

MANUAL DO ALUNO

# DISCIPLINA MECÂNICA GERAL

Módulos 4 e 5

República Democrática de Timor-Leste  
Ministério da Educação



## FICHA TÉCNICA

### TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE MECÂNICA GERAL  
Módulos 4 a 5

### AUTOR

NUNO BOAVIDA

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA  
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO



PEDRO VIEGAS, COORDENADOR DO CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

### DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA  
EVOLUA.PT

### IMPRESSÃO E ACABAMENTO

XXXXXX

### ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

### TIRAGEM

XXXXXXX EXEMPLARES

### COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE  
2014



## Índice

<b>Hidráulica e Pneumática .....</b>	<b>7</b>
<b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>	<b>8</b>
APRESENTAÇÃO .....	8
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....	8
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....	8
<b>INTRODUÇÃO À PNEUMÁTICA .....</b>	<b>9</b>
APLICAÇÕES .....	11
VANTAGENS .....	13
DESVANTAGENS .....	13
FUNDAMENTOS FÍSICOS .....	15
COMPRESSIBILIDADE DO AR .....	17
Lei de Boyle-Mariotte .....	17
Lei de Gussac-Lussac .....	17
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO .....</b>	<b>20</b>
COMPRESSORES .....	22
MÉTODOS DE COMPRESSÃO .....	23
Compressão Dinâmica .....	24
Compressão Volumétrica .....	26
COMPRESSORES DINÂMICOS .....	27
Compressores Centrífugos ou Radiais .....	27
Compressores Axiais .....	28
COMPRESSORES VOLUMÉTRICOS .....	29
Compressores Alternativos .....	29
Compressores de Êmbolo .....	29
Compressores de Membrana .....	30
Compressores Rotativos .....	30
Compressores de Parafuso .....	32
Compressores de Palhetas .....	33
Compressores Roots .....	34



Compressores de Dentes ou Engrenagens .....	34
ACIONAMENTO DOS COMPRESSORES.....	35
REFRIGERAÇÃO DOS COMPRESSORES .....	36
TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO.....	37
SECAGEM .....	39
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>41</b>
<b>APLICAÇÕES INDUSTRIAIS.....</b>	<b>42</b>
MOTOR PNEUMÁTICO .....	42
CILINDRO PNEUMÁTICO .....	43
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>47</b>
<b>SISTEMAS HIDRÁULICOS .....</b>	<b>48</b>
PRINCÍPIO DA HIDRÁULICA.....	49
TRANSMISSÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA.....	49
CARACTERÍSTICAS DA PRESSÃO .....	50
VÁLVULAS .....	50
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>52</b>
<b>SIMBOLOGIA .....</b>	<b>54</b>
TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA .....	54
COMANDO E REGULAÇÃO DE ENERGIA.....	56
CONDUÇÃO DE ENERGIA .....	59
COMPONENTES MECÂNICOS DE COMANDO .....	62
APARELHOS DIVERSOS .....	65
IDENTIFICAÇÃO DAS PORTAS.....	66
<b>CIRCUITOS BÁSICOS.....</b>	<b>67</b>
COMANDO DO CILINDRO DE SIMPLES EFEITO.....	67
COMANDO DO CILINDRO DE DUPLO EFEITO .....	68
COMANDO DE TRAJETÓRIA PROGRAMADA PARA O CICLO DE TRABALHO SEMIAUTOMÁTICO .....	69
COMANDO DA TRAJETÓRIA PROGRAMADA DE UM CICLO DE TRABALHO AUTOMÁTICO .....	70
COMANDO DE TRAJETÓRIA PROGRAMADA DE CICLOS DE TRABALHO ALTERNATIVOS, SEMIAUTOMÁTICOS E AUTOMÁTICOS.....	71



COMANDO PARA PARAGEM EM EMERGÊNCIA .....	72
FUNÇÕES “OU” E “E” .....	74
<b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b>	<b>76</b>
<b>Toleranciamento Dimensional .....</b>	<b>79</b>
<b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>	<b>80</b>
APRESENTAÇÃO .....	80
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....	80
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....	80
<b>TOLERANCIAMENTO DIMENSIONAL.....</b>	<b>81</b>
AFASTAMENTOS.....	81
TOLERÂNCIA .....	84
AJUSTES .....	85
Ajuste com Folga.....	86
Ajuste com Aperto.....	87
Ajuste Incerto .....	88
SISTEMA DE TOLERÂNCIA E AJUSTES.....	88
CAMPOS DE TOLERÂNCIA ISO.....	90
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>93</b>
<b>TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO.....</b>	<b>99</b>
TOLERÂNCIAS DE FORMA .....	99
TOLERÂNCIAS DE ORIENTAÇÃO .....	105
Tolerância de Paralelismo .....	106
Tolerância de Perpendicularidade .....	107
Tolerância de Inclinação .....	107
Tolerância de Posição .....	108
Tolerância de Localização .....	108
Tolerância de Concentricidade ou Coaxialidade .....	109
Tolerância de Simetria .....	110
Tolerância de Batimento.....	111
INDICAÇÕES DE TOLERÂNCIAS.....	112
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b>	<b>119</b>







# Hidráulica e Pneumática

## Módulo 4

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## *APRESENTAÇÃO*

Pretende-se com este módulo que os alunos aprendam a identificar e percebam os funcionamentos de circuitos pneumáticos e hidráulicos simples.

## *OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM*

- Identificar circuitos pneumáticos e hidráulicos elementares e enunciar os seus princípios de funcionamento

## *ÂMBITO DOS CONTEÚDOS*

- Circuitos hidráulicos
- Circuitos pneumáticos

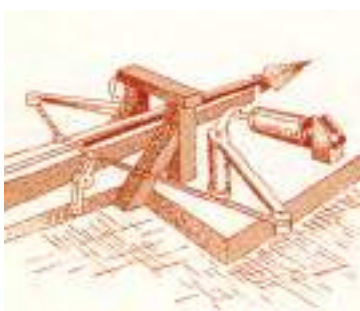




# INTRODUÇÃO À PNEUMÁTICA

O ar comprimido será, provavelmente, uma das mais antigas formas de energia, pressupondo já, no seu aparecimento, um considerável desenvolvimento intelectual do homem, nada comparável ao que possuía quando aprendeu a servir-se do fogo – esta talvez a forma de energia mais antiga da qual tirou proveito. Mesmo para controlar o fogo satisfatoriamente, o homem já se servia do seu próprio sistema de produção de ar sob pressão (o primeiro compressor) – os pulmões.

A pneumática, do grego pneuma (ar, vento, respiração e filosoficamente alma), trata do emprego do ar comprimido como fonte produtora de trabalho (movimentos e ou forças). O primeiro homem que sabemos ter-se interessado pela pneumática foi o grego Ktesibios que, há cerca de 2000 anos, construiu uma catapulta cujo funcionamento assentava na utilização do ar comprimido, como mostra a figura 1.



*Figura 1 – Catapulta pneumática.*

O emprego de compressores a nível industrial apareceu quando o homem necessitou de fundir os metais (forjagem) e mais tarde, como um valioso auxiliar na ventilação em minas; só em 1760 surgiu o primeiro cilindro soprador.

Embora a base da pneumática faça parte do conhecimento humano já há bastante tempo, foi necessário aguardar-se pelo século XIX para que com assento numa base científica sólida e complementada pela experimentação, a pneumática se tornasse uma importante ferramenta para a engenharia e o seu estudo se tornasse sistemático.

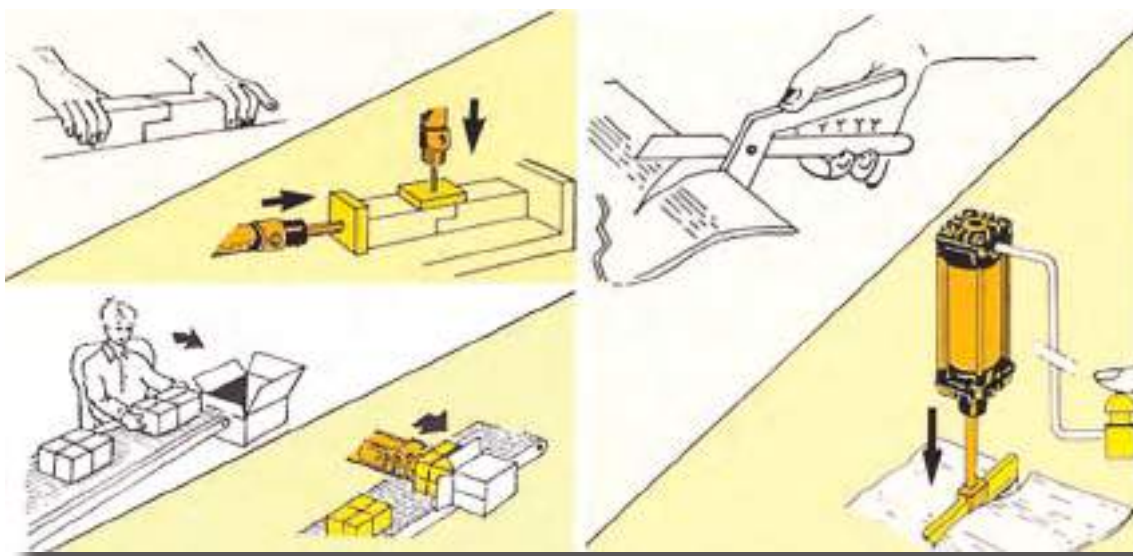
A primeira aplicação em grande escala do ar comprimido como veículo transmissor de energia e produtor de trabalho foi realizada em 1861 a 1863 na perfuração de um túnel sob os Alpes Suíços, que durou 2 anos em vez dos 25 inicialmente estimados.



A partir sensivelmente deste período a pressão de trabalho fixou-se em 8 bar (8 Kg/cm<sup>2</sup>), valor esse que se mantém até aos dias de hoje como sendo a pressão normal em ar comprimido.

O freio a ar comprimido, o martelo pneumático, a perfuração por percussão e a utilização do ar comprimido na distribuição postal foram algumas das inovações da época. Em Paris chegou a ser construída com grande sucesso, incrementando extraordinariamente a indústria local, uma grande central de produção de ar comprimido cuja potência atingia 25.000 HP (18.375.000 W), da qual partia uma extensa rede de distribuição. Evidentemente, esta rede foi posteriormente abandonada aquando do aparecimento da energia elétrica com todas as suas vantagens.

Foi a partir da 2ª Guerra Mundial que a pneumática teve um decisivo incremento passando a substituir na indústria não só o esforço muscular, mas também algumas das decisões humanas (Figura 2), o que levou a pneumática a tornar-se um elemento indispensável na produção das grandes séries que a indústria moderna passou a exigir.



*Figura 2 – Aplicações da pneumática.*

Atualmente a pneumática ocupa um campo vastíssimo, estando aliada a todas as formas de energia e às tecnologias mais avançadas de produção.



## APLICAÇÕES

A quantidade e diversidade de aplicações, tendo o ar comprimido como forma de energia é surpreendente. Assim, operações como furar, roscar, prensar, cortar, abrir, fechar, empurrar, levantar, decapar, pintar, limpar, insuflar, agitar, etc., podem enquadrar-se na mecanização ou automatização (Figura 3).



Figura 3 – Utilização de ar comprimido numa linha de montagem automóvel.

O campo de aplicação da pneumática é hoje extremamente diversificado (incluindo equipamentos didáticos feitos pela Lego para crianças).



Figura 4 – Brinquedo pneumático Lego para crianças.



Na pneumática, a mecanização é sobretudo executada através de ferramentas manuais. No entanto, se compararmos o peso de uma dada ferramenta pneumática com outra elétrica, regra geral, a ferramenta pneumática pesa um quinto relativamente à ferramenta elétrica. Este é um dos fatores favoráveis do uso da ferramenta pneumática na indústria transformadora por força do seu menor peso e volume, maior robustez, ausência de perigo (eletrocussão, por exemplo) e baixo custo de manutenção.

Na mecanização, o homem foi substituindo gradualmente a força muscular por uma força externa tendo no entanto, mais tarde entrado definitivamente no universo da automatização.

No mundo dos automatismos, a pneumática, impôs-se através dos atuadores lineares, eletroválvulas, sensores, válvulas de regulação e blocos lógicos, tendo vindo a lógica pneumática a ser progressivamente substituída pelos autómatos programáveis (PLC's) (Figura 5).



*Figura 5 – Plc.*

São exatamente todas estas facetas da pneumática que nos propomos divulgar com o texto que se segue, esperando que cada aluno através dos equipamentos existentes possa complementar a sua formação teórica com um enriquecimento prático absolutamente fundamental para a formação do profissional do futuro.



## VANTAGENS

As vantagens da utilização da pneumática são enumeradas:

- O ar existe em grandes quantidades;
- Fácil transporte através de tubagens;
- Pode ser armazenado em garrafas, compressores etc.;
- O ar comprimido é insensível às oscilações da temperatura;
- Não existe perigo de explosão ou incêndio;
- Em caso de escape não polui o ambiente;
- Elementos de construção simples e vantajosa;
- Rápido atinge nos cilindros 1 a 2 m/s;
- Fácil regulação;
- Os elementos ocupam pouco espaço.

## DESVANTAGENS

Os inconvenientes mais relevantes são:

- O ar requer boa preparação, impurezas e humidade devem ser evitadas;
- Não é possível manter uniforme e constante as velocidades nos pistões;
- Só é económico até 7 bar;
- O escape de ar é ruidoso;
- Quando mal aproveitada torna-se numa fonte de energia cara.

As fugas de ar através das tubagens constituem um dos maiores problemas na racionalização da utilização do ar comprimido. É este fenómeno que faz com que a energia seja mal aproveitada e por conseguinte cara. Vejamos o seguinte exemplo:

Imagine que a soma da área de fugas, dá um valor equivalente a um furo de 3,5 mm de diâmetro, e que o seu sistema trabalha a uma pressão de 6 bar. Nestas condições e segundo o gráfico representado em baixo, o ar que se escapa por minuto assume valores na ordem de 0,5 m<sup>3</sup>/min. Ou seja, escapam-se 500 litros de ar por minuto o que em termos económicos fica altamente dispendioso.



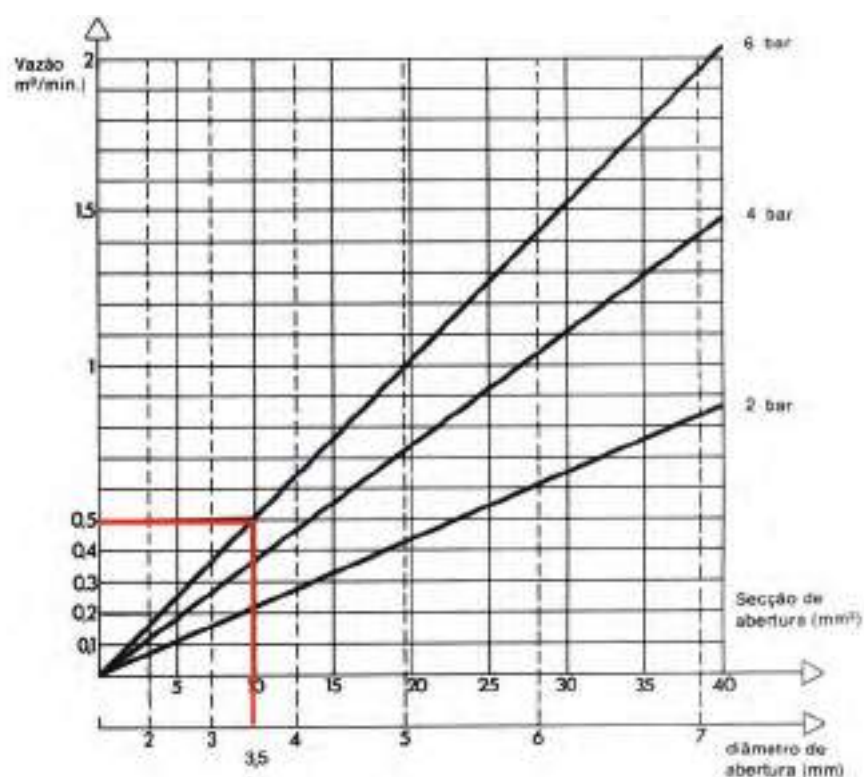


Figura 6 – Ábaco de cálculo da fuga de ar.

O rendimento da energia também não abona em favor das melhores características. Vejamos os rendimentos dos principais tipos de energia.

Entenda-se o rendimento, como sendo a razão entre a energia útil e a absorvida ou entre a potência útil e a absorvida.

$$\eta = W_u / W_a = P_u / P_a$$

Máquina a Vapor = 12%

Motor de Combustão = 30%

Energia Pneumática = 50%

Energia Elétrica = 70 a 80%

Energia Hidráulica = 90%



## FUNDAMENTOS FÍSICOS

A superfície terrestre encontra-se totalmente cercada por uma camada de ar. Este ar, que é de interesse vital, é uma mistura gasosa de 78% de Nitrogénio, 21% de Oxigénio e ainda vestígios de outros elementos como é o caso de dióxido de carbono, árgon, hidrogénio, néon, hélio, cripton e xénon.

Para que a compreensão das leis e do estado do ar seja melhor devemos, antes de mais, considerar as grandezas físicas envolvidas.

### Força

Por definição,

$$F = m \times a$$

em que

$F = \text{Força (N)}$

$m = \text{Massa (Kg)}$

$a = \text{Aceleração (m/s}^2\text{)}$

### Pressão

$$P = F / A$$

em que

$P = \text{Pressão (Pa = N / m}^2\text{)}$

$F = \text{Força (N)}$

$A = \text{Área (m}^2\text{)}$

A unidade de Pressão no sistema internacional é o Pascal (Pa). Devido ao facto de esta ser uma grandeza muito pequena, é muito frequente utilizar-se outras unidades nomeadamente o bar que, embora não pertença a qualquer sistema, dá uma percepção mais real do fenómeno. É comum ainda aparecerem outras grandezas.

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 1,02 \text{ Kg / cm}^2$$

$$1 \text{ Psi} = 1 \text{ Libra / Polegada}^2$$





Como tudo na terra depende da pressão atmosférica absoluta, ela não se faz sentir. Considera-se portanto a pressão atmosférica absoluta como ponto zero, determinando qualquer diferença como

$$\text{Sobrepessão atmosférica} = atm = \text{pressão relativa}$$

ou

$$\text{Depressão atmosférica} = \text{v\u00e1cuo}$$

O gr\u00e1fico da figura 6 \u00e9 uma ilustra\u00e7\u00e3o da explica\u00e7\u00e3o anterior.



Figura 6 – Press\u00e3o atmosf\u00e9rica.

A press\u00e3o do ar n\u00e3o \u00e9 sempre constante, alterando-se a localiza\u00e7\u00e3o geogr\u00e1fica e as condi\u00e7\u00f5es atmosf\u00e9ricas.

A faixa compreendida entre a linha do zero absoluto e a linha vari\u00e1vel da press\u00e3o do ar denomina-se **faixa de depress\u00e3o** e a faixa que est\u00e1 acima dessa linha, denomina-se de **sobrepess\u00e3o**. A press\u00e3o absoluta P1 \u00e9 constitu\u00edda pela press\u00e3o P2 e a press\u00e3o P3. Na pr\u00e1tica geralmente s\u00e3o usados aparelhos de indica\u00e7\u00e3o que acusam a sobrepress\u00e3o P3. Na indica\u00e7\u00e3o da press\u00e3o P1, o valor marcado \u00e9 aumentado de um bar.

Com a ajuda das grandezas b\u00e1sicas apresentadas \u00e9 poss\u00edvel explicar as principais caracter\u00edsticas f\u00edsicas do ar.





## COMPRESSIBILIDADE DO AR

Como todos os gases, também o ar não tem forma definida. O ar altera a sua forma à menor resistência, ou seja adapta-se facilmente à forma do recipiente. O ar deixa-se comprimir mas tende sempre a expandir-se.

Pode-se então dizer que:

- O ar adapta-se à forma do recipiente;
- É facilmente compressível;
- Teoricamente dentro de um reservatório podemos pôr mais e mais ar, ou seja comprimindo-o até ao limite de resistência do reservatório.

## Lei de Boyle-Mariotte

a Lei de Boyle-Mariotte diz que se a temperatura se mantiver constante, então o produto do volume pela pressão também é constante num dado instante.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = P_3 \times V_3$$

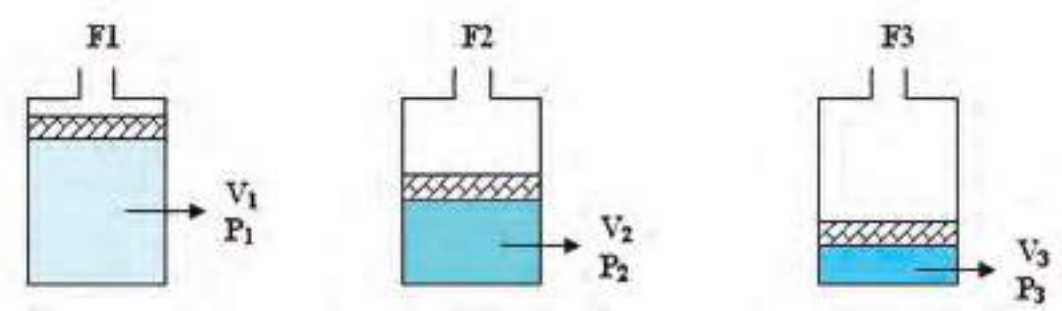


Figura 7 - Lei de Boyle-Mariotte.

## Lei de Gussac-Lussac

A temperatura no seio de um gás fornece-lhe energia. Esta energia excita as moléculas que tendem a afastar-se umas das outras, fazendo com que o volume do gás sofra alterações, ou seja, aumente. Se o reservatório é fechado primeiramente o aumento da temperatura faz aumentar o volume até ao limite do reservatório, quando o ar não se pode expandir mais, então a pressão começa a elevar-se.

$$T_1 \times V_2 = T_2 \times V_1$$



A Lei de Gussac-Lussac diz que se a pressão se mantiver constante, então a razão entre o volume e a temperatura também é constante num dado instante.

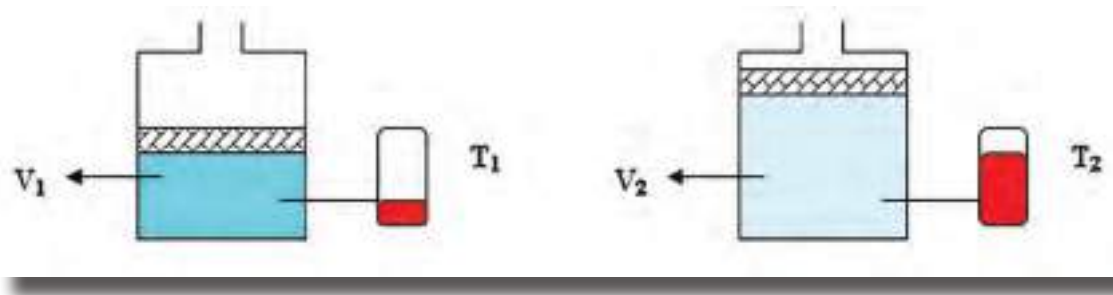


Figura 8 - Lei de Gussac-Lussac.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Diga o que entende por pneumática.

**EXERCÍCIO 2.** Indique três vantagens da utilização da pneumática.

**EXERCÍCIO 3.** Indique três desvantagens da utilização da pneumática.

**EXERCÍCIO 4.** Considere que  $1,3 \text{ m}^3$  de ar com a temperatura  $T_1 = 288 \text{ K}$  será aquecido para  $T_2 = 334 \text{ K}$ . Qual será o volume final e a que pressão se vai apresentar.



## PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Como já foi referido no capítulo anterior, o ar comprimido constitui uma eficiente fonte de energia, cuja utilização não oferece praticamente nenhum problema. Confirma esta afirmação as inúmeras aplicações mecânicas em que o ar comprimido é o fluido energético, tendo mesmo substituído outras fontes de energia (Figura 1).



Figura 1 – Martelo pneumático.

Para que o ar comprimido possa fornecer energia, é necessário comprimi-lo, como é evidente; portanto deve-se-lhe fornecer trabalho para aumentar a sua energia interna, a fim de que à custa de um processo conveniente, transformar então a energia interna do ar comprimido em energia mecânica. Uma instalação típica de produção de ar comprimido pode ser vista de uma forma resumida na figura 2.

