0,78$$

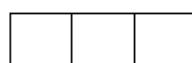
Válvula de Controle Direcional

Orientam a direção que o fluxo de ar deve seguir, a fim de realizar um trabalho proposto.

São representadas por um retângulo dividido em quadrados, onde o número de quadrados corresponde ao número de posições da válvula.



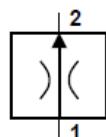
válvula
de duas
posições



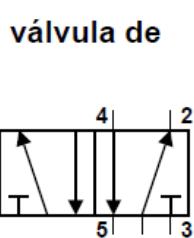
válvula
de três
posições

As setas indicam a ligação interna das conexões, mas não necessariamente o sentido do fluxo. Para o conhecimento aprimorado de uma válvula direcional, deve identificar o tipo de válvula e as conexões.

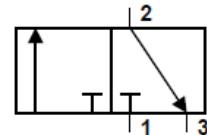
VIAS (ou conexões): é o número de entradas e saídas de ar de uma válvula.



válvula de **duas** vias e **uma** posição

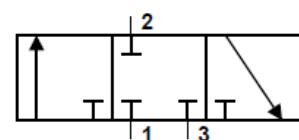


válvula de **três** vias e **duas** posições

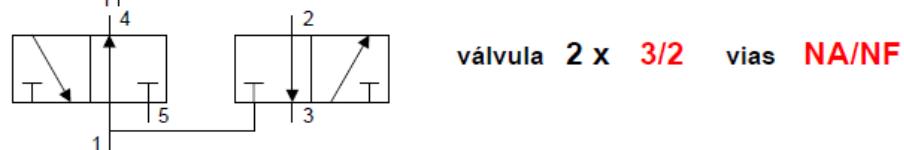
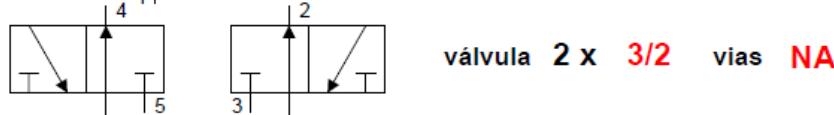
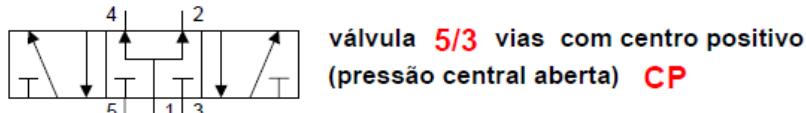
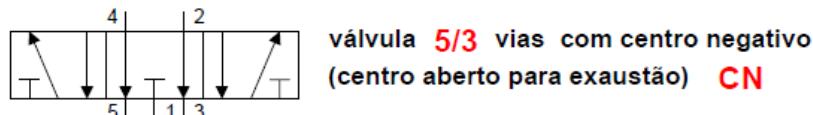
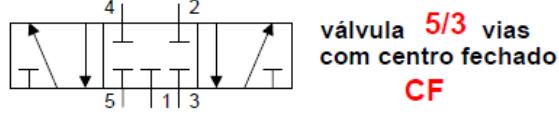
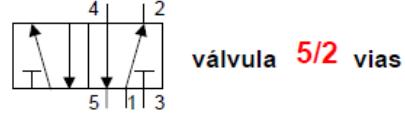


válvula de **cinco** vias e **duas** posições

válvula de **três** vias e **três** posições



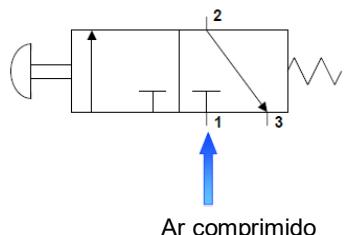
- Nas válvulas de duas posições as conexões são desenhadas na conexão da direita
- Nas válvulas de três posições as conexões são desenhadas na posição central



▪ Válvula 3/2 Vias

Esta nomenclatura significa que a válvula possui 3 vias e 2 posições.

- ➔ 3 vias significa que a válvula tem 3 conexões (ou 3 orifícios de entrada ou de saída de ar)
- ➔ 2 posições significa que a válvula pode se apresentar de duas maneiras: (aberta ou fechada)

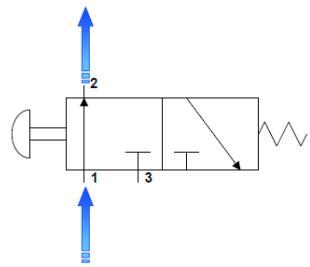


O ar está bloqueado na posição 1
 conexão 1 → abastecimento
 conexão 2 → trabalho
 conexão 3 → exaustão

3 vias

posição aberta ou posição fechada → 2 posições

Válvula na posição aberta (acionada)



O acionamento da válvula abre a passagem do ar da conexão 1 para a conexão 2

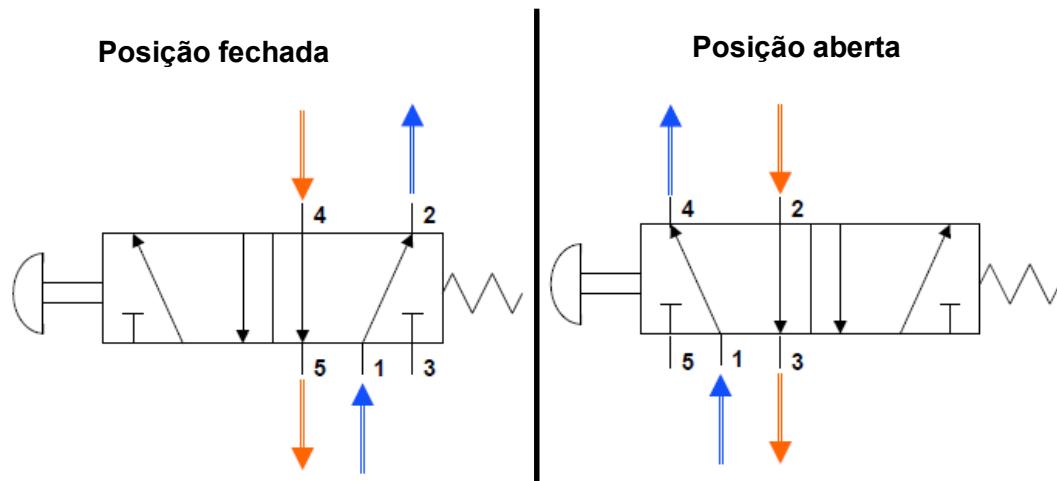
- **Válvula 5/2 vias**

1 ... conexão de suprimento de ar
 2 e 4 ... conexões de trabalho
 3 e 5 ... conexões de exaustão

5 vias

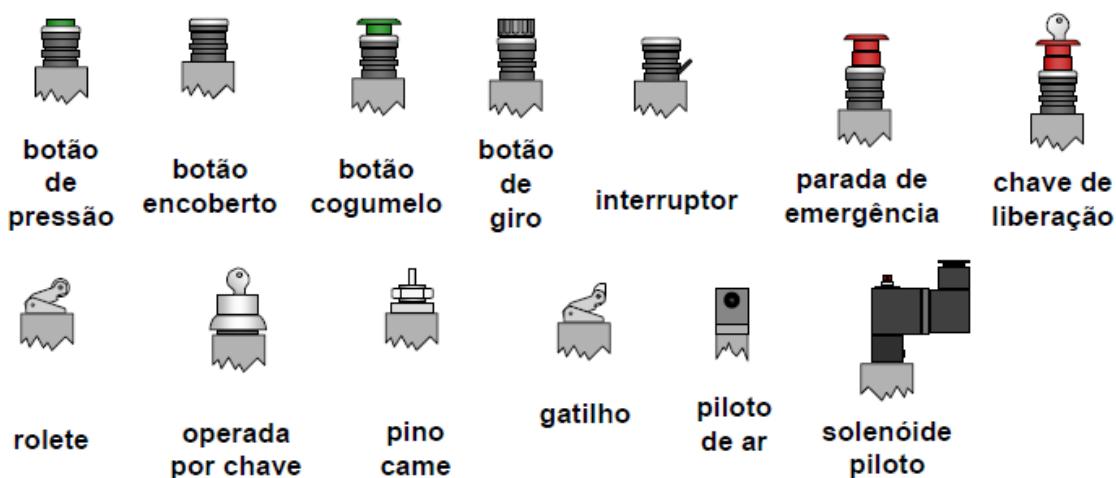
posição direita → ar na conexão 2
 posição esquerda → ar na conexão 4

2 posições



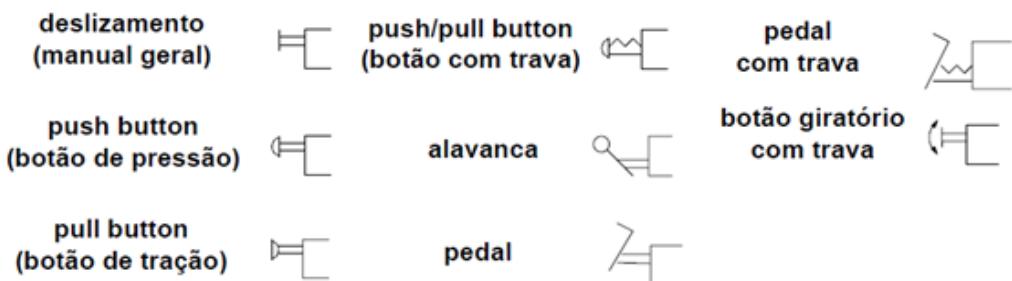
- **Operadores**

As válvulas são acionadas por operadores que podem ser manuais, mecânicos, pneumáticos ou elétricos.

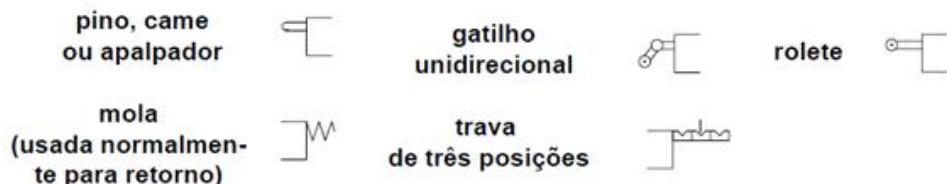


→ Os operadores também são representados por símbolos. Vejamos cada um deles.

Operadores MANUAIS:



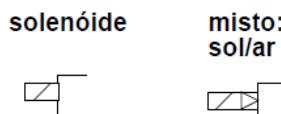
Operadores MECÂNICOS:



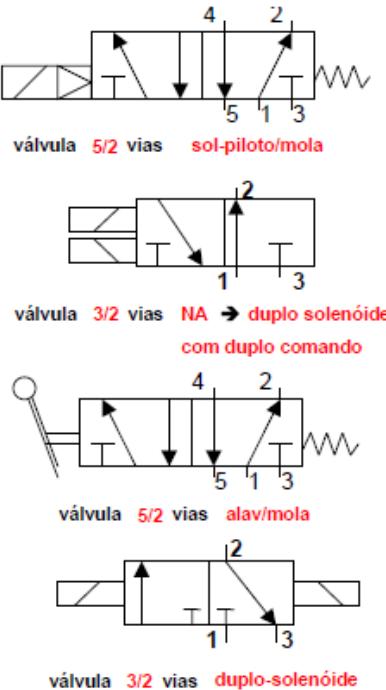
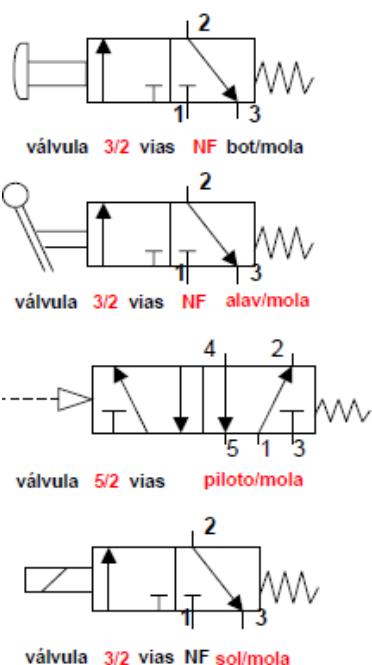
Operadores PNEUMÁTICOS:



Operadores ELÉTRICOS:



▪ Exemplos de Válvulas Direcionais com Operadores



▪ Símbolos de Válvulas

A numeração dos orifícios é normalizada pelo CETOP RP68P e mostra:

- ➔ 1 é o orifício de abastecimento, suprimento de ar comprimido
 - ➔ 2 ou 4 (algarismos pares) são os orifícios de trabalho, conexões por onde sai o ar para realizar um trabalho
 - ➔ 3 ou 5 (algarismos ímpares) são os orifícios de escape, exaustão, conexões por onde o ar sai para a atmosfera
 - ➔ 10, 12, 14 - são orifícios piloto (recebem ar de pilotagem) - estes algarismos podem ser também indicar apenas o “lado” da válvula.
- ✓ operada em 12, o orifício 1 fica conectado com o 2
- ✓ operada em 10, o orifício 1 fica bloqueado, conectado com nada, com 0



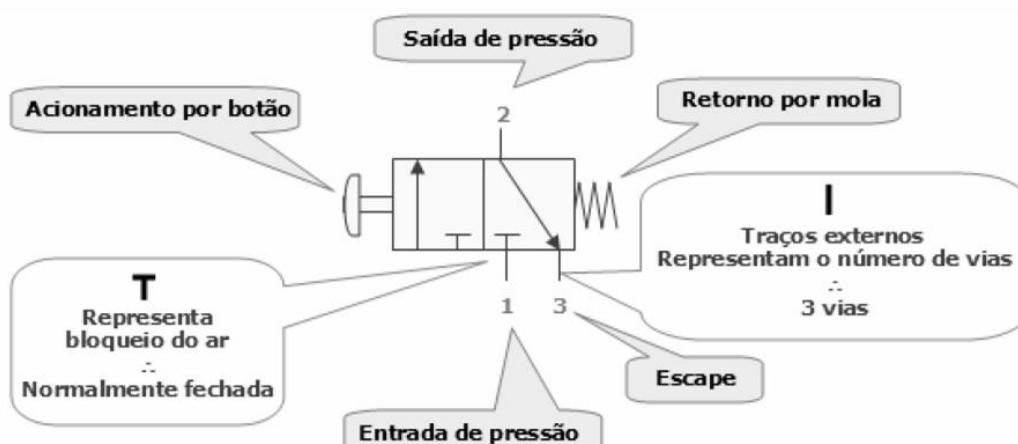
▪ Nomenclatura dos orifícios

Os orifícios de entrada e de saída do ar são atualmente indicados por algarismos, mas ainda se encontram válvulas antigas utilizando letras nesta identificação dos orifícios.

Tabela 1 - ilustra diversos tipos de válvulas direcionais.

Identificação das válvulas	Identificação das conexões		
	Conexão	DIN ISO 5599	DIN ISO 1219
Nº de vias	Pressão/Abastecimento	1	P
Nº de posições	Exaustão/Escape	3 e 5	R(3/2), R, S(5/2)
Tipo de acionamento	Saída/Trabalho	2 e 4	B, A
Tipo de retorno	Piloto	10, 12 e 14	X, Y e Z
Posição inicial			

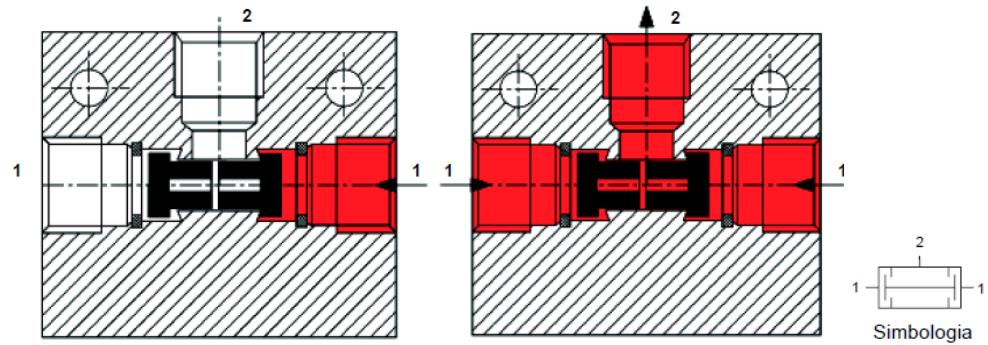
Exemplo: Válvula: 3 vias, 2 posições, acionamento por botão e retorno por mola e NF.



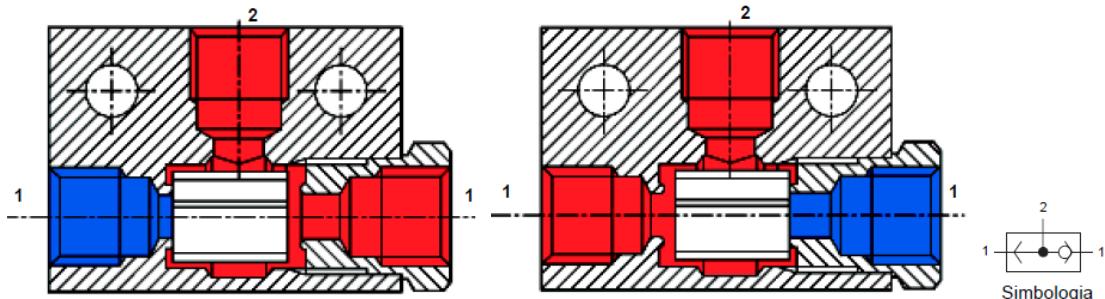
Válvulas de Bloqueio (Anti-Retorno)

Bloqueiam o fluxo de ar preferencialmente num sentido e o liberam no sentido oposto. Estas podem ser:

- De Escape Rápido: Quando se necessita obter velocidade superior àquela desenvolvida por um pistão de cilindro, é utilizada esta válvula.
- De Retenção: Esta válvula impede completamente a passagem em uma direção; na direção contrária, o ar flui com a mínima queda de pressão.
- De Simultaneidade (Elemento E): Esta válvula possui duas entradas piloto (X, Y) e uma saída (A) e como o próprio nome diz, executa a função lógica E.



- De Isolamento (Elemento OU): Esta válvula possui duas entradas piloto (X, Y) e uma saída (A) e como o próprio nome diz, executa a função lógica OU.



Válvulas de Controle de Fluxo

Em alguns casos é necessária a diminuição da quantidade de ar que passa através de uma tubulação, o que é muito utilizado quando se necessita regular a velocidade de um cilindro ou formar condições de temporização pneumática. Quando se necessita influenciar o fluxo do ar comprimido, este tipo de válvula é a solução ideal, podendo ser fixa ou variável, unidirecional ou bilateral.

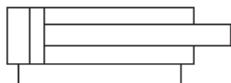
- Controle Bidirecional: Restringe a passagem em ambas as direções.
- Controle Unidirecional: Permite a passagem livre em uma direção e restringe na oposta.

Válvulas de Controle de Pressão

Influenciam ou são influenciadas pela intensidade de pressão de um sistema. Podem ser redutoras, limitadoras e de sequência.

- Limitadora: Não permite um aumento de pressão no sistema, acima da pressão máxima ajustada.
- Reguladora ou Redutora com escape: Mantém a pressão de trabalho constante independente da pressão de entrada.
- De sequência: Quando a pressão de entrada vence a força opositora de mola, a válvula é aberta, permitindo o fluxo para o orifício de saída.

6. Atuadores Pneumáticos



Simbologia

Um atuador pneumático é geralmente relacionado com movimento, aplicando uma força a um objeto. Dispositivos que atingem este objetivo são chamados atuadores. As principais características dos atuadores pneumáticos são:

- Apresentam baixa rigidez devido à compressibilidade do ar;
- Não há precisão na parada em posições intermediárias;
- Apresentam uma favorável relação peso/potência;
- Dimensões reduzidas;
- Segurança à sobrecarga;
- Facilidade de inversão;
- Proteção à explosão.

Os atuadores pneumáticos em como função transformar a energia pneumática em força e movimento. Esses movimentos podem ser lineares, rotativos ou oscilantes.

Os conversores de energia são classificados em três grupos:

- Lineares: São constituídos de componentes que convertem a energia pneumática em movimento linear ou angular. São representados pelos cilindros pneumáticos. Dependendo da natureza dos movimentos, velocidade, força, curso, haverá um mais adequado para a função.

- Rotativos: Convertem energia pneumática em energia mecânica, através de momento torsor contínuo.

- Oscilantes: Convertem energia pneumática em energia mecânica, através de momento torsor limitado por um número de graus.

Controle da velocidade de deslocamento do êmbolo

Em função da aplicação do cilindro, pode-se desejar que a velocidade de deslocamento do êmbolo seja máxima. Neste caso, recomenda-se utilizar uma válvula de escape rápido (vide válvulas auxiliares) conectada através de um niple diretamente ao cabeçote do cilindro: no cabeçote dianteiro para velocidade máxima no avanço, e no cabeçote traseiro quando se deseja acelerar o movimento de recuo do êmbolo. Mas quando se deseja controlar a velocidade, com o intuito de reduzi-la, aplica-se então a válvula de controle de fluxo unidirecional (vide válvulas auxiliares), restringindo-se sempre o fluxo de ar que está saindo do cilindro. Conforme a necessidade deste ajuste existe um modelo de válvula adequado.

Se necessitarmos de maior sensibilidade, devemos empregar válvulas controladoras de fluxo, no caso oposto, um simples silenciador com controle de fluxo em cada orifício de escape da válvula direcional que comanda o cilindro pode resolver o problema. Quando o sistema requer velocidades baixas e com alta sensibilidade de controle, o que aparentemente é impossível devido à compressibilidade do ar, a solução está na aplicação do "Hydro-Check" - Controlador Hidráulico de Velocidade.

Danos Condições adversas são toleradas

tais como:

- Umidade, ambientes secos e poeirados e Limpeza por jatos de água.
- O diâmetro do cilindro determina a força máxima que ele pode exercer.
- O curso do cilindro determina o máximo movimento linear que ele pode produzir. A pressão máxima de trabalho depende do projeto do cilindro
- Cilindros padrão VDMA trabalham com até 16 bar.

A força é controlada através de um regulador de Pressão.

Seleção de um cilindro (ou atuador) pneumático:

Para que possamos dimensionar um cilindro, partimos de algumas informações básicas, a saber:

- Qual a força que o cilindro deverá desenvolver?
- Qual a pressão de trabalho?
- Qual o curso de trabalho?

