



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE ARARANGUÁ

## **Módulo 3**

### **ELEMENTOS DE MÁQUINAS**

**Prof.: Daniel João Generoso**

**2009**

## INTRODUÇÃO

Um projeto de máquina surge sempre para satisfazer uma necessidade, seja ela industrial, comercial, para lazer, etc. Nasce da habilidade de alguém ou de um grupo de pessoas “transformar” uma idéia em um projeto de um mecanismo que se destina a executar uma tarefa qualquer.

A partir daí segue-se o estudo detalhado de suas partes, a forma como serão montadas, tamanho e localização das partes componentes tais como engrenagens, parafusos, molas, cames, etc.. Este processo passa por várias revisões onde melhores idéias substituem as iniciais até que se escolhe a que parece melhor.

Os elementos de máquinas podem ser classificados em grupos conforme sua função. Dentre os vários elementos de máquinas existentes, pode-se citar elementos de fixação, como parafusos, Porcas e Arruelas, elementos de transmissão, como correias e polias, elementos de apoio, como mancais, guias e rolamentos, etc.

Existem algumas características ou considerações que influenciam a seleção de um elemento de máquina. Resistência, confiabilidade, utilidade, custo e peso são alguns exemplos disto.

A partir do exposto pode-se perceber que a escolha e o dimensionamento dos elementos de máquina exige do projetista alguns conhecimentos básicos:

Conhecimentos de resistência dos materiais e dos conceitos de mecânica aplicada para poder analisar corretamente os esforços que agem sobre as peças e determinar sua forma e dimensões para que sejam suficientemente fortes e rígidas.

Conhecer as propriedades dos materiais através de estudos e pesquisas.

Ter bom senso para decidir quando deve usar valores de catálogos ou uma determinada formula empírica ou se deve aplicar a teoria mais profunda.

Senso prático.

Ter cuidado com a parte econômica do projeto.

Conhecer os processos de fabricação.

No projeto de um componente de máquina ou de uma estrutura, existe a

necessidade de determinarmos as dimensões necessárias, para que o componente possa suportar as solicitações.

O dimensionamento entende a determinação das dimensões de um elemento de máquina de tal forma que ele possa resistir e garantir o bom funcionamento da peça ou equipamento durante o trabalho.

Para tanto, é necessário o conhecimento dos fundamentos da Resistência dos Materiais e das propriedades dos Materiais.

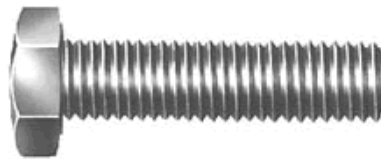
## **Parafusos**

São elementos de máquinas usados em uniões provisórias ou desmontáveis, ou seja, quando permitem a desmontagem e montagem com facilidade sem danificar as peças componentes.

Exemplo: a união das rodas do automóvel por meio de parafusos.

## **Rosca**

Rosca é uma saliência de perfil constante, helicoidal, que se desenvolve de forma uniforme, externa ou internamente, ao redor de uma superfície cilíndrica ou cônica. Essa saliência é denominada filete.



Parafusos são peças metálicas de vital importância na união e fixação dos mais diversos elementos de máquina.

Por sua importância, a especificação completa de um parafuso (e sua respectiva porca quando necessário) engloba os mesmos itens cobertos pelo projeto de um elemento de máquina, ou seja: material, tratamento térmico, dimensionamento, tolerâncias, afastamentos e acabamento.

## **Formas padronizadas de roscas**

Roscas podem ser externas (parafusos) ou internas (porcas ou furos rosqueados). No início, cada um dos principais países fabricantes tinham seus padrões de roscas, porém após a Segunda Guerra Mundial, foram padronizadas na Inglaterra, no Canadá e nos Estados Unidos e hoje se conhece como série Unified National Standard (UNS).

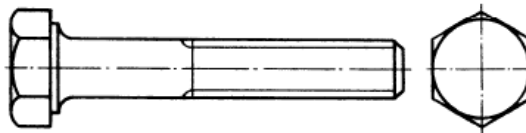
O padrão europeu de roscas é definido pela norma ISO (International Organization for Standardization ou Organização Internacional para Padronização).