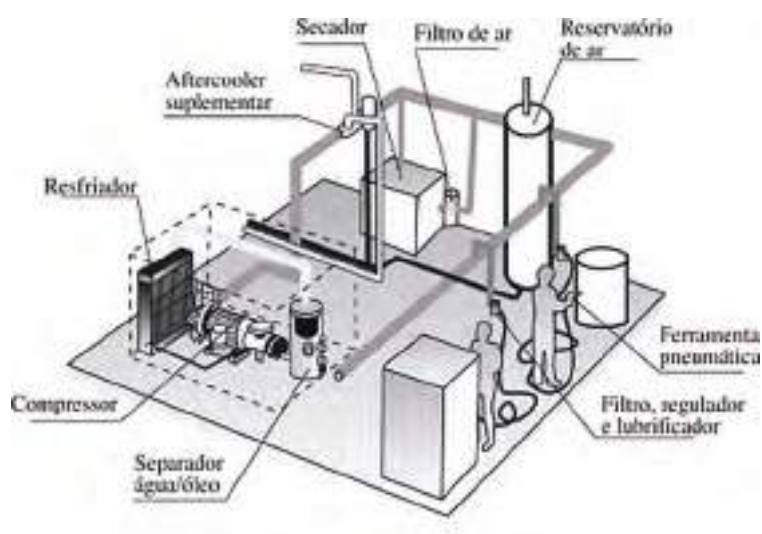


Figura 2 – Instalação de ar comprimido.



Nas instalações de ar comprimido, o ar na saída do pós-arrefecedor do compressor está saturado de água (e de óleo, em compressores lubrificados). A 7 Kg/cm<sup>2</sup> e 40 °C, que são normalmente as condições de saída do ar, o mesmo contém cerca de 50 g de água por m<sup>3</sup>. Parte deste vapor de água contém, em forma condensada, gases normalmente presentes na atmosfera (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, etc.) resultando um composto ácido (ph: 3 - 4) e extremamente corrosivo. Desta forma, independentemente da sua aplicação, o ar quase sempre deve ser tratado antes de utilizado. Devem ser previstos filtros para remoção de óleo (em compressores lubrificados), humidade e partículas sólidas.

Em termos tecnológicos, a produção de ar comprimido é realizada por compressores. A compressão tem por fim debitar um gás a uma pressão superior àquela a que se encontra na sua forma original como, por exemplo, o ar atmosférico. Este pode atingir pressões baixas ou elevadas e, ainda, ser debitado em pequenos caudais de alguns litros por hora até milhares de metros cúbicos por hora. Obviamente, estas hipóteses têm a ver com a capacidade, a potência e o tipo de máquina a seleccionar, tendo em conta os objetivos que se pretende atingir.

Atualmente, existem diversos tipos de compressores e cada tipo é construído numa gama vasta de tamanhos e velocidades para ir ao encontro dos diferentes requisitos de volumes e pressões (Figura 3).



*Figura 3 – Gama de compressores.*



Nem todos os tipos de compressores que aqui serão focados terão o mesmo grau de implementação e utilização na indústria. No entanto, é importante que o utilizador esteja consciente das várias opções tecnológicas e selecione aquela que melhor defende os seus objetivos, tendo em conta diversos fatores, tais como a fiabilidade, consumo específico de energia e custos de manutenção.

Em termos didáticos, as opções aqui apresentadas cobrem um leque suficientemente vasto para que se possa ter uma visão bastante completa mas sucinta das opções existentes.

### COMPRESSORES

Para gerar o ar comprimido, recorre-se a compressores que transportam o ar à pressão de serviço desejada. Os mecanismos de comando são geralmente alimentados com ar comprimido a partir de uma estação central. Neste caso, o problema de transformação e da transmissão de energia estará resolvido. O ar comprimido é conduzido através de canalizações, da estação de compressão até aos dispositivos e máquinas de comando pneumático.

Como existem vários tipos de compressores, a escolha deverá ser feita atendendo a critérios que falaremos a seguir.



*Figura 4 – Compressor.*



## MÉTODOS DE COMPRESSÃO

Quanto ao processo de compressão a que o ar é sujeito, os compressores podem ser divididos em volumétricos, e dinâmicos (Figura 5). A figura 6 mostra o símbolo representativo dos compressores mais importantes, junto com outros dados relativos seu funcionamento.

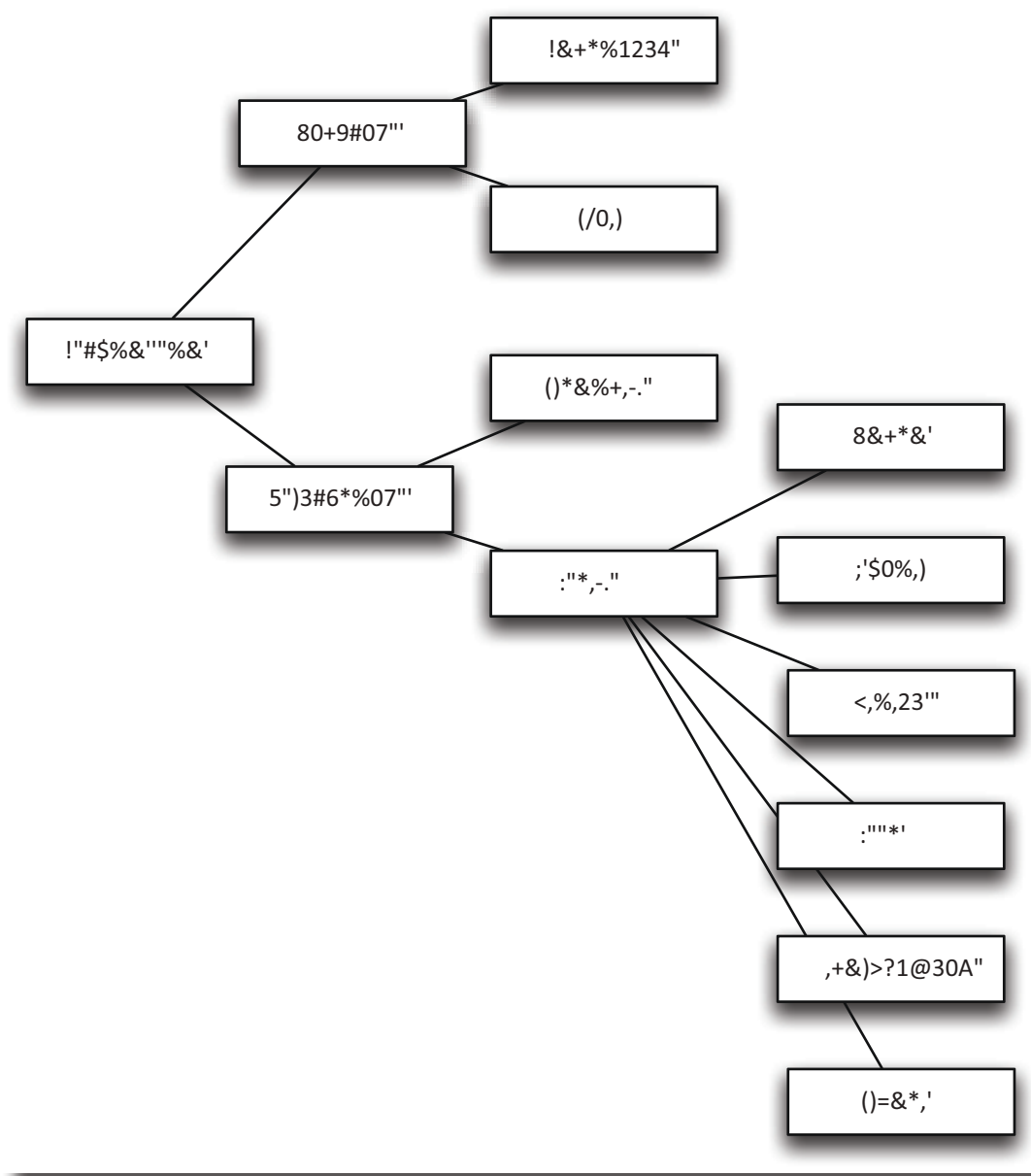


Figura 5 – Classificação dos compressores.



## Compressão Dinâmica

Este tipo de compressão resulta da transformação de energia cinética em pressão, ou seja, gastamos energia para movimentar fortemente o ar captado à atmosfera e, quando este perde velocidade, a pressão aumenta.

Nome	Símbolo	Diagrama funcional	Pressão [bar]	Vel. do fluxo (m³/h)
Compressor de pistão tronco			10 (1 fase) 35 (2 fases)	120 600
Compressor de cabeçote cruzado			10 (1 fase) 35 (2 fases)	120 600
Compressor de diafragma			baixa	pequeno
Compressor s/ pistão			Uso limitado como gerador de gás	
Compressor de palhetas			16	4.500
Compressor de anel líquido			10	
Compressor de parafuso			22	750
Compressor de lóbulos ou roots			1,6	1.200
Compressor de fluxo axial			10	200.000
Compressor de fluxo radial			10	200.000

Figura 6 – Tipos de compressores.

A Figura 7 exemplifica de uma forma simples este conceito. Num compressor dinâmico, o fluxo atmosférico é acelerado à entrada das pás, sendo a secção de saída das mesmas superior à secção de entrada.





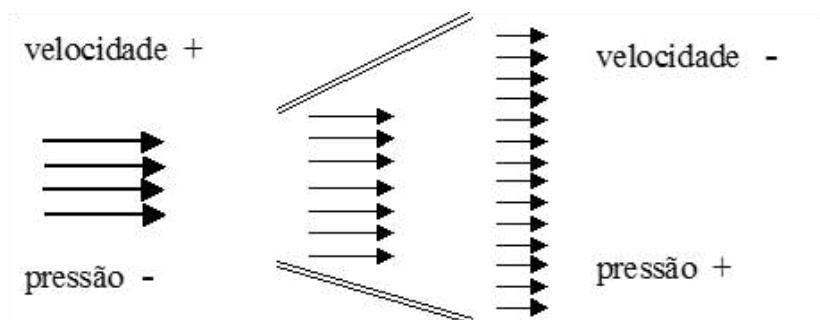


Figura 7 – Compressão Dinâmica.

Este diferencial de pressões existente na pá impulsora e a elevada velocidade de que está animada são responsáveis pela transformação energética, sendo este fenómeno continuado no difusor em forma de caracol, cuja secção vai progressivamente aumentando. Desta forma, a velocidade do ar, à saída do mesmo, diminui e, conseqüentemente, a pressão do ar aumenta.



Figura 8 – Difusor.

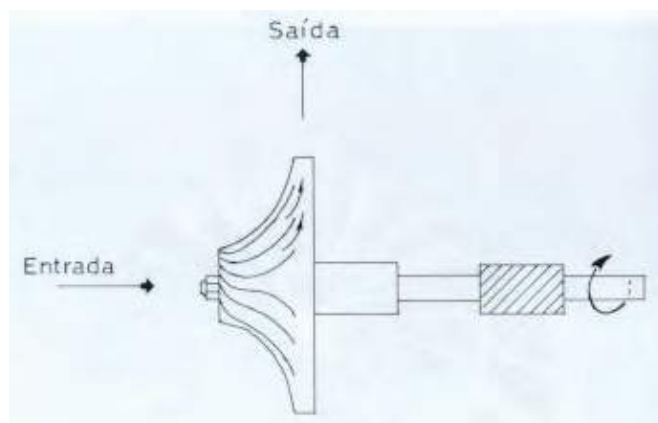


Figura 9 – Difusor.

Assim a energia cinética de que o gás vem animado é convertida em energia de pressão, devido à contínua desaceleração do referido fluxo.



## Compressão Volumétrica

Neste tipo de compressão, o ar é admitido numa câmara de compressão, ou cilindro, cujo volume se vai reduzindo devido à ação de uma parede móvel (pistão ou diafragma). Uma vez atingida a pressão de saída, o ar abandona a referida câmara através da válvula de descarga.

A compressão volumétrica, também conhecida por deslocamento positivo ou fluxo intermitente, é a que resulta da diminuição de um volume, ou seja, a pressão do gás aumenta se o volume, onde está contido, diminuir.

A figura 9 ilustra o que se passa num compressor alternativo (embolo ou pistão) de simples efeito (compressão só numa das faces do êmbolo) e para ar atmosférico.

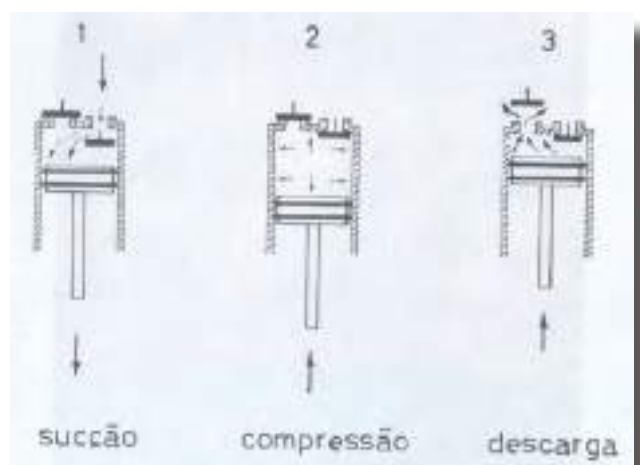


Figura 10 – Compressão volumétrica.

Na posição 1 o ar é admitido (aspirado) por sucção (válvula de admissão aberta), o que equivale a dizer que o ar não entra à pressão atmosférica, mas sim ligeiramente abaixo desta. Deve-se ter sempre presente este défice (vácuo parcial), visto ele ser responsável pela diminuição do débito à saída da unidade.

Na posição 2 (válvula de admissão fechada), vê-se que o volume inicialmente aspirado começa a diminuir, pelo que o aumento de pressão do ar é inevitável.

Na posição 3, o volume foi reduzido ao mínimo e a pressão ao máximo, com a consequente abertura da válvula de descarga (válvula de entrega). O princípio de funcionamento de um compressor alternativo é semelhante ao que se passa numa bomba de bicicleta.



## COMPRESSORES DINÂMICOS

Os compressores dinâmicos podem ser centrífugos e axiais e operam a velocidades superiores aos compressores volumétricos.

Na indústria Aeronáutica ou Espacial, as unidades centrífugas atingem 50.000 a 100.000 r.p.m. Estas rotações tão elevadas e perigosas acontecem a grandes altitudes, uma vez que esta interfere negativamente na densidade do ar. Na indústria, de um modo geral, operam à volta de 20.000 r.p.m., embora sejam cada vez mais comuns operarem a velocidades superiores.

Quem estuda um compressor dinâmico estuda simultaneamente uma turbina porque, salvo as devidas diferenças, uma turbina é um compressor a funcionar ao contrário. De facto, a partir de uma queda de água, de um gás ou vapor, a turbina transforma a pressão em velocidade, ao passo que um compressor dinâmico transforma a velocidade do ar em pressão.

### *Compressores Centrífugos ou Radiais*

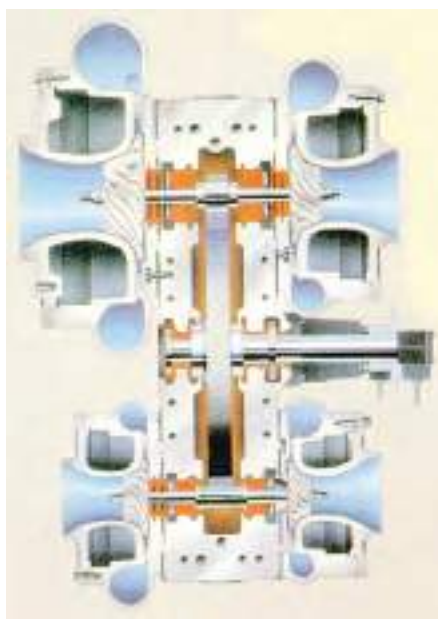
Estes compressores denominam-se centrífugos porque a compressão processa-se perpendicularmente ao veio motor e a descarga do ar efetua-se segundo a tangente ao raio das pás impulsoras e são unidades indicadas para produzirem ar isento de óleo (Figura 11).



*Figura 11 – Compressor radial.*



A figura 12 mostra-nos um compressor centrífugo em corte com 4 andares de compressão destinado a trabalhar com uma gama de pressões entre 17 e 24 bar. Nesta figura podemos observar o veio motor colocado ao centro que aciona dois pinhões, correspondendo a cada um deles dois estágios de compressão, e 4 difusores situados tangencialmente às respectivas pás impulsoras. Estes compressores podem funcionar por longos períodos de tempo, com um mínimo de manutenção. Fornece ar comprimido isento de óleo, tendo capacidades variando entre 6.000 a 51.000 m<sup>3</sup>/h e pressão de 5,0 a 24 bar.



*Figura 12 – Compressor centrífugo com quatro andares de compressão.*

Para serem rentáveis, estas unidades necessitam de caudais que não são muito comuns à indústria, embora haja aplicações que justificam a sua implantação, principalmente em pressões de 3 a 3,5 bar (por exemplo na indústria vidreira) ou de 6 a 10 bar (3 andares) nas indústrias de celulose, papel, têxtil, química, petrolífera, etc.

## *Compressores Axiais*

Por analogia, a compressão nesta unidade processa-se paralelamente ao veio motor e daí a designação de axial. No entanto, o caudal mínimo de funcionamento deste tipo de compressores é de tal forma elevado (900 m<sup>3</sup>/min) que se destinam à produção de ar comprimido de grandes instalações industriais.



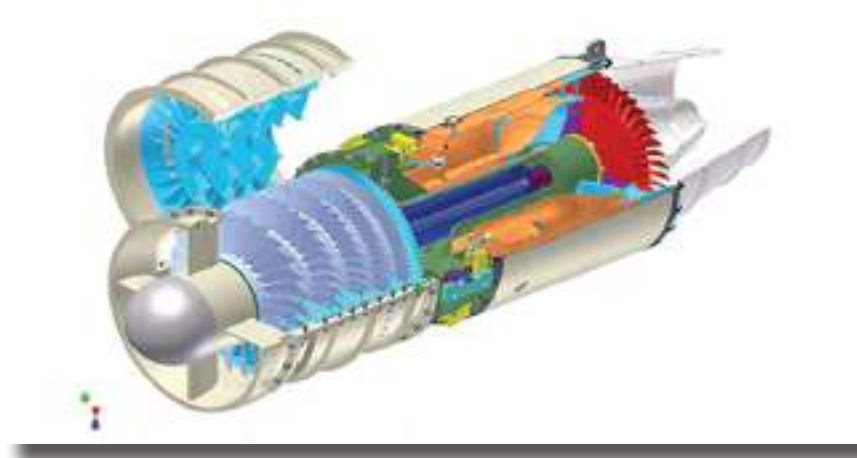


Figura 13 – Compressor axial.

## COMPRESSORES VOLUMÉTRICOS

Os compressores volumétricos classificam-se em alternativos e rotativos, no que respeita ao tipo de movimento imposto ao órgão propulsor do fluido a comprimir.

### Compressores Alternativos

Quando se pretende a produção de ar comprimido até 14 bar, este tipo de compressores tem vindo a ser progressivamente substituído, preferencialmente, por compressores rotativos de parafuso. Se, por exemplo, necessitarmos de débitos como 6 m<sup>3</sup>/min a 35 bar, 50 m<sup>3</sup>/min a 200 bar ou 90 l/s a 1.000 bar, a melhor solução será recorrer ao compressor alternativo.

### Compressores de Êmbolo

Para a compressão a pressões mais elevadas são necessários compressores de vários estágios (Figura 14). O ar aspirado será comprimido pelo primeiro êmbolo (pistão), refrigerado intermediariamente e novamente comprimido pelo próximo êmbolo.

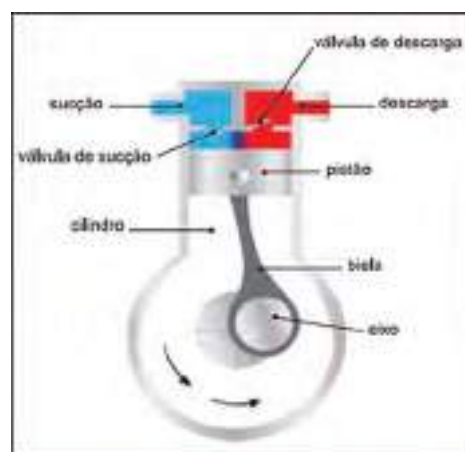


Figura 14 – Compressor de êmbolo.



## Compressores de Membrana

Mediante uma membrana, o êmbolo fica separado da câmara de sucção e compressão, quer dizer, o ar não terá contacto com as partes deslizantes. O ar ficará sempre livre de resíduos de óleo. Estes compressores são os preferidos e mais empregados na Indústria alimentícia, farmacêutica e química.

## Compressores Rotativos

### Compressores de Espiral

Este tipo de compressor possui um princípio de funcionamento inovador e de grande simplicidade. É constituído por uma espiral fixa e outra orbitante e a compressão do ar processa-se pela interação destas duas espiras.

Assim, à medida que a espiral móvel orbita graças a um excêntrico, o ar vai sendo progressivamente comprimido numa bolsa cada vez menor.



Figura 15 – Princípio de funcionamento de um compressor de espiral.

Contrariamente ao que se possa pensar, a espiral móvel não roda no sentido tradicional do termo (360 sobre 360 graus). O que se passa é que esta executa um movimento de forma elíptica capaz de fazer reduzir o volume de ar entre espiras sempre que este movimento ocorre.



Ao longo das 10 posições diferentes apresentadas na figura 16, pode-se verificar que o ar de admissão penetra no lado de fora do elemento orbitante. Logo que esse ar se situa no interior da câmara, a espiral móvel veda a abertura de entrada e vê-se que no seu movimento orbitante o espaço entre ambas (fixa e móvel) diminui, produzindo por esse meio um caudal contínuo de ar comprimido (isento de óleo e de pulsações) que sai do elemento através de uma abertura de descarga situada no centro da espiral fixa.

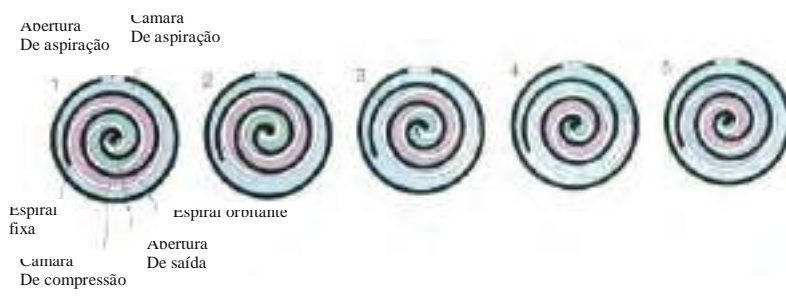


Figura 16 – Princípio de funcionamento de um compressor de espiral.

Ainda que para caudais pequenos (2,7 a 6,7 l/s e pressões até 10 bar) e, naturalmente, para pequenas potências (1,5 – 2,2 e 3,7 KW) trata-se de uma concepção verdadeiramente revolucionária, visto produzir ar comprimido isento de óleo destinado a aplicações altamente exigentes, como por exemplo, a medicina dentária.

A compressão do ar é obtida pela interação de uma espiral fixa e outra orbitante. À medida que a espiral continua a orbitar, o ar vai sendo progressivamente comprimido numa bolsa cada vez menor. O ar à pressão de admissão penetra na câmara de compressão, no lado de fora do elemento em espiral.

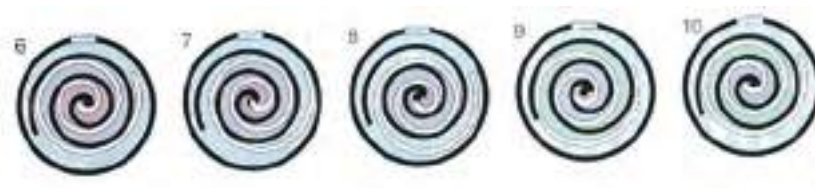


Figura 17 – Princípio de funcionamento de um compressor de espiral.

Uma vez no interior da câmara, a espiral veda a abertura de entrada. É produzido um caudal contínuo de ar comprimido que sai do elemento através de uma abertura de descarga no centro da espiral fixa. O processo de compressão repete-se continuamente, gerando um caudal de ar isento de pulsações.





## Compressores de Parafuso

De facto na atual indústria transformadora, os compressores rotativos de parafuso são os mais utilizados.



Figura 18 – Compressor de parafuso.

O seu funcionamento consiste basicamente em dois rotores que giram dentro de um bloco fixo, entre uma abertura de admissão (entrada) e uma de descarga (saída).

Estes rotores possuem formas apropriadas, uma de lóbulos (ou macho), e o outro em forma de reentrâncias (fêmea). O rotor macho normalmente gira a cerca de 3.600 r.p.m. O rotor fêmea gira a uma velocidade menor, cerca de 2.400 r.p.m. De uma maneira geral, o motor de acionamento atua sobre o rotor macho, mas pode-se encontrar compressores construídos de tal forma que o rotor fêmea seja o acionado. Neste caso, as velocidades são 50 % superiores às do caso convencional.

Em termos de funcionamentos, o ar vai ocupar os espaços vazios entre dois lóbulos adjacentes. À medida que os parafusos giram, o gás vai sendo conduzido para espaços menores, ou seja, está sendo comprimido por redução direta do seu volume.