Naturalmente, esses dados são em função da aplicação que se deseja do cilindro. Recomenda-se que a pressão de trabalho não ultrapasse 80% do valor da pressão disponível na rede de ar.

Imagine-se, como exemplo, que se quer selecionar um cilindro para levantar uma carga frágil de aproximadamente 4900 N. O primeiro passo é a correção da força para que tenhamos a força real que o cilindro vai desenvolver (considerando-se atrito interno, inércia, etc.). Para isso, devemos multiplicar a força dada no projeto (4900 N) por um fator escolhido na tabela abaixo:

- *Fatores de correção da força*

Velocidade de deslocamento da haste do cilindro	Exemplo	Fator de correção (Fc)
Lenta com carga aplicada somente no fim do curso	Operação de rebitagem	1,25 ou 25%
Lenta com carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso	Talha pneumática	1,35 ou 35%
Rápida com carga aplicada somente no fim do curso	Operação de estampagem	1,35 ou 35%
Rápida com carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso	Deslocamento de mesas	1,50 ou 50%

Observação: A força de projeto é dada na direção e sentido do deslocamento do pistão. Assim, como a carga é frágil, deve-se ter velocidade baixa e a carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso. $Fc = 1,35 \rightarrow F = 4900 \times 1,35 = 6615$

→ Fórmula para o cálculo da força:

$$F = P \cdot A$$

→ Fórmula para o cálculo da área:

$$A = \frac{(D^2 \cdot \pi)}{4}$$

F = força (kgf)

P = Pressão de trabalho (kgf/cm² ; bar)

A = Área do êmbolo (cm²)

D = Diâmetro do êmbolo (cm)

π = 3,14

→ Cálculo do consumo de ar de um cilindro pneumático:

O primeiro passo para se calcular o consumo de ar em um cilindro pneumático é determinar a velocidade através da fórmula:

$$V = \frac{L}{t}$$

Onde: L = Curso do cilindro, em dm.
t = Tempo para realizar o curso (avanço ou retorno, vale o que for menor).
V = Velocidade de deslocamento (dm/s)

Ou

$$V = nc \cdot L \cdot 2$$

Onde: V = Velocidade de deslocamento (dm/s)
nc = Número de ciclos por segundo

Calculada a velocidade L = Curso do cilindro em dm

ar através da

$$Q = V \cdot A \cdot Tc$$

Onde: Q = Consumo de ar (N.dm³/s ou N.l/s), onde N = normal (Newtons).
V = Velocidade de deslocamento (dm/s) – usar sempre a maior.
A = Área do cilindro (dm²)
Tc (Taxa de compressão) = $\frac{1,013 + \text{Pressão de trabalho}}{1,013}$

Ou

$$C = \frac{A \cdot 2L \cdot n_c \cdot (p_t + 1,013)}{1,013 \cdot 10^6}$$

Onde: C = Consumo de ar (l/seg)
A = Área efetiva do pistão (mm²)
L = Curso (mm)
n_c = Número de ciclos por segundo
p_t = Pressão (bar)

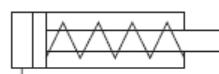
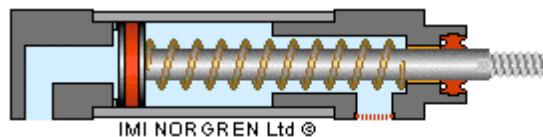
Atuadores Lineares

São constituídos de componentes que convertem a energia pneumática em movimento linear e angular. São representados pelos cilindros pneumáticos. Dependendo da natureza dos movimentos, velocidade, força, curso, haverá um mais adequado para a função.

▪ Cilindro de Simples Ação

Utiliza o ar comprimido para conduzir trabalho em um único sentido de movimento, seja para avanço ou retorno. Este tipo de cilindro possui somente um orifício por onde o ar entra e sai do seu interior, comandado por uma válvula. Na extremidade oposta à de entrada, é dotado de um

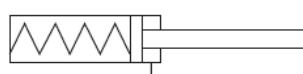
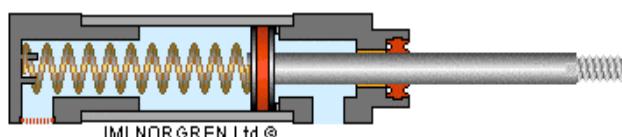
pequeno orifício que serve de respiro, visando impedir a formação de contrapressão internamente, causada pelo ar residual de montagem. O retorno, em geral, é efetuado por ação de mola ou força externa. Quando o ar é exaurido, o pistão (haste + êmbolo) volta para a posição inicial.



Simbologia

Avanço: Ar Comprimido

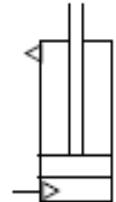
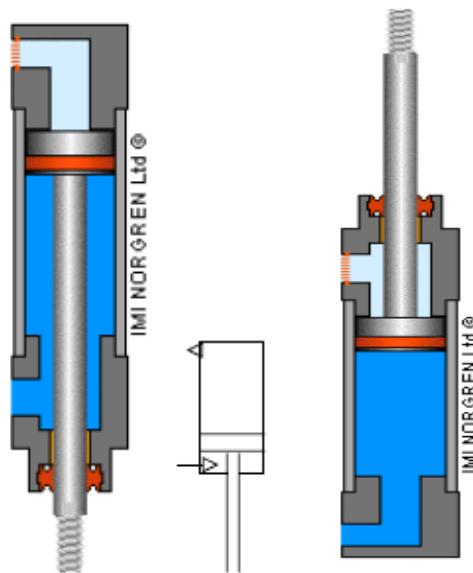
Retorno: por Mola



Simbologia

Avanço: por Mola

Retorno: Ar Comprimido



(Sem Mola)

A gravidade ou outras forças externas retornam a haste.

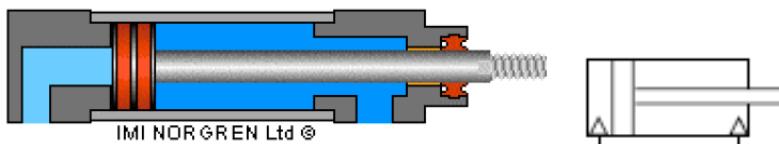
Os cilindros de simples ação têm várias aplicações, em especial em situações de segurança, como freios de caminhão, onde os freios ficam normalmente fechados sob ação da mola, abrindo apenas quando o motor do caminhão está funcionando e fornecendo pressão. Em caso de falha do motor os freios travam.

- *Cilindro de Dupla Ação*

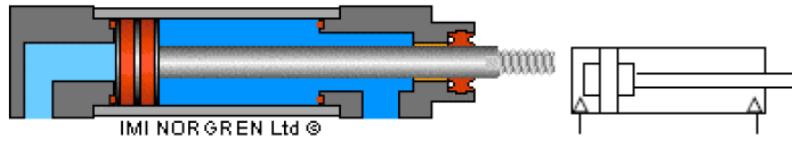
Utiliza ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos de movimento (avanço e retorno). É o tipo mais comum de utilização. Sua característica principal, pela definição, é o fato de se poder utilizar tanto o avanço quanto o retorno para desenvolvimento de trabalho. Existe, porém, uma diferença quanto ao esforço desenvolvido: as áreas efetivas de atuação da pressão são diferentes; a área da câmara traseira (avanço) é maior que a da câmara dianteira (retorno), pois nesta há que se levar em conta o diâmetro da haste, que impede a ação do ar sobre toda a área. O ar comprimido é admitido e liberado alternadamente por dois orifícios existentes nos cabeçotes, um no traseiro e outro no dianteiro que, agindo sobre o êmbolo, provocam os movimentos de avanço e retorno. Quando uma câmara está admitindo ar a outra está em comunicação com a atmosfera. Esta operação é mantida até o momento de inversão da válvula de comando; alternando a admissão do ar nas câmaras, o pistão se desloca em sentido contrário.

Alguns exemplos de cilindros de dupla ação:

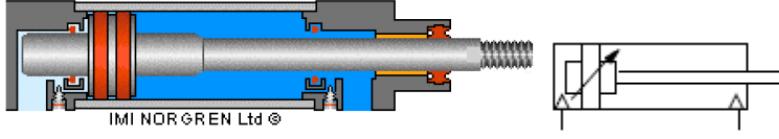
- Sem amortecedor: são adequados para cursos completos com baixa velocidade.



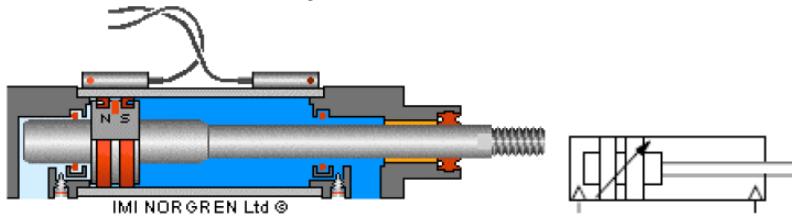
- Com amortecedor fixo: pequenos diâmetros para serviços leves têm amortecedor fixo.



- Com amortecedor ajustável: a haste desacelera progressivamente na parte final do curso.



- Com amortecedor magnético: uma cinta magnética em volta do êmbolo opera um sensor tipo *reed* para indicar a posição do curso.



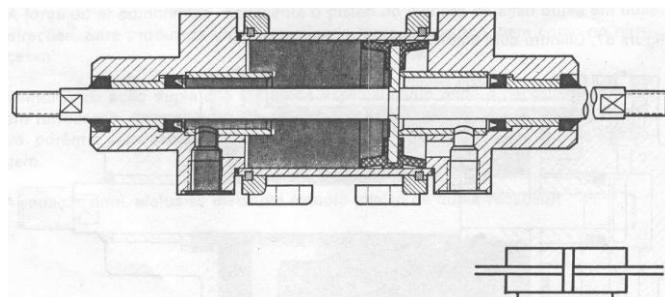
Os cilindros de dupla ação são os mais utilizados possuindo inúmeras aplicações, como prensas, fixadores, entre outro. O curso não pode ser muito grande, pois surgem problemas de flambagem. E possuem outros tipos de construção derivados, como:

- Cilindro de dupla ação com haste dupla;
- Cilindro duplex contínuo (tandem);

- Cilindro duplex germinado;
- Cilindro de impacto;
- Cilindro de tração por cabos.

- *Outros exemplos de atuadores lineares*

- Cilindro de Dupla Ação com Haste Passante:

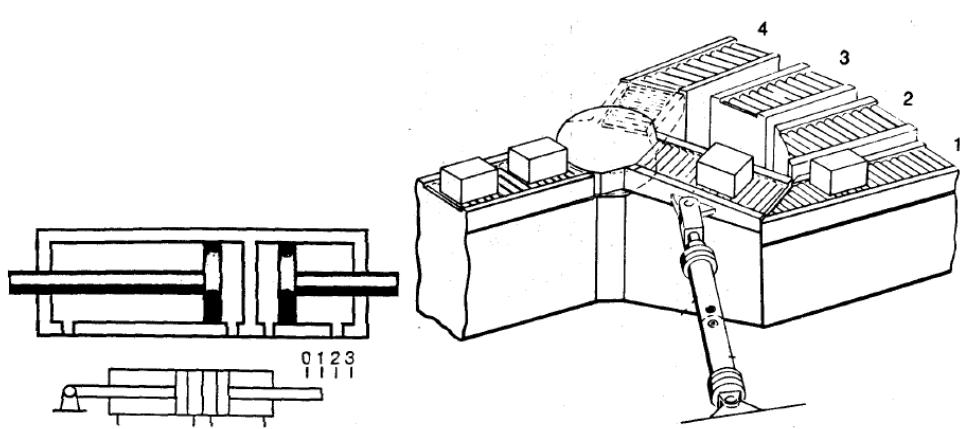


Consiste num cilindro de dupla ação com haste em ambos os lados, realizando trabalho nos dois sentidos. A força é igual nos dois sentidos.

- Cilindro Sem Haste:

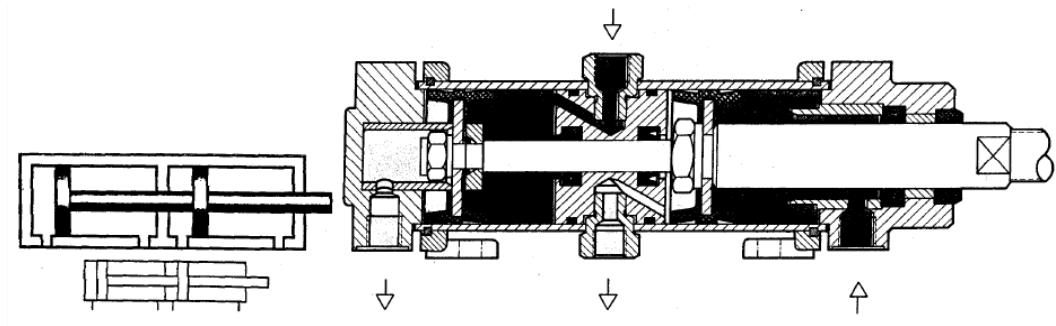
Estes cilindros são aplicados onde são necessários cursos muito grandes e surgem problemas de flambagem na haste de um cilindro comum. Apresentam a mesma área em ambos os lados e por isso mesma força de avanço e retorno. São aplicados em acionamento de portas, alimentador de peças, entre outros.

- Cilindro de Múltiplas Posições:



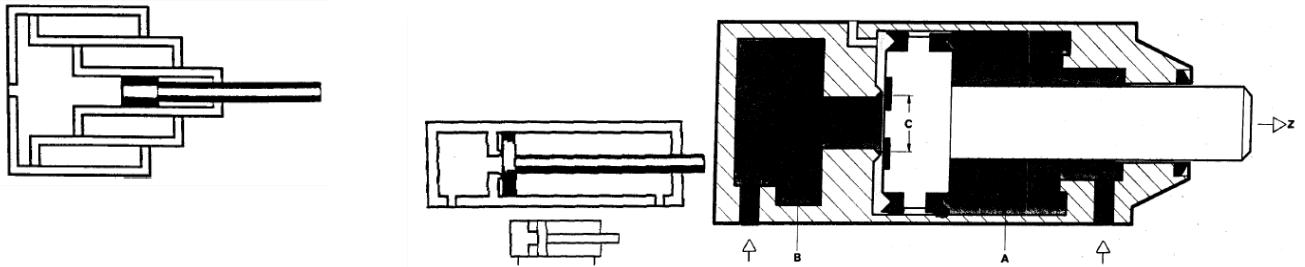
Consiste em dois ou mais cilindros montados em conjunto para alcançar várias posições. Com n cilindros de cursos desiguais, pode-se obter 2^n posições distintas. É aplicado em mudança de desvios, acionamento de válvulas, entre outros.

- Cilindro Tandem:



Consiste em dois cilindros acoplados mecanicamente em série. É aplicado principalmente em pregadores pneumáticos. Exerce grande força com pequeno diâmetro.

- Cilindro de Percussão:



É usado para gerar uma alta força de impacto em alta velocidade (7,5 a 10 m/s). Funciona da seguinte forma:

- Inicialmente é aplicada pressão nas câmaras A e B, e o valor da pressão é aumentado em ambos os lados;
- Num certo instante, a câmara A é exaurida (pressão atmosférica) e o pistão é empurrado pela pressão da câmara B;
- Ao se movimentar um pouco a área em que a pressão da câmara B atua tem seu diâmetro aumentado bruscamente como mostrado na figura, o que faz com que o pistão seja acelerado violentamente;
- A energia cinética do pistão é convertida em força de impacto.

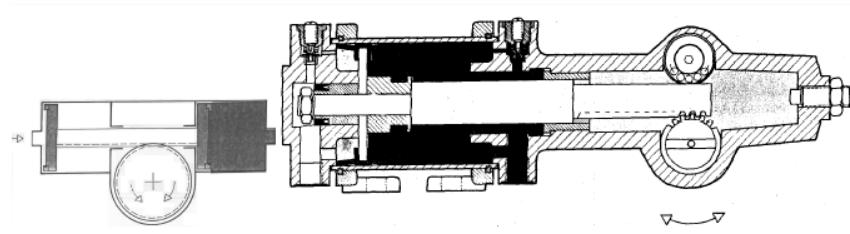
Apresenta um pequeno curso. É aplicado em prensas pneumáticas para forjamento, britadeiras, rebitadeiras, entre outros.

- Cilindro Telescópico:

É composto de vários cilindros montando em série um dentro do outro. Apresenta curso longo e dimensões reduzidas de comprimento, porém um diâmetro grande face à força gerada. É aplicado em máquinas que precisam de um longo curso e comprimento reduzido.

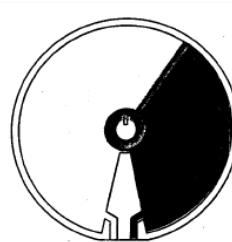
Atuadores Rotativos

Transformam o movimento linear do cilindro de dupla ação num movimento rotativo com ângulo limitado de rotação. A figura descreve esse tipo de cilindro juntamente com o seu símbolo e a sua característica construtiva. Nesse caso a conversão do movimento é feita utilizando-se um sistema pinhão-cremalheira. A rotação tem ângulo limitado podendo ser regulada de 45º até 720º.



Cilindro rotativo.

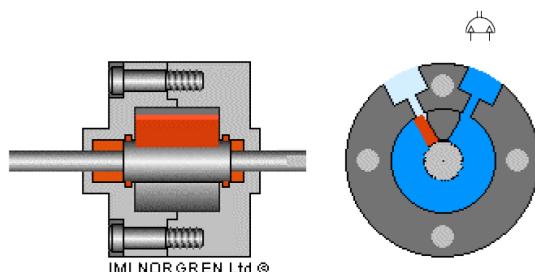
A figura ilustra outro tipo de cilindro chamado cilindro de aleta giratória. Seu ângulo é limitado em 300º e apresentam problemas de vedação. É aplicado para girar peças, curvar tubos, acionar válvulas, etc.



Cilindro de aleta giratória.

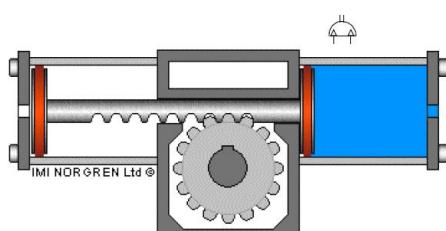
Atuador rotativo de palheta

Dupla ação com 270° de rotação



Atuador rotativo - Pinhão e Cremalheira

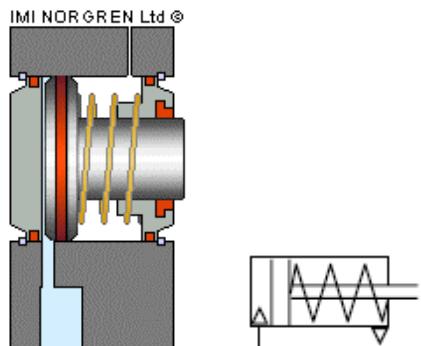
Dupla ação tipo pinhão e cremalheira



Cilindros de Fixação

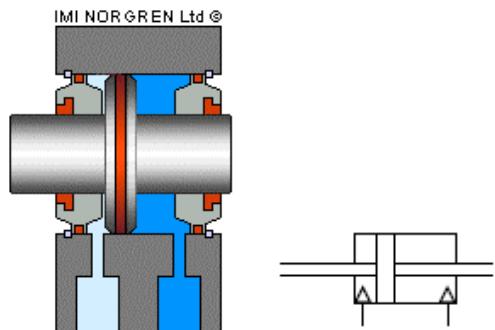
São utilizados para uso em espaços confinados onde um pequeno curso é requerido. Possuem pequeno comprimento em relação ao diâmetro. É geralmente usado em leves aplicações. Sua versão de Simples ação é a mais usada, mas existe também a de Dupla ação com haste dupla.

Simples ação - Retorno por mola



Simbologia

Dupla ação com haste dupla

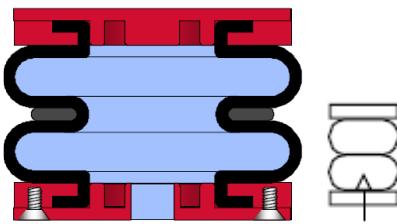


Simbologia

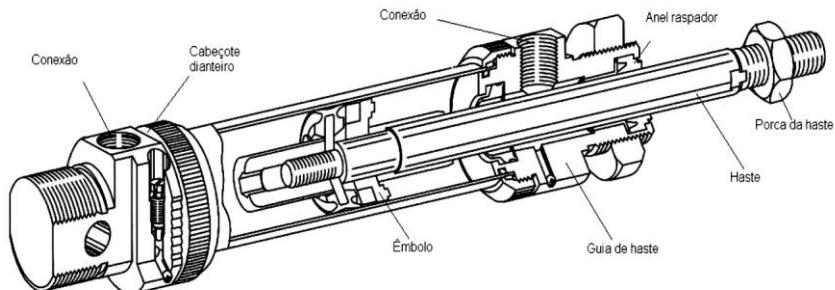
Fole

Foles são como “cilindros” de simples ação, que estendem quando inflados. Proporcionam grandes forças em cursos reduzidos. Seu projeto permite curvar em qualquer direção. Pode ser usado como mola de ar sendo ideal para isolar a vibração de cargas suportadas.

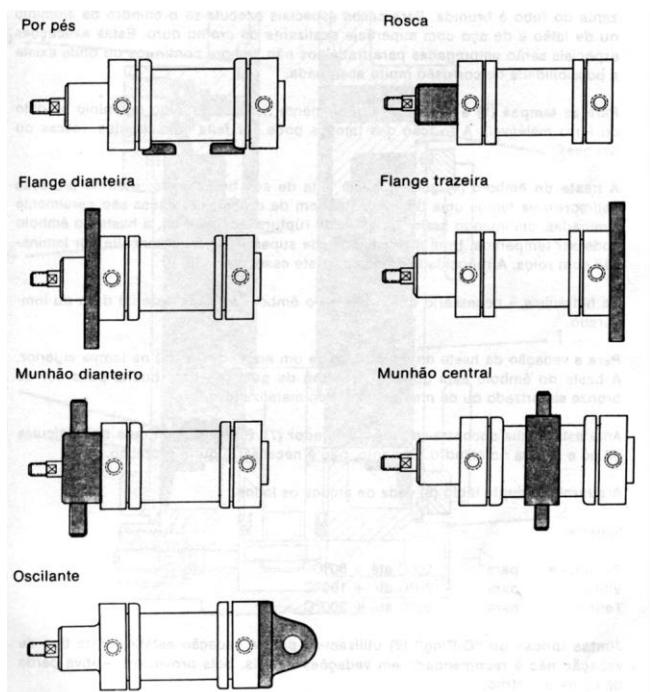
Atenção: A compressão e extensão máximas do fole devem ser limitadas externamente. O fole nunca deve ser pressurizado sem um limitador externo, pois a placa final pode se soltar e causar sérios danos. Quando o fole está em exaustão, a carga não deve esmagá-lo.