Embora os dois sistemas utilizem um ângulo de filetes de roscas de  $60^\circ$  e definam o tamanho da mesma pelo diâmetro nominal externo (diâmetro máximo) da rosca externa, não são intercambiáveis entre si. Isso porque as dimensões pela norma ISO são dadas em milímetros e pela norma UNS são dadas em polegadas.

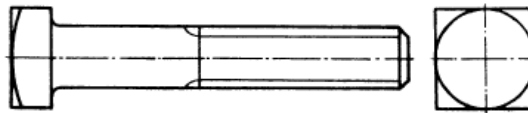
Outro padrão de roscas bastante usado no Brasil é a norma Withworth (norma inglesa), que é definida pelo diâmetro do parafuso em polegadas e a rosca é medida em fios por polegada.

## Parafusos

O parafuso é formado por um corpo cilíndrico roscado e por uma cabeça que pode ser hexagonal, sextavada, quadrada ou redonda.

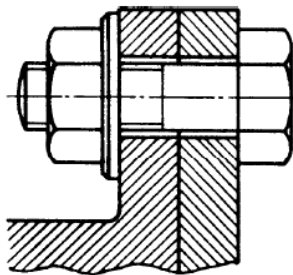


cabeça hexagonal ou sextavada



cabeça quadrada

Em mecânica, ele é empregado para unir e manter juntas peças de máquinas, geralmente formando conjuntos com porcas e arruelas.



Em geral, os parafusos são fabricados em aço de baixo e médio teor de carbono, por meio de conformação ou usinagem. Os parafusos conformados, logo

após o processo de fabricação e antes de receberem qualquer tratamento (galvanização, niquelagem, oxidação, etc) são opacos, enquanto os usinados brilhantes.

Aço de alta resistência à tração, aço-liga, aço inoxidável, latão e outros metais ou ligas não-ferrosas podem também ser usados na fabricação de parafusos. Em alguns casos, os parafusos são protegidos contra a corrosão por meio de galvanização ou cromagem.

### **Dimensões dos parafusos**

As dimensões principais dos parafusos são:

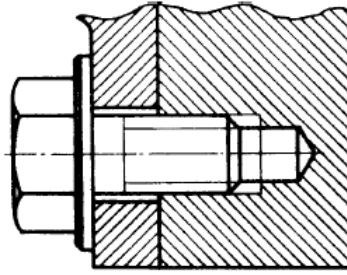
- diâmetro externo ou maior da rosca;
- comprimento do corpo;
- comprimento da rosca;
- tipo da cabeça;
- tipo da rosca.

### **Montagem de parafusos**

Quanto a montagem dos parafusos na máquina ou equipamento estes podem ser classificados em:

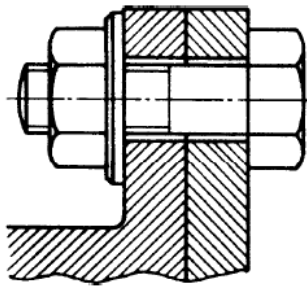
#### **Parafuso sem porca ou não passante**

Nos casos onde não há espaço para acomodar uma porca, esta pode ser substituída por um furo com rosca em uma das peças. A união dá-se através da passagem do parafuso por um furo passante na primeira peça e rosqueamento no furo com rosca da segunda peça.



### **Parafuso com porca**

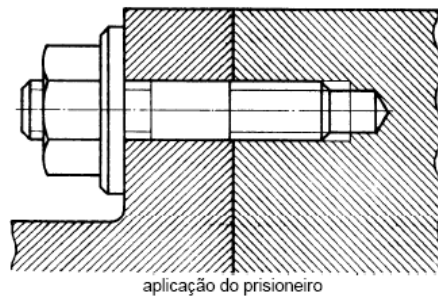
Às vezes, a união entre as peças é feita com o auxílio de porcas e arruelas. Nesse caso, o parafuso com porca é chamado passante.