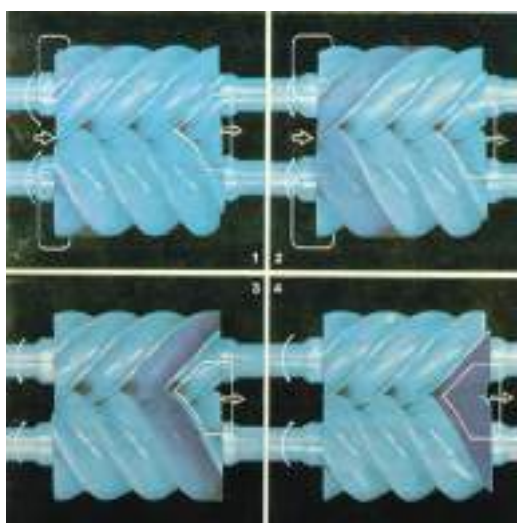


Figura 19 – Funcionamento do compressor de parafuso.





Analisando a figura 19, temos o seguinte:

- Estado 1: as extremidades dos rotores descobrem a admissão e o ar atmosférico enche por completo o espaço livre (bolsa helicoidal móvel) que se cria entre macho e fêmea;
- Estado 2: o fluido é retido no “compartimento”, dando-se início à compressão (azul claro);
- Estado 3: à medida que os rotores giram, o volume helicoidal torna-se menor e o ar vai sendo progressivamente comprimido (azul escuro);
- Estado 4: finalmente, o ar à pressão de serviço (azul mais escuro) abandona o elemento parafuso pela via de saída.

## Compressores de Palhetas

Num compartimento cilíndrico com aberturas de entrada e saída, gira um rotor alojado excentricamente. O rotor tem nos rasgos umas palhetas que, em conjunto com a parede, formam pequenos compartimentos, denominados células. Quando animado de rotação, as palhetas serão atiradas contra a parede pela força centrífuga. Devido à excentricidade de localização do rotor há uma diminuição e aumento das células.

As vantagens destes compressores estão na sua construção mais económica, menor volume, funcionamento contínuo e equilibrado e melhor fornecimento de ar, livre de qualquer pulsação.

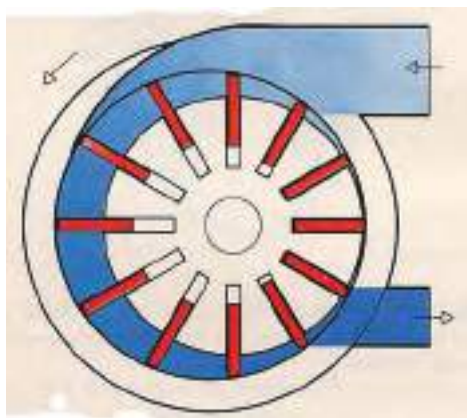


Figura 20 – Compressor de palhetas.



## Compressores Roots

Nestes compressores o ar é transportado de um lado para o outro, sem alteração de volume. A compressão (vedação) efetua-se no lado da pressão pelos cantos dos êmbolos.

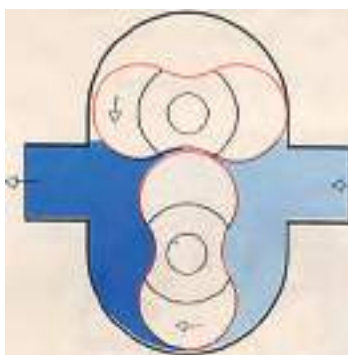


Figura 21 – Compressor Roots.

## Compressores de Dentes ou Engrenagens

Nestes compressores o ar é transportado de um lado para o outro sem alteração de volume e através dos espaços entre os dentes das engrenagens. A compressão (vedação) efetua-se no lado da pressão, pelos dentes das rodas dentadas.

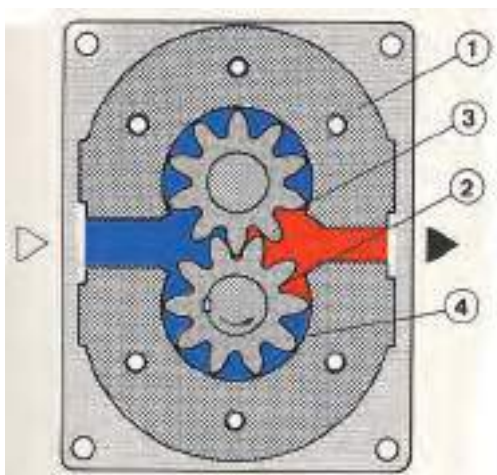


Figura 22 – Compressor de dentes ou engrenagens:

- 1 – Carcaça; 2 - Roda mandante acoplada ao motor; 3 - Roda mandada;  
4 - Câmara de compressão.



## ACIONAMENTO DOS COMPRESSORES

Os compressores são acionados por motores elétricos ou térmicos (combustão). Quando o compressor é elemento fixo, como acontece numa fábrica, garagem ou oficina, é composto normalmente por um chassis de montagem apropriado e sala de compressor. O órgão motriz preferido é o motor elétrico, uma vez que a sua montagem é mais fácil, pois dispensa ligações a depósitos de combustível, sistema de refrigeração por água e bateria, sendo também bastante mais silencioso que o motor de combustão e, acima de tudo, não é poluente.

Para unidades portáteis usam-se compressores acionados por motores a gasolina ou diesel, que se montam num carro próprio ou reboque e empregam-se na construção civil, arruamentos, etc. (Figura 23).



*Figura 23 – Unidade portátil.*

Os fabricantes de compressores fornecem já prontas a instalar unidades compactas. A ligação do motor ao compressor faz-se por uma ligação elástica denominada acoplamento, sendo as carcaças destes dois elementos unidas por uma flange intercalar. Este tipo de acionamento usa-se independentemente do débito do compressor, isto é, pode aplicar-se tanto em pequenas unidades como nas maiores.



## REFRIGERAÇÃO DOS COMPRESSORES

Provocado pela compressão do ar e pelo atrito entre os elementos metálicos em movimento cria-se calor no compressor, que deve ser dissipado. A escolha da refrigeração mais adequada depende do grau de temperatura desenvolvida no compressor.

Nos compressores considerados pequenos será suficiente a refrigeração por alhetas (Figura 24). Os compressores de maior capacidade estão equipados com ventiladores.

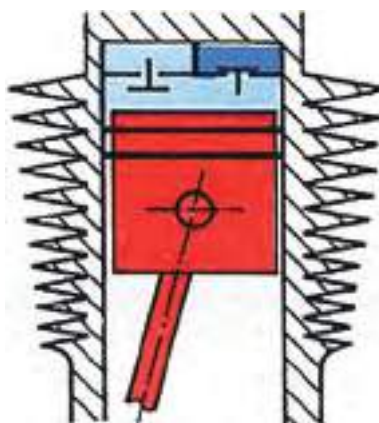


Figura 23 – Refrigeração por palhetas.

No caso de se tratar de uma estação de compressores com uma potência de acionamento superior a 30 KW (40 HP), a refrigeração a ar seria insuficiente. Os compressores devem então ser equipados com uma refrigeração a água circulante ou a água corrente contínua (Figura 24). É importante reter que uma refrigeração adequada prolonga em muito a vida útil do compressor.

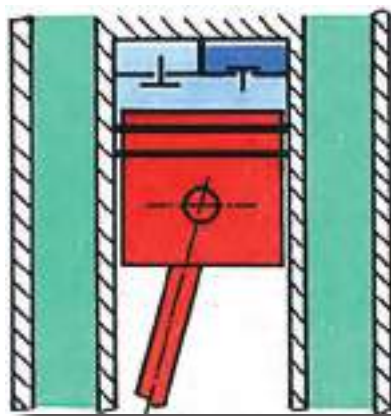


Figura 25 – Refrigeração com água circulante.



## TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO

Devemos dar alguma importância à qualidade do ar comprimido para evitar o aparecimento de impurezas em forma de partículas de sujidade ou ferrugem, restos de óleo e humidade, que originam muitas vezes falhas nas instalações e equipamentos pneumáticos e avarias nos elementos pneumáticos. Enquanto a eliminação primária do condensado é feita no separador após o refrigerador, a separação final, filtragem e outros tratamentos secundários do ar comprimido são executados no local de consumo. É necessário dar especial atenção à humidade contida no ar comprimido uma vez que a água (humidade) penetra na rede através do ar aspirado pelo compressor. A quantidade de humidade depende, em primeiro lugar, da humidade relativa do ar que, por sua vez, depende da temperatura e condições atmosféricas.

A humidade absoluta é a quantidade de água contida em 1 m<sup>3</sup> de ar. A quantidade de saturação é a quantidade máxima de água admitida em 1 m<sup>3</sup> de ar a uma temperatura determinada. Neste caso, a humidade relativa é de 100 % (ponto de orvalho).

$$\text{Humidade Relativa} = (\text{Humidade Absoluta}) / (\text{Quantidade de Saturação}) \times 100\%$$

**EXEMPLO.** Calcule a quantidade de água obtidas nas seguintes condições:

Quantidade de ar aspirado  $Q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$

Pressão  $P = 800 \text{ KPa}$  (8 bar)

Temperatura  $T = 323 \text{ K}$  (50 °C)

Humidade relativa do ar = 60%

Humidade absoluta do ar = ?

Pela fórmula anterior,

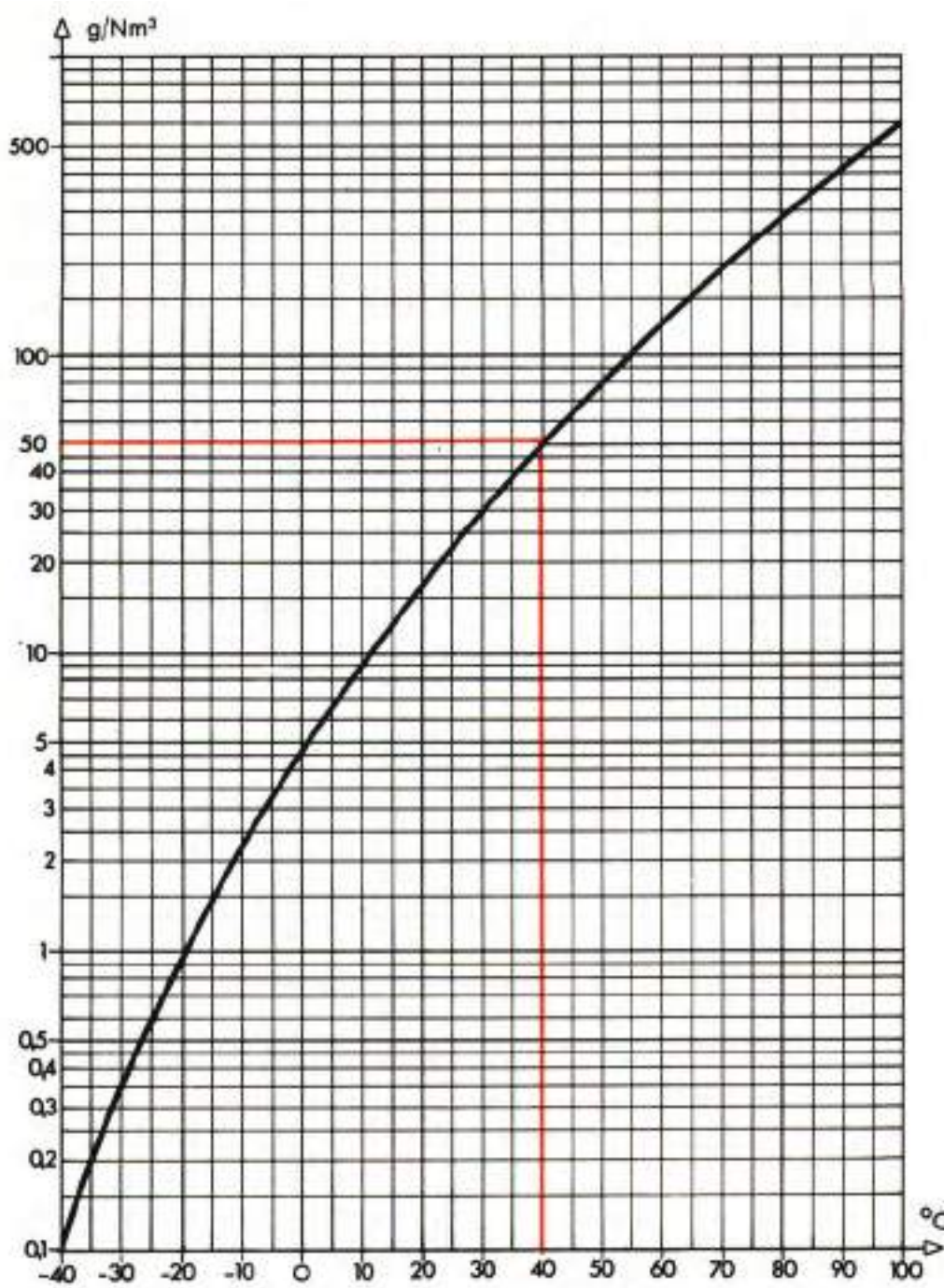
$$\text{Humidade Relativa} = (\text{Humidade Absoluta}) / (\text{Quantidade de Saturação}) \times 100\%$$

$$\text{Humidade Absoluta} = (\text{Humidade Relativa}) \times (\text{Quantidade de Saturação}) / 100\%$$

Consultando o diagrama seguinte, podemos ver para uma temperatura de 323 K (50 °C) temos 80 g/m<sup>3</sup> de quantidade de água.







© by FESTO DIDATIC

Figura 26 – Diagrama Curva do Ponto de Orvalho.

Logo,

$$\text{Humidade Absoluta} = 60\% \times 80 / 100\% = 48 \text{ g/m}^3$$

Para uma quantidade de ar aspirado de  $400 \text{ m}^3/\text{h}$ , temos

$$\text{Humidade absoluta do ar} = 48 \times 400 = 19.200 \text{ g/h}$$



Como se pode observar no exemplo anterior é inevitável produzir água em quantidades apreciáveis quando se faz a compressão do ar. É também do nosso conhecimento que a humidade é altamente prejudicial aos elementos metálicos, pelo que este fenómeno poderá ser eliminando utilizando no compressor ou junto à unidade de compressão um tipo de secagem do ar.

## SECAGEM

O ar atmosférico contém uma certa quantidade de vapor de água. O conteúdo de ar no ar varia consoante as condições climatéricas e o lugar. É conhecido como humidade atmosférica. A uma dada temperatura, um volume específico de ar pode conter somente uma quantidade limitada de vapor de água. Se a temperatura é aumentada, mais água por volume poderá ser armazenada. Se a temperatura é reduzida, o vapor de água já não pode ser retido, precipitando-se na forma de condensação.

O volume de vapor de água é conhecido como **humidade**. Esse termo aplica-se aos seguintes parâmetros:

- Humidade máxima  $f_{\max}$  (g/m<sup>3</sup>): (quantidade saturada) é definida como sendo o volume máximo de vapor de água que 1 m<sup>3</sup> de ar pode conter a uma certa temperatura;
- Humidade absoluta  $f$  (g/m<sup>3</sup>): é definida como o volume de vapor de água atualmente contido num 1 m<sup>3</sup> de ar;
- Humidade relativa  $\phi$  (%): é definida como sendo a razão entre a humidade absoluta e a humidade máxima. Se considerarmos que a humidade máxima  $f_{\max}$  é a temperatura dependente, a humidade relativa varia com a temperatura, mesmo quando a humidade absoluta permanece constante. Enquanto o ar for arrefecido até o ponto de vapor, a humidade relativa aumenta a 100%;
- Ponto de vapor atmosférico (°C): é definido como sendo a temperatura até à qual o ar atmosférico (1 bar) pode ser arrefecido sem haver precipitação de água. O ponto de vapor atmosférico não tem grande importância nos sistemas de ar comprimido;



- Ponto de pressão do vapor ( $^{\circ}\text{C}$ ): é definido como sendo a temperatura até à qual o ar comprimido pode ser arrefecido sem haver precipitação da condensação. O ponto de pressão do vapor depende da pressão da descarga. Se a pressão cair, o ponto de pressão do vapor também cai. São usados diagramas para determinar o ponto de pressão do vapor do ar comprimido depois da compressão. O ar contém sempre água na forma de vapor. Considerando que o ar é compressível e a água não o é, a água precipitará na forma de produto da condensação durante a compressão. A humidade máxima do ar depende da temperatura, do volume e nunca depende da quantidade.





# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Explique como é feita, em termos tecnológicos, a produção de ar comprimido.



# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

São essencialmente dois os órgãos que possibilitam realizar trabalho a partir da energia do ar comprimido. Esses órgãos são os motores e os cilindros pneumáticos.

Os primeiros geram movimento de rotação, caracterizando-se pelo motor binário e a velocidade de rotação que desenvolvem. Os cilindros geram movimento linear ou angular alternativo, caracterizando-se pela força de impulso que é possível recolher na extremidade da haste.

## *MOTOR PNEUMÁTICO*

Nos motores o processo de transformação da energia pneumática em energia mecânica desenvolve-se em sentido inverso ao da compressão do ar, tal como sucede com os motores hidráulicos relativamente às bombas. A sua construção assemelha-se à dos motores hidráulicos de êmbolos, de palhetas e de engrenagens, embora de construção mais ligeira e de menores dimensões.

Estes motores apresentam vantagens interessantes, possibilitam uma fonte de energia mecânica muito regular, de utilização segura e económica e suportam bem sobrecargas sem riscos de aquecimento. Possuem resposta muito rápida ao comando de arranque ou de paragem e admitem regulação contínua da velocidade de rotação e do binário motor, por intermédio da medição da pressão e do caudal de alimentação de ar comprimido.

Os motores de êmbolos radiais geram binários muito elevados e baixa velocidade de rotação. Este tipo de motor é fornecido com 4, 5 ou 6 êmbolos, sendo a potência desenvolvida proporcional ao número de cilindros, ao curso dos êmbolos e às condições de pressão e caudal na alimentação. Industrialmente encontra-se este tipo de unidade com potências até 25 HP (Horse-Power).

Os motores de êmbolos axiais são mais ligeiros, chegando a desenvolver velocidades de dezenas de milhares de rotações por minuto. No mercado encontram-se unidades com potências até 3 HP.



Os motores de palhetas, que equipam a maioria das máquinas ferramentas portáteis, geram altas velocidades com desenvolvimento de maiores potências específicas que os motores de êmbolos. Podem gerar 25.000 r.p.m. nas unidades mais pequenas, diminuindo a velocidade para os motores de maiores dimensões. Devido a esta característica possuem vulgarmente um sistema de segurança, para evitar que o motor embale quando ocorrerem diminuições de carga no veio durante a sua utilização.

Os motores de engrenagens desenvolvem as potências mais altas entre os motores de ar comprimido, podendo atingir valores da ordem dos 60 HP. É frequente a sua utilização em máquinas de mineração, por exemplo.

De um modo geral, duas qualidades de ordem prática caracterizam estas máquinas pneumáticas:

- Valor muito baixo para a razão peso/potência, pelo que são motores muito leves. Esta característica particular, torna-os indicados para máquinas ferramenta portáteis;
- Segurança elevada relativamente a ambientes de trabalho adversos, nomeadamente atmosferas explosivas, sujas, muito quentes ou húmidas.

## CILINDRO PNEUMÁTICO

O cilindro é uma máquina pneumática que gera uma força mecânica de trajetória linear (excecionalmente gera movimento angular), por ação da energia contida no ar comprimido sobre a superfície livre do êmbolo que se desloca no interior do tubo. A força de impulso gerada é recolhida no exterior através de uma haste solidária com o êmbolo.

Quando o ar comprimido admitido no cilindro provoca a saída da haste do êmbolo, diz-se que o cilindro realiza o movimento de avanço. Quando a haste recolhe, considera-se que realiza o movimento de recuo.

Distinguem-se dois tipos fundamentais de cilindros:

- Cilindros de duplo efeito (Figura 1);
- Cilindros de efeito simples (Figura 2).



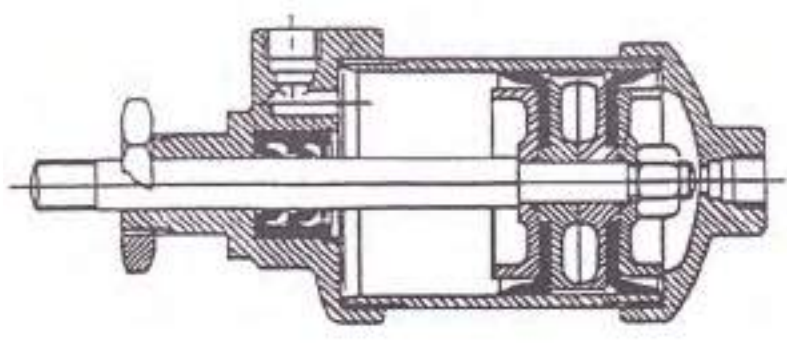


Figura 1 - Cilindro de Duplo Efeito.

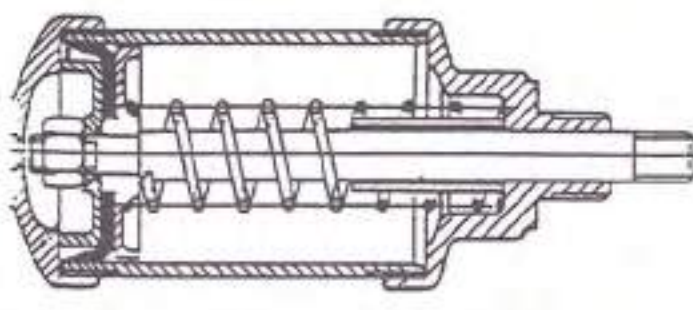


Figura 2 - Cilindro de Simples Efeito.

Em qualquer deles, o impulso de avanço é produzido pela ação do ar comprimido. No de duplo efeito o recuo é também provocado pela pressão do ar, mas no de simples efeito o recuo é provocado pela ação da força de uma mola. Na utilização dos cilindros o movimento de recuo do de simples efeito não deve produzir trabalho.

Dentro destas duas configurações distinguem-se ainda três tipos especiais de cilindros:

- **Cilindro de simples efeito de pequeno curso**, denominado cilindro de sujeição (Figura 3);

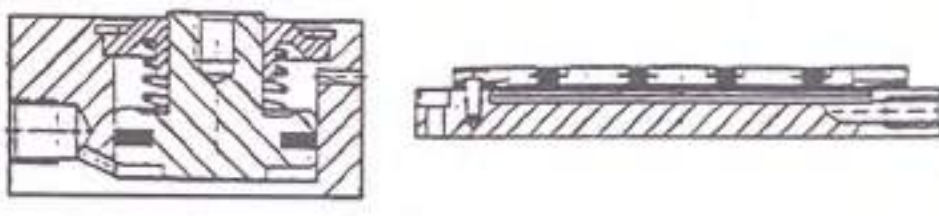
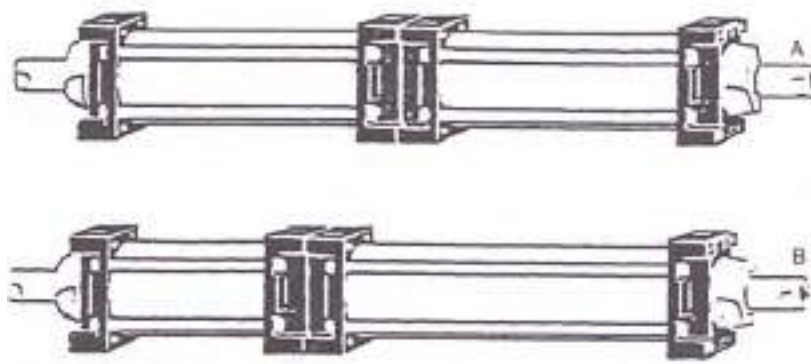


Figura 3 - Cilindro de Sujeição.

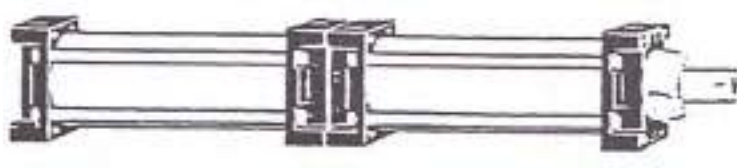


- **Cilindro duplo de múltiplas posições**, constituído por dois cilindros de duplo efeito, associados pela tampa de fundo. Quando os cilindros têm cursos iguais, obtêm-se três posições distintas da extremidade útil do conjunto (Figura 4); quando os cursos dos êmbolos são diferentes, obtêm-se quatro posições distintas, da extremidade da haste;



*Figura 4 - Cilindro Duplo de Múltiplas Posições.*

- **Cilindro tandem**, constituído por dois cilindros associados em série, quer dizer, como uma haste comum. A força de impulso é quase dupla da de cada um dos elementos simples. Este tipo de cilindro é vantajoso sobretudo quando o espaço de instalação é reduzido (Figura 5);



*Figura 5 - Cilindro Tandem.*

**Válvula distribuidora** - Em qualquer situação de utilização de cilindros pneumáticos é indispensável proceder-se a uma criteriosa escolha da válvula distribuidora, particularmente no que diz respeito à sua secção de passagem do ar. Como este componente se situa imediatamente antes do cilindro, ele condiciona o caudal de ar comprimido recolhido no cilindro, influenciando diretamente a velocidade de deslocação.