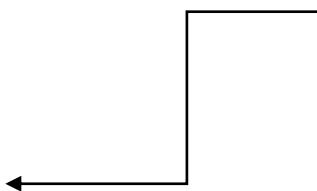
Elementos Construtivos



Componentes do atuador linear



A figura ao lado ilustra as diversas montagens de fixação dos cilindros nas máquinas.

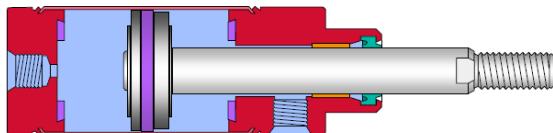


Amortecimento

O amortecimento protege o cilindro e a carga pela absorção da energia no final do curso. Este resulta numa desaceleração progressiva e em um contato suave entre o êmbolo e o cabeçote. Amortecimento fixo com disco é utilizado em pequenos cilindros para absorver o choque. Cilindros maiores tem amortecimento pneumático ajustável com função nos últimos 2cm do curso.

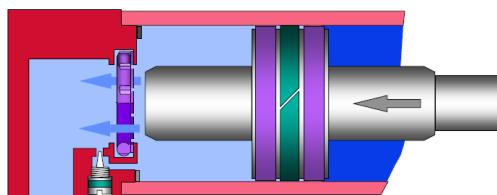
Amortecimento fixo

Discos de material macio montados nos cabeçotes absorvem o impacto do êmbolo

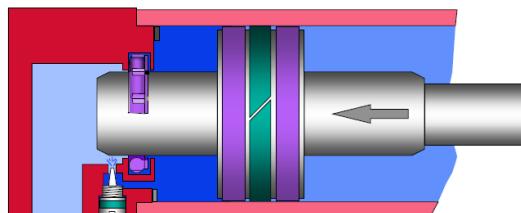


Amortecimento ajustável

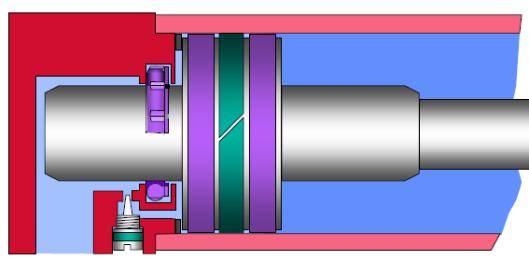
O êmbolo se move para a esquerda com alta velocidade. A exaustão do ar é dada pelo centro da vedação.



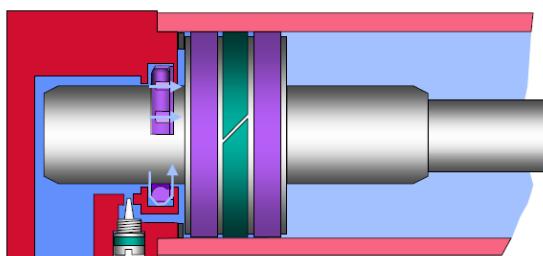
A vedação é empurrada para a esquerda vedando no fundo do alojamento e pelo diâmetro interno. O ar só pode escapar pelo parafuso de ajuste. A pressão cresce e amortece o êmbolo.



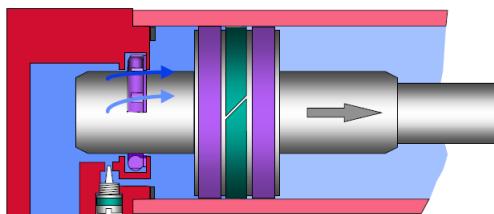
O parafuso é ajustado para proporcionar um contato suave do êmbolo e da carga com o cabeçote.



A válvula direcional é invertida para o cilindro avançar. A vedação do amortecedor é empurrada para a direita. Canais do lado direito e o lado externo da vedação permitem a livre passagem do ar.



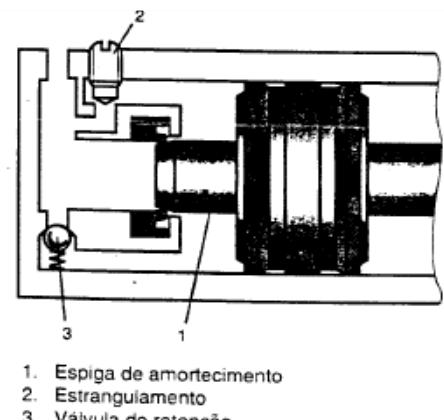
O êmbolo inicia o movimento para a direita sem a restrição do parafuso de ajuste



Amortecimento de Fim de Curso

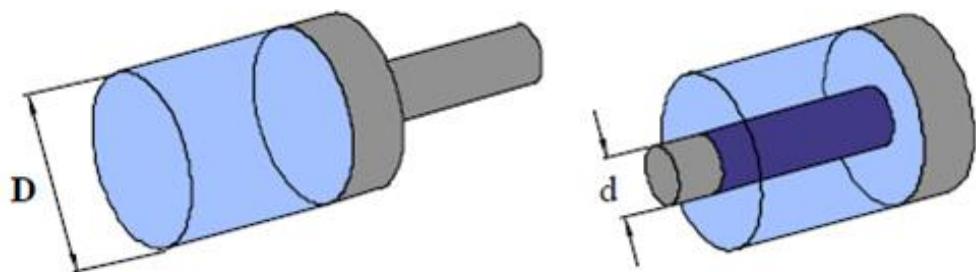
A figura ao lado está representando um sistema de amortecimento que evita o impacto entre o êmbolo e a tampa.

Essencialmente, ao chegar próximo do final do curso a haste (1) obstrui o canal principal de saída do ar que é obrigado a passar pelo estrangulamento (2) amortecendo assim o movimento do êmbolo. No sentido oposto, o ar passa pela válvula de retenção (3) exercendo pressão sobre toda a área do êmbolo e movendo-o.



Dimensionamento do cilindro

A força teórica de avanço ou retorno de um cilindro é calculada pela multiplicação da área efetiva do êmbolo pela pressão de trabalho. A área efetiva para o avanço é a área total do cilindro "D". A área efetiva para o retorno é reduzida pela secção da área da haste "d".



Na fórmula, P é dividido por 10 para converter bar para N/mm² (1 bar = 0.1 N/mm²)

$$Fa = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \frac{P}{10}$$

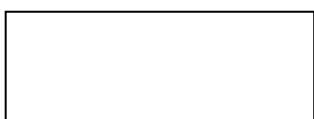
Onde:

D = Diâmetro do cilindro em milímetros

P = Pressão em bar

Fa = Força de avanço em Newtons

A força do retorno (Fr) é menor que a do avanço devido à redução da área causada pela haste.

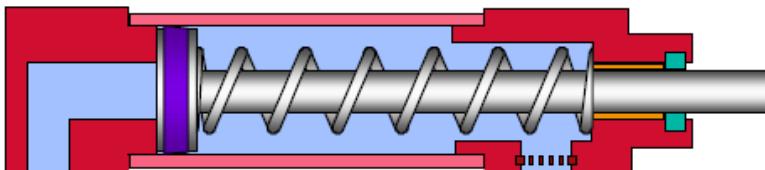


D = Diâmetro do cilindro em milímetros
d = Diâmetro da haste em milímetros
P = Pressão em bar
Fr = Força do retorno em Newtons

$$Fr = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{P}{10} \quad \text{Onde:}$$

Força de oposição da mola

O cálculo da força de avanço ou retorno de um cilindro de simples ação é um pouco mais complicado. A força de oposição da mola aumenta progressivamente na medida em que o cilindro vai alcançando o final do curso. Esta força tem que ser subtraída para encontrar o valor final.



Forças p/ cil. de Simples ação

Tabelas de força são normalmente encontradas nos catálogos. Os valores mostrados aqui são para pressão de trabalho de 6 bar.

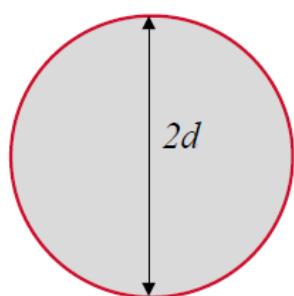
Para outras pressões em bar, multiplique o valor dado pela nova pressão e divida por 6.

Diam. cilindro mm	Força N a 6 bar	Carga min. da mola N
10	37	3
12	59	4
16	105	7
20	165	14
25	258	23
32	438	27
40	699	39
50	1102	48
63	1760	67
80	2892	86
100	4583	99

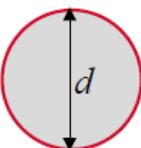
Forças p/ cil. de Dupla ação

Força

Quando calculamos as forças de cilindros com diferentes diâmetros é útil lembrar que a força aumenta com o quadrado do diâmetro. Em outras palavras **se dobrar o diâmetro a força aumentará o quádruplo**.



A área de $(2d)$ é 4 vezes maior que a área de (d)



Força útil

Quando selecionamos um diâmetro de cilindro e uma pressão de operação adequada, um a estimativa da força real requerida deve ser feita.

Esta é tida como uma porcentagem da força teórica do cilindro.

A porcentagem escolhida dependerá se a aplicação requerida é estática ou dinâmica. Força estática no final do movimento para fixação.

Força dinâmica durante o movimento para levantamento.

Aplicações de fixação

Em aplicações de fixação a força é desenvolvida quando o cilindro pára. Isto é, quando a pressão diferencial no êmbolo alcança o máximo. A única perda da força teórica será aquela causada pelo atrito. Como regra geral deve-se descontar 10% pelo atrito. Este pode ser maior para cilindros de diâmetro pequeno e menor para cilindros de grande diâmetro.

Aplicações dinâmicas

A força de avanço ou retorno em aplicações dinâmicas é dividida em dois componentes:

- Um para o movimento da carga.
- Um pela criação de uma contrapressão para expelir o ar de exaustão do outro lado do cilindro. Para um cilindro carregado levemente, a maior parte da força é usada para expelir a contrapressão.

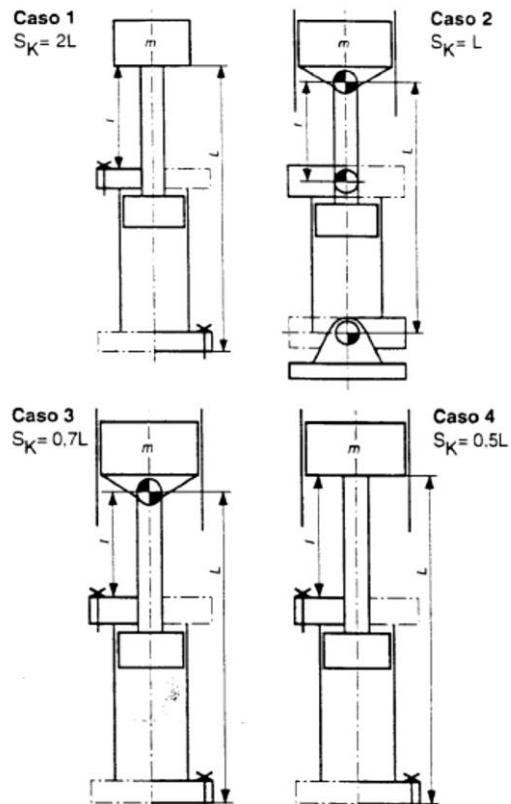
Como regra geral a força estimada requerida deve ficar entre 50% e 75% da força teórica.

Flambagem da haste

Outro ponto importante a se considerar no dimensionamento dos cilindros é a questão da flambagem da haste que é crítica para grandes cursos. A força crítica de flambagem (F_{crit}) é dada pela equação:

$$F_{crit} = \frac{\pi \cdot E \cdot J}{S_k \cdot C} \text{ onde, } J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

onde (E) é o módulo de elasticidade, (J) o momento de inércia da haste, (d) o diâmetro da haste, (C) um coeficiente de segurança (2,5 a 5). (S_k) é o comprimento total livre definido na figura para diferentes montagens do pistão, e (L) é o comprimento real submetido a flambagem. Os fabricantes fornecem gráficos da carga crítica (em termos de pressão) em função do curso, e diâmetro do cilindro.



➤ caso especial $l/k < 1.5l$

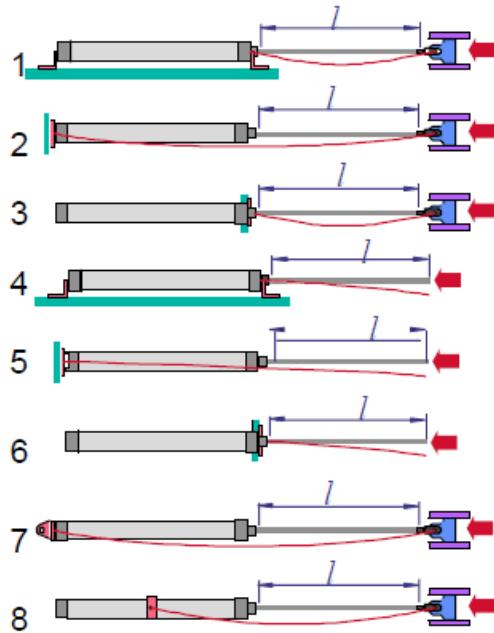


Tabela para cursos máximos em mm. Fator de segurança "s" = 5
Carga no avanço desenvolvida à pressão dada.

Cilindro	Bar	caso 1,2,3	caso 4,5,6	caso 7	caso 8
8050	2	1300	450	1740	1990
	6	1300	450	960	1110
	10	1100	450	720	840
	16	920	410	550	640
8063	2	1300	500	1360	1550
	6	1200	500	750	860
	10	920	410	560	640
	16	700	300	420	490
8080	2	1600	600	1680	1930
	6	1500	600	920	1060
	10	1100	510	690	800
	16	880	380	520	600
8100	2	1500	600	1320	1500
	6	1100	530	710	810
	10	890	380	520	600
	16	670	280	390	450

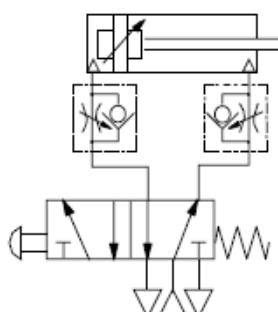
Controle de velocidade

A velocidade natural máxima de um cilindro é determinada por:

- diâmetro do cilindro,
- orifício de entrada,
- fluxo de entrada e exaustão da válvula,
- pressão do ar,
- diâmetro e comprimento do tubo,
- carga contra a qual o cilindro está trabalhando.

A velocidade natural pode ser aumentada ou reduzida. Normalmente uma pequena válvula reduz a velocidade do cilindro e uma válvula grande aumenta a velocidade do cilindro. Um fator limitador pode ser a passagem nos orifícios de entrada dos cilindros.

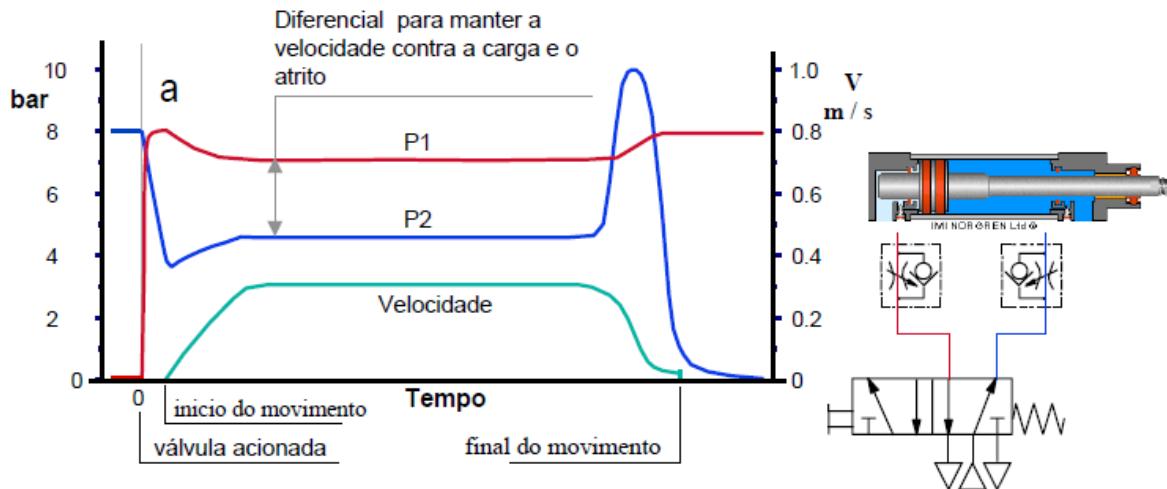
Selecionados válvula, cilindro, pressão e carga, o controle de velocidade ajustável é efetuado por válvulas controladoras de fluxo. A velocidade é regulada controlando o ar de exaustão. A válvula controladora no orifício frontal regula a velocidade de avanço e no orifício traseiro a velocidade de retorno.



Círculo com válvulas controladoras de fluxo.

Pressão/Velocidade

O comportamento da pressão e velocidade durante o curso do cilindro com amortecedor e controles de fluxo.



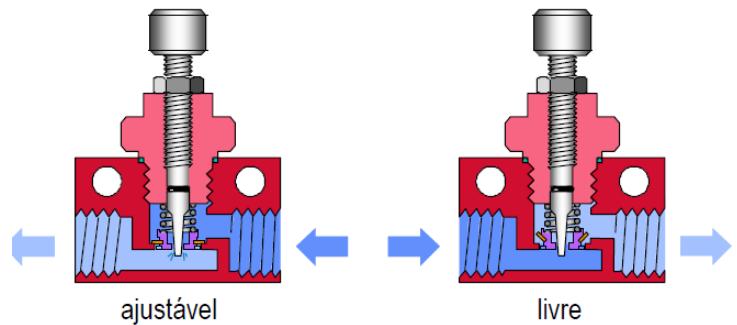
P1 pressão avançando o cilindro

P2 contra-pressão no lado oposto do cilindro

Controle de fluxo

Válvula de controle de fluxo uni-direcional

- Fluxo livre em uma direção
- Fluxo ajustável na outra direção

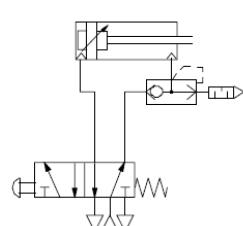
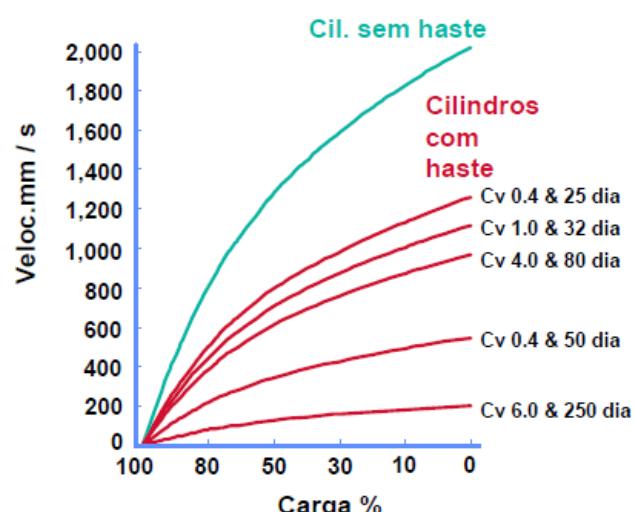


Guia para velocidades

Como um guia aproximado o gráfico mostra a velocidade máxima que um cilindro pode alcançar com a combinação típica de Cv, diâmetro e porcentagem de carga

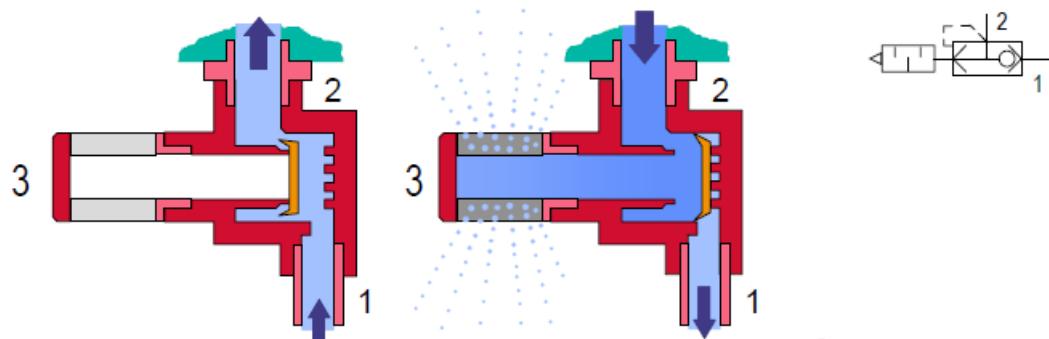
Aumentando a velocidade

Em algumas aplicações a velocidade do cilindro pode ser aumentada até 50% pelo uso de uma válvula de escape rápido. Quando o cilindro é acionado, o ar da câmara frontal é expelido diretamente através da válvula de escape rápido, eliminando rapidamente a contra-pressão. O amortecedor será menos efetivo.



Válvula de escape rápido

O ar flui da válvula direcional para o cilindro passando pela vedação poppet (1-2). Quando a válvula direcional é operada a queda de pressão em “1” permite que a vedação poppet abra. O ar do cilindro é expelido rapidamente pelo grande orifício de exaustão e silenciador (2-3).



Tempo de resposta

Tempo provável de um ciclo.

-Tempo de resposta total da válvula e cilindro

Tabela guia para cilindros de dupla ação.