### **Parafuso prisioneiro**

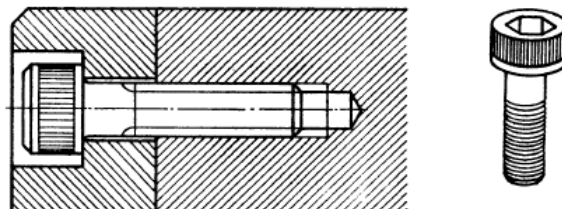
O parafuso prisioneiro é empregado quando se necessita montar e desmontar parafuso sem porca a intervalos freqüentes. Consiste numa barra de seção circular com roscas nas duas extremidades. Essas roscas podem ter sentido oposto.

Para usar o parafuso prisioneiro, introduz-se uma das pontas no furo roscado da peça e, com auxílio de uma ferramenta especial, aperta-se o prisioneiro na peça. Em seguida aperta-se a segunda peça com uma porca e arruelas presas à extremidade livre do prisioneiro. Este permanece no lugar quando as peças são desmontadas.



### Parafuso Allen

O parafuso Allen é fabricado com aço de alta resistência à tração e submetido a um tratamento térmico após a conformação. Possui um furo hexagonal de aperto na cabeça, que é geralmente cilíndrica e recartilhada. Para o aperto, utiliza-se uma chave especial: a chave Allen. Os parafusos Allen geralmente são utilizados sem porcas e suas cabeças são encaixadas num rebaixo na peça fixada, para melhor acabamento. Também é aplicado quando existe a necessidade de redução de espaço entre peças com movimento relativo.

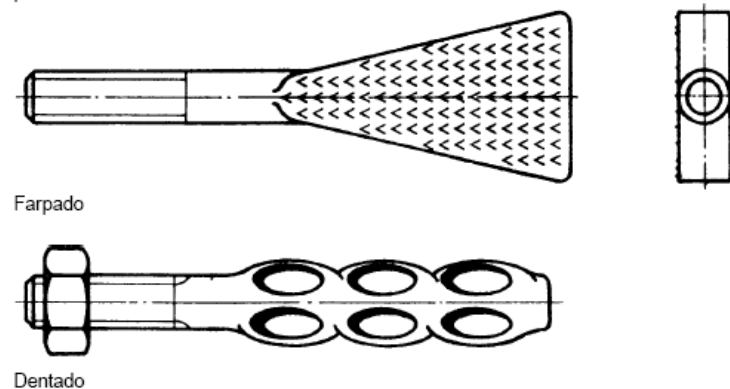


### Parafuso de fundação farpado ou dentado

Os parafusos de fundação farpados ou dentados são feitos de aço ou ferro e são utilizados para prender máquinas ou equipamentos ao concreto ou à alvenaria.

Possuem a cabeça trapezoidal delgada e áspera que, envolvida pelo concreto, assegura uma excelente fixação. Seu corpo é arredondado e com dentes, os quais têm a função de melhorar a aderência do parafuso ao concreto.





### Parafusos de travamento

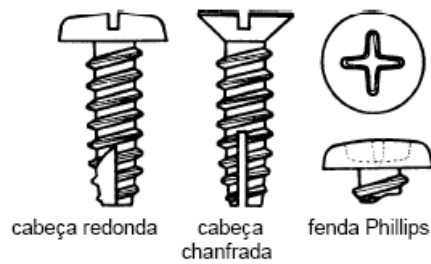
São usados para evitar o movimento relativo entre duas peças que tendem a deslizar entre si.