**Reguladores de caudal** - Os reguladores de caudal são dispositivos pneumáticos constituídos por uma válvula restritora montada em paralelo com uma válvula unidirecional ou anti-retorno. Estas apenas atuam no sentido da redução da velocidade.



A situação mais adequada para a sua utilização é aquela de redução do ar de escape.

Utilizando-se reguladores de caudal ou apenas válvulas restritoras, pode-se teoricamente reduzir a velocidade, até à paragem do êmbolo. Porém para velocidades abaixo de 80 mm/s, devido à grande compressibilidade do ar, o deslocamento do êmbolo deixa de ser regular e produz-se um movimento soluçante.

**Travagem hidráulica** - A travagem hidráulica é utilizada para modular velocidades do êmbolo que se situam entre 100 mm/s e 0,5 mm/s. Neste caso a velocidade é condicionada por intermédio da laminagem de óleo através de uma válvula restritora.

O sistema é formado pela associação de um cilindro pneumático e um cilindro hidráulico de travagem. As hastes dos cilindros são rigidamente ligadas uma à outra de tal modo que, quando o êmbolo do cilindro pneumático se desloca, arrasta necessariamente o êmbolo do cilindro hidráulico.

A velocidade com que este se vai deslocar não é agora regulada pela ação do caudal de ar comprimido que chega ao cilindro, mas em função da maior ou menor resistência oferecida pelo restritor à circulação do óleo no circuito hidráulico.

**Válvula de escape rápido** - A válvula de escape rápido é um dispositivo que permite a exaustão do ar de escape através de um circuito de menor resistência que o distribuidor, possibilitando assim, um aumento da velocidade do êmbolo. Esta é vulgarmente montada sobre o “racord” da porta de descarga do cilindro.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Quais as vantagens dos motores pneumáticos?

**EXERCÍCIO 2.** Refira três tipos de cilindros pneumáticos?

**EXERCÍCIO 3.** Qual a função da válvula de escape?



# SISTEMAS HIDRÁULICOS

São várias as vantagens oferecidas por um circuito hidráulico nomeadamente:

- Velocidade variável;
- Reversibilidade;
- Proteção de sobrecarga;
- Dimensões reduzidas;
- Paragem instantânea.

## Velocidade variável

A maior parte dos motores elétricos tem uma velocidade constante e isso é aceitável quando temos que operar uma máquina a uma velocidade constante.

O atuador de um sistema hidráulico, porém, pode ser acionado a velocidades variáveis e infinitas, desde que se varie o deslocamento da bomba ou se utilize uma válvula controladora de fluxo.

## Reversibilidade

Poucos são os acionadores reversíveis. Os que são, normalmente, têm que ser quase parados antes de poderem inverter a direção de rotação.

Diz-se que o atuador hidráulico é reversível quando pode ser invertido, instantaneamente, sem quaisquer danos, mesmo em pleno movimento.

## Proteção de sobrecarga

A válvula de segurança protege o sistema hidráulico de danos causados por pressões excessivas. Quando a pressão excede o limite da válvula, esta abre de forma a que o fluxo seja desviado em direção ao tanque.

A válvula de segurança possibilita também um meio de ajustar uma máquina à força ou ao binário especificado.

## Dimensões reduzidas

Devido às condições de alta velocidade e pressão, os componentes hidráulicos transmitem um máximo de força num espaço e peso mínimos.





### Paragem instantânea

Se se parar instantaneamente um motor elétrico este pode ser danificado. Da mesma forma, as máquinas não podem ser bruscamente paradas e invertido o seu sentido, sem a necessidade de se dar novamente a partida.

Um atuador hidráulico pode ser parado sem danos mesmo em carga e recomeçar imediatamente assim que a carga seja reduzida. Durante a paragem, a válvula de segurança desvia simplesmente o fluxo da bomba ao tanque.

## PRINCÍPIO DA HIDRÁULICA

O sistema hidráulico baseia-se no princípio de que a relação entre a força aplicada e a área na entrada, é igual à mesma relação na saída, tal como se mostra na expressão seguinte:

$$\text{Força} / \text{Área (Entrada)} = \text{Força} / \text{Área (Saída)}$$

## TRANSMISSÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA

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

O componente de entrada de um sistema hidráulico denomina-se de bomba, e o de saída atuador. Os atuadores mais utilizados são os cilindros.

Uma questão muito importante, e que pode gerar alguma confusão, é que um sistema hidráulico não é uma fonte de energia. A fonte de energia é o acionador, por exemplo um motor elétrico.

Na Figura 1 é mostrado um sistema hidráulico simples que exemplifica a forma de transmissão de energia hidráulica.

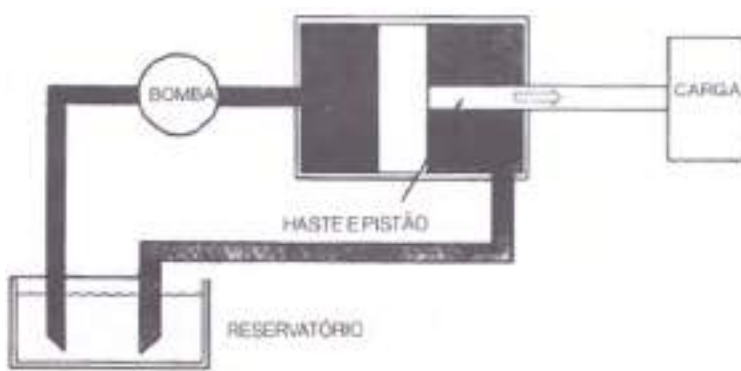


Figura 1 - Transmissão de energia hidráulica.



As fases que constituem o sistema hidráulico são as seguintes:

1. A bomba puxa o líquido do reservatório e empurra-o para dentro do tubo.
2. O líquido ao ser empurrado força a entrada no atuador e como consequência força o pistão a movimentar-se.
3. O movimento do pistão gera uma força mecânica que move a carga.
4. O pistão ao movimentar-se, força o líquido que se encontra à sua frente a entrar para o tubo.
5. Finalmente o líquido regressa, pelo tubo, ao reservatório.

### *CARACTERÍSTICAS DA PRESSÃO*

A pressão é o fator essencial dos sistemas hidráulicos.

A pressão é dada pela seguinte equação:

$$P = F / A$$

em que

P – Pressão (Kg/cm<sup>2</sup>)

F – Força (Kg)

A – Área (cm<sup>2</sup>)

Uma das características dos líquidos é a de procurarem sempre os caminhos que menor resistência oferecem. Assim sendo, se existir mais que um caminho possível, o líquido seguirá aquele em que a pressão seja menor.

### *VÁLVULAS*

As válvulas, dos sistemas hidráulicos, são usadas para controlar a direção do fluxo.

Na figura 2 mostra-se um sistema hidráulico com o funcionamento de uma válvula de segurança e uma válvula direcional.



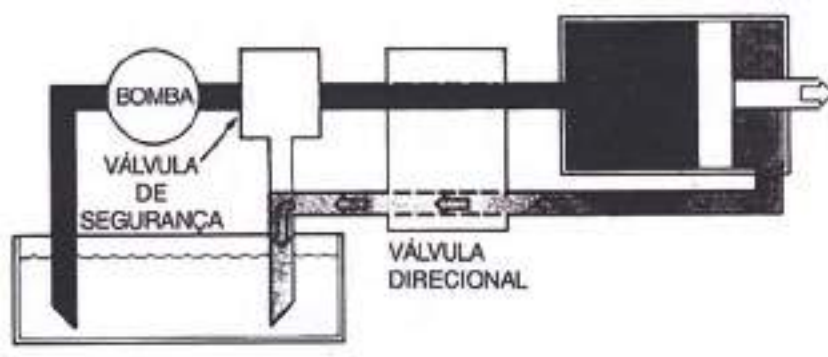


Figura 2 - Esquema de uma válvula de segurança e de uma válvula direcional.

As fases de funcionamento do sistema são as seguintes:

- A bomba força o fluido a seguir pela conduta em direção à válvula de segurança;
- Como a pressão do fluido é inferior à pressão de segurança, esta mantém-se fechada e o fluido segue em direção à válvula direcional, entra no cilindro, força a haste do cilindro a avançar e o fluido do lado da haste do cilindro a fluir em direção ao reservatório.

Após a haste do cilindro atingir o ponto máximo de deslocamento esta tem de regressar ao ponto inicial. Para que se verifique o recuo da haste do cilindro, são necessárias as fases seguintes (figura 3):

- A válvula muda de posição e o fluido é dirigido para o lado da haste do cilindro.
- A haste do cilindro é então forçada a recuar.
- O fluido da cabeça do cilindro é dirigido para o reservatório.

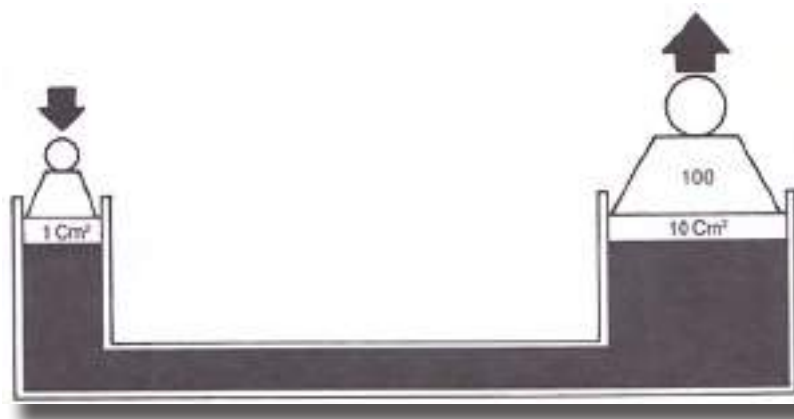


Figura 3 - Recuo da haste do cilindro.

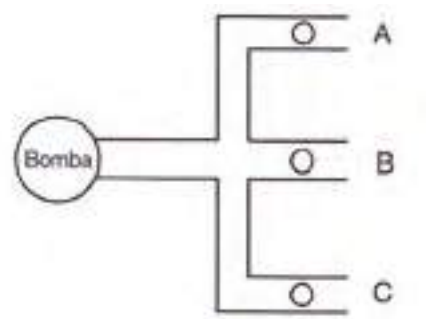


## EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** A figura seguinte mostra um sistema hidráulico. A área de saída é de  $10 \text{ cm}^2$  e o suporte na saída está sujeito a uma carga de  $100 \text{ Kg}$ . O pistão de entrada tem uma área de  $1 \text{ cm}^2$ . Qual a força a aplicar no pistão para empurrar a carga da saída?



**EXERCÍCIO 2.** A figura seguinte mostra o percurso de um líquido após ser bombeado por uma bomba tem três caminhos possíveis.



Em cada um dos caminhos existe uma válvula que permite bloquear a passagem de líquido. Se a válvula do caminho B estiver bloqueada e a pressão mínima de passagem do líquido nas válvulas A e C for:

A –  $10 \text{ atm}$

C –  $20 \text{ atm}$

Para qual dos caminhos seguirá o líquido?



**EXERCÍCIO 3.** Quais são as vantagens do sistema hidráulico?

**EXERCÍCIO 4.** Qual a função das válvulas de segurança?



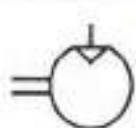
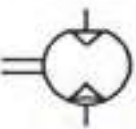
## SIMBOLOGIA

A simbologia mais frequentemente utilizada para os elementos de um sistema hidráulico e pneumático é a simbologia C.E.T.O.R


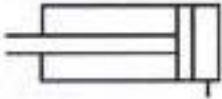
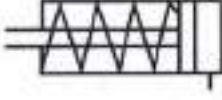
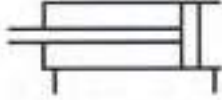
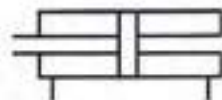


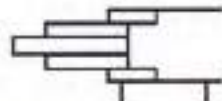
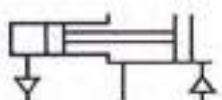
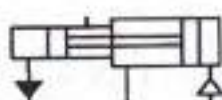
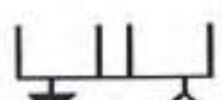
O C.E.T.O.R foi criado em 1962 e agrupa os construtores europeus de material para transmissões hidromecânicas e pneumáticas.

Para simplificar o desenho e a leitura de sistemas pneumáticos adotam-se símbolos gráficos para a representação dos seus diversos componentes tecnológicos, bem como para representar as condutas de transporte do ar comprimido. É essa simbologia que apresentamos nos quadros seguintes.

### TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA

Compressor.	
Bomba de vácuo.	
Motor pneumático de velocidade constante com um sentido de Rotação.	
Motor pneumático de velocidade constante com dois sentidos de rotação.	
Motor pneumático de velocidade variável com um sentido de rotação.	
Motor pneumático de velocidade variável com dois sentidos de rotação.	



Motor pneumático de ângulo giratório limitado.	
Cilindro de simples efeito com recuperação por acção exterior.	
Cilindro de simples efeito com recuperação por mola.	
Cilindro de duplo efeito com haste simples.	
Cilindro de duplo efeito com haste dupla.	
Cilindro diferencial de duplo efeito com haste simples.	
Cilindro de duplo efeito com amortecimento regulável nos fins de curso.	
Cilindro telescópico de duplo efeito.	
Amplificador de pressão pneumático.	
Amplificador de pressão hidro-pneumático.	
Conversor hidro-pneumático.	



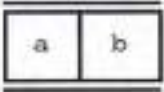



## COMANDO E REGULAÇÃO DE ENERGIA




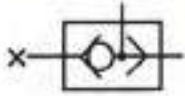
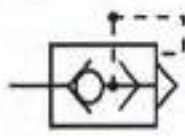
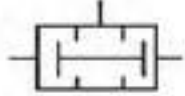
## VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS

Válvula de duas vias e duas posições ( 2/2 ) normalmente fechada.	
Válvula de duas vias e duas posições ( 2/2 ) normalmente aberta.	
Válvula de três vias e duas posições ( 3/2 ) normalmente fechada.	
Válvula de três vias e duas posições ( 3/2 ) normalmente aberta.	
Válvula de três vias e três posições ( 3/3 ) com posição ao centro fechada.	
Válvula de quatro vias e duas posições ( 4/2 ).	
Válvula de quatro vias e três posições ( 4/3 ) com posição ao centro fechada.	
Válvula de quatro vias e três posições ( 4/3 ) com posição ao centro em exaustão.	
Válvula de cinco vias e duas posições ( 5/2 ).	
Válvula de cinco vias e três posições ( 5/3 ) com posição ao centro fechada.	

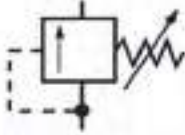
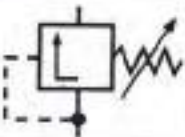


Válvula com posições intermédias de comando e duas posições finais.	
Válvula distribuidora em representação simplificada, 4/2 no exemplo.	

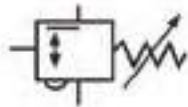
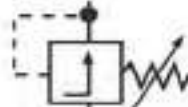
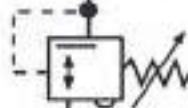
### VÁLVULAS DE BLOQUEIO

Válvula de retenção sem mola.	
Válvula de retenção com mola.	
Válvula de retenção pilotada.	
Válvula alternadora ou selectora. Porta "OU".	
Válvula de escape rápido.	
Válvula de simultaneidade. Porta "E".	




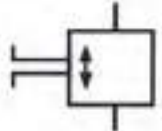
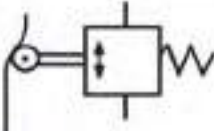
### VÁLVULAS DE PRESSÃO

Válvula limitadora de pressão, regulável.	
Válvula de sequência.	



Válvula limitadora de pressão, com pressão mínima de abertura.	
Válvula reguladora de pressão sem escape.	
Válvula reguladora de pressão com escape.	

### VÁLVULAS DE CAUDAL



Válvula restritora.	
Válvula de diafragma com restrição constante.	
Válvula restritora variável.	
Válvula restritora variável, com comando manual.	
Válvula restritora variável, com comando mecânico e recuperação por mola.	

### VÁLVULA DE ISOLAMENTO







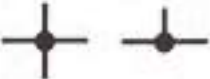
Válvula de corte.	
-------------------	---





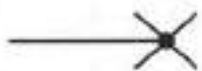


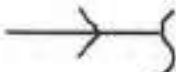
## VÁLVULAS REGULADORAS DE CAUDAL

Válvula reguladora de caudal, variável.	
Válvula reguladora de caudal, variável, de diafragma.	





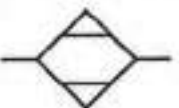

## CONDUÇÃO DE ENERGIA

Fonte de pressão pneumática.	
Conduta, pressão de trabalho.	
Conduta, pressão de comando.	
Conduta de escape.	
Conduta flexível.	
Condutor eléctrico.	
Ligação rígida.	



Cruzamento de condutas.	
Conduta com escape.	
Escape livre.	
Escape canalizado.	
Conduta de pressão, fechada.	
Tomada de pressão ligada.	
Ligação rápida.	
Ligação rápida com anti-retorno.	
Ligação rápida não acoplada. Conduta fechada.	
Ligação rápida não acoplada. Conduta aberta.	
Derivação rotativa de uma via.	

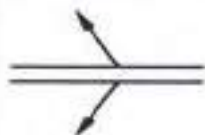
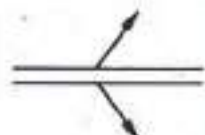
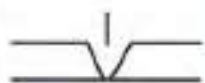
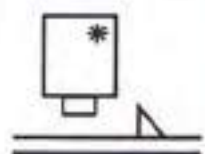

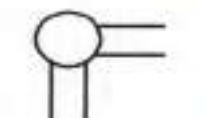
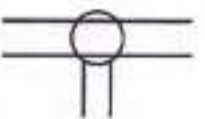



Derivação rotativa de duas vias.	
Silenciador.	
Reservatório pneumático.	
Filtro.	
Separador de água com purga manual.	
Separador de água com purga automática.	
Filtro com separador e purga automática.	
Secador.	
Lubrificador.	
Unidade de manutenção (filtro, manômetro e lubrificador).	
Refrigerador.	





## COMPONENTES MECÂNICOS DE COMANDO

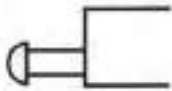
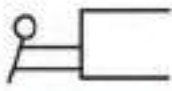
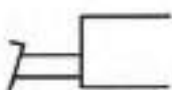
Veio com rotação num sentido.	
Veio com rotação em dois sentidos.	
Encravamento.	
Bloqueamento.	
Dispositivo de desencravamento instantâneo.	
Ligação articulada simples.	
Ligação articulada com alavanca.	
Articulação com ponto fixo.	

### COMANDO MUSCULAR

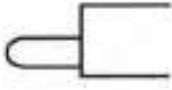
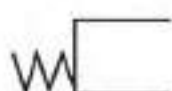
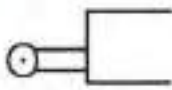
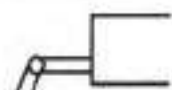
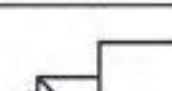
Genérico indiscriminado.	
--------------------------	---



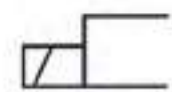


Por botão de pressão.	
Por alavanca.	
Por pedal.	

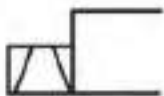

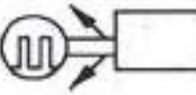
**COMANDO MECÂNICO**

Genérico indiscriminado.	
Por mola.	
Por rolete.	
Por rolete escamoteável.	
Por sonda.	

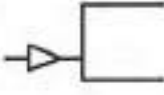
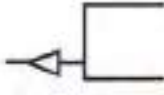
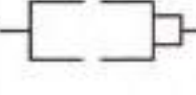

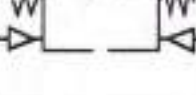
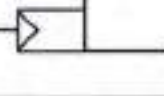
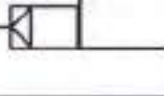
**COMANDO ELÉCTRICO**

Por solenóide com um enrolamento.	
-----------------------------------	---

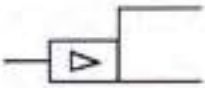
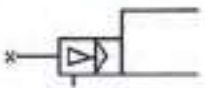


Por solenóide com dois enrolamentos opostos.	
Por motor com movimento de rotação contínuo.	
Por motor de comando passo a passo.	

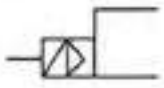
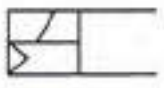
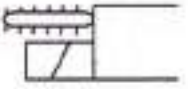
### COMANDO POR PRESSÃO PNEUMÁTICA

Por acréscimo de pressão, directo	
Por decréscimo de pressão, directo.	
Por pressão diferencial.	
Obturador centrado por pressão pneumática.	
Obturador centrado por mola.	
Por acréscimo de pressão, indirecto.	
Por decréscimo de pressão, indirecto.	




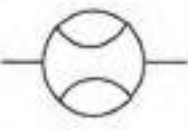


Amplificador da pressão de comando.	
Amplificador da pressão de comando a baixa pressão.	


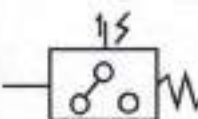



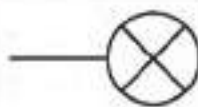
### COMANDOS COMBINADOS

Por solenóide e válvula servocomandada.	
Por solenóide ou válvula servocomandada.	
Por solenóide ou manual com mola de recuperação.	

## APARELHOS DIVERSOS

Manômetro.	
Manômetro diferencial.	
Medidor de temperatura.	
Medidor de caudal.	



Medidor de volume.	
Pressostato.	
Sensor de pressão.	
Sensor de temperatura.	
Sensor de caudal.	
Indicador.	

## IDENTIFICAÇÃO DAS PORTAS

- A, B, C, ... - Portas de utilização;
- P - Alimentação de pressão
- R, S, T, ... - Portas de exaustão;
- Z, Y, X, ... - Portas de comando.



# CIRCUITOS BÁSICOS

Para a constituição de cadeias de comando de circuitos pneumáticos que dêem satisfação a uma dada pretensão, existem sempre, por via de regra, várias soluções possíveis. No entanto, uma circunstância é comum a todas elas, ou seja, são formadas por uma associação ordenada de circuitos elementares fundamentais.

Neste capítulo apresentam-se os circuitos elementares mais importantes, indicando-se algumas situações que merecem atenção especial para cada um dos casos.

## COMANDO DO CILINDRO DE SIMPLES EFEITO

Para fazer o comando de um cilindro de simples efeito é necessária uma válvula distribuidora 3/2 (válvula de 3 vias e de 2 posições, de acordo com a unidade anterior), de modo a possibilitar alternadamente a pressurização e a exaustão da câmara de ar comprimido no cilindro, permitindo-se assim o avanço e recuo do êmbolo do cilindro.

### Comando direto por ação manual sobre o distribuidor

Nesta situação, para que o avanço do cilindro se efetue atua-se manualmente sobre o dispositivo de comando do módulo de sinal, que na circunstância é o distribuidor. Quando a ação manual cessa, o cilindro recua por influência direta da mola de posicionamento do êmbolo.

Se a comutação do distribuidor for conseguida por intermédio de duas ações opostas, haverá uma ação de comando para o avanço e outra para o recuo, conforme se mostra na figura 1.

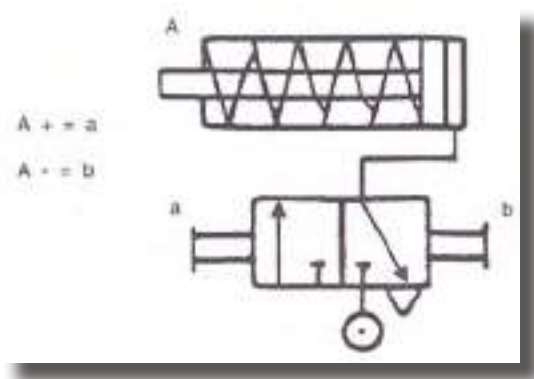


Figura 1 - Comando Direto - Cilindro de Simples Efeito.



### Comando indireto

A ação de comando não se exerce sobre o dispositivo de comando do distribuidor, mas sobre o botão de comando do módulo de sinal, como se pode ver na figura 2.