-150-mm curso

-um ciclo- avanço e retorno

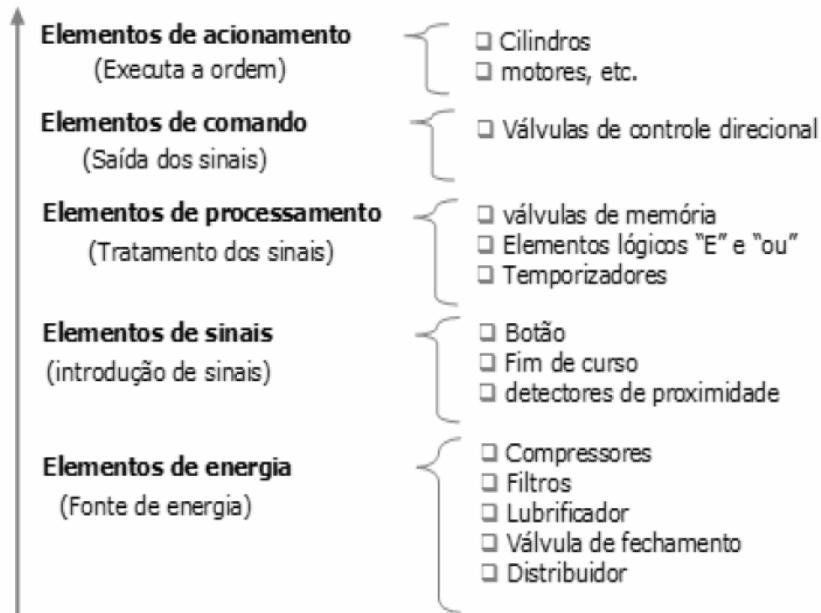
-válvula 5/2 solenóide/mola.

-pressão de 6 bar

-1m de tubo entre a válvula e o cilindro

Cadeia de comando

Antes de iniciarmos os circuitos pneumáticos, devemos atentar à cadeia de comando, pois os circuitos pneumáticos não podem ser construídos de qualquer maneira. O fluxo de sinais é de baixo para cima, a alimentação é um fator importante e deve ser representado na parte inferior e, então distribuir a energia.



Padrões

ISO 6431 e 6432 padronizam as dimensões de cilindros pneumáticos com suas montagens acopladas. As montagens de um fabricante podem não servir para outras marcas. VDMA 24562 é um refinamento das normas acima onde as dimensões, particularmente o centro a centro dos tirantes são iguais permitindo a montagem em todas as marcas. ISO 6009 relaciona os códigos de letras usadas nas tabelas dimensionais. Existem montagens adicionais além das padronizadas.

Dimensões não padronizadas

Existe uma gama muito grande de cilindros não padronizados. Em geral estes cilindros incorporam modernas técnicas de fabricação que reduzem o seu peso e tamanho resultando em modelos bastante compactos em relação ao curso que proporcionam.

Tipos de construção

- Os fatores que controlam o tipo de construção de um cilindro são:

-Tamanho, serviço, custo, padrão e compatibilidade de materiais

- Cilindros selados

- Baixo custo, leve, pequeno a médio tamanho. Pré-lubrificado durante a montagem para longa vida útil pode operar com ar lubrificado ou não lubrificado.

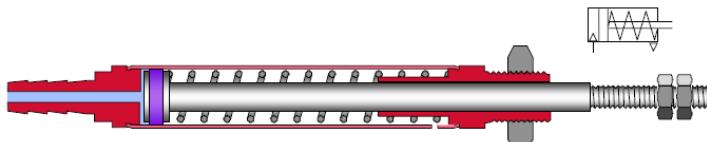
-Tipos: cilindros micro , redondos, compactos de pequeno diâmetro.

- Cilindros com manutenção

- São economicamente possíveis de estender a vida útil pela troca das vedações gastas. Podem também substituir peças danificadas por acidentes ou falhas.

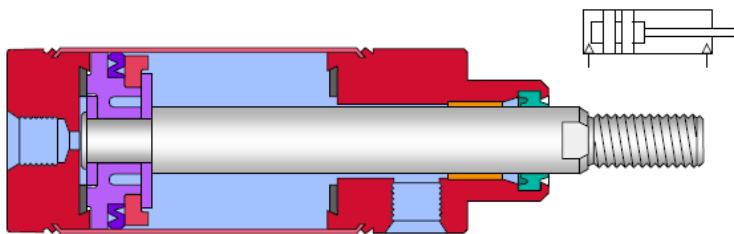
-Tipos: ISO de 32 a 320mm, compactos com diâmetro maior.

- Micro cilindros



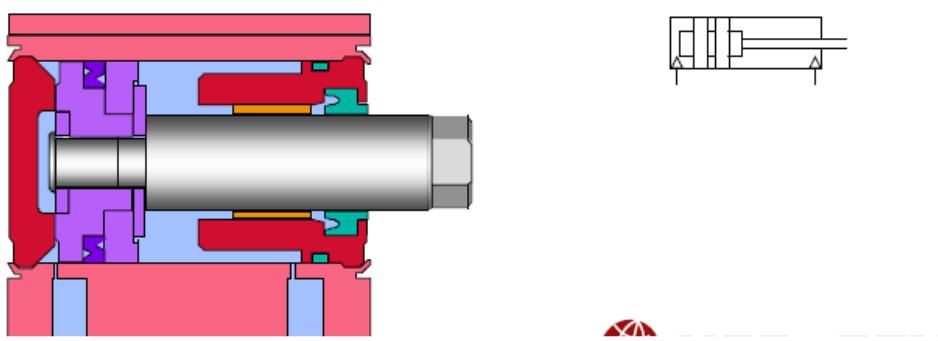
Diâmetros de 2,5 a 6mm, principalmente simples ação retorno por mola. Para uso em serviços leves. Faixa de pressão de 2,5 a 7bar. Cilindro selado.

- Cilindros redondos.



Baixo custo, serviço leve, pequenos diâmetros de 8 a 63mm e ISO 6432 de 10 a 25mm. Os cilindros são selados com a camisa retravada nos cabeçotes. Faixa de pressão de 1 a 10 bar

- Cilindros compactos 12 - 40 mm



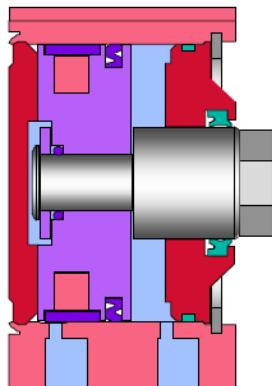
Dimensões reduzidas, têm aproximadamente um terço do comprimento de um cilindro ISO. Êmbolo magnético padrão. Faixa de pressão de 1 a 10 bar. Cilindro selado.

Cilindros com manutenção

Serviço leve e médio. Estes cilindros podem ser recondicionados pelo usuário com a troca do “kit” de reparos para aumentar sua vida útil. Construções típicas são:

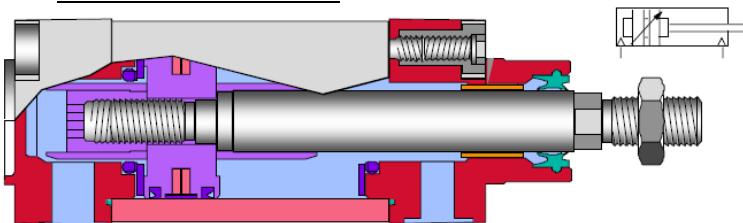
- Camisa roscadas nos cabeçotes
- Cabeçotes fixados com anéis elásticos
- Cabeçotes fixados por tirantes

- Cilindros compactos 50 - 63 mm



Tampa dianteira removível através de um anel elástico. Isto permite a reposição das vedações.

- Cilindros ISO / VDMA

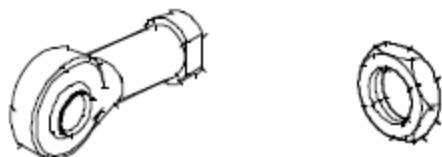
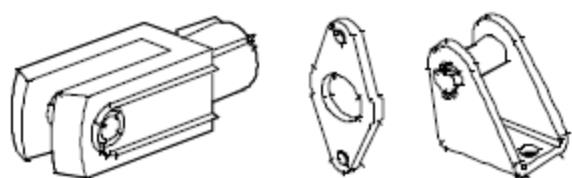
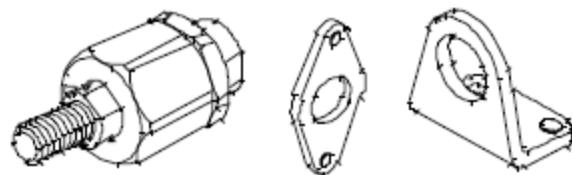


Dimensões conforme ISO/VDMA e uma ampla gama de montagens. Leves, dupla ação, construção por tirantes, versões com êmbolo magnético e não magnético. Diâmetros de 32 a 320mm. 1 a 16 bar (até 200 mm) ; 1 a 10 bar (250 a 320 mm).

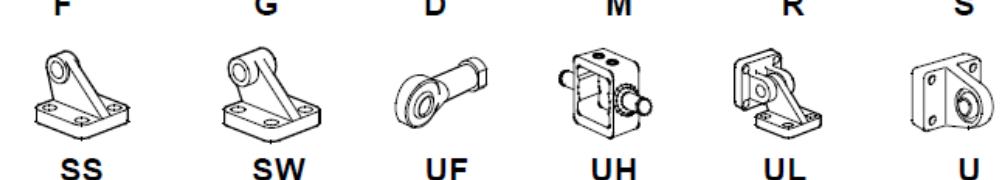
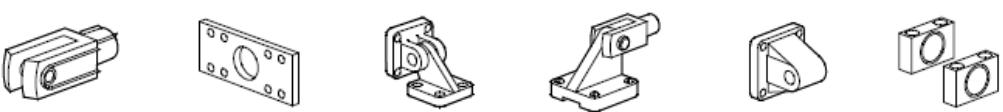
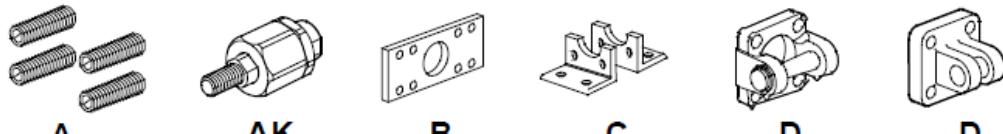
Montagens

Cilindro rigidamente fixado ou articulado para permitir junções em um ou mais planos. Os pontos de fixação podem ser no corpo do cilindro e/ou na ponta da haste.

Montagens para pequenos diâmetros



Montagens para cilindros com tirantes



Montagens Rígidas



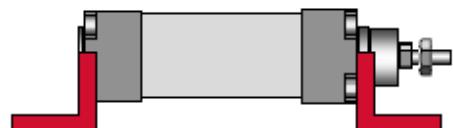
A- extensão dos tirantes



G- Flange dianteira



B- Flange traseira



C- Cantoneiras

Montagens Articuladas



D- Articulação traseira fêmea



H- Munhão central



R- Articulação traseira macho



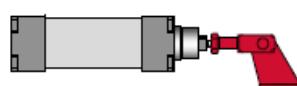
F- Garfo



L-Articulação traseira com suporte



UF- Universal (rótula)



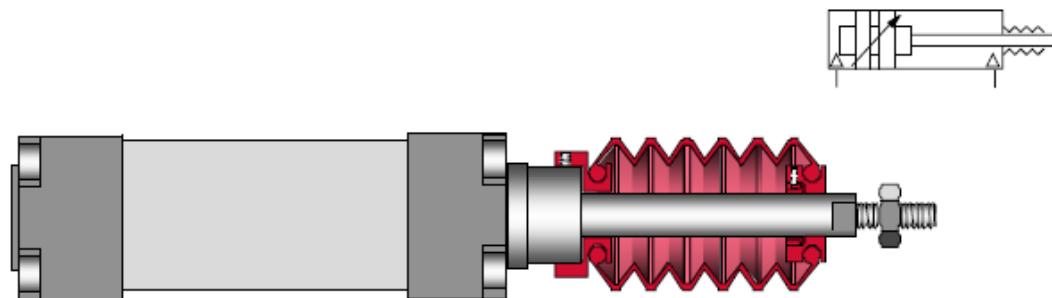
M- Articulação dianteira com suporte



UR Articulação traseira universal(rótula)

Proteção com sanfona

Uma alternativa para os limpadores de haste são as sanfonas de proteção. Especificadas como um equipamento original quando a haste requer uma proteção maior. Solução ideal onde a haste está sujeita a presença de abrasivos ou substâncias que possam riscar a mesma.

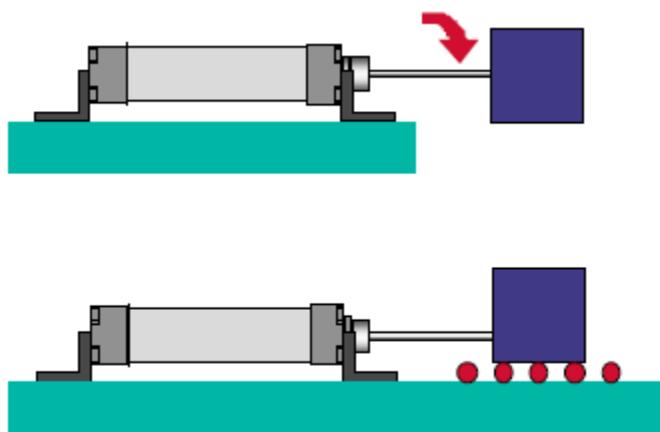


Instalação

Um cilindro deve ser instalado de tal forma que as cargas laterais sobre a haste sejam reduzidas ao máximo ou eliminado. Uma carga lateral é um componente de força agindo lateralmente sobre um eixo. Cinco instalações típicas que produzem uma carga lateral e suas possíveis soluções. As cargas laterais raramente podem ser eliminadas completamente, mas pela prática podem ser reduzidas a níveis aceitáveis

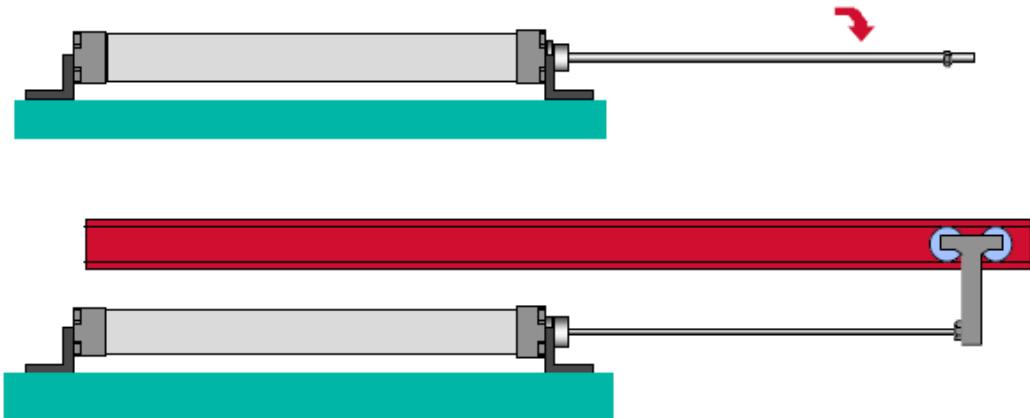
Primeira carga lateral

Evitar colocar uma carga sem suporte na haste. Quando for possível apoiar a carga em uma superfície lisa ou em roletes.



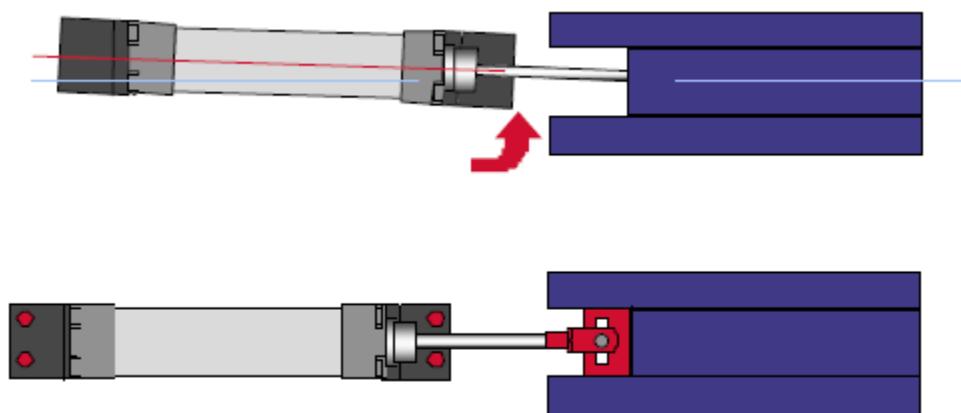
Segunda carga lateral

O peso de uma haste de curso muito grande pode produzir uma flambagem. É possível segurar a haste através de guias



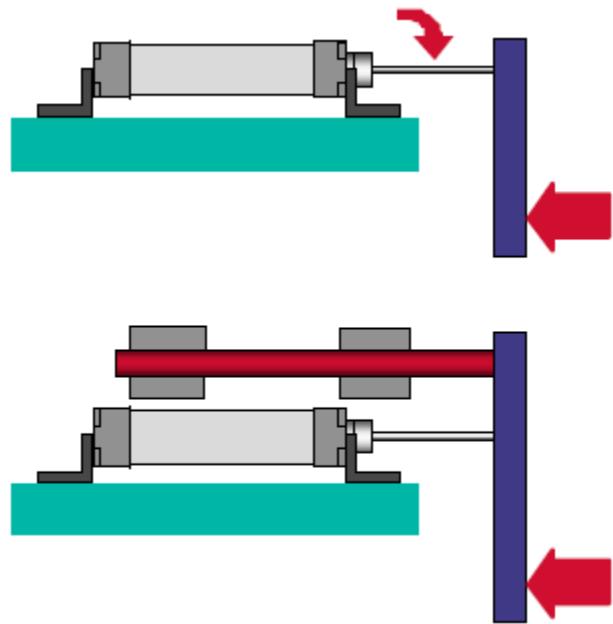
Terceira carga lateral

O desalinhamento de um cilindro em relação a uma carga guiada pode facilmente estragar o cilindro completamente. A instalação de um garfo dianteiro eliminará este tipo de carga lateral.



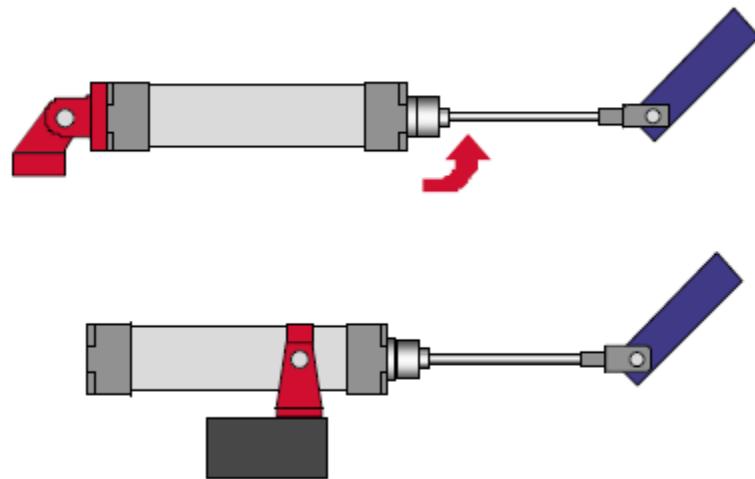
Quarta carga lateral

Uma carga fora de centro é um comum criador da flambagem da haste. Instalar uma guia externa para aliviar a carga lateral.



Quinta carga lateral

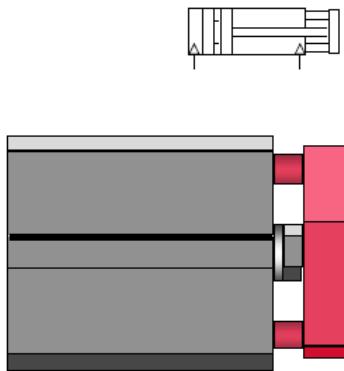
Uma montagem horizontal em um cilindro articulado terá o peso do cilindro criando a flambagem. Coloque um munhão central no ponto de equilíbrio.



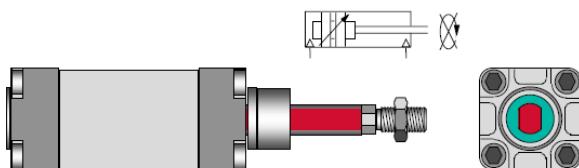
Modelos não padronizados

Cilindro anti-giro

Para aplicações onde a carga ligada ao cilindro precisa de guia para manter a orientação. Cilindros compactos incorporam duas barras guiadas no extrudado do corpo.

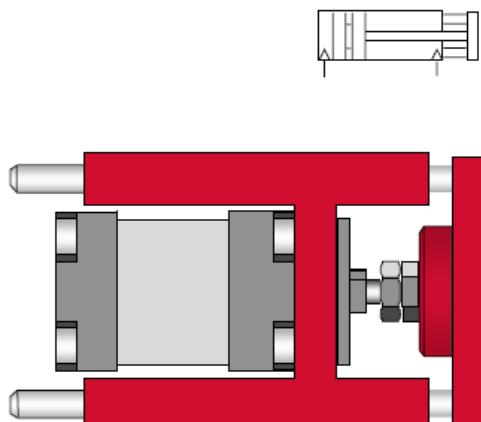


Cilindros ISO 32 a 100mm com haste anti-giro. Possuem duas faces planas ao longo da haste guiadas pelo mancal frontal (vedação e limpador) Para resistir a leves cargas de torsão. Pequenos giros podem ocorrer com altos torques.



Guia anti-giro

Conjunto anti-giro



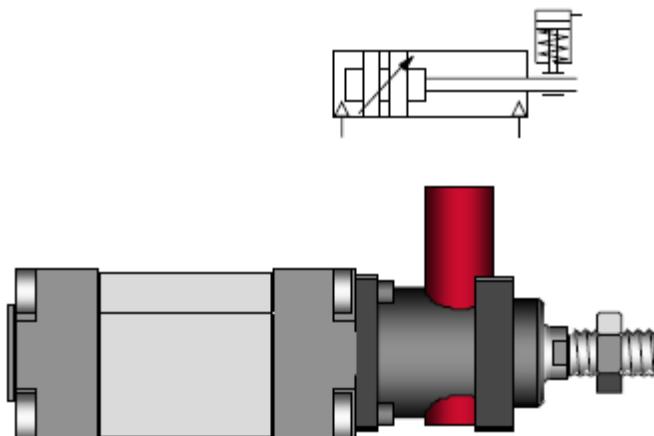
-com mancais ou rolamento

Proporciona guia antigiro e suporta altas cargas de torsão.

- Para baixo atrito e altas cargas usar o modelo por rolamentos.
- Estas unidades podem ser montadas com os cartuchos de travamento.