### Parafuso auto-atarraxante

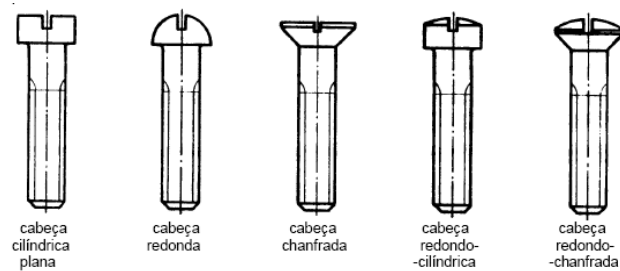
O parafuso auto-atarraxante tem rosca de passo largo em um corpo cônico e é fabricado em aço temperado. Pode ter ponta ou não e, às vezes, possui entalhes longitudinais com a função de cortar a rosca à maneira de um macho. As cabeças têm formato redondo ou chanfradas e apresentam fendas simples ou em cruz (tipo Phillips).

Esse tipo de parafuso elimina a necessidade de um furo roscado ou de uma porca, pois corta a rosca no material a que é preso. Sua utilização principal é na montagem de peças feitas de folhas de metal de pequena espessura, peças fundidas macias e plásticas.

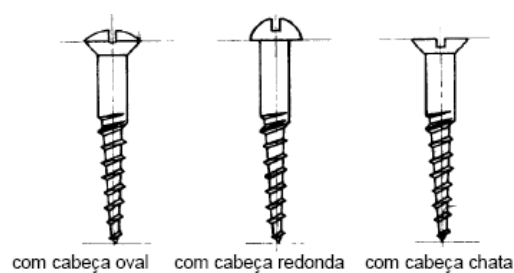


### Parafuso para pequenas montagens

Parafusos para pequenas montagens apresentam vários tipos de roscas e cabeças e são utilizados para metal, madeira e plásticos.



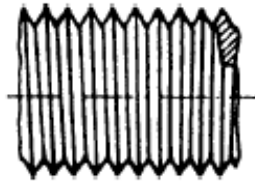
Dentre esses parafusos, os utilizados para madeira apresentam roscas especiais.



### Perfis de roscas (seção do filete)

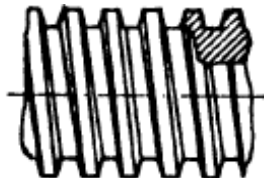
#### Triangular

É o mais comum. Utilizado em parafusos e porcas de fixação, uniões e tubos.



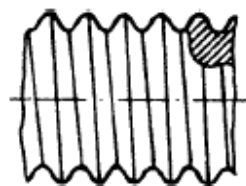
### **Trapezoidal**

Empregado na movimentação de máquinas operatrizes (para transmissão de movimento suave e uniforme), fusos e prensas de estampar (balancins mecânicos).



### **Redondo**

Empregado em parafusos de grandes diâmetros e que devem suportar grandes esforços, geralmente em componentes ferroviários. É empregado também em lâmpadas e fusíveis pela facilidade na estampagem.



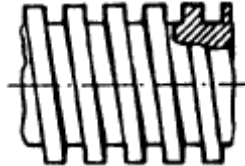
### **Dente de serra**

Usado quando a força de solicitação é muito grande em um só sentido (morsas, macacos, pinças para tornos e fresadoras).



## **Quadrado**

Quase em desuso, mas ainda utilizado em parafusos e peças sujeitas a choques e grandes esforços (morsas, por exemplo).

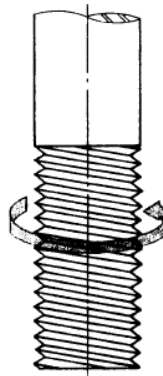


## **Sentido de direção do filete**

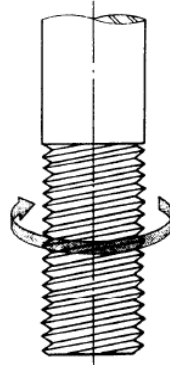
Os parafusos apresentam duas classificações quanto ao sentido do filete de rosca.

### **À esquerda**

Quando, ao avançar, gira em sentido contrário ao dos ponteiros do relógio (sentido de aperto à esquerda).



### **À direita**



Quando, ao avançar, gira no sentido dos ponteiros do relógio (sentido de aperto à direita).

### **Tipos de roscas de parafusos**

O primeiro procedimento para verificar os tipos de roscas consiste na medição do passo da rosca. Para obter essa medida, podemos usar pente de rosca, escala ou paquímetro. Esses instrumentos são chamados verificadores de roscas e fornecem a medida do passo em milímetro ou em filetes por polegada e, também, a medida do ângulo dos filetes (pente de roscas).