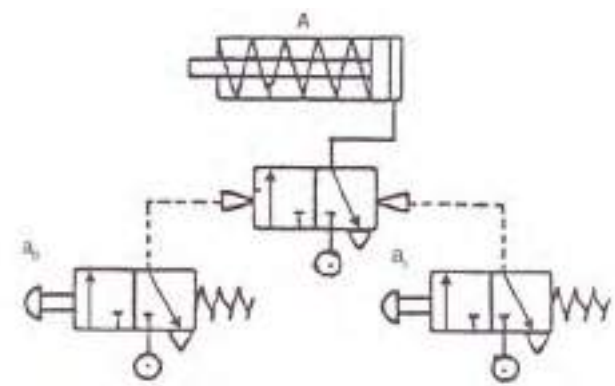


Figura 2 - Comando Indireto - Cilindro de Simples Efeito:  $A+ = a_0$ ;  $A- = a_1$ .

## COMANDO DO CILINDRO DE DUPLO EFEITO

Para fazer o comando do cilindro de duplo efeito é necessária uma válvula 4/2 ou 5/2, de modo a possibilitar a alternância da alimentação e exaustão das câmaras de ar comprimido do cilindro e obter condições para a realização dos movimentos de avanço e recuo do êmbolo.

### Comando direto por ação manual sobre o dispositivo de comando do distribuidor

A situação é análoga ao comando do cilindro de simples efeito, como se mostra na figura 3.

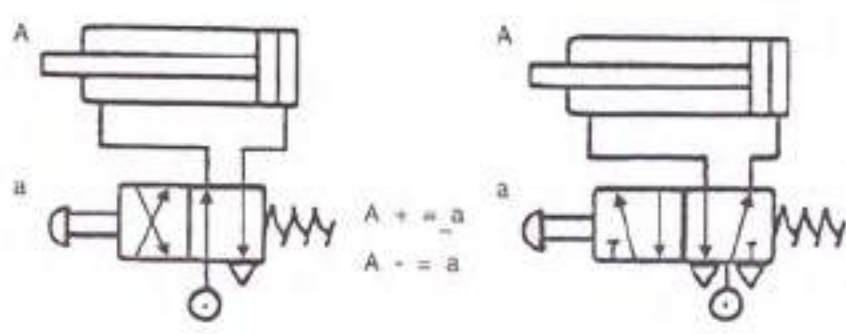


Figura 3 - Comando Direto - Cilindro de Duplo Efeito.



### Comando indireto

É ainda para este cilindro uma solução semelhante à do simples efeito, como se mostra na figura 4.

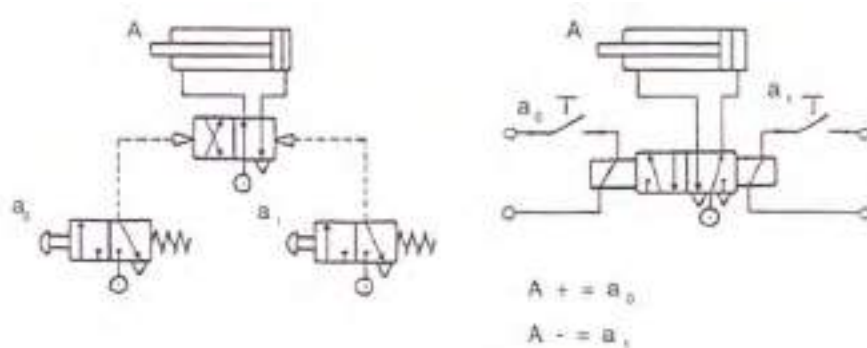


Figura 4 - Comando Indireto - Cilindro de Duplo Efeito.

## COMANDO DE TRAJETÓRIA PROGRAMADA PARA O CICLO DE TRABALHO SEMIAUTOMÁTICO

Vamos estudar o sistema para o cilindro de duplo efeito, considerando que para o de simples efeito o comando é análogo. É característico deste programa, o cilindro ser comandado manualmente para o arranque, e os movimentos seguintes comandados por sinais gerados em módulos de entrada, ativados nos fins de curso da haste do cilindro (figura 5).

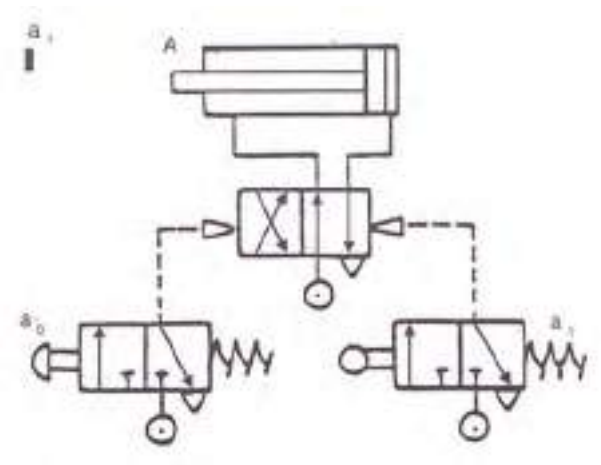


Figura 5 - Comando de Trajetória - Trabalho Semiautomático.





O sinal a0 comuta o distribuidor para o comando do movimento de avanço do cilindro A. Quando a haste chega ao fim do curso de avanço abre a válvula a,) gerando-se o sinal capaz de comutar a posição do distribuidor para o comando do movimento de recuo do cilindro. No fim de curso do recuo, o êmbolo pára.

Se o comando manual sobre a válvula que gera a0 é mantido durante muito tempo, pode acontecer que quando surgir a1 a gaveta do distribuidor fique imóvel, por estar sujeita a duas forças iguais e opostas. A válvula distribuidora de comando pneumático, nos dois sentidos da comutação da gaveta, tem um comportamento dominante para o último sinal que recebe, memorizando-o.

## COMANDO DA TRAJETÓRIA PROGRAMADA DE UM CICLO DE TRABALHO AUTOMÁTICO

Na condição de programa automático, o cilindro irá realizar movimentos de avanço e recuo sucessivos, após ter sido emitido o sinal de arranque. Os movimentos cessam, quando o dispositivo de paragem é atuado, imobilizando--se o cilindro na posição do início do ciclo (figura 6).

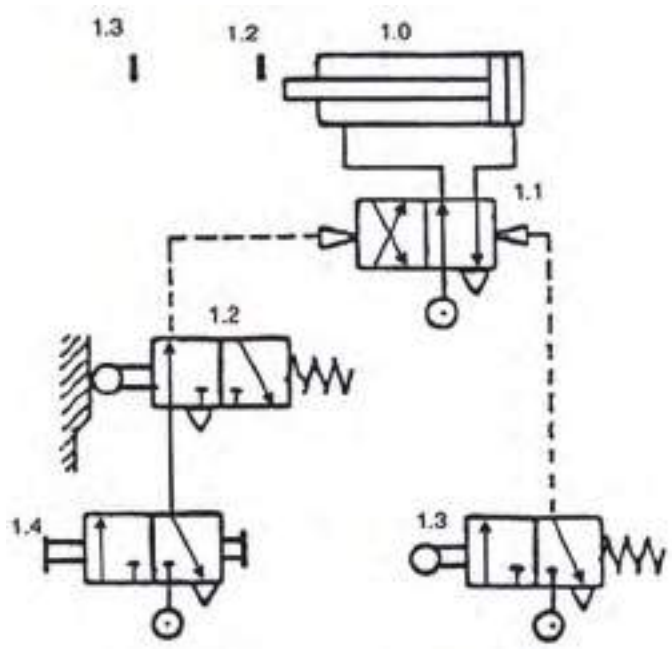


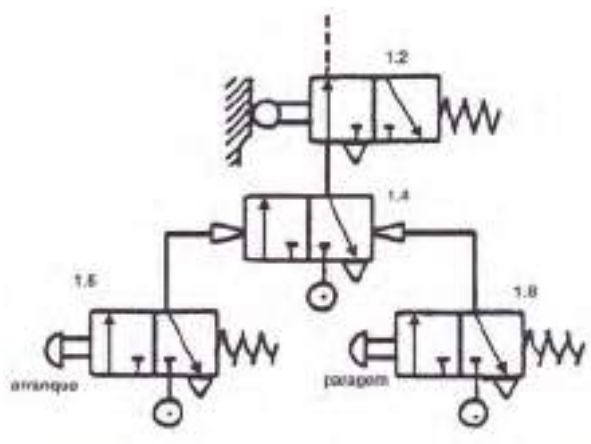
Figura 6 - Comando de Trajetória - Trabalho Automático.



A válvula de arranque e paragem alimenta a cadeia de comando que provoca o movimento de avanço. Quando a alimentação pára, 1.2 é cortada pelo fecho da válvula 1.4, permanecendo o cilindro, após o último movimento de recuo parado atrás.

Atualmente, como os elementos de comando são instalados em armários metálicos, os comandos manuais são feitos através de botões de pressão.

Fazendo a substituição da válvula 1.4 por uma válvula de impulsos, os sinais para a comutação, vão ser emitidos por duas válvulas de entrada com comando por botão. Na Figura 7 mostra-se o circuito pneumático em que a válvula 1.4 é substituída por uma válvula 1.6 (válvula de impulsos).

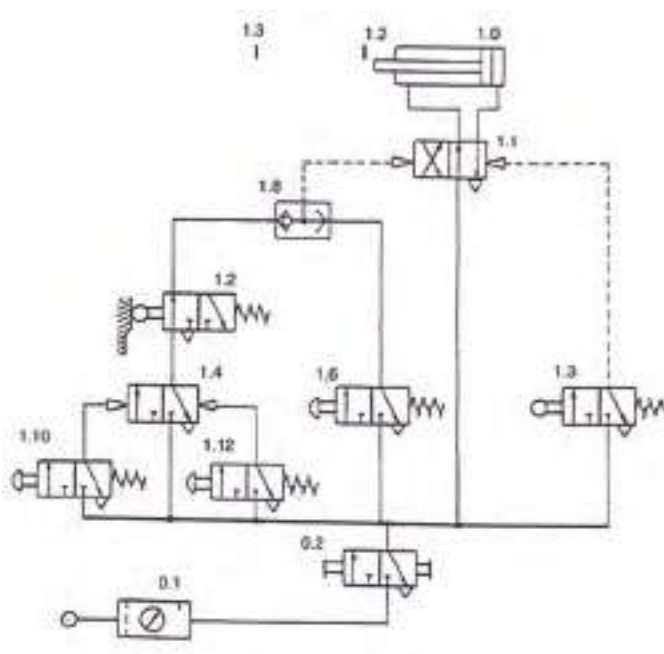


*Figura 7 - Substituição, em relação ao circuito da figura 6, de uma válvula 1.4 por uma válvula 1.6.*

## COMANDO DE TRAJETÓRIA PROGRAMADA DE CICLOS DE TRABALHO ALTERNATIVOS, SEMIAUTOMÁTICOS E AUTOMÁTICOS

O circuito que permite as duas opções dos programas de trabalho, isto é, a automática e a semiautomática, é fundamentalmente uma associação em paralelo do comando específico de cada um dos programas, tal como se indica na figura 8.





*Figura 8 - Comando de Trajetória: Trabalho Alternativo (Comando Semiautomático ou Automático).*

## COMANDO PARA PARAGEM EM EMERGÊNCIA

No esquema já estudado da figura 8, o ciclo de trabalho tem início quando é premido o botão da válvula de arranque 1.10. Para fazer parar o cilindro prime-se o botão da válvula de paragem 1.12. Então, o cilindro prossegue o seu movimento até ao fim do ciclo e pára. A imobilização do cilindro 1.0 faz-se somente quando o ciclo termina, e não quando surge a ação do comando de paragem.

Numa situação de emergência é indispensável que a paragem seja simultânea com a ação de comando. Além disso, numa emergência, os cilindros devem interromper o ciclo e imobilizar-se numa posição bem definida, predeterminada e considerada de segurança. Para conseguir esta situação, o circuito tem uma alimentação para a cadeia de comando de funcionamento normal e outra para um circuito alternante que comanda os cilindros levando-os para a posição de segurança.

Para tornar a situação mais clara, analisemos o funcionamento de um sistema constituído por dois cilindros que executam um programa automático com a sequência A+ B+ A- B- (figura 9).



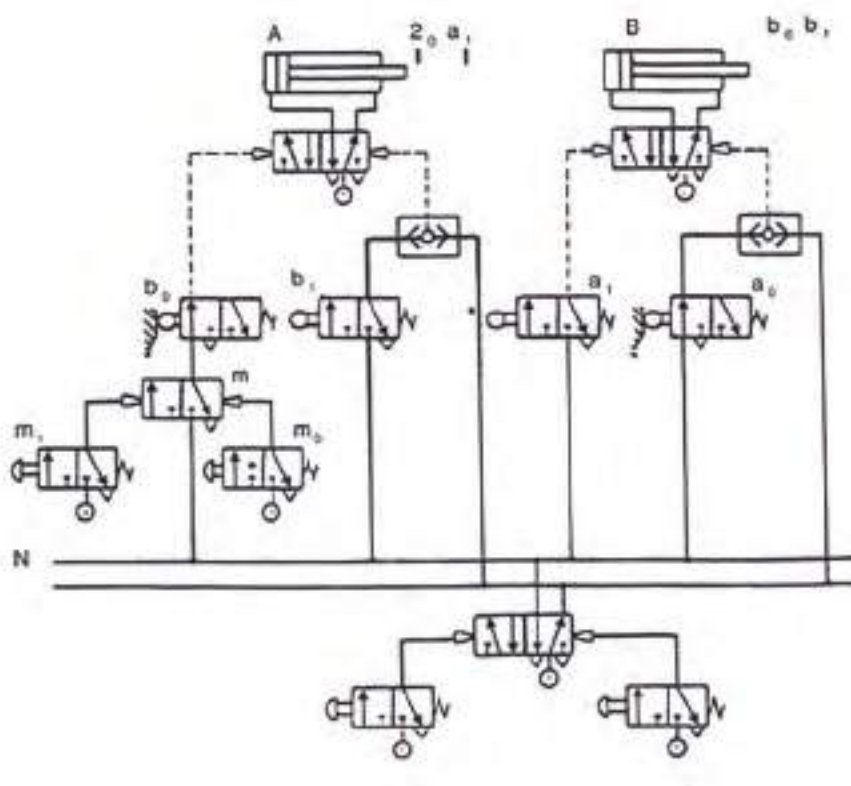


Figura 9 - Circuito Exemplo para Análise do Comando para Paragem de Emergência.

O circuito tem uma linha N de alimentação da cadeia normal de comando para a realização do ciclo normal de trabalho, e outra linha S de alimentação das portas A- e B- que comandam o recuo dos cilindros numa atuação de emergência.

A válvula K é um inversor que alimenta N quando, por acção manual, se gera o sinal kv e alimenta S se é premido o botão da válvula k0. Através da válvula inversora K, quando uma linha está pressurizada a outra está despressurizada.

Em utilização normal, a linha N tem pressão pneumática. Nesta circunstância o arranque do sistema faz-se pela geração da variável m,, e os cilindros executam ciclos sucessivos, até que por comando manual seja produzido o sinal m0, que coloca o sistema em condição de parar, após se completar o ciclo em curso.

Para se fazer uma paragem em emergência prime-se o botão de comando k0. Os cilindros param de imediato e iniciam o movimento de recuo até à imobilização de ambos na posição atrás.

Para se conseguir reiniciar o ciclo normal de trabalho por comando sobre m1, terá o circuito inversor de ser previamente rearmado por comando manual atuando-se sobre a válvula k1.



No exemplo utilizado, a imobilização dos cilindros atinge-se na posição atrás para ambos. No entanto, as posições selecionadas podiam ser outras. A escolha depende da previsão das condições de encravamento que o movimento dos cilindros em emergência deve ter.

## FUNÇÕES “OU” E “E”

**Função “OU” (OR)** - Em pneumática, além da válvula alternadora, a função “OU” pode também ser realizada pela associação em paralelo de válvulas direcionais, como é indicado no esquema da figura 10.

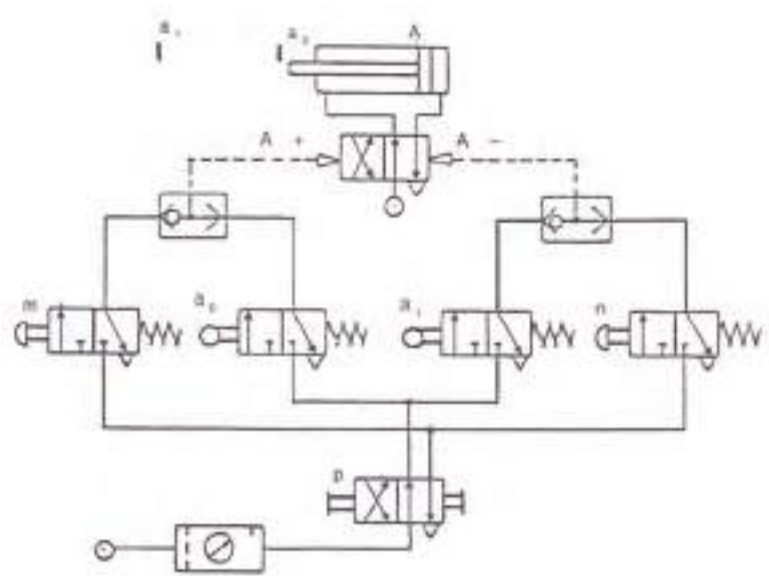


Figura 10 - Função “OU” - (OR).

O circuito pode trabalhar alternativamente com programas de trabalho “passo--a-passo” ou em “automático”, de acordo com o estado de comutação da válvula p. Assim, temos:

- $A+ = a0 + m$
- $A- = a1 + n$

**Função “E” (AND)** - Em pneumática a função “E” realiza-se em muitas situações, independentemente da existência ou não da válvula de simultaneidade. Esta função está intimamente ligada à associação em série de sinais. Em termos de comando, significa que um dado acontecimento só pode suceder quando outro ocorreu antecipadamente.



Por exemplo, pode condicionar-se o arranque do movimento de avanço da haste de um cilindro, por intermédio da associação em série de duas válvulas direcionais 3/2, não permitindo que o sinal que provoca o avanço se gere, enquanto o movimento de recuo não chegarão seu termo, como é mostrado na figura 11.

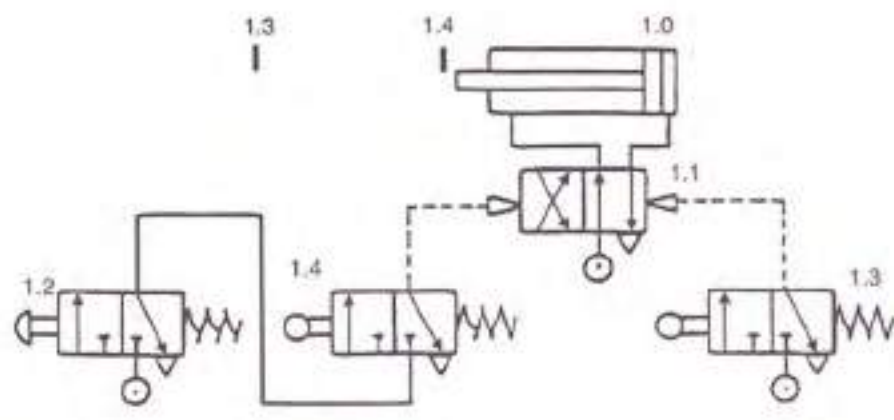


Figura 11 - Função "E" - (AND).

Para além do circuito série, esta função pode realizar-se utilizando-se uma válvula de simultaneidade, ou associando válvulas direcionais, segundo o princípio indicado na figura 12.

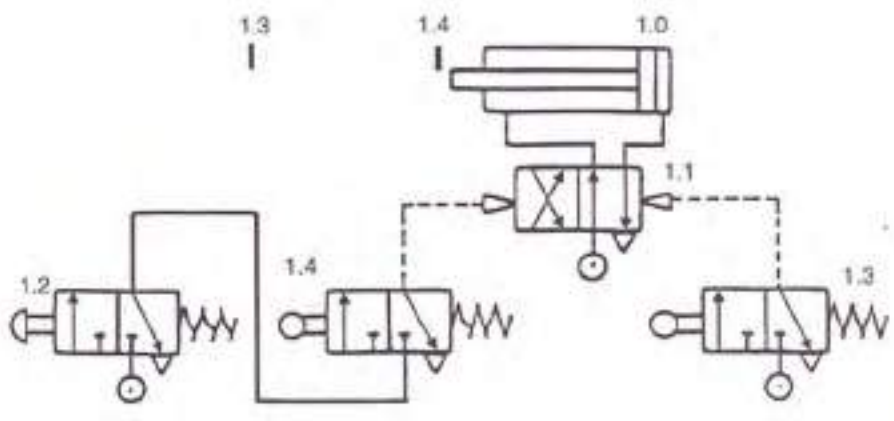


Figura 12 - Função "E" - (AND) - Associando válvulas direcionais.



# BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

Manual de Ar Comprimido - Atlas Copco, Portugal.

Introdução à Pneumática- Kobler Meixner, Festo.

Máquinas - Formulário Técnico- A. L. Casillas, Editora Mestre Jou, 1987.

Fundamentos de Pneumática, Unidade Pedagógica UP0028, CENFIM – Centro de Formação da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica.

Fundamentos de Óleo-Hidráulica, Unidade Pedagógica UP0024, CENFIM – Centro de Formação da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica.



## Notas

[illegible]







# Toleranciamento Dimensional

## Módulo 5

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo que os alunos tenham noção da importância que o toleranciamento tem para a concepção e maquinação de peças de mecânica de precisão.

## OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

- Definir, identificar na folha de desenho e aplicar a tolerância geral de fabrico
- Compreender a importância do toleranciamento dimensional
- Identificar as cotas toleranciadas num desenho
- Definir tolerância, desvios e cotas limites de fabrico
- Diferenciar toleranciamento geométrico e dimensional
- Compreender a importância do toleranciamento geométrico
- Compreender e identificar os principais símbolos geométricos

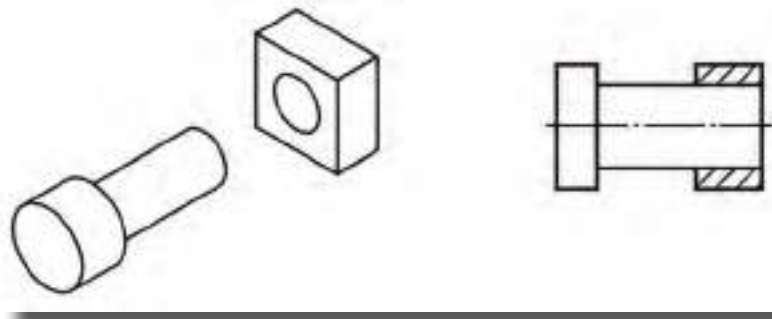
## ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Toleranciamento dimensional
- Toleranciamento geométrico
- Cotas não toleranciadas



# TOLERÂNCIAMENTO DIMENSIONAL

As peças, em geral, não funcionam isoladamente, trabalhando associadas a outras peças, formando conjuntos mecânicos que desempenham funções determinadas.



Num conjunto mecânico as peças ajustam-se, isto é, encaixam-se umas nas outras de diferentes maneiras. Os tipos de ajuste possíveis entre as peças é o tema principal deste módulo.

As cotas indicadas no desenho técnico são chamadas de **dimensões nominais**. É impossível executar as peças com os valores exatos dessas dimensões porque vários fatores interferem no processo de produção, tais como imperfeições dos instrumentos de medição e das máquinas, deformações do material e falhas do operador. Desta forma, procura-se determinar desvios, dentro dos quais a peça possa funcionar corretamente. Esses desvios são chamados de **afastamentos**.

## AFASTAMENTOS

Os afastamentos são desvios aceitáveis das dimensões nominais, para mais ou menos, que permitem a execução da peça sem prejuízo para o seu funcionamento e intercambiabilidade. Eles podem ser indicados no desenho técnico como mostra a figura seguinte.



Neste exemplo, a dimensão nominal do diâmetro do pino é 20 mm. Os afastamentos são: + 0,28 mm (vinte e oito centésimos de milímetro) e + 0,18 mm (dezoito centésimos de milímetro). O sinal + (mais) indica que os afastamentos são positivos, isto é, que as variações da dimensão nominal são para valores maiores.

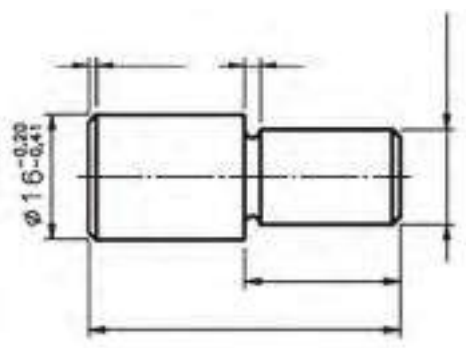
O afastamento de maior valor (0,28 mm, no exemplo) é chamado de **afastamento superior**; o de menor valor (0,18 mm) é chamado de **afastamento inferior**. Tanto um quanto outro indicam os limites máximo e mínimo da dimensão real da peça.