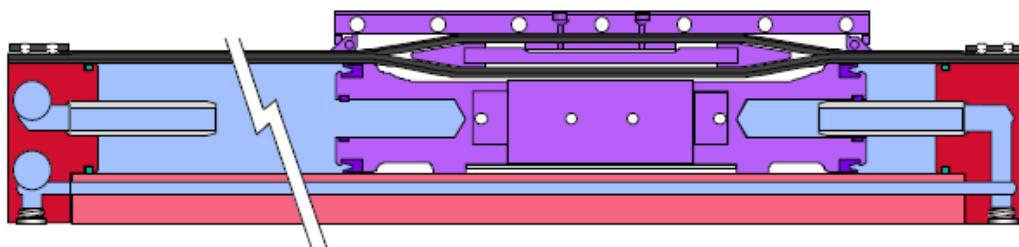
Unidade de travamento

Para aumentar a segurança no evento de uma falha do ar ou como parte de uma sequência da máquina. Pára e mantém uma carga em qualquer posição do curso. Unidade de ação passiva. Adequada para cilindros ISO de 32 a 125mm.



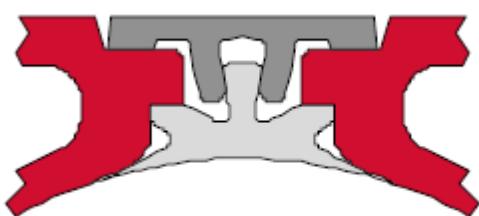
Cilindros sem haste

Contém o movimento produzido no mesmo espaço ocupado pelo corpo do cilindro. Para levantamento em áreas com espaço reduzido Para operações horizontais não convencionais. Diâmetros de 16mm a 80mm com cursos máximos de até 8.5 metros dependendo do diâmetro.



Cilindros sem haste

A camisa tem uma ranhura em toda a sua extensão que permite ao êmbolo movimentar o “carro” externo. A ranhura é selada contra pressão e sujeira com duas fitas(interna e externa). As fitas são continuamente abertas e fechadas pelo êmbolo. A ranhura só não é selada no espaço não pressurizado entre as vedações do êmbolo.

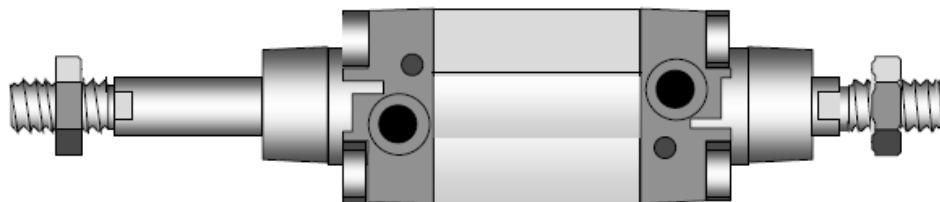


Variantes

- Haste dupla

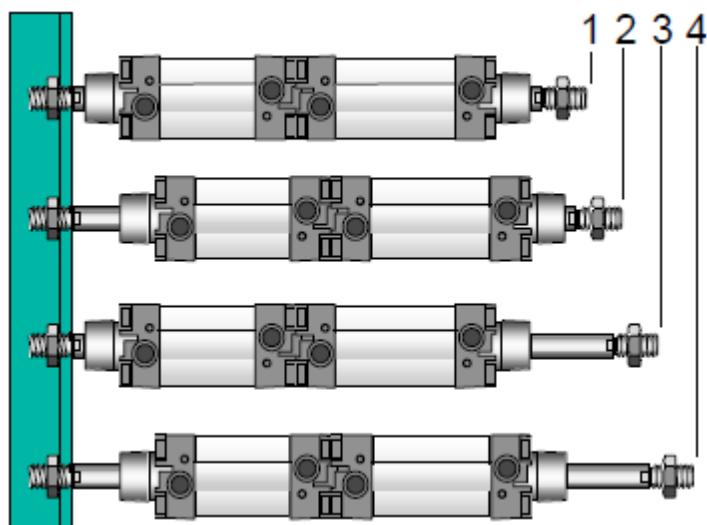
-Proporciona uma construção mais rígida e melhor estabilidade contra cargas laterais.

-A área efetiva do êmbolo é a mesma de ambos os lados. Pressão equalizada cria um balanço de forças através do êmbolo.



- Geminado Multi Posições

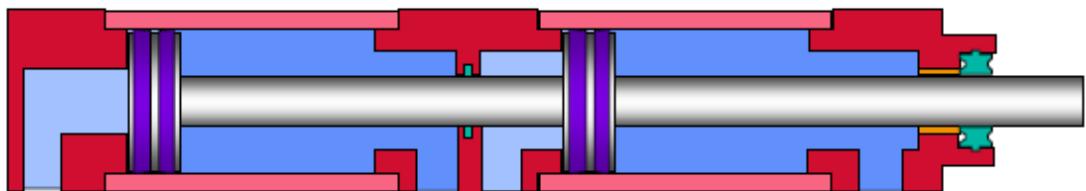
-Pela fixação de dois ou mais cilindros pode-se obter diversas posições de parada de forma confiável.



- Cilindro Tandem. Proporciona quase o dobro da força para um dado diâmetro.

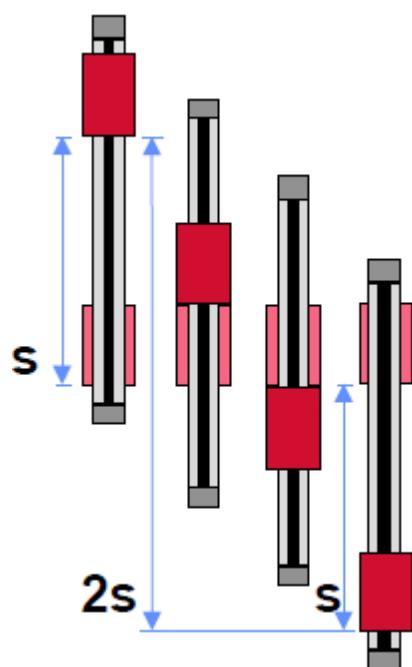
- É indicado como alternativa a cilindros maiores onde o espaço disponível é grande no comprimento mas restrito na largura.

- Assegura a máxima força dentro dos limites de flambagem.



Cilindro sem haste com curso duplo

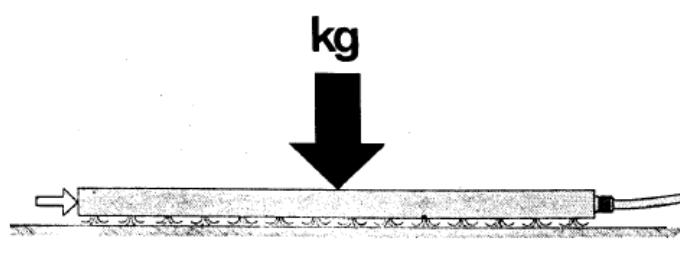
Para satisfazer aplicações onde um longo alcance ou movimento duplicado é requerido. O cilindro de curso duplo tem dois “carros” que se movem em direções opostas. O “carro” de potência é conectado por uma cinta ao “carro” livre. Se o “carro” livre for fixado a uma montagem externa o “carro” de potência avançará e através da cinta moverá o corpo do cilindro na direção oposta a do “carro” livre. Também é disponível uma versão com as conexões de ar no “carro”



7. Outros Dispositivos Pneumáticos

Mesa Pneumática

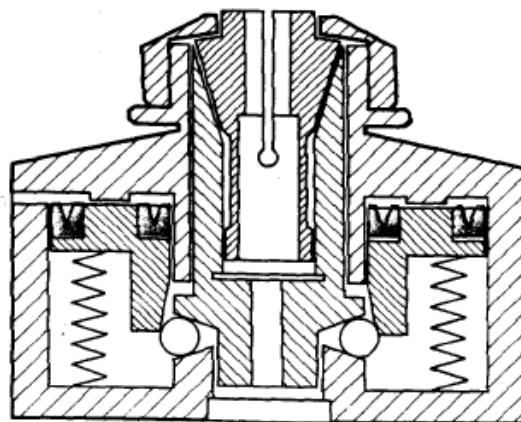
A figura ilustra uma mesa pneumática ou “almofada de ar”. Essencialmente, consiste numa chapa de metal com dutos no seu interior que direcionam o fluxo de ar para a região de contato entre a chapa e o solo. Muito útil para reduzir o atrito no transporte de altas cargas sendo também muito utilizada em máquinas de precisão (mesas de medição).



Mesa pneumática

Pinça Pneumática

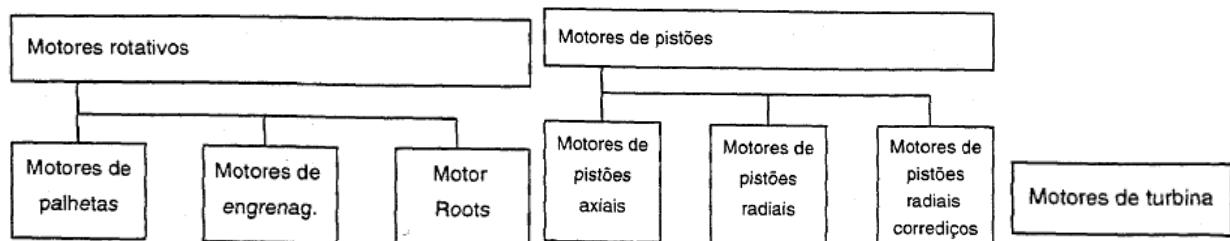
A figura ilustra um dispositivo que atua como uma pinça em máquinas ferramentas para prender a ferramenta de usinagem. Trata-se essencialmente de um pistão de simples ação. Permite a fixação rápida e com grandes forças da ferramenta.



Pinça pneumática.

8. Motores Pneumáticos

São responsáveis por transformar energia pneumática em trabalho mecânico realizando a operação inversa dos compressores. A figura ilustra a classificação dos motores pneumáticos.



Classificação dos motores pneumáticos.

Entre as características dos motores pneumáticos temos:

- Inversão simples e direta do sentido de rotação;
- Regulagem progressiva de rotação e torque;
- Alta relação peso/potência;
- Possibilidade de operação com outros fluidos.

Entre os critérios para a escolha de um motor pneumático temos:

- Torque necessário sob carga e no arranque;
- Rotação com carga correspondente;
- Desvio admissível da rotação com variação de carga;
- Consumo de ar e rendimento.

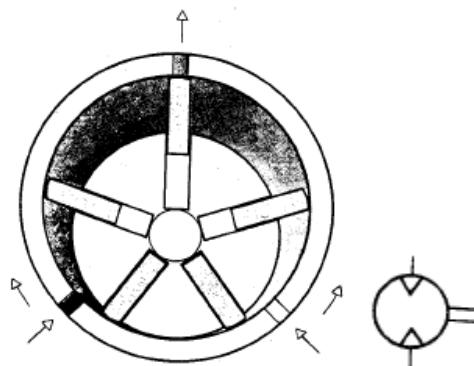
A construção mecânica desses motores é similar a dos compressores pneumáticos. A seguir são descritos brevemente cada tipo de motor.

Motores Rotativos

- Motor de Palhetas

A figura ilustra um motor de palhetas. Seu funcionamento é exatamente o oposto do compressor de palhetas. A expansão do ar nas câmaras entre as palhetas também é aproveitada na realização de trabalho mecânico. A rotação é facilmente invertida dependendo da entrada do

ar. A faixa de rotação de um motor de palheta varia de 200 r.p.m. até 10000 r.p.m. e a de potência varia de 50W até 20 kW. É muito usado em parafusadeiras pneumáticas.



Motor de palhetas.

- **Motor de Engrenagens e Motor Roots**

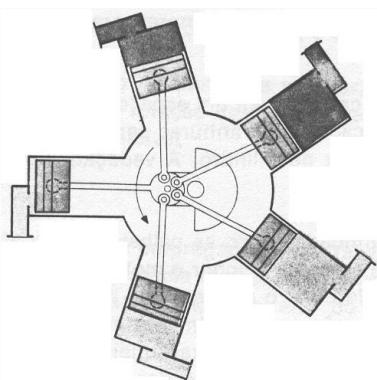
A geração do torque ocorre pela pressão do ar exercida nos flancos dos dentes de duas engrenagens acopladas. Uma engrenagem está fixa ao eixo e a outra livre. Podem ser fabricados com dentes retos, helicoidais ou em "V". Nos motores de dentes retos não há aproveitamento da expansão de volume de ar. A faixa de rotação varia de 1000 r.p.m. a 3000 r.p.m. e a faixa de potência vai até 70 kW. O motor roots apresenta o mesmo princípio sendo de igual construção ao compressor roots.

Motores de Pistões

Entre as características desse motor temos:

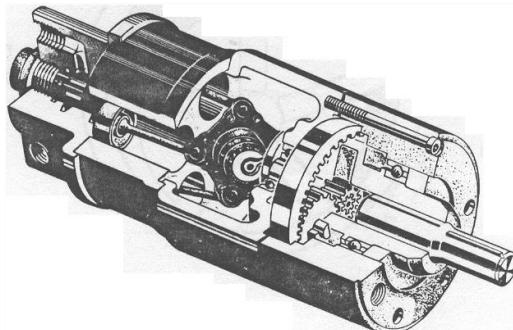
- Elevado torque de arranque e na faixa de rotação;
- Baixa rotação (até 5000 r.p.m.);
- Faixa de potência varia de 2W até 20 kW;
- Comando de fornecimento de ar por distribuidor rotativo.

A figura ilustra um motor de pistões radiais em execução estrela onde a transformação do movimento linear do pistão ocorre por um mecanismo biela-manivela (como no motor de automóvel). São utilizados em equipamentos de elevação.



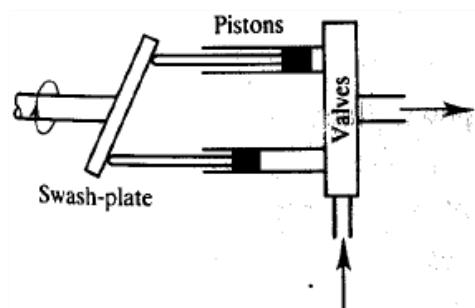
Motor de pistões radiais.

A figura abaixo ilustra um motor de pistões axiais onde a transformação ocorre por disco oscilante como ilustrado na figura abaixo da citada. Esse motor apresenta uniformidade no movimento de rotação com um funcionamento silencioso e sem vibrações, sendo utilizado em equipamentos de elevação.



Motor de pistões axiais.

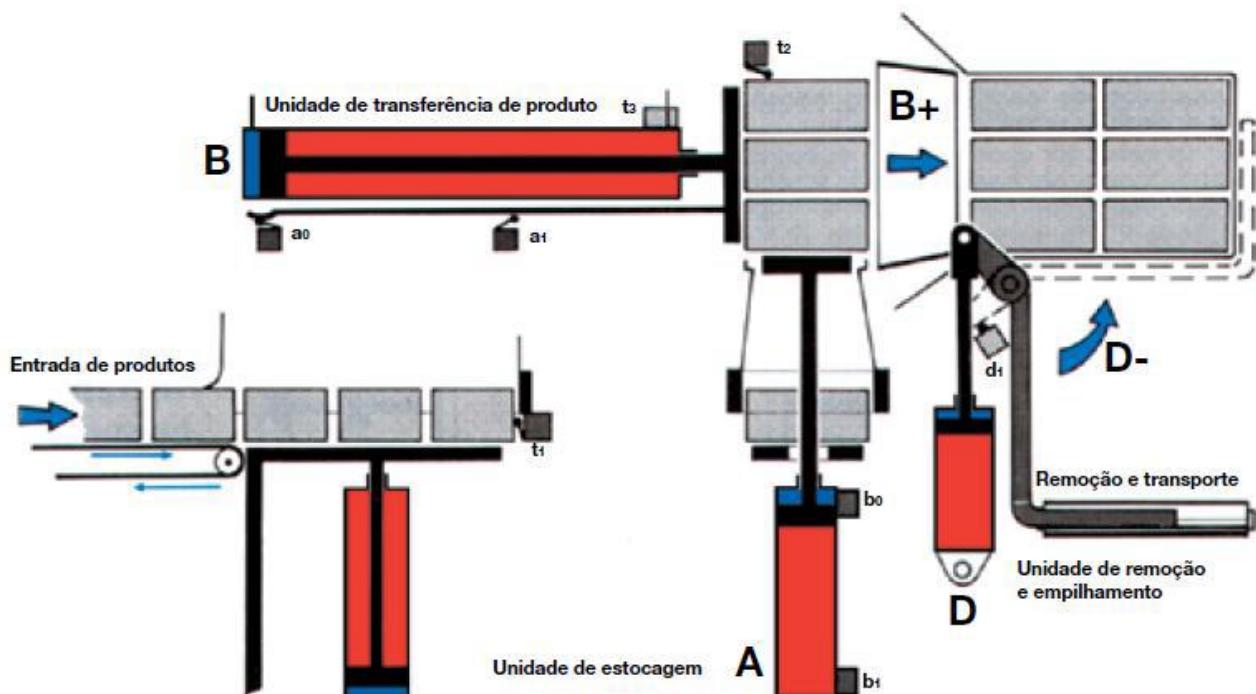
Abaixo temos um exemplo de um esquema de funcionamento do motor de pistões axiais.



Motores de Turbina

Opera de forma contrária ao turbo-compressor, ou seja, a energia cinética do ar é convertida em movimento rotativo. Apresentam péssimo rendimento devido às altas perdas de ar, sendo econômico apenas para baixas potências, no entanto são capazes de atingir rotações elevadíssimas com baixo torque que variam de 80.000 R.P.M. até 400.000 R.P.M. Para baixas rotações e altos torques não é vantajoso a sua utilização, pois necessita de ser acoplado a um redutor. Uma aplicação clássica é a "broca do dentista" que chega atingir 500.000 R.P.M.. Também usado em fresadoras e retificadoras de alta rotação.

9. Comandos Pneumáticos Sequenciais



Representação dos movimentos

Quando os procedimentos de comando são um pouco mais complicados, e devem-se reparar instalações de certa envergadura, é de grande ajuda para o técnico de manutenção dispor dos esquemas de comando, e sequências, segundo o desenvolvimento de trabalho das máquinas.

A necessidade de representar as sequências dos movimentos de trabalho, e de comando, de maneira facilmente visível, não necessita de maiores esclarecimentos. Assim que existir um problema mais complexo, os movimentos serão reconhecidos rápida e seguramente, se for escolhida uma forma conveniente de representação dos movimentos. Além disso, uma representação clara possibilita uma compreensão bem melhor. Com auxílio de um exemplo, pretende-se apresentar as possibilidades de representação mais utilizadas.

Exemplo: Pacotes que chegam por uma esteira transportadora de rolos são levantados e empurrados pela haste de cilindros pneumáticos para outra esteira transportadora. Devido a condições de projeto, a haste do segundo cilindro só poderá retornar após a haste do primeiro ter retornado.

Formas de representação

- *Sequência cronológica*

- A haste do cilindro A avança e eleva o pacote.
- A haste do cilindro B avança e empurra o pacote para a esteira II.
- A haste do cilindro A retorna à sua posição inicial.

- A haste do cilindro B retorna à sua posição inicial.

- *Anotação em forma de tabela*

Movimento	Cilindro A	Cilindro B
1	Avança	Parado
2	Parado	Avança
3	Retorna	Parado
4	Parado	Retorna

Indicação vetorial

Avanço →
Retorno ←

Cilindro A →
Cilindro B →
Cilindro A ←
Cilindro B ←

Indicação algébrica

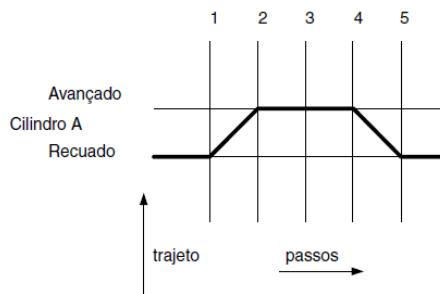
Avanço +
Retorno -

Cilindro A +
Cilindro B +
Cilindro A - ou A + B + A - B -
Cilindro B -

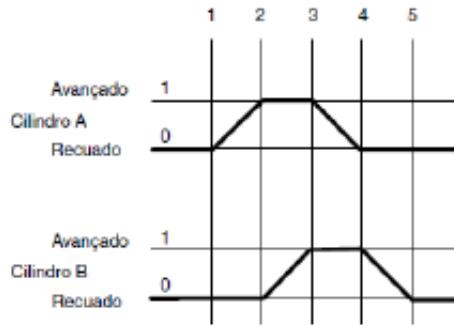
Diagrama de movimentos

- *Diagrama Trajeto-Passo*

Neste caso se representa a sequência de movimentos de um elemento de trabalho; levando-se ao diagrama os movimentos e as condições operacionais dos elementos de trabalho. Isso é feito através de duas coordenadas, uma representa o trajeto dos elementos de trabalho, e a outra o passo (diagrama trajeto-passo).

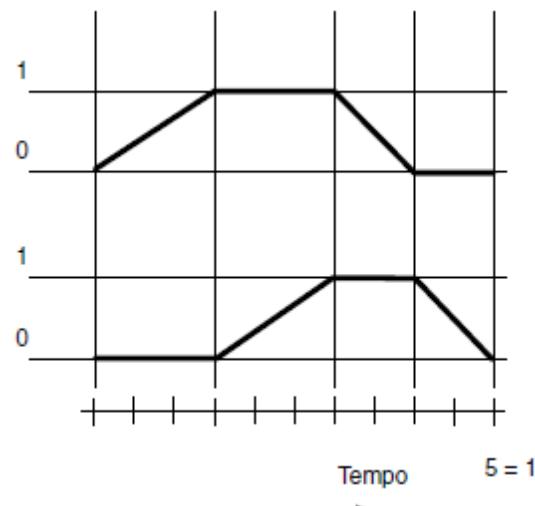


Se existem diversos elementos de trabalho para um comando, estes serão representados da mesma forma e desenhados uns sob os outros. A ocorrência através de passos. Do primeiro passo até o passo 2 a haste de cilindro avança da posição final traseira para a posição final dianteira, sendo que esta é alcançada no passo 2. A partir do passo 4, a haste do cilindro retorna e alcança a posição final traseira no passo 5.



▪ Diagrama Trajeto-Tempo

Neste diagrama, o trajeto de uma unidade construtiva é desenhado em função do tempo, contrariamente ao diagrama trajeto-passo. Nesse caso, o tempo é desenhado e representa a união cronológica na sequência, entre as distintas unidades.