### **Rosca métrica triangular (normal e fina)**

$P$  = passo da rosca

$d$  = diâmetro maior do parafuso (normal)

$d_1$  = diâmetro menor do parafuso ( $\varnothing$  do núcleo)

$d_2$  = diâmetro efetivo do parafuso ( $\varnothing$  médio)

$\alpha$  = ângulo do perfil da rosca

$f$  = folga entre a raiz do filete da porca e a crista do filete do parafuso

$D$  = diâmetro maior da porca

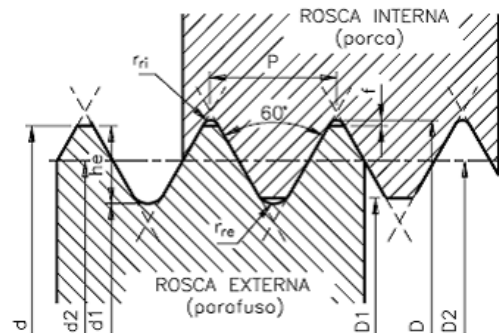
$D_1$  = diâmetro menor da porca

$D_2$  = diâmetro efetivo da porca

$h_e$  = altura do filete do parafuso

$r_e$  = raio de arredondamento da raiz do filete do parafuso

$r_{ri}$  = raio de arredondamento da raiz do filete da porca



ângulo do perfil da rosca:  $\alpha = 60^\circ$ .

diâmetro menor do parafuso ( $\varnothing$  do núcleo):  $d_1 = d - 1,2268P$ .

diâmetro efetivo do parafuso ( $\varnothing$  médio):  $d_2 = D_2 = d - 0,6495P$ .

folga entre a raiz do filete da porca e a crista do filete do parafuso:  $f = 0,045P$ .

diâmetro maior da porca:  $D = d + 2f$ .

diâmetro menor da porca (furo):  $D_1 = d - 1,0825P$ .

diâmetro efetivo da porca ( $\varnothing$  médio):  $D_2 = d_2$ .

altura do filete do parafuso:  $h_e = 0,61343P$ .

raio de arredondamento da raiz do filete do parafuso:  $r_{re} = 0,14434P$ .

raio de arredondamento da raiz do filete da porca:  $r_{ri} = 0,063P$ .

## Withworth

$$\alpha = 55^\circ$$

$$P = \frac{1''}{n^\circ \text{ de filetes}}$$

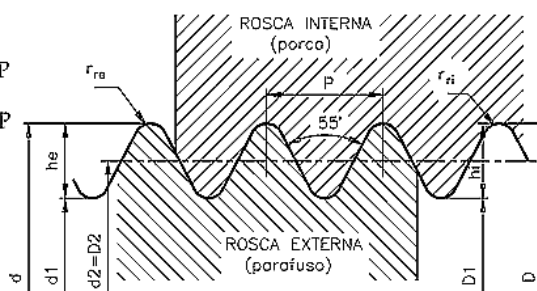
$$h_i = h_e = 0,6403 \cdot P$$

$$r_{ri} = r_{re} = 0,1373 \cdot P$$

$$d = D$$

$$d_1 = d - 2h_e$$

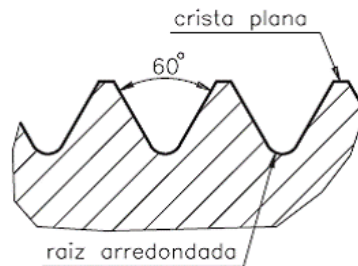
$$D_2 = d_2 = d - h_e$$



As rosas de perfil triangular são fabricadas segundo três sistemas normalizados: o sistema métrico ou internacional (ISO), o sistema inglês ou whitworth e o sistema americano (UNS).