Somando o afastamento superior à dimensão nominal obtemos a dimensão máxima, isto é, a maior medida aceitável da cota depois de executada a peça. Então, no exemplo dado, a dimensão máxima do diâmetro corresponde a:  $20 \text{ mm} + 0,28 \text{ mm} = 20,28 \text{ mm}$ .

Somando o afastamento inferior à dimensão nominal obtemos a dimensão mínima, isto é, a menor medida que a cota pode ter depois de fabricada. No mesmo exemplo, a dimensão mínima é igual a  $20 \text{ mm} + 0,18 \text{ mm}$ , ou seja, 20,18 mm. Assim, os valores: 20,28 mm e 20,18 mm correspondem aos limites máximo e mínimo da dimensão do diâmetro da peça.

Depois de executado, o diâmetro da peça pode ter qualquer valor dentro desses dois limites. A dimensão encontrada, depois de executada a peça, é a dimensão efetiva ou real; ela deve estar dentro dos limites da **dimensão máxima** e da **dimensão mínima**.

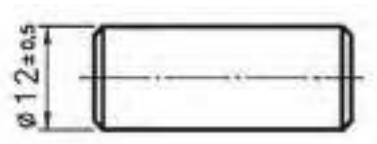
Quando os dois afastamentos são positivos, a dimensão efetiva da peça é sempre maior que a dimensão nominal. Entretanto, há casos em que a cota apresenta dois afastamentos negativos, ou seja, as duas variações em relação à dimensão nominal são para menor, como mostra a figura seguinte.



A cota  $\varnothing 16$  apresenta dois afastamentos com sinal - (menos), o que indica que os afastamentos são negativos: - 0,20 e - 0,41. Quando isso acontece, o afastamento superior corresponde ao de menor valor numérico absoluto. No exemplo, o valor 0,20 é menor que 0,41; logo, o afastamento - 0,20 corresponde ao afastamento superior e - 0,41 corresponde ao afastamento inferior.

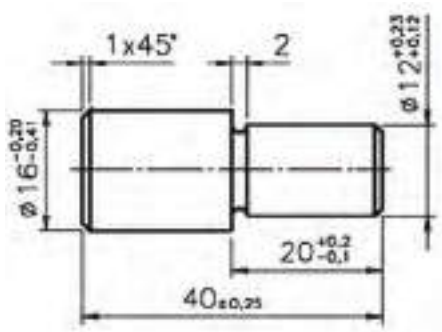
Para se saber qual a dimensão máxima que a cota pode ter, basta subtrair o afastamento superior da dimensão nominal. No exemplo:  $16,00 - 0,20 = 15,80$ . Para se obter a dimensão mínima deve-se subtrair o afastamento inferior da dimensão nominal. Então:  $16,00 - 0,41 = 15,59$ . A dimensão efetiva deste diâmetro pode, portanto, variar dentro desses dois limites, ou seja, entre 15,80 mm e 15,59 mm. Neste caso, de dois afastamentos negativos, a dimensão efetiva da cota será sempre menor que a dimensão nominal.

Há casos em que os dois afastamentos têm sentidos diferentes, isto é, um é positivo e o outro é negativo.



Quando isto acontece, o afastamento positivo corresponde sempre ao afastamento superior e o afastamento negativo corresponde ao afastamento inferior. Neste caso, os dois afastamentos têm o mesmo valor numérico. O que determina qual é o afastamento superior é o sinal de + (mais) e o que determina o afastamento inferior é o sinal de - (menos).

Numa mesma peça, as cotas podem vir acompanhadas de diferentes afastamentos, de acordo com as necessidades funcionais de cada parte.



## TOLERÂNCIA

**Tolerância** é a variação entre a dimensão máxima e a dimensão mínima. Para obtê-la, calculamos a diferença entre uma e outra dimensão.

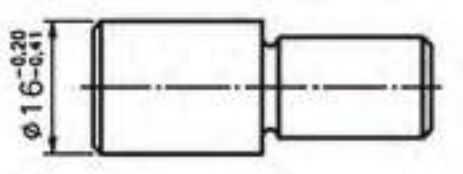


Dimensão máxima:  $20,00 + 0,28 = 20,28$  mm

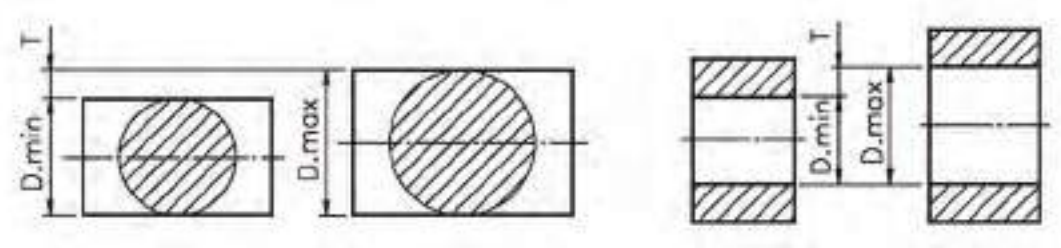
Dimensão mínima:  $20,00 - 0,15 = 19,85$  mm

Tolerância = Dimensão máxima – Dimensão mínima =  $20,28 - 19,85 = 0,43$  mm

No exemplo da figura anterior, a tolerância é de 0,43 mm.



Na figura anterior, os dois afastamentos são negativos. Assim, tanto a dimensão máxima como a dimensão mínima são menores que a dimensão nominal e devem ser encontradas por subtração. Para a cota  $\varnothing 16$  mm, a tolerância é de 0,21 mm (vinte e um centésimos de milímetro). A tolerância pode ser representada graficamente, como mostra a figura.



Nessa representação, os valores dos afastamentos estão exagerados. O exagero tem por finalidade facilitar a visualização do campo de tolerância, que é o conjunto dos valores compreendidos entre o afastamento superior e o afastamento inferior; corresponde ao



intervalo que vai da dimensão mínima à dimensão máxima. Qualquer dimensão efetiva entre os afastamentos superior e inferior, inclusive a dimensão máxima e a dimensão mínima, está dentro do campo de tolerância.

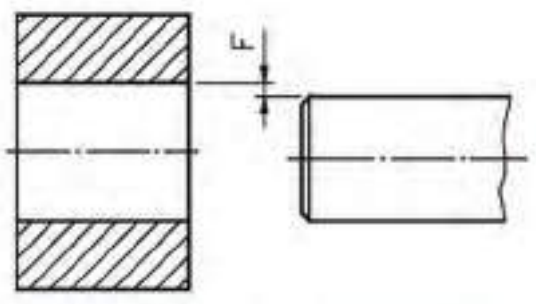
As tolerâncias de peças que funcionam em conjunto dependem da função que estas peças vão exercer e, conforme a função, é necessário um tipo de ajuste próprio.

## AJUSTES

Para se perceber o que são ajustes precisamos antes de saber o que são eixos e furos de peças. Quando se trata de ajustes, **eixo** é o nome genérico dado a qualquer peça, ou parte de peça, que funciona dentro de outra. Em geral, a superfície externa de um eixo trabalha acoplada, isto é, unida à superfície interna de um furo.

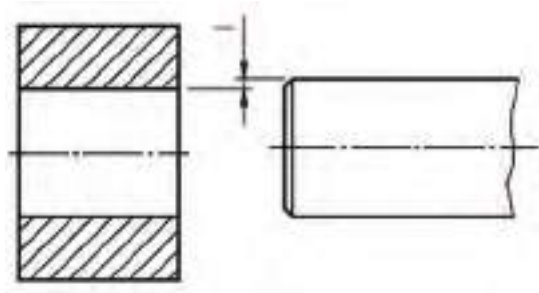


Eixos e furos de formas variadas podem funcionar ajustados entre si. Dependendo da função do eixo, existem várias classes de ajustes. Se o eixo se encaixa no furo de modo a deslizar ou girar livremente, temos um **ajuste com folga**.

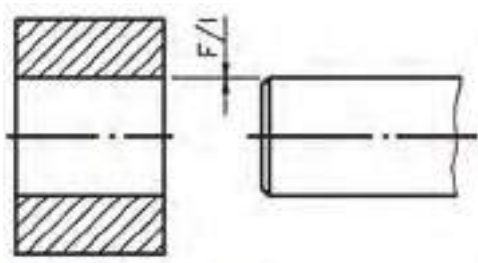




Quando o eixo se encaixa no furo com certo esforço, de modo a ficar fixo, temos um **ajuste com aperto**.



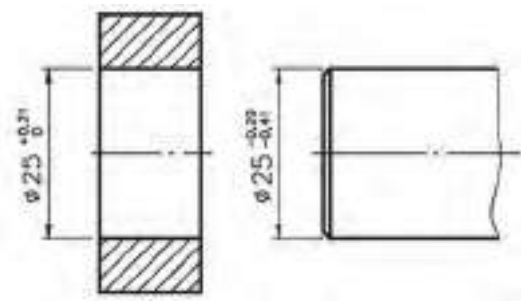
Existem situações intermédias em que o eixo pode se encaixar no furo com folga ou com interferência, dependendo das suas dimensões efetivas. É o que chamamos de **ajuste incerto**.



Em geral, eixos e furos que se encaixam têm a mesma dimensão nominal. O que varia é o campo de tolerância dessas peças. O tipo de ajuste entre um furo e um eixo depende dos afastamentos determinados.

### *Ajuste com Folga*

Quando o afastamento superior do eixo é menor ou igual ao afastamento inferior do furo, temos um ajuste com folga.

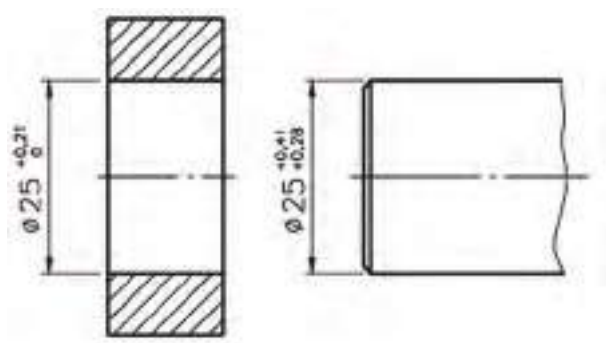


Os diâmetros do furo e do eixo têm a mesma dimensão nominal: 25 mm. O afastamento superior do eixo é - 0,20; a dimensão máxima do eixo é: 25 mm - 0,20 mm = 24,80 mm; a dimensão mínima do furo é: 25,00 mm - 0,00 mm = 25,00 mm.

Portanto, a dimensão máxima do eixo (24,80 mm) é menor que a dimensão mínima do furo (25,00 mm) o que caracteriza um ajuste com folga. Para obter a folga, basta subtrair a dimensão do eixo da dimensão do furo. Neste exemplo, a folga é 25,00 mm - 24,80 mm = 0,20 mm.

### *Ajuste com Aperto*

Neste tipo de ajuste o afastamento superior do furo é menor ou igual ao afastamento inferior do eixo.



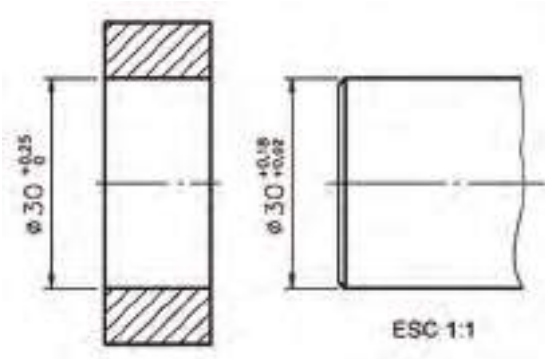
Na cota do furo, o afastamento superior é + 0,21; Na cota do eixo: , o afastamento inferior é + 0,28. Portanto, o primeiro é menor que o segundo, confirmando que se trata de um ajuste com interferência.

Para se obter o valor da interferência, basta calcular a diferença entre a dimensão efetiva do eixo e a dimensão efetiva do furo. Imagine que a peça pronta ficou com as seguintes medidas efetivas: diâmetro do eixo igual a 25,28 mm e diâmetro do furo igual a 25,21 mm. A interferência corresponde a: 25,28 mm - 25,21 mm = 0,07 mm. Como o diâmetro do eixo é maior que o diâmetro do furo, estas duas peças serão acopladas sob pressão.



## Ajuste Incerto

É o ajuste intermédio entre o ajuste com folga e o ajuste com interferência. Neste caso, o afastamento superior do eixo é maior que o afastamento inferior do furo, e o afastamento superior do furo é maior que o afastamento inferior do eixo.



o afastamento superior do eixo (+0,18) é maior que o afastamento inferior do furo (0,00) e o afastamento superior do furo (+ 0,25) é maior que o afastamento inferior do eixo (+ 0,02). Logo, o ajuste em causa é um **ajuste incerto**.

Este nome está ligado ao fato de que não sabemos, à partida, se as peças acopladas vão ser ajustadas com folga ou com interferência. Isso vai depender das dimensões efetivas do eixo e do furo.

## SISTEMA DE TOLERÂNCIA E AJUSTES

As tolerâncias não são escolhidas ao acaso seguindo-se, normalmente o sistema ISO.

O sistema ISO consiste num conjunto de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional de tolerâncias e ajustes de modo a tornar mais económica a produção de peças mecânicas intercambiáveis. Este sistema foi estudado, inicialmente, para a produção de peças mecânicas até 500 mm de diâmetro; depois, foi ampliado para peças até 3150 mm de diâmetro. Este sistema estabelece uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a precisão da peça, ou seja, a qualidade de trabalho, uma exigência que varia de peça para peça e de uma máquina para outra.

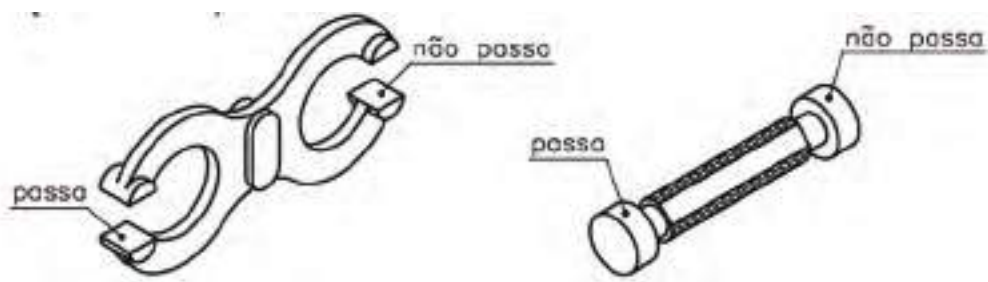
A norma ISO prevê 18 qualidades de trabalho. Essas qualidades são identificadas pelas letras: IT seguidas de numerais. A cada uma delas corresponde um valor de tolerância.



Observe, no quadro abaixo, as qualidades de trabalho para eixos e furos:

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos		mecânica extra-precisa				mecânica corrente								mecânica grosseira					
Furos																			

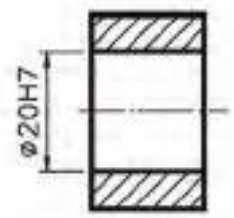
A letra I vem de ISO e a letra T vem de tolerância; os números: 01, 0, 1, 2,... 16, referem-se às 18 qualidades de trabalho; a qualidade IT 01 corresponde ao menor valor de tolerância. As qualidades 01 a 3, no caso dos eixos, e 01 a 4, no caso dos furos, estão associadas à **mecânica extraprecisa**. É o caso dos calibradores, que são instrumentos de alta precisão. Eles servem para verificar se as medidas das peças produzidas estão dentro do campo de tolerância especificado.



No extremo oposto, as qualidades 11 a 16 correspondem às maiores tolerâncias de fabricação. Estas qualidades são aceitáveis para peças isoladas, que não requerem grande precisão estando, por isso, classificadas como **mecânica grosseira**.

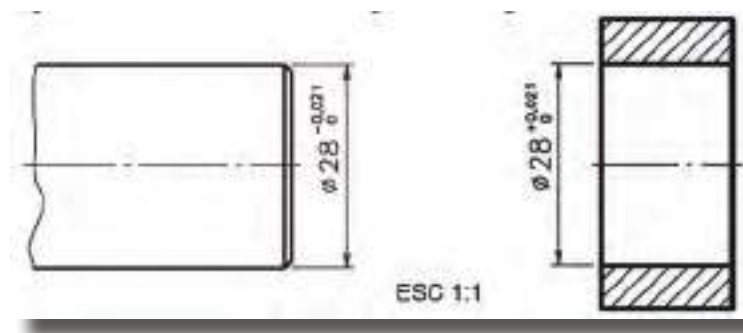
Peças que funcionam acopladas a outras têm, em geral, a sua qualidade estabelecida entre IT 4 e IT 11, se forem eixos; já os furos têm a sua qualidade entre IT 5 e IT 11. Essa faixa corresponde à **mecânica corrente**, ou **mecânica de precisão**.

Nos desenhos técnicos com indicação de tolerância, a qualidade de trabalho vem indicada apenas pelo número, sem o IT. Antes do número vem uma ou duas letras, que representam o campo de tolerância no sistema ISO.



A dimensão nominal da cota é 20 mm. A tolerância é indicada por H7. O número 7 indica a qualidade de trabalho e está associado a uma qualidade de trabalho da mecânica corrente.

## CAMPOS DE TOLERÂNCIA ISO



Observe-se que eixo e o furo têm a mesma dimensão nominal: 28 mm. Veja-se também que os valores das tolerâncias que, nos dois casos, são iguais:

### Eixo:

Dimensão máxima: 28,000

Dimensão mínima: -27,979

Tolerância: 0,021

### Furo:

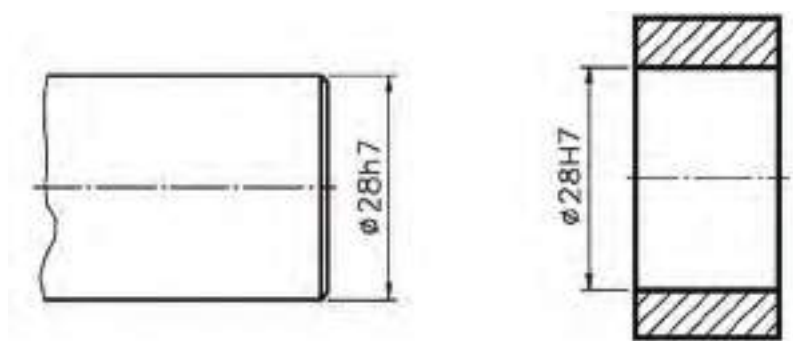
Dimensão máxima: 28,021

Dimensão mínima: -28,000

Tolerância: 0,021

Como os valores de tolerâncias são iguais (0,021 mm), concluímos que as duas peças apresentam a mesma qualidade de trabalho. Mas, no entanto, os campos de tolerâncias das duas peças são diferentes. O eixo compreende os valores que vão de 27,979 mm a 28,000 mm; o campo de tolerância do furo está entre 28,000 mm e 28,021 mm. Como se pode concluir, os campos de tolerância não coincidem. No sistema ISO, essas tolerâncias devem ser indicadas como indica a figura seguinte.





A tolerância do eixo vem indicada por h7. O número 7 é indicativo da qualidade de trabalho e, no caso, corresponde à mecânica corrente. A letra h identifica o campo de tolerância, ou seja, o conjunto de valores aceitáveis após a execução da peça, que vai da dimensão mínima até a dimensão máxima.

O sistema ISO estabelece 28 campos de tolerâncias, identificados por letras do alfabeto latino. Cada letra está associada a um determinado campo de tolerância. Os campos de tolerância para eixo são representados por letras minúsculas, como mostra a figura seguinte.

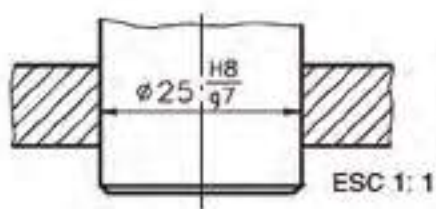
a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	js	k
m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc

Na figura anterior, a tolerância do furo vem indicada por H7. O número 7 mostra que a qualidade de trabalho é a mesma do eixo analisado anteriormente. A letra H identifica o campo de tolerância. Os 28 campos de tolerância para furos são representados por letras maiúsculas:

A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J	JS	K
M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC

Enquanto as tolerâncias dos eixos referem-se a medidas exteriores, as tolerâncias de furos referem-se a medidas interiores. Eixos e furos geralmente funcionam acoplados, por meio de ajustes. No desenho técnico de eixo e furo, o acoplamento é indicado pela dimensão nominal comum às duas peças ajustadas, seguida dos símbolos correspondentes (Figura 22).





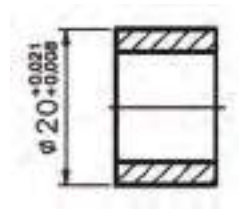
A dimensão nominal comum ao eixo e ao furo é 25 mm. A tolerância do furo vem sempre indicada ao alto: H8; a do eixo vem indicada abaixo: g7.

São inúmeras as possibilidades de combinação de tolerâncias de eixos e furos, com a mesma dimensão nominal, para cada classe de ajuste. Mas, para economia de custos de produção, apenas algumas combinações selecionadas de ajustes são recomendadas.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Analise o desenho e complete as frases.



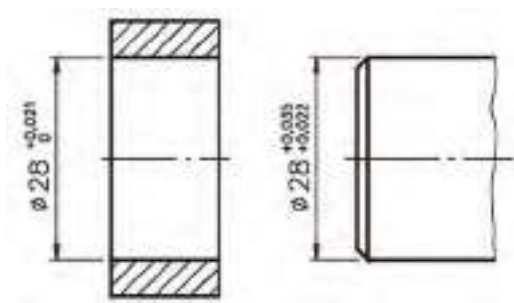
- Dimensão nominal:
- Afastamento superior:
- Afastamento inferior:
- Dimensão máxima:
- Dimensão mínima:

**EXERCÍCIO 2.** Assinale as medidas que se encontram no campo de tolerância da cota

- 16 mm
- 15,5 mm
- 16,05 mm
- 15,82 mm
- 15,95 mm

**EXERCÍCIO 3.** Calcule a tolerância da cota

**EXERCÍCIO 4.** Analise o desenho e assinale o tipo de ajuste correspondente.

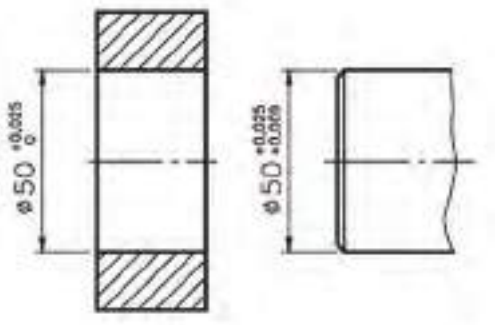


- Ajuste com interferência;
- Ajuste com folga;
- Ajuste incerto.





**EXERCÍCIO 5.** Um lote de peças foi produzido a partir do desenho seguinte. Observando-se os afastamentos, percebe-se que as peças são acopladas por ajuste incerto.



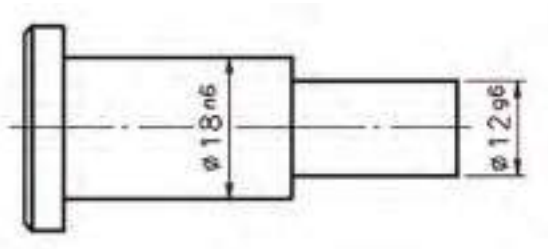
A seguir estão indicadas as dimensões efetivas de algumas peças produzidas. Escreva à frente de cada alínea a letra (F) quando o ajuste apresentar folga ou a letra (I) quando o ajuste apresentar interferência.

- Diâmetro do eixo: 50,012 mm; diâmetro do furo: 50,015 mm;
- Diâmetro do eixo: 50,016 mm; diâmetro do furo: 50,008 mm;
- Diâmetro do eixo: 50,018 mm; diâmetro do furo: 50,022 mm;
- Diâmetro do eixo: 50,011 mm; diâmetro do furo: 50,006 mm.