Para representação gráfica, vale aproximadamente o mesmo que para o diagrama trajeto-passo, cuja relação está clara através das linhas de união (linha dos passos), sendo que as distâncias entre elas correspondem ao respectivo período de duração do trajeto na escala de tempo escolhida. Enquanto o diagrama trajeto-passo oferece uma melhor visão das trajetórias, e suas correlações, no diagrama trajeto-tempo pode-se representar com mais clareza as diferentes velocidades de trabalho.

▪ Diagrama de Comando

No diagrama de comando, anotam-se os estados de comutação dos elementos de entrada de sinais e dos elementos de processamento de sinais, sobre os passos, não considerando os tempos de comutação, por exemplo, o estado das válvulas “a1”.

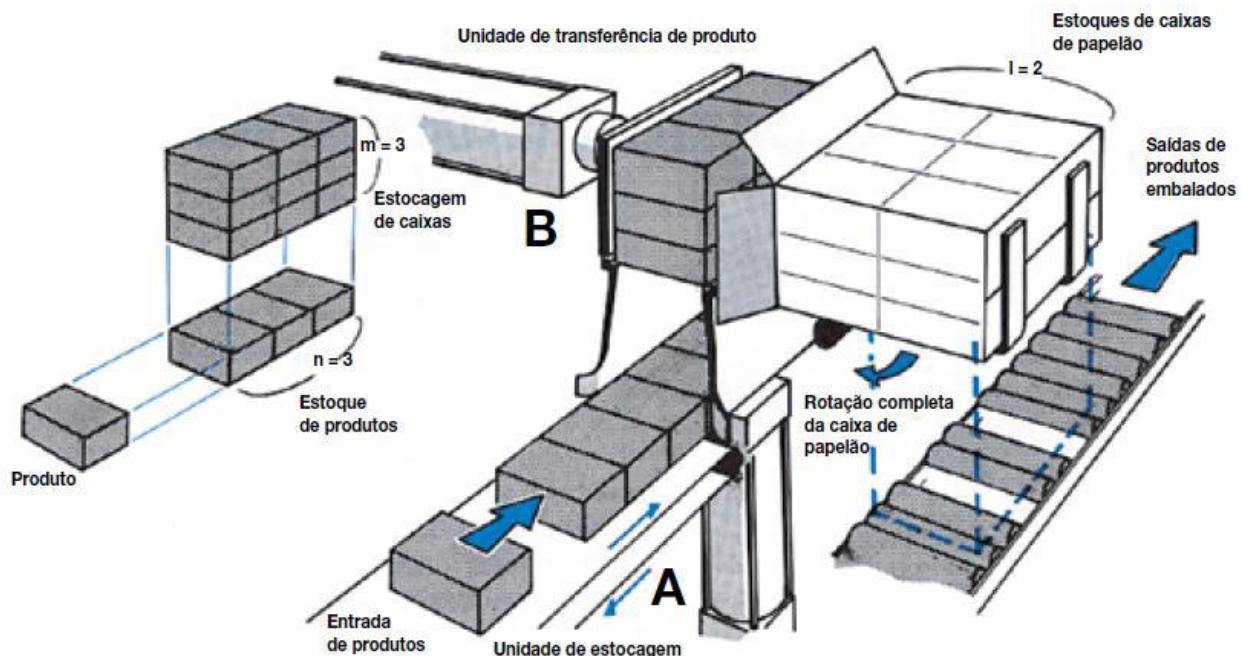


Método de construção de comandos pneumáticos

- *Método Intuitivo*

Exemplo: transporte de produtos

Produtos que chegam por uma esteira transportadora de rolos são levantados e empurrados pela haste de cilindros pneumáticos para outra esteira transportadora. Devido a condições de projeto, a haste do segundo cilindro só poderá retornar após a haste do primeiro ter retornado.



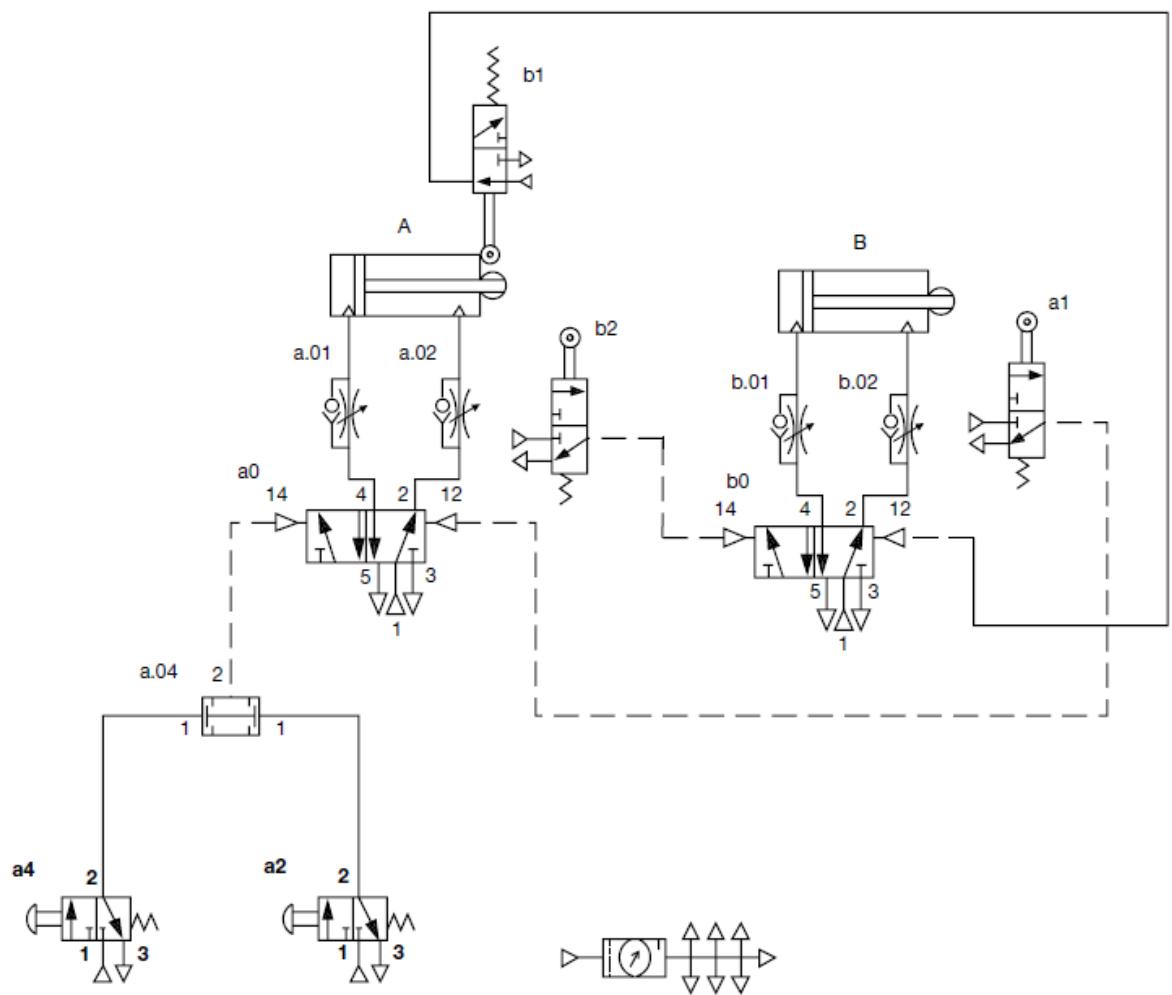
- *Construção do circuito*

Como já foi mencionado, o procedimento para o traçado do esquema depende do desligamento do sinal. O traçado fica mais simples quando se escolhe um desligamento mediante a utilização de válvula gatilho, ou rolete escamoteável.

Para a confecção do projeto recomenda-se o seguinte:

- 1 - Determinar a sequência de trabalho;
- 2 - Elaborar o diagrama de trajeto-passo;
- 3 - Colocar no diagrama trajeto-passo os elementos fins de curso a serem utilizados;
- 4 - Desenhar os elementos de trabalho;
- 5 - Desenhar os elementos de comando correspondentes;
- 6 - Desenhar os elementos de sinais;
- 7 - Desenhar os elementos de abastecimento de energia;
- 8 - Traçar as linhas dos condutores de sinais de comando e de trabalho;
- 9 - Identificar os elementos;
- 10 - Colocar no esquema a posição correta dos fins de curso, conforme o diagrama de trajeto e passo;
- 11 - Verificar se é necessária alguma anulação de sinais permanentes (contrapressão) em função do diagrama de trajeto-passo;
- 12 - Introduzir as condições marginais.

Exemplo de aplicação do método intuitivo para forma sequencial A + B + A - B -



10. Anexos

Simbologia

■ Atuadores

cilindro de dupla ação	cilindro de simples ação	cilindro tandem	cilindro sem haste (Lintra)

Motor pneumático	cilindro de duplo geminado	cilindro de dupla ação e haste dupla	atuador rotativo

■ Válvulas Direcionais

5/3 - 5 vias 3 posições centro fechado	5/3 - 5 vias 3 posições centro positivo	5/3 - 5 vias 3 posições centro negativo		
2/2 NA - 2 vias 2 posições normalmente aberta	2/2 NF - 2 vias 2 posições normalmente fechada	3/2 NF - 3 vias 2 posições normalmente fechada	3/2 NA - 3 vias 2 posições normalmente aberta	5/2 - 5 vias 2 posições

■ Acionamentos

Botão / Mola	Alavanca / Mola	Pedal / Mola	Botão / Trava
Pedal / Trava	Alavanca / Trava	Rolete / Mola	Pino / Mola
Alavanca 3 posições Centrada por Mola	Alavanca / Trava	Simples Piloto	Duplo Piloto
Duplo Piloto Centrada por Mola	Simples Solenóide	Duplo Solenóide	Duplo Solenóide Centrada por Mola

■ *Acessórios*

							
Filtro com dreno	Regulador de Pressão	Lubrificador	Manômetro	Unidade de Conservação	Filtro	Silenciador	Silenciador com Controle de Fluxo

							
Secador de Ar	Válvula de Alívio	Válvula de Retenção	Gerador de Vácuo	Controle de Fluxo Variável	Controle de Fluxo Uni-direcional	Válvula "E"	Válvula "OU"

■ *Componentes Elétricos*

						
Fonte L1	Fonte L2	Relé	Relé Set	Relé Reset	Solenóide	Botão NA
						
Botão NF	Interruptor NA trava	Interruptor NF trava	Contato NA	Contato NF	Fim de Curso NA	Fim de Curso NF
						
Sensor de Proximidade NA	Sensor de Proximidade NF	Fim de Curso	Pressostato	Pressostato NA	Pressostato NF	Sensor de Proximidade

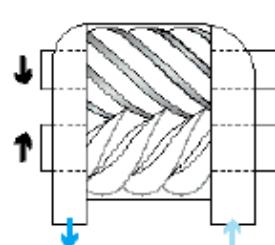
Tipos de Compressores

Tipos de compressores

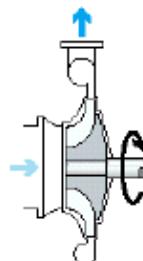
compressor de pistão, simples estágio, simples efeito



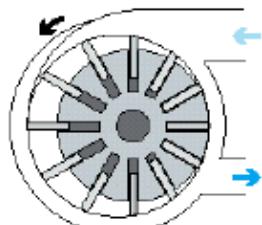
compressor de parafuso



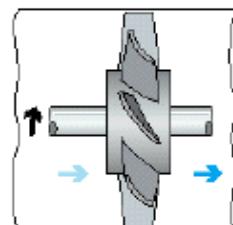
compressor radial



compressor de palhetas

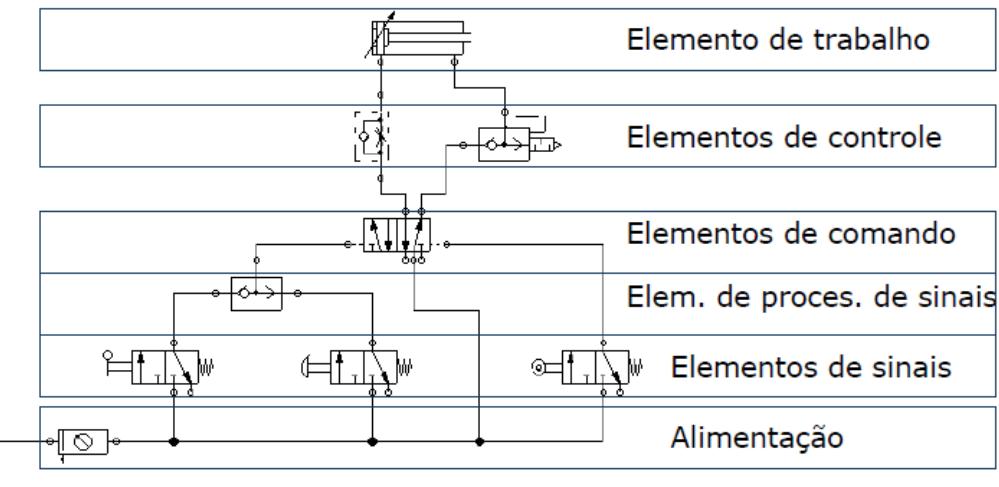


compressor axial

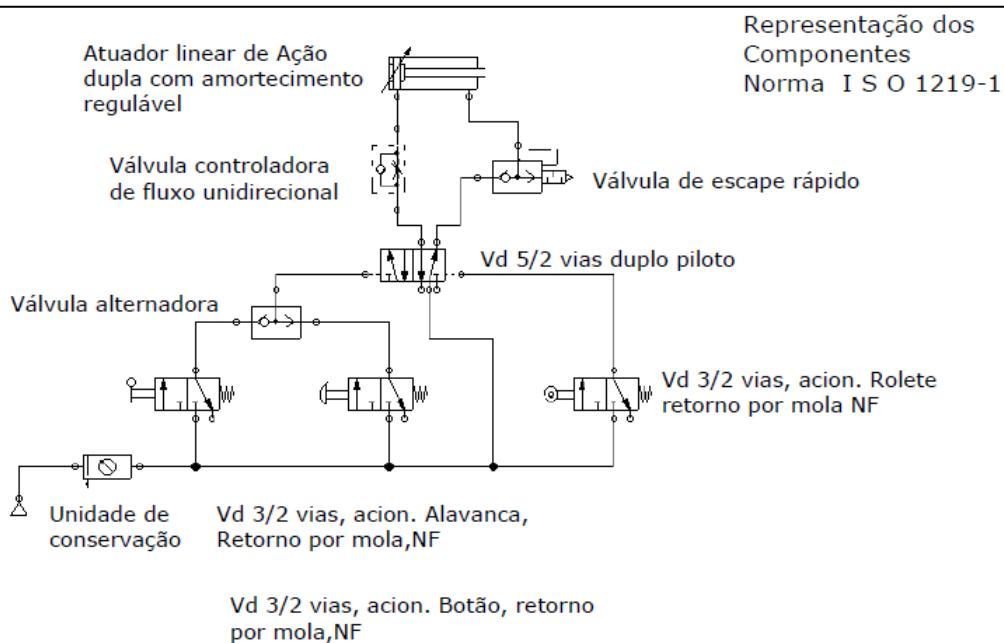


Sistemas Pneumáticos

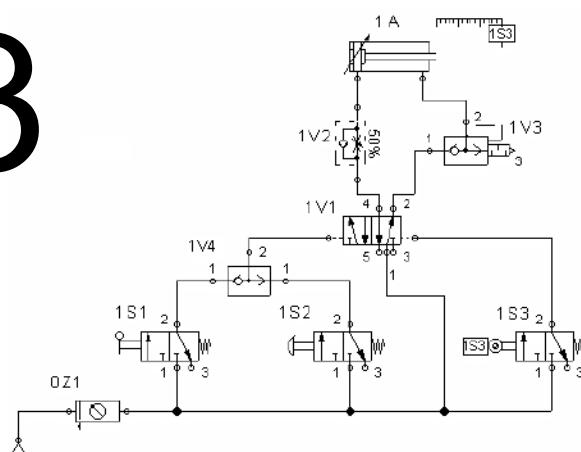
1



2

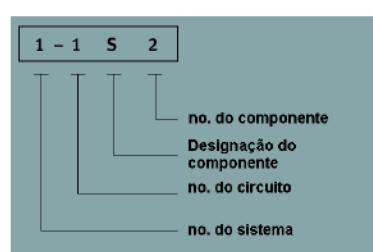


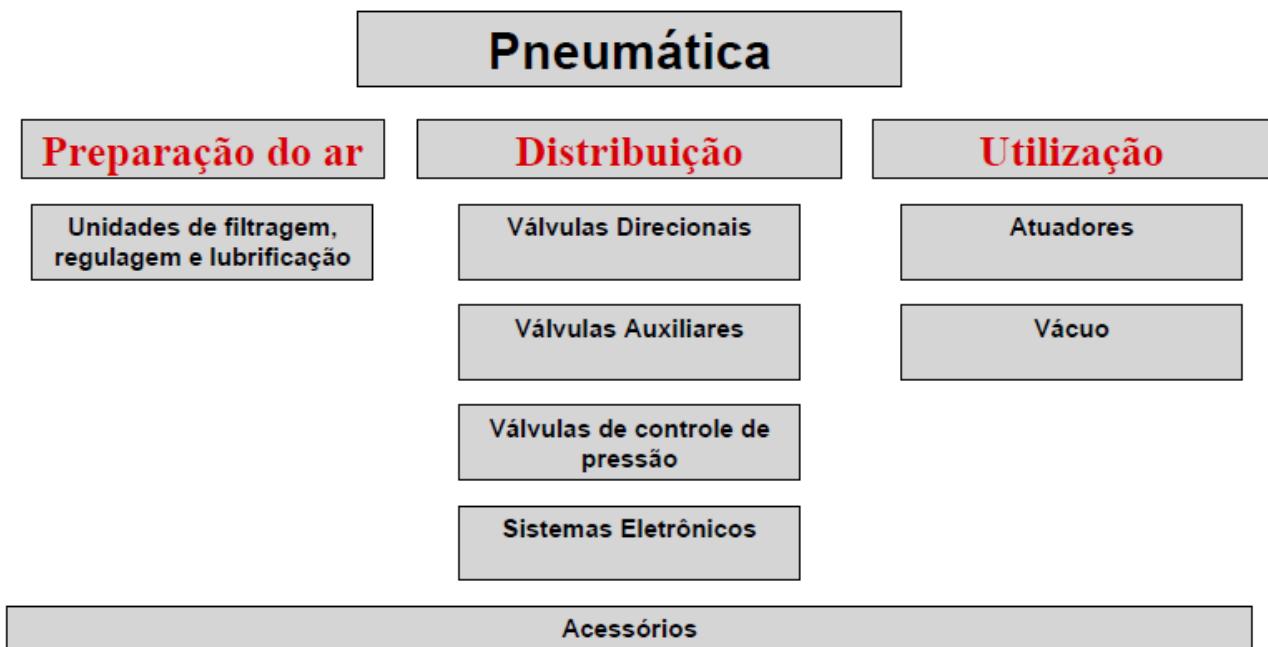
3



Identificação dos Componentes Norma ISO 1219-2

P- compressores e bombas
 A- atuadores
 M- motores
 S- elementos de sinal
 V- válvulas
 Z- demais componentes não incluídos na lista.





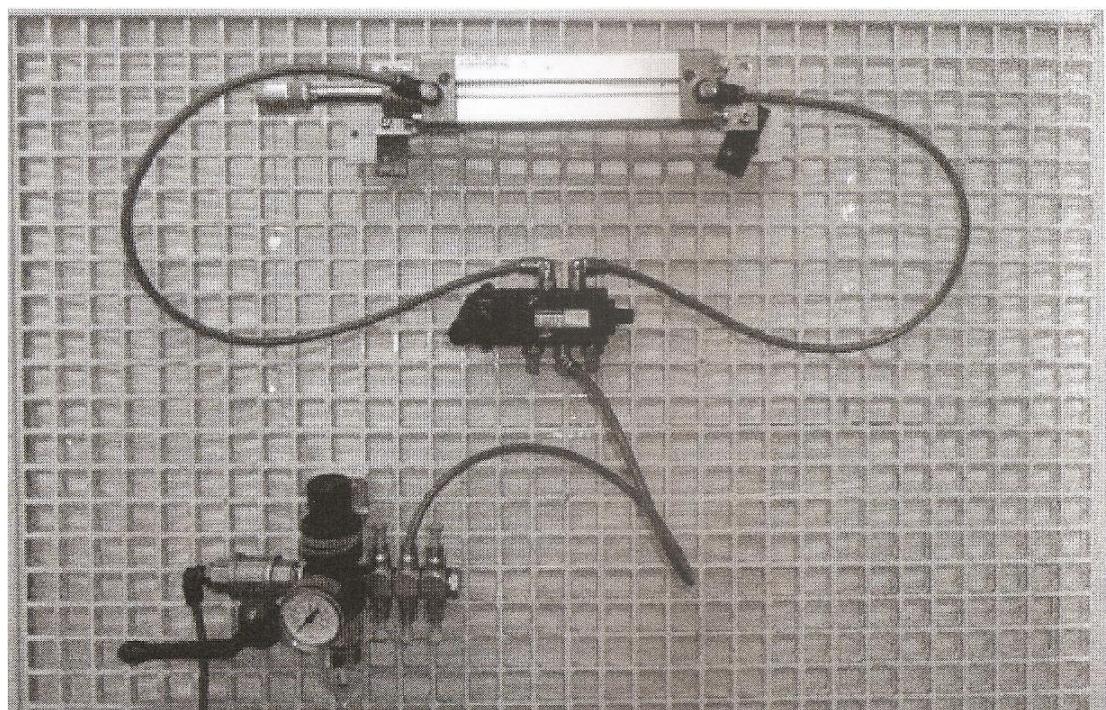
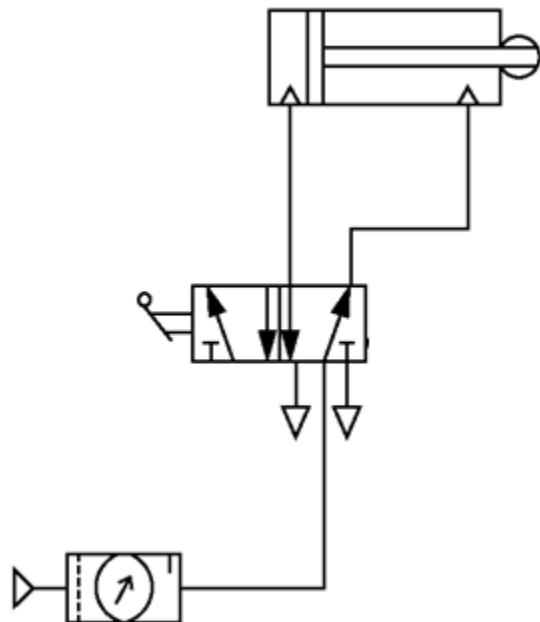
Anotações:

Exercícios Práticos

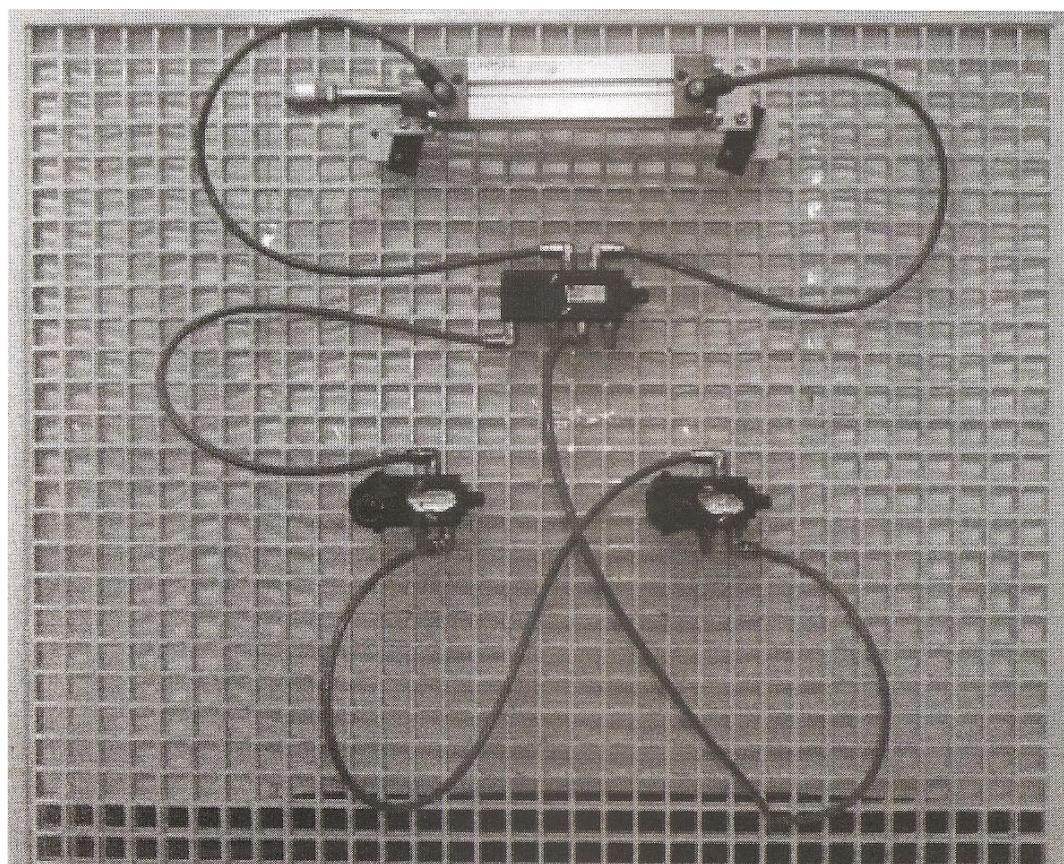
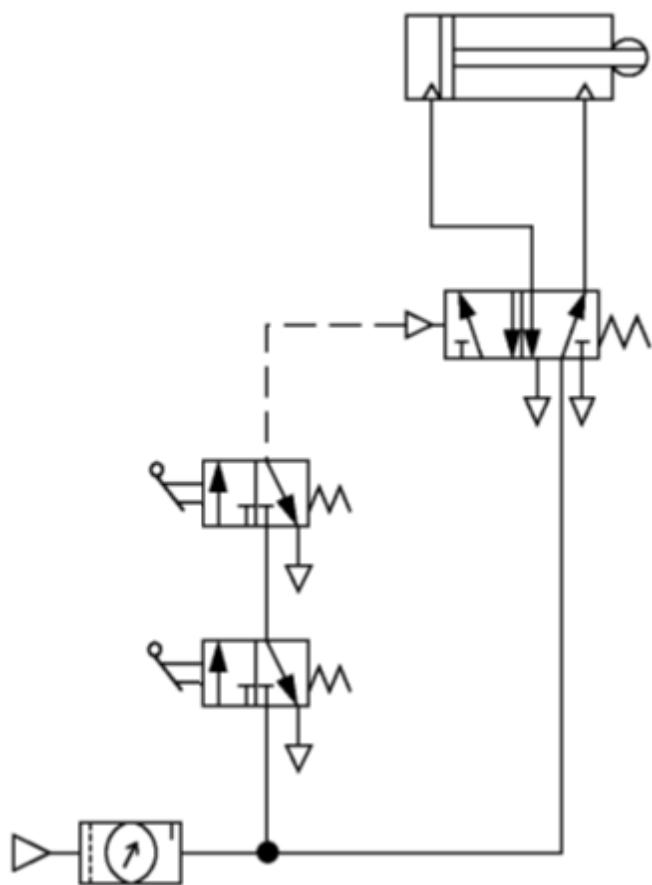
- *Pneumáticos*

1. Circuito – 01

Comando direto de um cilindro de dupla ação.

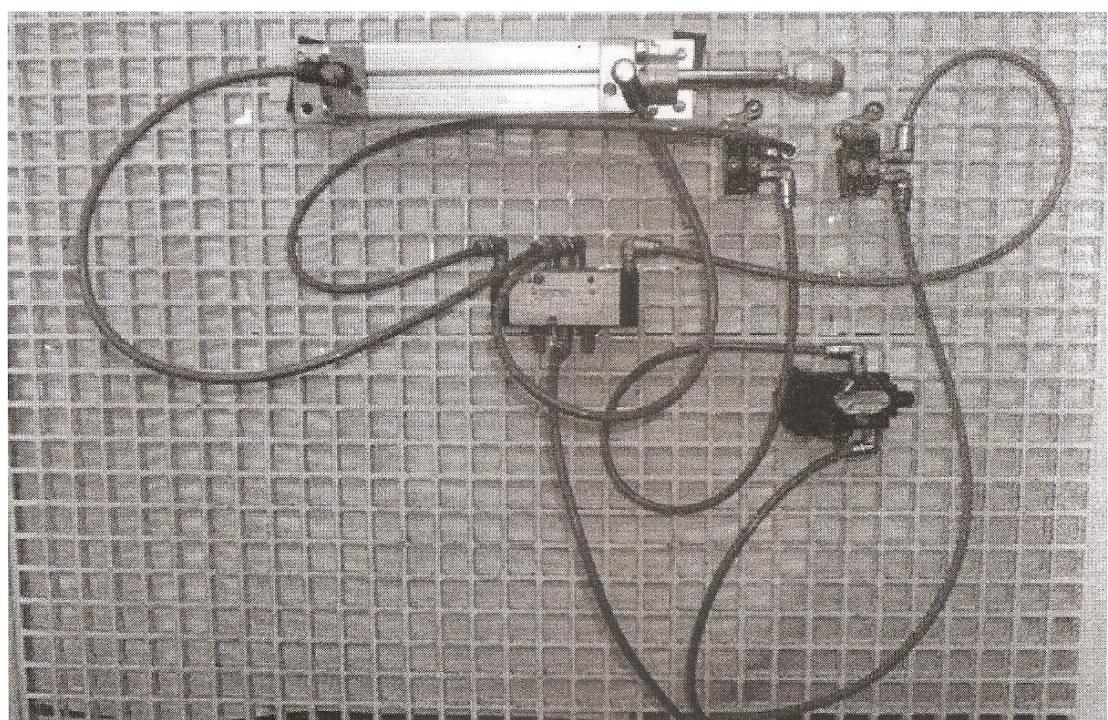
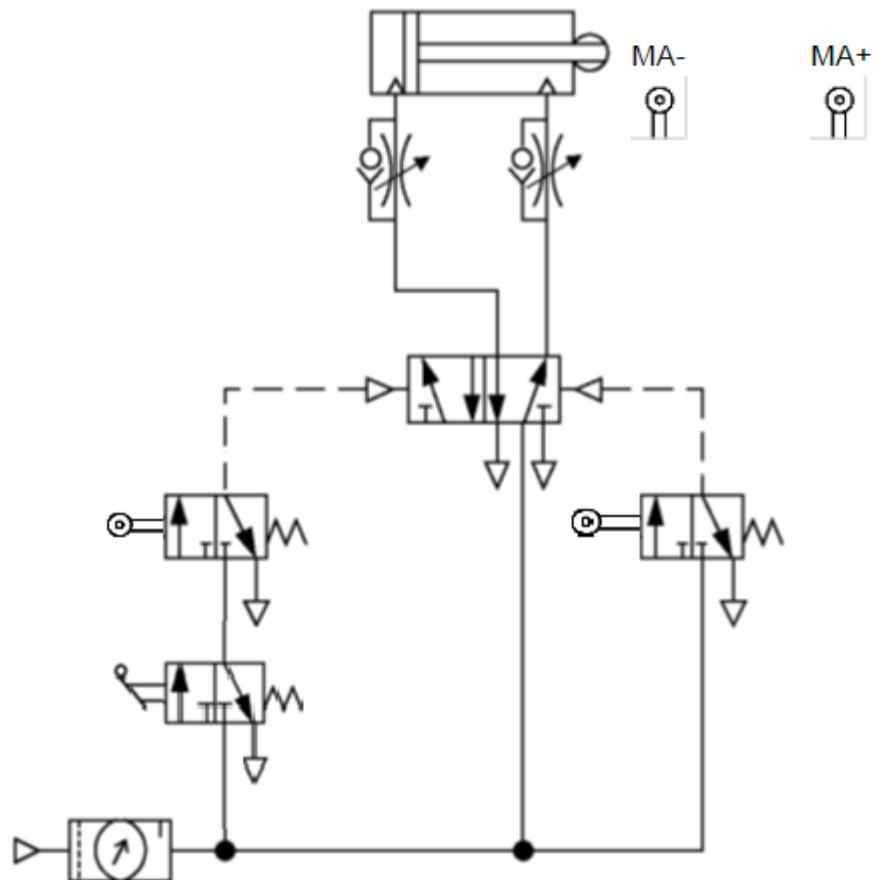


2. Circuito - 02
Comando direto de um cilindro de dupla ação.



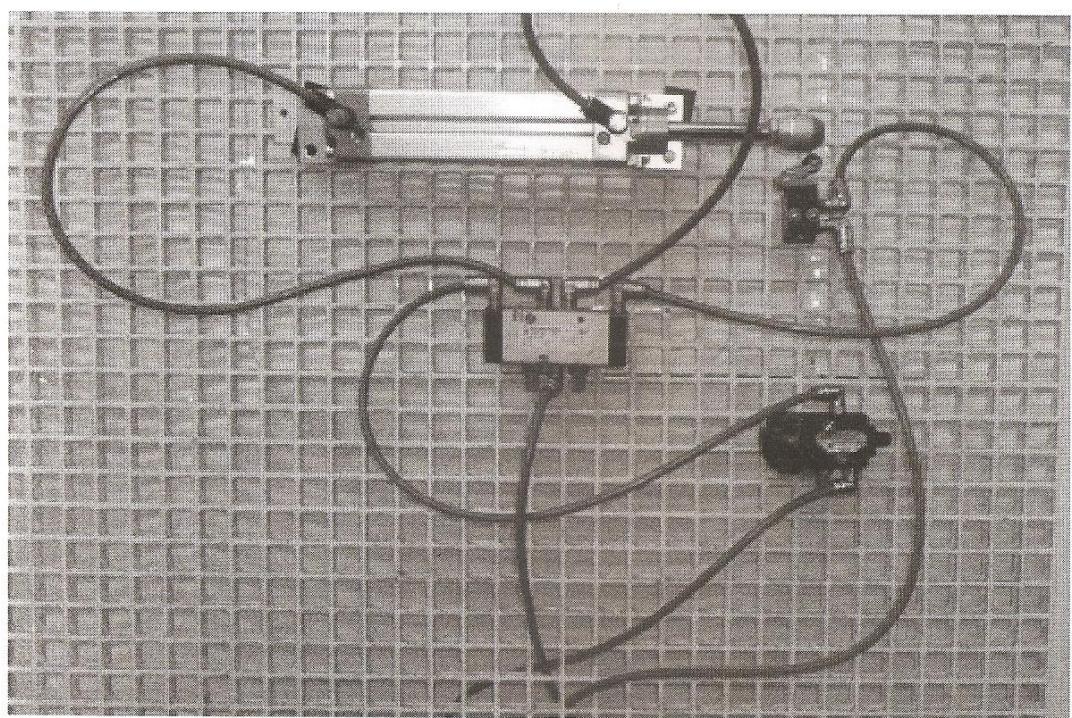
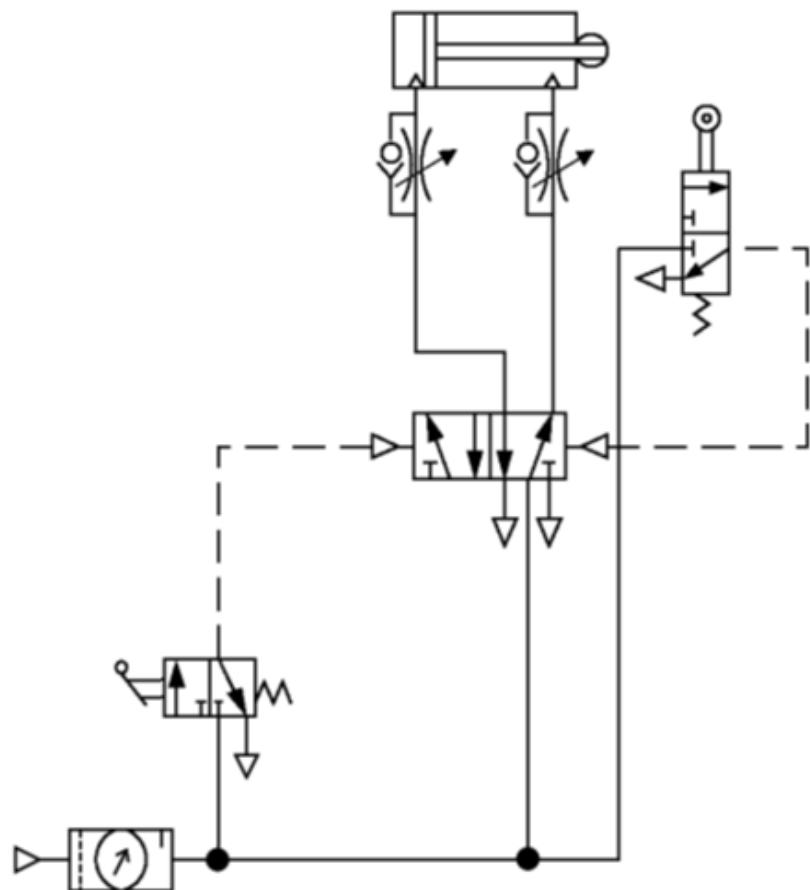
3. Circuito - 03

Comando indireto de um cilindro de dupla ação, utilizando uma válvula duplo piloto e com controle de velocidade do cilindro.



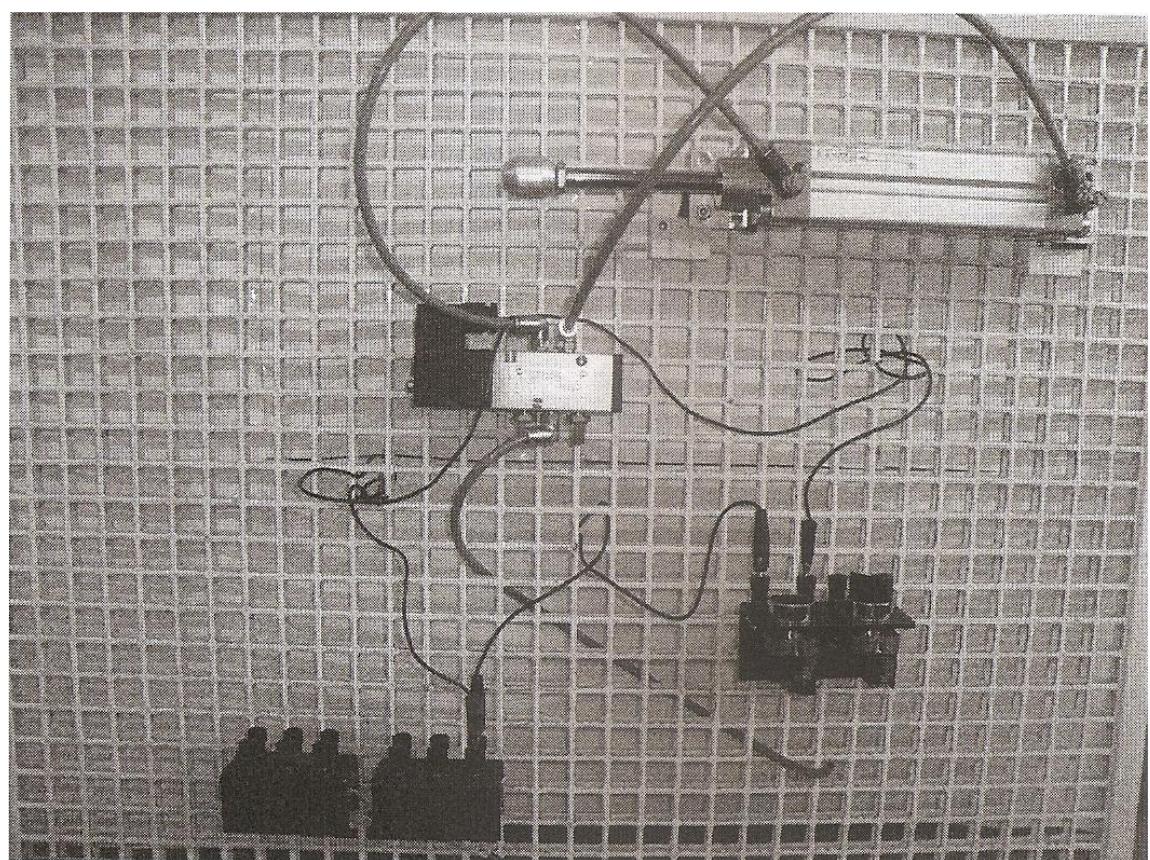
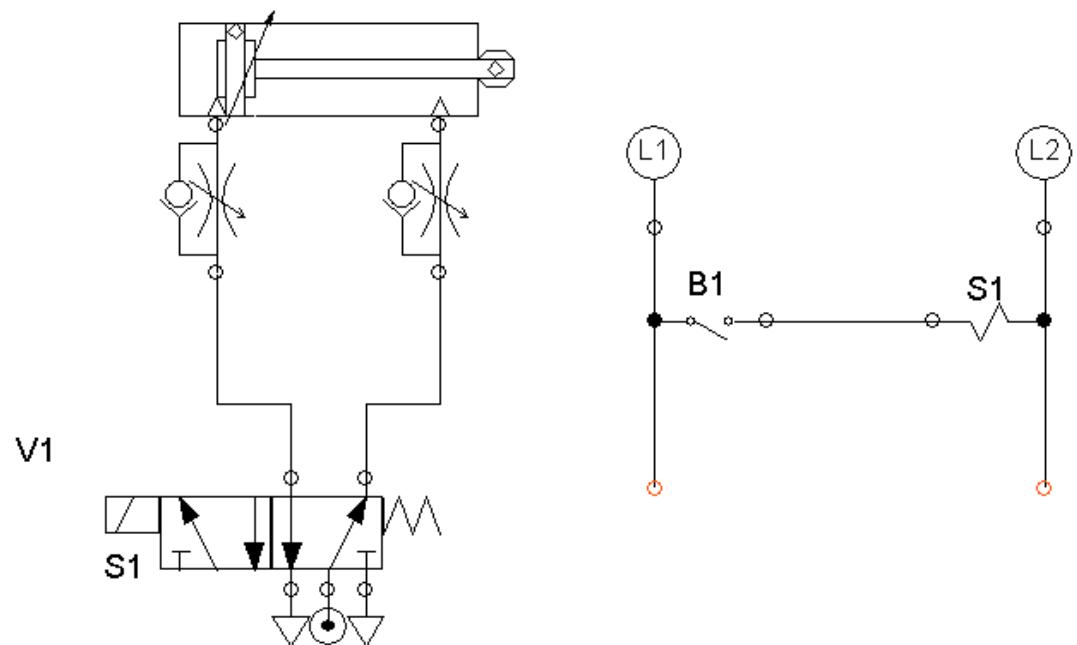
4. Circuito - 04

Avanço com retorno automático de um cilindro de dupla ação, com controle de velocidade para avanço e retorno (ciclo único).