**EXERCÍCIO 6.** Assinale com um X a faixa de qualidade de trabalho que corresponde à mecânica de precisão para furos.

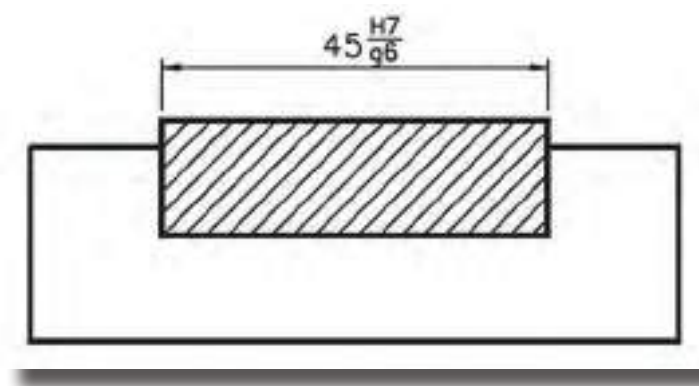
- De IT 01 a IT 3;
- De IT 4 a IT 11;
- De IT 12 a IT 16.

**EXERCÍCIO 7.** Analise o desenho seguinte e assinale a alternativa que corresponde ao sistema de ajuste adotado.



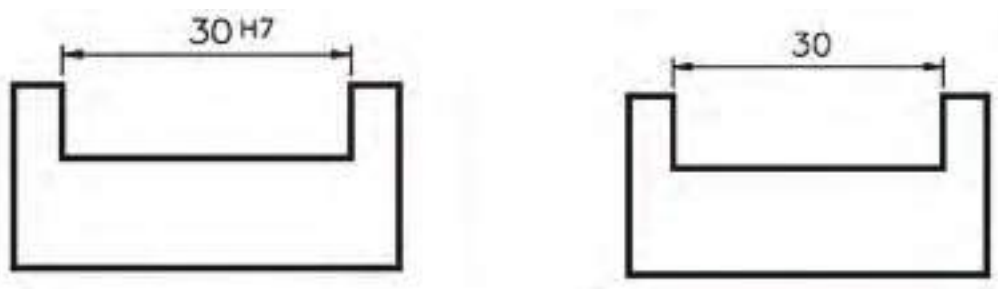
- a. Sistema furo base;
- b. Sistema eixo base.

**EXERCÍCIO 8.** Analise o desenho abaixo e consulte a tabela apropriada para escrever as informações solicitadas.

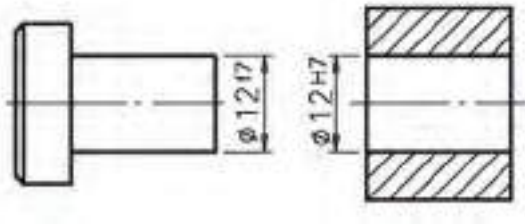


- a. Afastamento superior do furo:
- b. Afastamento inferior do furo:
- c. Afastamento superior do eixo:
- d. Afastamento inferior do eixo:

**EXERCÍCIO 9.** No desenho técnico da esquerda, a tolerância vem indicada no sistema ISO. Complete o desenho da direita, consultando a tabela e indicando os valores dos afastamentos correspondentes em milésimos de milímetros.



**EXERCÍCIO 10.** Analise o desenho abaixo, consulte a tabela apropriada e assinale o tipo de ajuste correspondente.



- a. Ajuste com folga;
- b. Ajuste com interferência;
- c. Ajuste incerto.



**AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA FURO-BASE H7(\*)**Tolerância em milésimos de milímetros ( $\mu\text{m}$ )


Dimensão nominal mm		Furo <sup>at. int.</sup> mm	EIXOS								
			afastamento superior					afastamento inferior			
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6
0	1	0	- 6	- 2	0	+4	+ 6	-	+10	+12	+16
1	3	+10	-16	- 8	- 6	- 2	0	-	+4	+ 6	+10
3	6	0	-10	- 4	0	+6	+9	+12	+16	+20	+23
		+12	-22	-12	- 8	- 2	+1	+4	+8	+12	+15
6	10	0	-13	- 5	0	+7	+10	+15	+19	+24	+28
		+15	-28	-14	- 9	- 2	+1	+6	+10	+15	+19
10	14	0	-16	- 6	0	+8	+12	+18	+23	+29	+34
14	18	+18	-34	-17	-11	- 3	+1	+7	+12	+18	+23
18	24	0	-20	- 7	0	+9	+15	+21	+28	+35	+41
24	30	+21	-41	-20	-13	- 4	+2	+8	+15	+22	+28
30	40	0	-25	- 9	0	+11	+18	+25	+33	+42	+50
40	50	+25	-50	-25	-16	- 5	+2	+9	+17	+26	+34
50	65	0	-30	-10	0	+12	+21	+30	+39	+51	+60
											+41
65	80	+30	-60	-29	-19	- 7	+2	+1	+20	+32	+62
											+43
80	100	0	-36	-12	0	+13	+25	+35	+45	+59	+73
											+51
100	120	+35	-71	-34	-22	- 9	+3	+13	+23	+37	+76
											+54
120	140	0	-43	-14	0	+14	+28	+40	+52	+68	+88
											+63
140	160										+90
											+65
160	180	+40	-83	-39	-25	-11	+3	+15	+27	+43	+93
											+68
180	200	0	-50	-15	0	+16	+33	+46	+60	+79	+106
											+77
200	225										+109
											+80
225	250	+46	-96	-44	-29	-13	+4	+17	+31	+50	+113
											+84
250	280	0	-56	-17	0	+16	+36	+52	+66	+88	+126
											+94
280	315	+52	-108	-49	-32	-16	+4	+20	+34	+56	+130
											+98
315	355	0	-62	-18	0	+18	+40	+57	+73	+98	+144
											+108
355	400	+57	-119	-54	-36	-18	+4	+21	+37	+62	+150
											+114
400	450	0	-68	-20	0	+20	+45	+63	+80	+108	+166
											+126
450	500	+63	-131	-60	-40	-20	+5	+23	+40	+68	+172
											+132

(\*) Reprodução parcial de Tabela ABNT/ISO NBR 6158



**AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA EIXO-BASE h6(\*)**

Tolerância em milésimos de milímetros (µm)

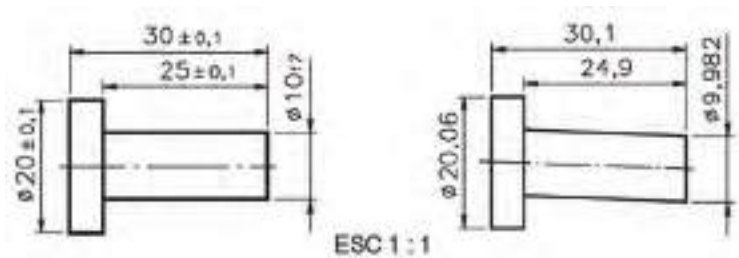
Dimensão nominal mm		Eixo 	FUROS								
acima de	até		afastamento inferior afastamento superior								
		<b>h6</b>	<b>F6</b>	<b>G7</b>	<b>H7</b>	<b>J7</b>	<b>K7</b>	<b>M7</b>	<b>N7</b>	<b>P7</b>	<b>R7</b>
0	1	0	+6	+2	0	-6	-10			-16	-20
1	3	-6	-12	+12	+10	+4	0	*	*	-6	-10
3	6	0	+10	+4	0	-6	-9	-12	-16	-20	-23
		-8	+18	+16	+12	+6	+3	0	-4	-8	-11
6	10	0	+13	+5	0	-7	-10	-15	-19	-24	-28
		-9	+22	+20	+15	+8	+5	0	-4	-9	-13
10	14	0	+16	+6	0	-8	-12	-18	-23	-29	-34
14	18	-11	+27	+24	+18	+10	+6	0	-5	-11	-16
18	24	0	+20	+7	0	-9	-15	-21	-28	-35	-41
24	30	-13	+33	+28	+21	+12	+6	0	-7	-14	-20
30	40	0	+25	+9	0	-11	-18	-25	-33	-42	-50
40	50	-16	+41	+34	+25	+14	+7	0	-8	-17	-25
50	65	0	+30	+10	0	-12	-21	-30	-39	-51	-60
											-30
65	80	-19	+49	+40	+30	+18	+9	0	-9	-21	-62
											-32
80	100	0	+36	+12	0	-13	-25	-35	-45	-59	-73
											-38
100	120	-22	+58	+47	+35	+22	+10	0	-10	-24	-76
											-41
120	140	0	+43	+14	0	-14	-28	-40	-52	-68	-88
											-48
140	160										-90
											-50
160	180	-25	+68	+54	+40	+26	+12	0	-12	-28	-93
											-53
180	200	0	+50	+15	0	-16	-33	-46	-60	-79	106
											-60
200	225										-109
											-63
225	250	-29	+79	+61	+46	+30	+13	0	-14	-33	-113
											-67
250	280	0	+56	+17	0	-16	-36	-52	-66	-88	-126
											-74
280	315	-32	+88	+69	+52	+36	+16	0	-14	-36	-130
											-78
315	355	0	+62	+18	0	-18	-40	-57	-73	-98	-144
											-87
355	400	-36	+98	+75	+57	+39	+17	0	-16	-41	-150
											-93
400	450	0	+68	+20	0	-20	-45	-63	-80	-108	-166
											-103
450	500	-40	+108	+83	+63	+43	+18	0	-17	-45	-172
											-109

(\*) Reprodução parcial de Tabela ABNT/ISO NBR 6158



# TOLERÂNCIAMENTO GEOMÉTRICO

A execução da peça dentro da tolerância dimensional não garante, por si só, um funcionamento adequado, como mostra a figura. A figura da esquerda mostra o desenho técnico de um pino, com indicação das tolerâncias dimensionais. A figura da direita mostra como ficou a peça depois de executada, com a indicação das dimensões efetivas.



Note que, embora as dimensões efetivas do pino estejam de acordo com a tolerância dimensional especificada no desenho técnico, a peça real não é exatamente igual à peça projetada. Percebe-se, pela figura, que o pino está deformado.

Não é suficiente que as dimensões da peça estejam dentro das tolerâncias dimensionais previstas. É necessário que as peças estejam dentro das formas previstas para poderem ser montadas adequadamente e para que funcionem sem problemas. Do mesmo modo que é praticamente impossível obter uma peça real com as dimensões nominais exatas, também é muito difícil obter uma peça real com formas rigorosamente idênticas às da peça projetada. Assim, desvios de formas dentro de certos limites não chegam a prejudicar o bom funcionamento das peças.

Quando dois ou mais elementos de uma peça estão associados, outro fator deve ser considerado: a posição relativa desses elementos entre si. As variações aceitáveis das formas e das posições dos elementos na execução da peça constituem as **tolerâncias geométricas**.

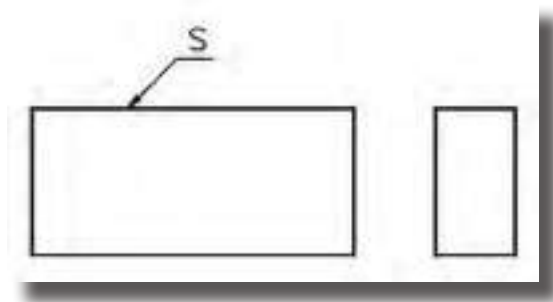
## TOLERÂNCIAS DE FORMA

As tolerâncias de forma são os desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal. As tolerâncias de forma vêm indicadas no desenho técnico para elementos isolados, como por exemplo, uma superfície ou uma linha.

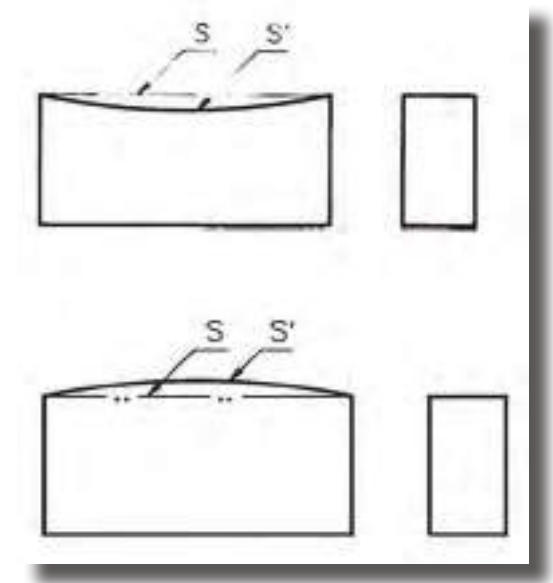




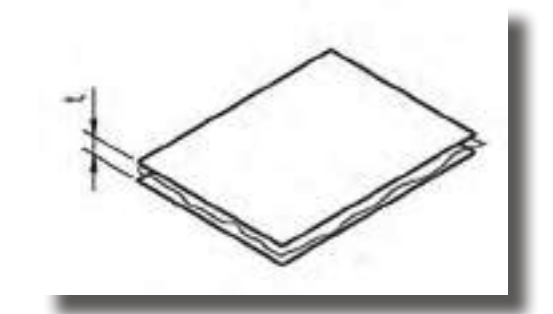
Analise-se as vistas principal e lateral esquerda do modelo prismático abaixo. Note-se que a superfície  $S$ , projetada no desenho, é uma superfície geométrica ideal plana.




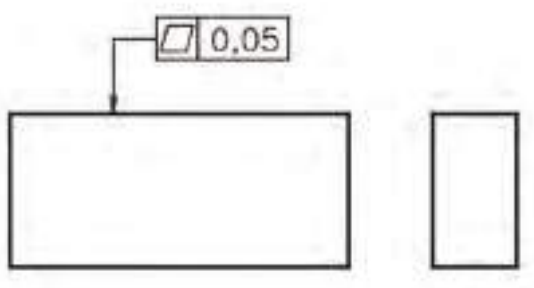
Após a execução, a superfície real da peça  $S'$  pode não ficar tão plana como a superfície ideal  $S$ . Entre os desvios de planeza, os tipos mais comuns são a concavidade e a convexidade.



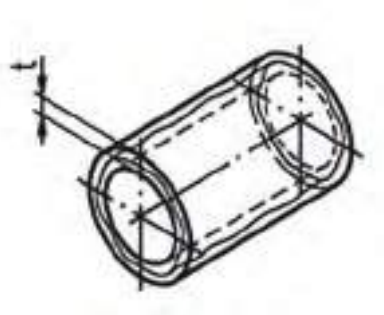
A tolerância de planeza corresponde à distância  $t$  entre dois planos ideais imaginários, entre os quais deve encontrar-se a superfície real da peça.




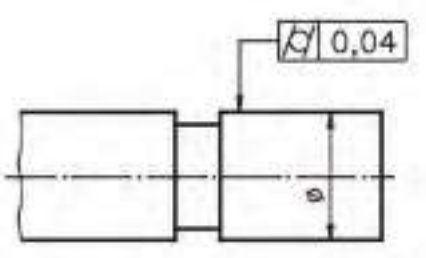
No desenho anterior, o espaço situado entre os dois planos paralelos é o campo de tolerância. Nos desenhos técnicos, a indicação da tolerância de planeza vem sempre precedida do seguinte símbolo: 



Um outro tipo de tolerância de forma de superfície é a tolerância de cilindridade. Quando uma peça é cilíndrica, a forma real da peça fabricada deve estar situada entre as superfícies de dois cilindros que têm o mesmo eixo e raios diferentes.

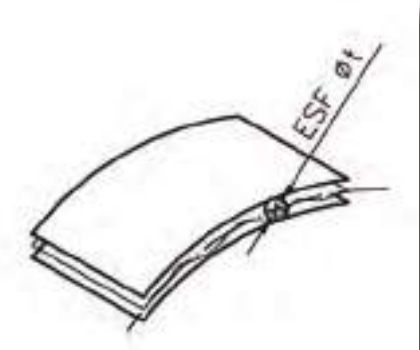


No desenho anterior, o espaço entre as superfícies dos cilindros imaginários representa o campo de tolerância. A indicação da tolerância de cilindridade, nos desenhos técnicos, vem precedida do seguinte símbolo: 

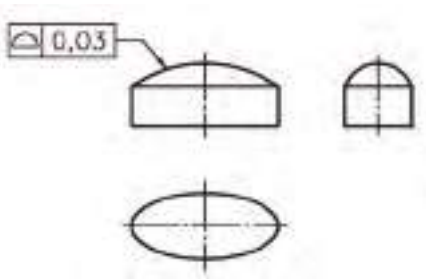




Finalmente, a superfície de uma peça pode apresentar uma forma qualquer. A tolerância de forma de uma superfície qualquer é definida por uma esfera de diâmetro  $t$ , cujo centro movimenta-se por uma superfície que tem a forma geométrica ideal. O campo de tolerância é limitado por duas superfícies tangentes à esfera  $t$ , como mostra o desenho a seguir.



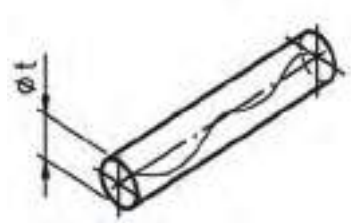
A tolerância de forma de uma superfície qualquer vem precedida, nos desenhos técnicos, pelo símbolo:




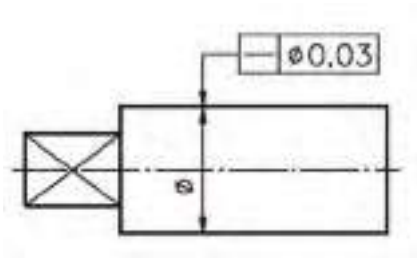
Para além dos símbolos indicativos de tolerâncias de forma de superfícies, existe necessidade de, em certos casos, indicar as tolerâncias de forma de linhas. São três os tipos de tolerâncias de forma de linhas: retilinearidade, circularidade e linha qualquer.

A tolerância de retilinearidade de uma linha ou eixo depende da forma da peça à qual a linha pertence.

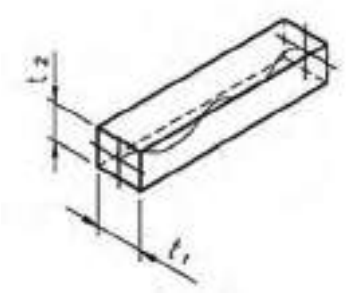
Quando a peça tem forma cilíndrica, é importante determinar a tolerância de retilinearidade em relação ao eixo da parte cilíndrica. Nesses casos, a tolerância de retilinearidade é determinada por um cilindro imaginário de diâmetro  $t$ , cujo centro coincide com o eixo da peça.




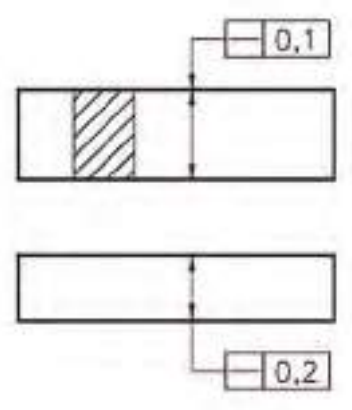
Nos desenhos técnicos, a tolerância de retilinearidade de linha é indicada pelo símbolo: 



Quando a peça tem a forma cilíndrica, o campo de tolerância de retilinearidade também tem a forma cilíndrica. Quando a peça tem forma prismática com secção retangular, o campo de tolerância de retilinearidade fica definido por um paralelepípedo imaginário, cuja base é formada pelos lados  $t_1$  e  $t_2$ .

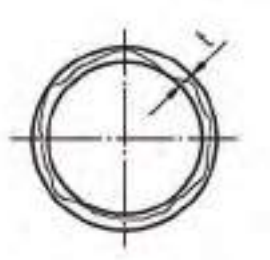



No caso das peças prismáticas a indicação de tolerância de retilinearidade também é feita pelo símbolo:  que antecede o valor numérico da tolerância.

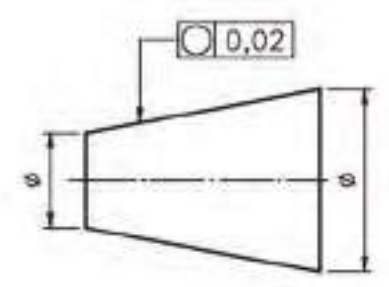


Em peças com forma de disco, cilindro ou cone pode ser necessário determinar a tolerância de circularidade. A tolerância de circularidade é determinada por duas circunferências que têm o mesmo centro e raios diferentes. O centro dessas circunferências é um ponto situado no eixo da peça.

O campo de tolerância de circularidade corresponde ao espaço  $t$  entre as duas circunferências, dentro do qual deve estar compreendido o contorno de cada seção da peça.




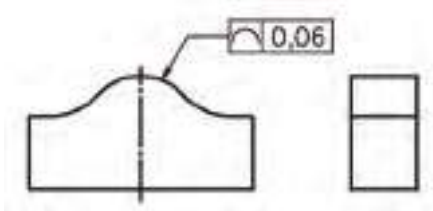
Nos desenhos técnicos, a indicação da tolerância de circularidade vem precedida do símbolo: 



Finalmente, há casos em que é necessário determinar a tolerância de forma de uma linha qualquer. A tolerância de um perfil ou contorno qualquer é determinada por duas linhas envolvendo uma circunferência de diâmetro  $t$  cujo centro se desloca por uma linha que tem o perfil geométrico desejado.

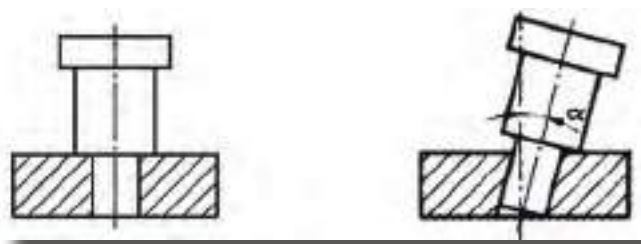


Note-se que o contorno de cada seção do perfil deve estar compreendido entre duas linhas paralelas, tangentes à circunferência. A indicação da tolerância de forma de uma linha qualquer vem precedida do símbolo: 



## TOLERÂNCIAS DE ORIENTAÇÃO

Quando dois ou mais elementos são associados pode ser necessário determinar a orientação precisa de um em relação ao outro para assegurar o bom funcionamento do conjunto.



O desenho técnico da esquerda mostra que o eixo deve ser perpendicular ao furo. Observe, no desenho da direita, como um erro de perpendicularidade na execução do furo afeta de modo inaceitável a funcionalidade do conjunto. Daí a necessidade de se determinarem, em alguns casos, as tolerâncias de orientação.

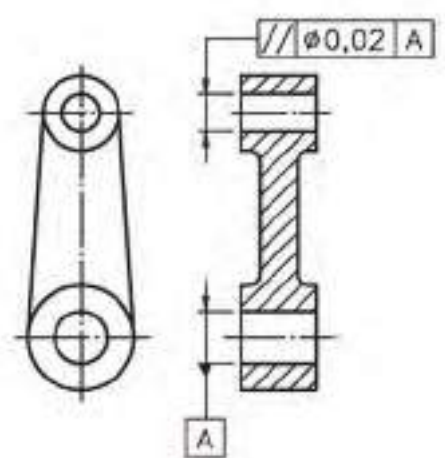
Na determinação destas tolerâncias geralmente um elemento é escolhido como referência para indicação das tolerâncias dos demais elementos.

O elemento tomado como referência pode ser uma linha, como por exemplo, o eixo de uma peça. Pode ser, ainda, um plano, como por exemplo, uma determinada face da peça. E pode ser até mesmo um ponto de referência, como por exemplo, o centro de um furo. O elemento tolerenciado também pode ser uma linha, uma superfície ou um ponto.

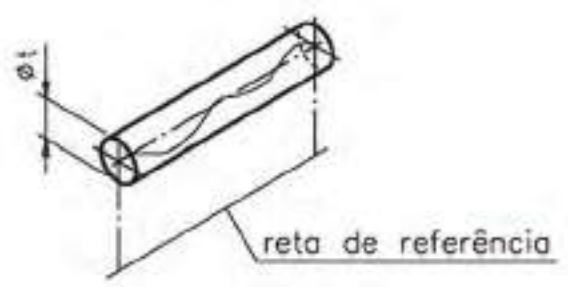
As tolerâncias de orientação podem ser de paralelismo, perpendicularidade e inclinação.



## Tolerância de Paralelismo

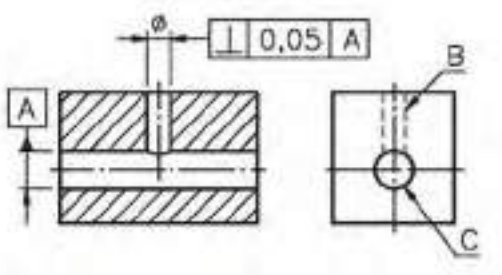


Na peça anterior, o eixo do furo superior deve ficar paralelo ao eixo do furo inferior, tomado como referência. O eixo do furo superior deve estar compreendido dentro de uma zona cilíndrica de diâmetro  $t$ , paralela ao eixo do furo inferior, que constitui a reta de referência.



Na peça do exemplo anterior, o elemento toleranciado foi uma linha reta: o eixo do furo superior. O elemento tomado como referência também foi uma linha: o eixo do furo inferior. Mas, há casos em que a tolerância de paralelismo de um eixo é determinada tomando-se como referência uma superfície plana.