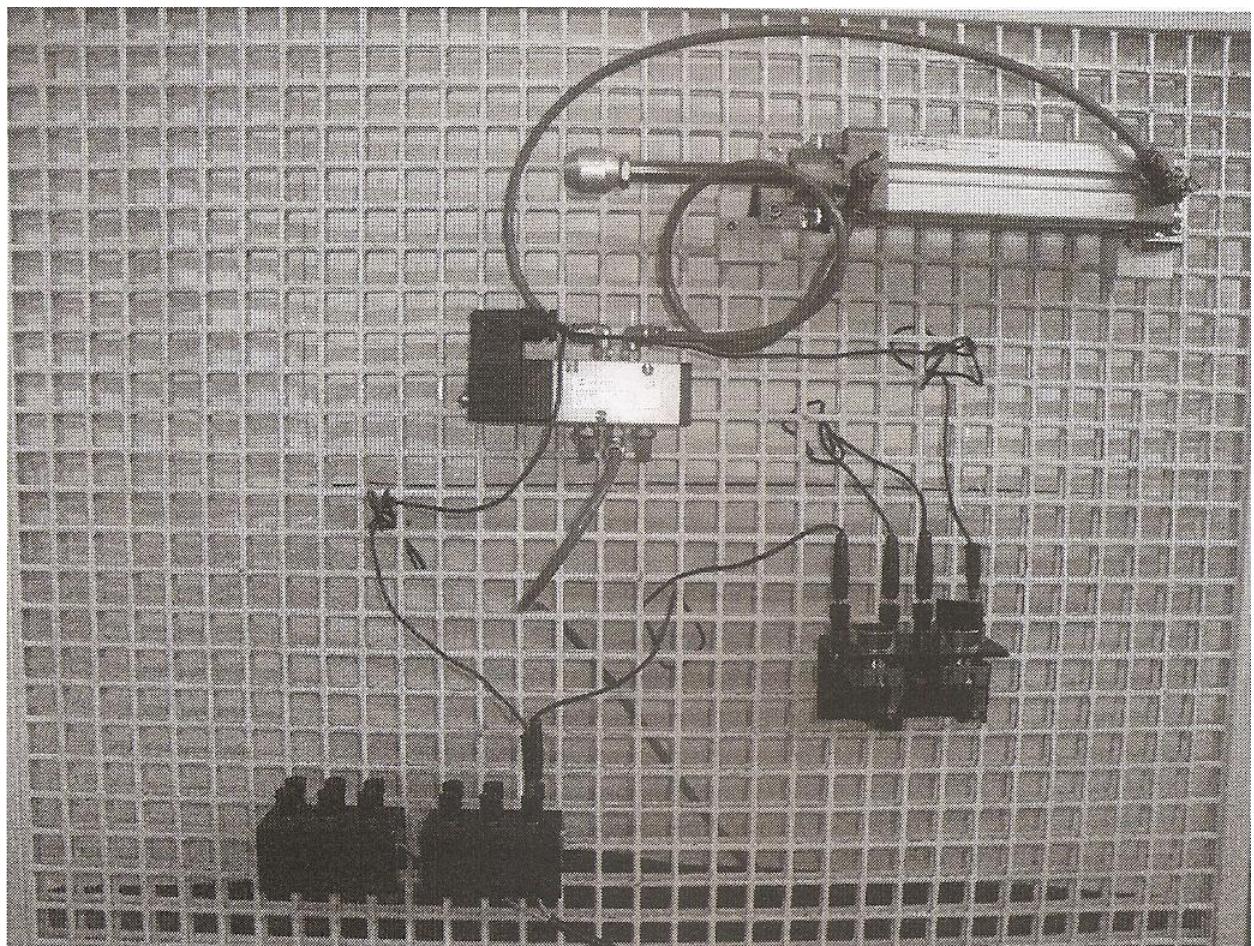
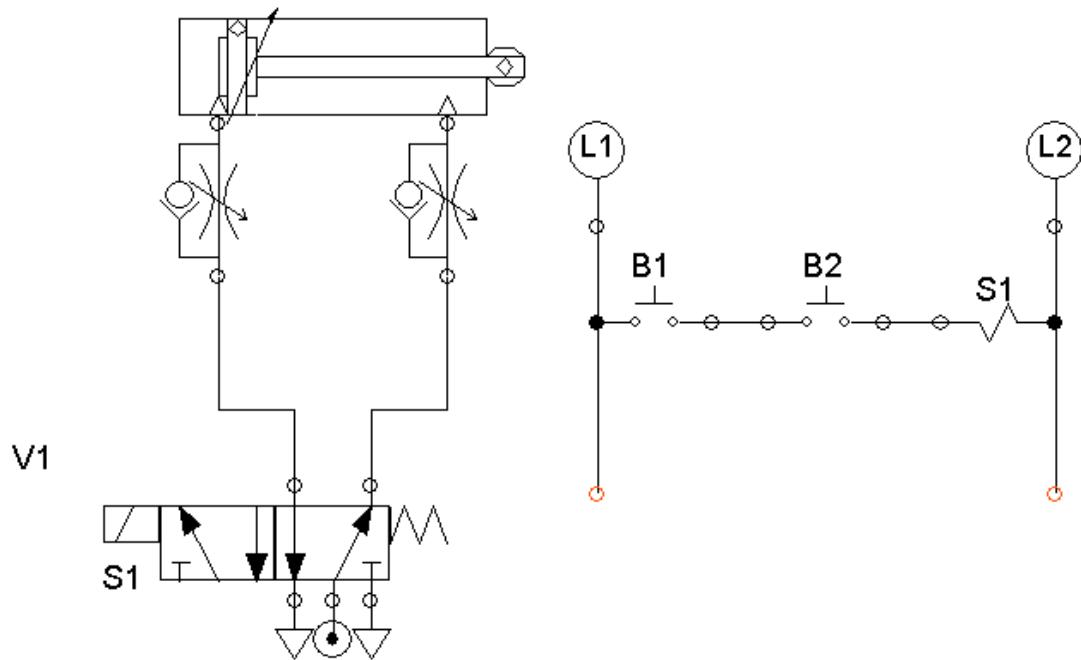


- *Eletropneumáticos*

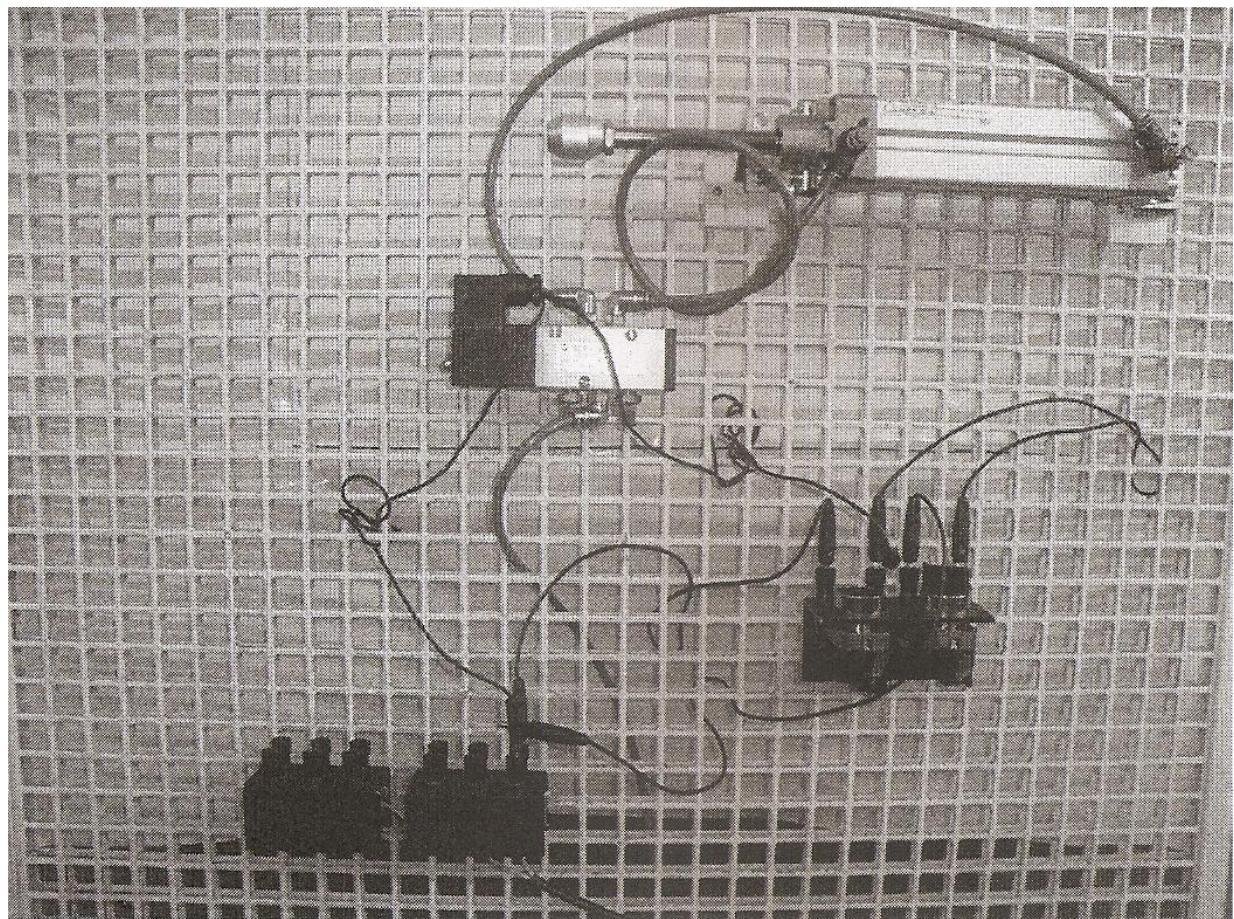
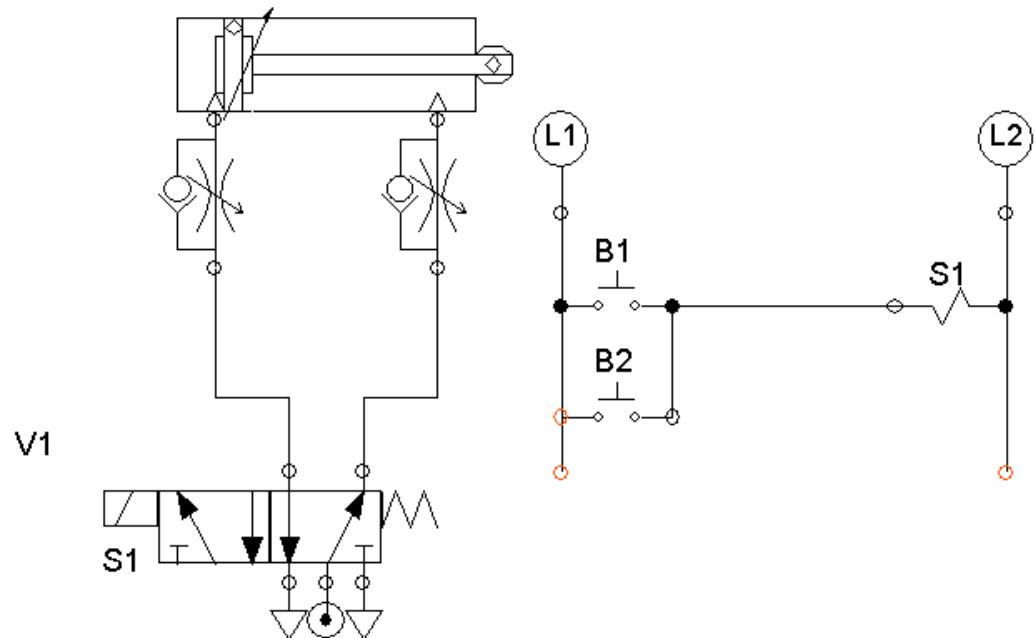
1. Circuito Básico



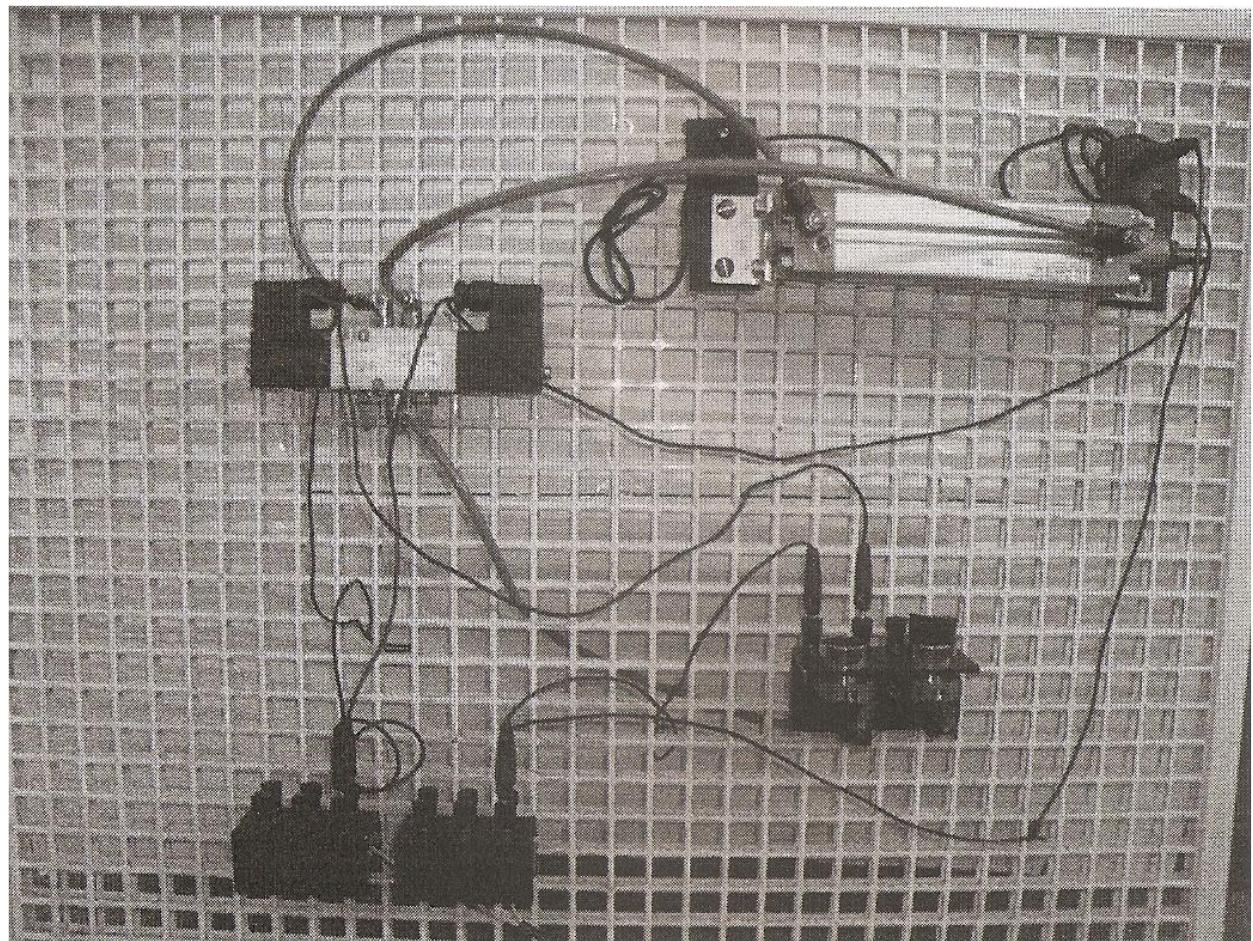
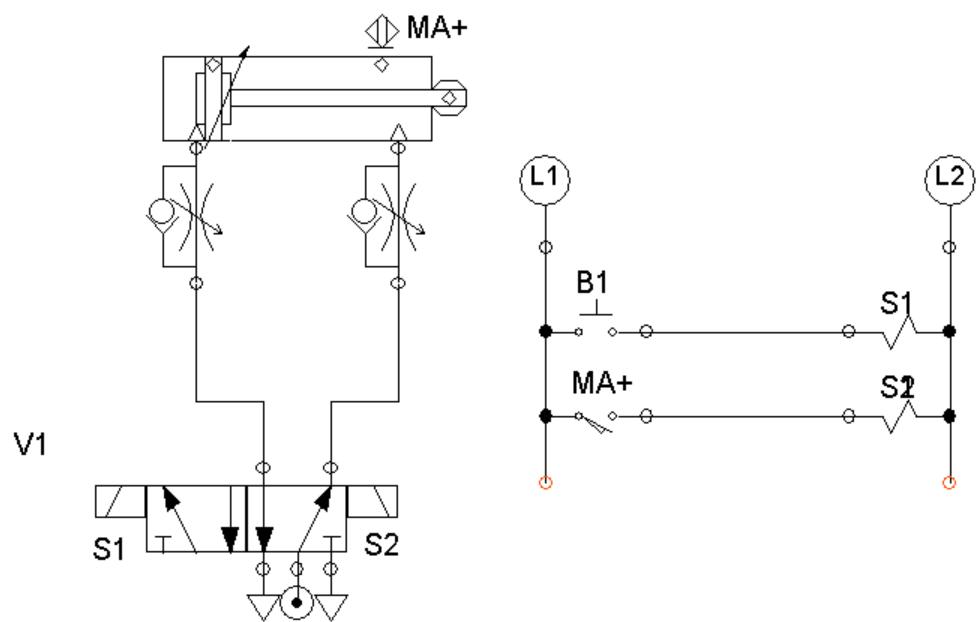
2. Circuito Série



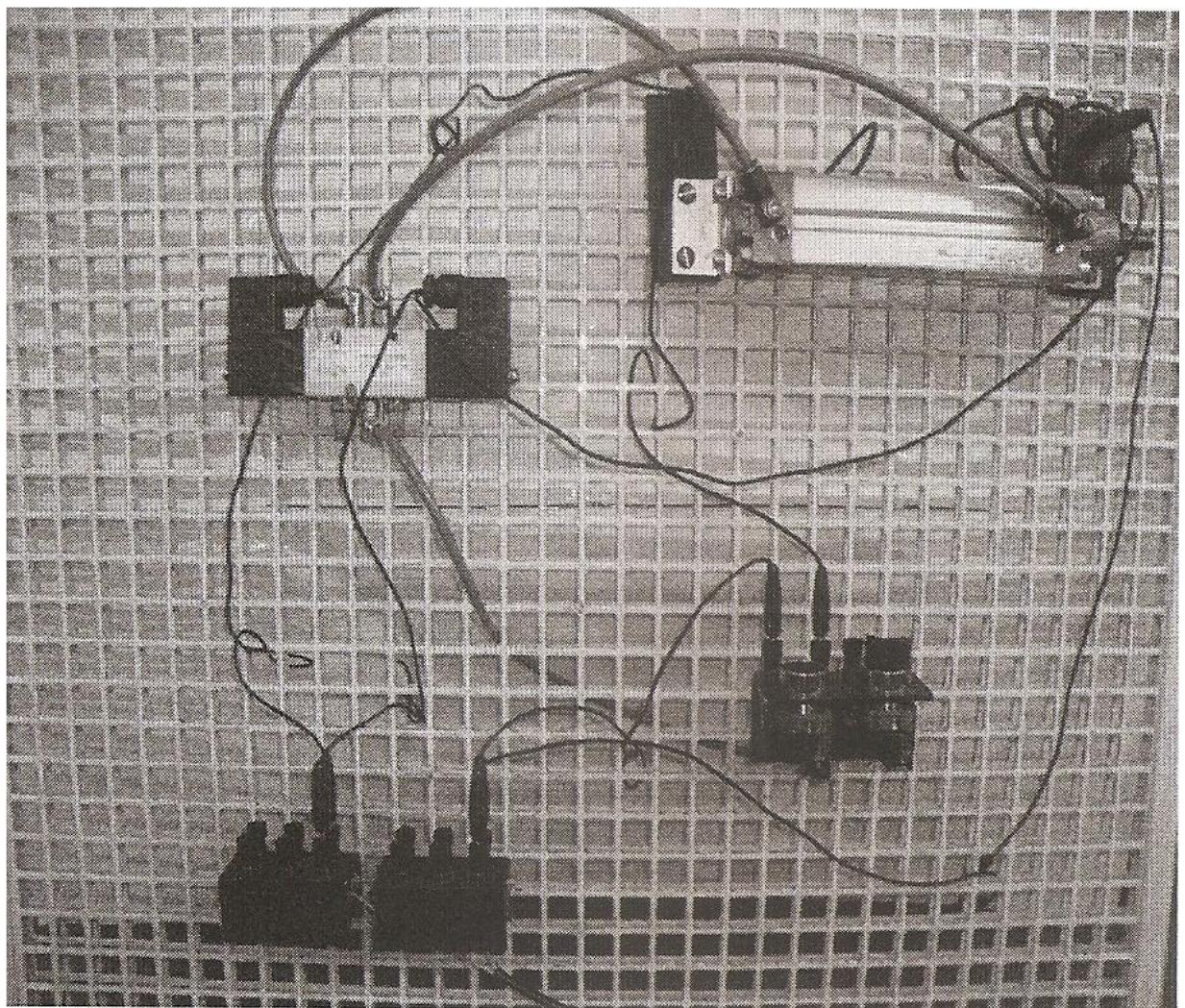
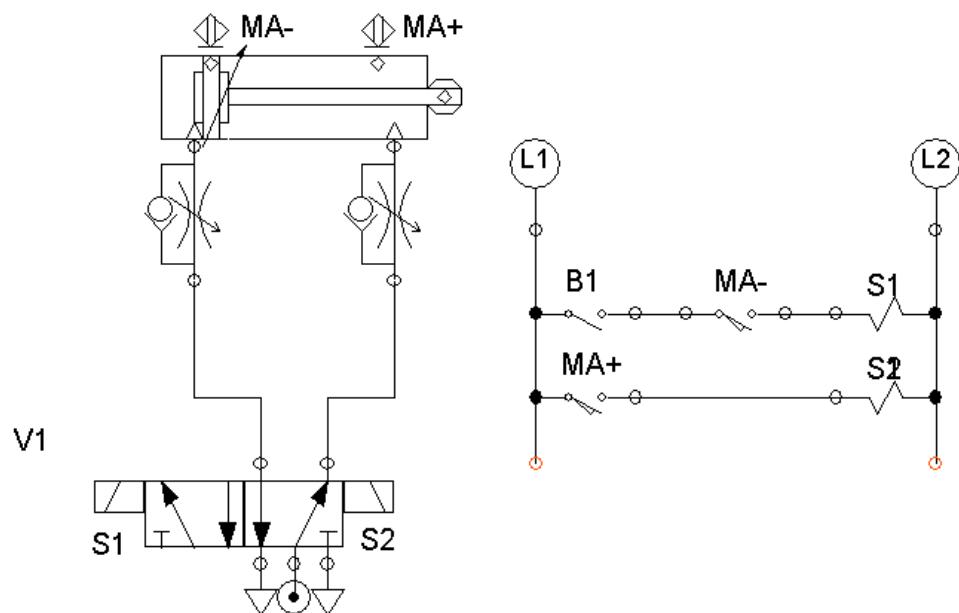
3. Circuito Paralelo



4. Circuito Ciclo Único (c/ Retorno Automático)



5. Circuito Ciclo Contínuo (c/ Parada no Retorno)



Exercícios Teóricos

11. Bibliografia

- Apostila de Pneumática, Sistemas Fluido-mecânicos. Escola Politécnica da USP
- Automação Pneumática Industrial. Cursos de Extensão, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Apostila de Pneumática aplicada, Clube da Eletrônica
- Livro: Automação Pneumática – Projeto, Dimensionamento e Análise de Circuitos. (2ª edição)
- Power Point em PDF da NORGREN
- Livro: Pneumatic Handbook (8ª edição) – Elsevier Advanced Technology