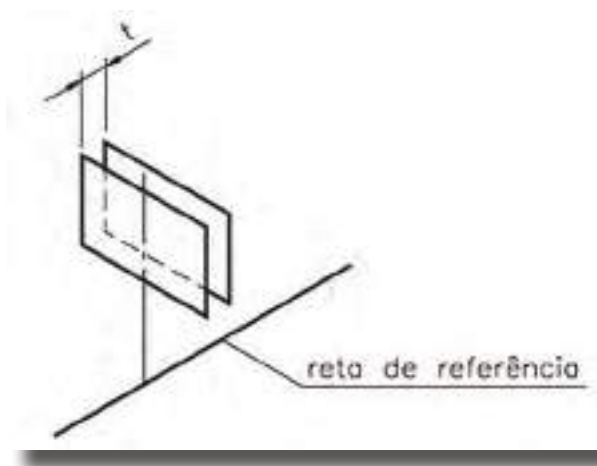
Qualquer que seja o elemento toleranciado e o elemento de referência, a indicação de tolerância de paralelismo nos desenhos técnicos vem sempre precedida do símbolo: //



## Tolerância de Perpendicularidade

Nesta peça, o eixo do furo vertical B deve ficar perpendicular ao eixo do furo horizontal C. Portanto, é necessário determinar a tolerância de perpendicularidade de um eixo em relação ao outro.

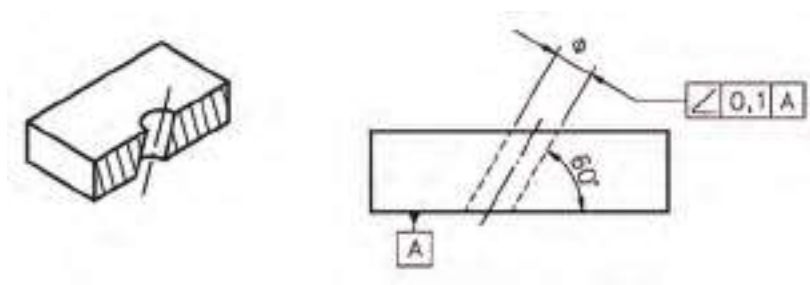
Tomando como reta de referência o eixo do furo C, o campo de tolerância do eixo do furo B fica limitado por dois planos paralelos, distantes entre si uma distância  $t$  e perpendiculares à reta de referência.



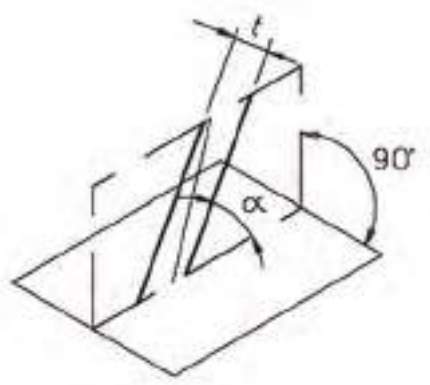
Dependendo da forma da peça, pode ser mais conveniente indicar a tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a um plano de referência. Nos desenhos técnicos, a indicação das tolerâncias de perpendicularidade vem precedida do seguinte símbolo:  $\perp$

## Tolerância de Inclinação

O furo da peça representada a seguir deve ficar inclinado em relação à base.



Para que o furo apresente a inclinação correta é necessário determinar a tolerância de inclinação do eixo do furo. O elemento de referência para determinação da tolerância, neste caso, é o plano da base da peça. O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, distantes entre si uma distância  $t$ , que formam com a base o ângulo de inclinação especificado  $\alpha$ .



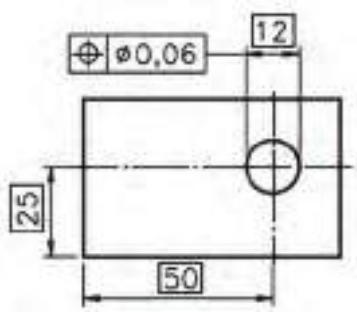
Em vez de uma linha, como no exemplo anterior, o elemento tolerenciado pode ser uma superfície. Nos desenhos técnicos, a indicação de tolerância de inclinação vem precedida do símbolo:  $\angle$

## Tolerância de Posição

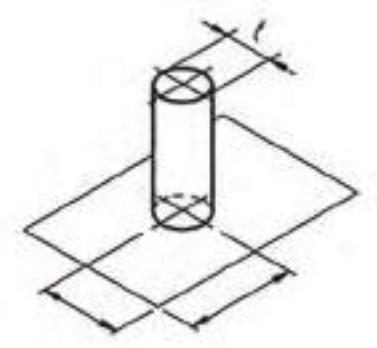
Quando tomamos como referência a posição há três tipos de tolerância devem ser considerados: de localização; de concentricidade e de simetria.

## Tolerância de Localização

Quando a localização exata de um elemento, como por exemplo: uma linha, um eixo ou uma superfície, é essencial para o funcionamento da peça, sua tolerância de localização deve ser determinada.



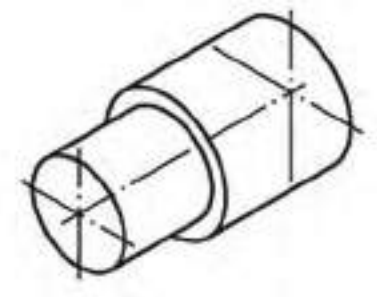
Como a localização do furo é importante, o eixo do furo deve ser tolerenciado. O campo de tolerância do eixo do furo é limitado por um cilindro de diâmetro  $t$ . O centro deste cilindro coincide com a localização ideal do eixo do elemento tolerenciado.



A indicação da tolerância de localização, nos desenhos técnicos, é antecedida pelo símbolo:  $\oplus$ .

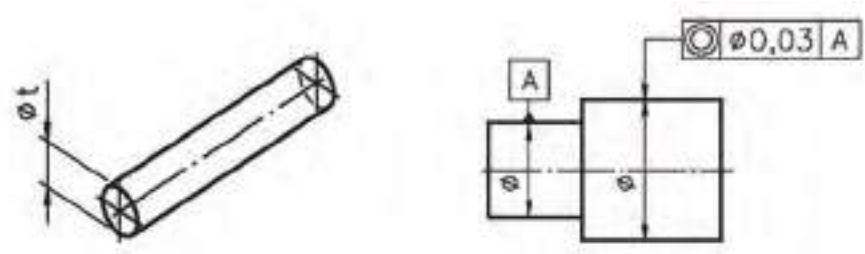
### *Tolerância de Concentricidade ou Coaxialidade*

Quando duas ou mais figuras geométricas planas regulares têm o mesmo centro, dizemos que elas são concêntricas. Quando dois ou mais sólidos de revolução têm o eixo comum, dizemos que eles são coaxiais. Em diversas peças, a concentricidade ou a coaxialidade de partes ou de elementos, é condição necessária para seu funcionamento adequado. Mas, determinados desvios, dentro de limites estabelecidos, não chegam a prejudicar a funcionalidade da peça. Daí a necessidade de serem indicadas as tolerâncias de concentricidade ou de coaxialidade.





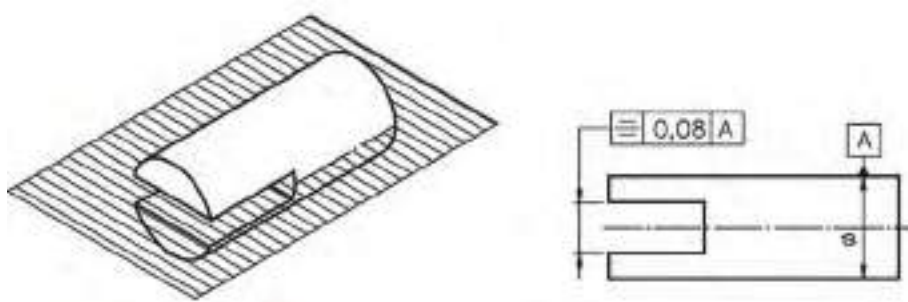
Esta peça é composta por duas partes de diâmetros diferentes. Mas, os dois cilindros que formam a peça são coaxiais, pois têm o mesmo eixo. O campo de tolerância de coaxialidade dos eixos da peça fica determinado por um cilindro de diâmetro  $t$  cujo eixo coincide com o eixo ideal da peça projetada.



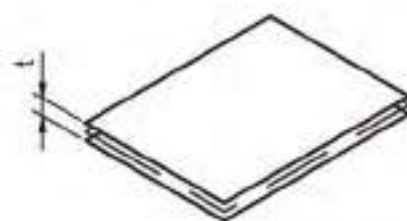
A tolerância de concentricidade é identificada, nos desenhos técnicos, pelo símbolo:

## Tolerância de Simetria

Em peças simétricas é necessário especificar a tolerância de simetria, como se pode observar na peça a seguir, representada em perspectiva e em vista única.



Na vista frontal, a simetria vem indicada pela linha de simetria que coincide com o eixo da peça. Para determinar a tolerância de simetria, tomamos como elemento de referência o plano médio ou eixo da peça. O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, equidistantes do plano médio de referência, e que guardam entre si uma distância  $t$ , como se vê na figura seguinte.

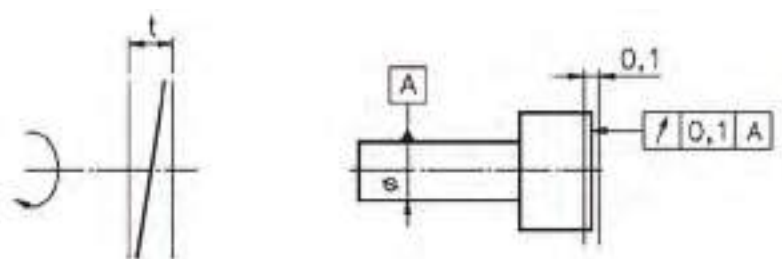


Nos desenhos técnicos, a indicação de tolerância de simetria vem precedida pelo símbolo:  $\equiv$

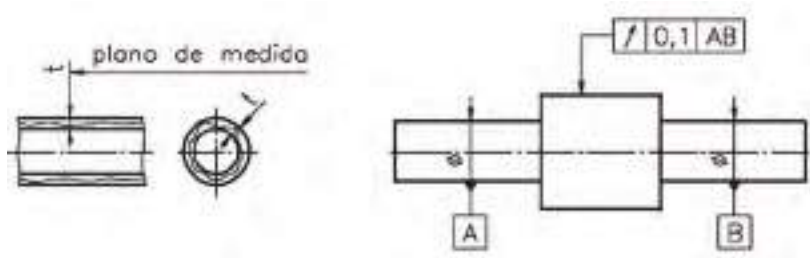
## Tolerância de Batimento

Quando um elemento dá uma volta completa em torno de seu eixo de rotação, este pode sofrer oscilação, isto é, deslocamentos em relação ao eixo. Dependendo da função do elemento, esta oscilação tem de ser controlada para não comprometer a funcionalidade da peça. Por isso, é necessário que sejam determinadas as tolerâncias de batimento, que delimitam a oscilação aceitável do elemento. As tolerâncias de batimento podem ser de dois tipos: axial e radial.

Axial, como já vimos, refere-se a eixo. Batimento axial quer dizer balanço no sentido do eixo. O campo de tolerância, no batimento axial, fica delimitado por dois planos paralelos entre si, a uma distância  $t$  e que são perpendiculares ao eixo de rotação.



O batimento radial, por outro lado, é verificado em relação ao raio do elemento, quando o eixo der uma volta completa. O campo de tolerância, no batimento radial é delimitado por um plano perpendicular ao eixo de giro que define dois círculos concêntricos, de raios diferentes. A diferença  $t$  dos raios corresponde à tolerância radial.

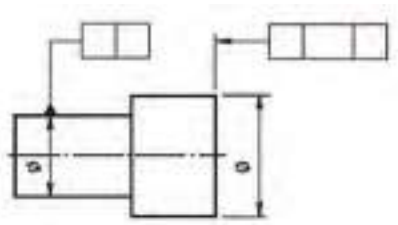


As tolerâncias de balanço são indicadas, nos desenhos técnicos, precedidas do símbolo: ↗

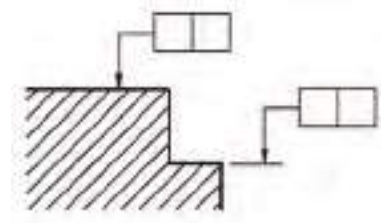
A execução de peças com indicação de tolerâncias geométricas é tarefa que requer grande experiência e habilidade.

## INDICAÇÕES DE TOLERÂNCIAS

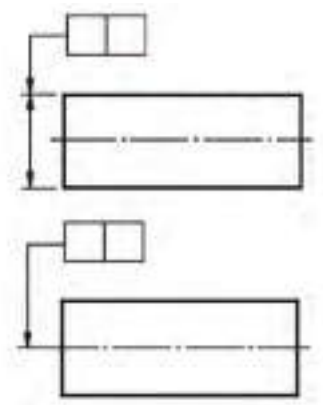
Nos desenhos técnicos, as tolerâncias de forma, de orientação, de posição e de batimento são inscritas em quadros retangulares divididos em duas ou três partes, como mostra o desenho seguinte.



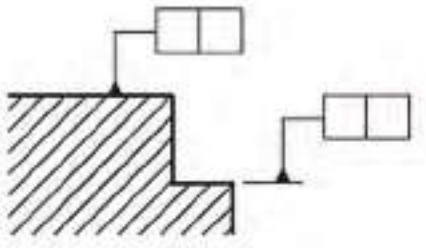
Observe que o quadro de tolerância aparece ligado ao elemento que se deseja verificar por uma linha de marcação terminada em seta. A seta termina no contorno ou numa linha de prolongamento se a tolerância é aplicada numa superfície, como mostra este exemplo.



Mas, quando a tolerância é aplicada a um eixo, ou ao plano médio da peça, a indicação é feita na linha auxiliar, no prolongamento da linha de cota, ou diretamente sobre o eixo toleranciado.

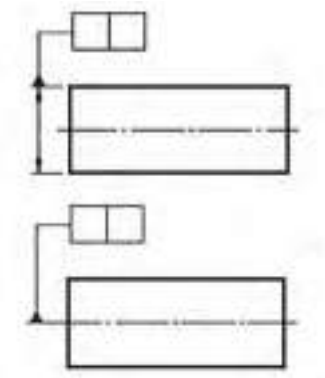


Os elementos de referência são indicados por uma linha que termina por um triângulo cheio. A base deste triângulo é apoiada sobre o contorno do elemento ou sobre o prolongamento do contorno do elemento.

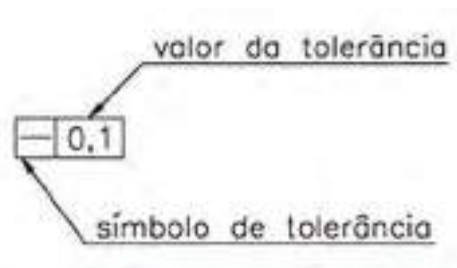



No exemplo acima, o elemento de referência é uma superfície. Mas, o elemento de referência pode ser, também, um eixo ou um plano médio da peça.

Quando o elemento de referência é um eixo ou um plano médio, a base do triângulo se apoia sobre a linha auxiliar, no prolongamento da linha de cota ou diretamente sobre o eixo ou plano médio de referência.

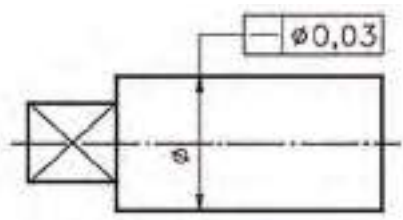



Vamos agora analisar o conteúdo do quadro dividido em duas partes. No primeiro quadrinho, da esquerda para a direita, vem sempre indicado o tipo de tolerância. No quadrinho seguinte, vem indicado o valor da tolerância, em milímetros:

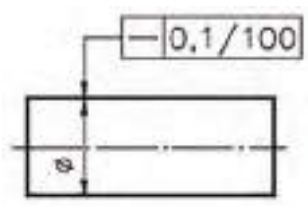


No exemplo acima, o símbolo  indica que se trata de tolerância de retilinearidade de linha. O valor 0,1 indica que a tolerância de retilinearidade que, neste caso, é de um décimo de milímetro.

Às vezes, o valor da tolerância vem precedido do símbolo indicativo de diâmetro:  $\varnothing$

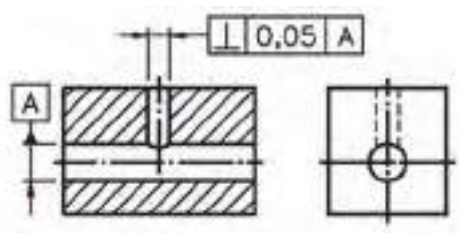


Neste caso temos uma tolerância de forma: o símbolo  indica tolerância de retilinearidade de linha. Observe o símbolo  $\varnothing$  antes do valor da tolerância 0,03. Quando o valor da tolerância vem após o símbolo  $\varnothing$  isto quer dizer que o campo de tolerância correspondente pode ter a forma circular ou cilíndrica. Quando a tolerância deve ser verificada em relação a determinada extensão da peça, esta informação vem indicada no segundo quadrinho, separada do valor da tolerância por uma barra inclinada (/), como mostra a figura seguinte.



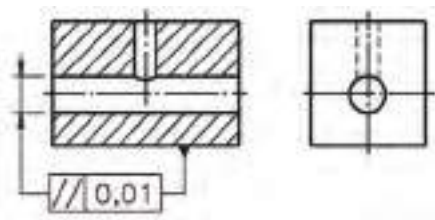
A tolerância aplicada nesta peça é de retilinearidade de linha. O valor da tolerância é de 0,1, ou seja, um décimo de milímetro. O número 100, após o valor da tolerância, indica que sobre uma extensão de 100 mm, tomada em qualquer parte do comprimento da peça, o eixo real deve ficar entre duas retas paralelas, distantes entre si 0,1 mm.

Vejamos agora a figura seguinte.

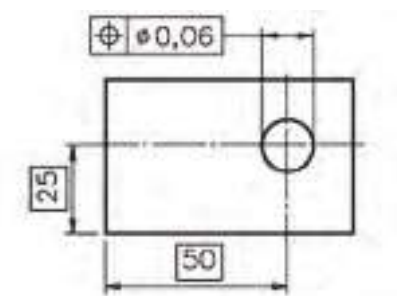


A letra **A** identifica o elemento de referência, que, neste exemplo, é o eixo do furo horizontal. Esta mesma letra A aparece no terceiro quadrinho, para deixar clara a associação entre o elemento tolerenciado e o elemento de referência. O símbolo  $\perp$  no quadrinho da esquerda, refere-se à tolerância de perpendicularidade. Isso significa que, nesta peça, o furo vertical, que é o elemento tolerenciado, deve ser perpendicular ao furo horizontal. O quadrinho **A** é ligado ao elemento a que se refere pela linha que termina em um triângulo cheio. O valor da tolerância é de 0,05 mm.

Nem sempre, porém, o elemento de referência vem identificado pela letra maiúscula. Às vezes, é mais conveniente ligar diretamente o elemento tolerenciado ao elemento de referência.



O símbolo // indica que se trata de tolerância de paralelismo. O valor da tolerância é de 0,01 mm. O triângulo cheio, apoiado no contorno do bloco, indica que a base da peça está sendo tomada como elemento de referência. O elemento tolerenciado é o eixo do furo horizontal, paralelo ao plano da base da peça.







Considere-se agora a figura seguinte. Neste caso, o elemento tolerenciado é o furo. O símbolo  $\oplus$  indica que se trata de tolerância de localização. O valor da tolerância é de 0,06 mm. O símbolo  $\varnothing$  antes do valor da tolerância indica que o campo de tolerância tem a forma cilíndrica. As cotas 25 e 50 são cotas de referência para localização do furo. As cotas de referência sempre vêm inscritas em retângulos.





## EXERCÍCIOS TEÓRICOS



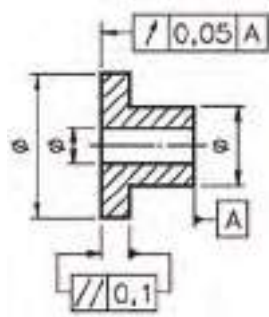
**EXERCÍCIO 1.** Assinale os símbolos que indicam tolerâncias de forma.

- a. 
- b. 
- c. 
- d. 

**EXERCÍCIO 2.** Assinale os símbolos que indicam tolerâncias de concentricidade.

- a. 
- b. 
- c. 
- d. 

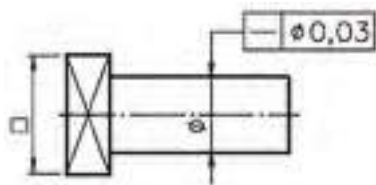
**EXERCÍCIO 3.** Assinale com um X os tipos de tolerâncias indicados.



- a. Batimento;
- b. Paralelismo;
- c. Inclinação;
- d. Simetria.

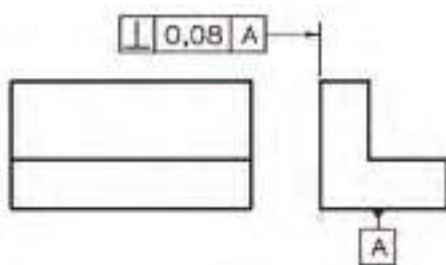


**EXERCÍCIO 4.** Assinale com um X o elemento tolerenciado.



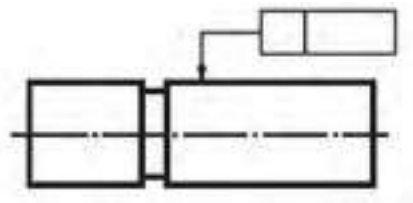
- a. Eixo da parte cilíndrica;
- b. Eixo da parte prismática.

**EXERCÍCIO 5.** Analise o desenho seguinte.



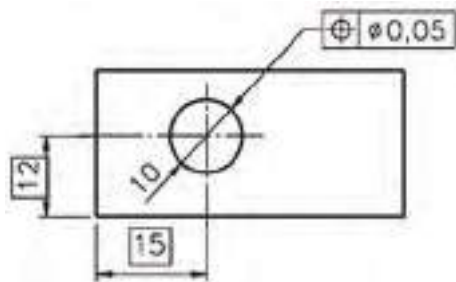
- a. Qual o elemento tolerenciado?
- b. Qual o elemento de referência?

**EXERCÍCIO 6.** No desenho seguinte preencha o quadro de tolerância sabendo que a tolerância aplicada é de cilíndricidade e o valor da tolerância é de dois centésimos de milímetro.



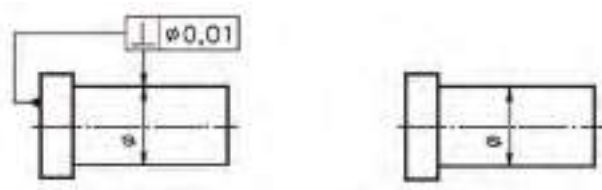


**EXERCÍCIO 7.** Analise o desenho e complete as frases seguintes.

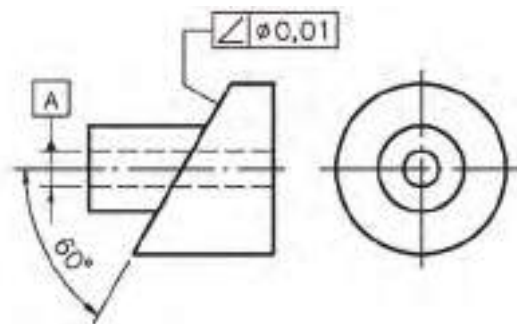


- A tolerância aplicada neste desenho é de \_\_\_\_\_;
- O valor da tolerância é de \_\_\_\_\_;
- Os elementos de referência são as cotas \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

**EXERCÍCIO 8.** No desenho técnico da esquerda, o elemento de referência está ligado diretamente ao elemento tolerado. Complete o desenho da direita, identificando o elemento de referência como A.



**EXERCÍCIO 9.** Analise o desenho técnico e complete as frases corretamente.



- A tolerância indicada neste desenho é de \_\_\_\_\_;
- O elemento de referência é o \_\_\_\_\_.



# BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

Metrologia: Método e Arte de Medição - Jorge Henrique Machado, Instituto Português da Qualidade, 1993.

Normas portuguesas - Direcção Geral de Qualidade Tecnologia da Electricidade, J. Ramirez Vasquez, Plátano Tecnologia mecânica - Livros Plátanos de Formação Profissional.

Desenho de Construções Mecânicas - Desenho Técnico Básico - José Manuel Simões Morais, Porto Editora, Lda.

Desenho Técnico Moderno - Arlindo Silva, Carlos Ribeiro, João Dias, Luís Sousa, Ed Lidei, 2004 Dinâmica - Arthur P. Boresi, Editora Dinternal Livro.

Telecurso 2000 – Desenho Técnico.



## Notas

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.