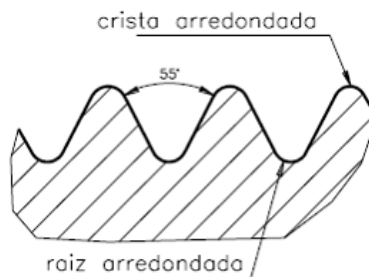
### Métrico (ISO)

Designação: Diâmetro externo (em milímetros) x passo em milímetros.

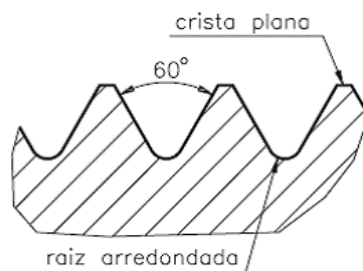


### Withworth (Inglês)

Designação: Diâmetro externo (em polegada) x número de fios por polegada.



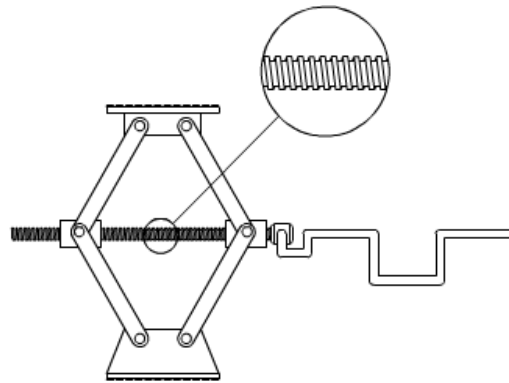
### Americano (UNS)



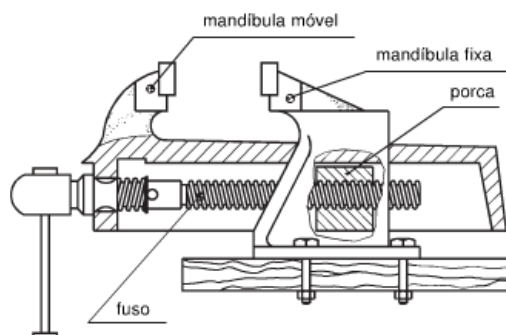
### Parafusos de potência (fusos)

Os parafusos de potência, também conhecidos como parafusos de avanço, são usados para transformar movimento rotacional em movimento linear em atuadores mecânicos, macacos de carros, máquinas operatrizes, etc. Para este tipo de serviço, são utilizados os parafusos de roscas reforçadas, dentre os quais podemos citar os de rosca quadrada, de rosca dente de serra, rosca redonda e

rosca trapezoidal. Podem ser acionados de forma manual, hidráulica, elétrica, mecânica, etc, dependendo de sua aplicação e do trabalho que vai desempenhar.



Na figura anterior pode-se observar um parafuso de potência que atua em um macaco de automóvel. Este parafuso transforma o movimento rotacional da manivela e movimento linear possibilitando a elevação do carro.

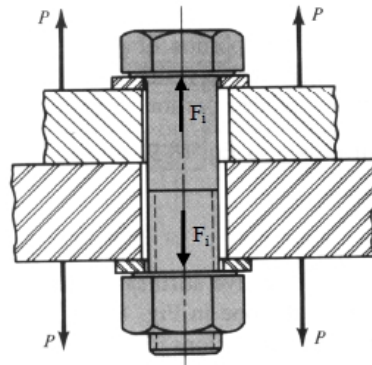


No movimento do mordente da morsa, o fuso tem o mesmo objetivo mas com a função de movimentar a mandíbula móvel para prender peças.

### Carga dos parafusos

A carga total que um parafuso suporta é a soma da tensão inicial, isto é, do aperto e da carga imposta pelas peças que estão sendo unidas. A carga inicial de aperto é controlada, estabelecendo-se o torque-limite de aperto. Nesses casos, empregam-se medidores de torque especiais (torquímetros).





### **Materiais para parafusos**

Os parafusos são fabricados em aço, aço inoxidável ou ligas de cobre e, mais raramente, de outros metais. O material, além de satisfazer as condições de resistência, deve também apresentar propriedades compatíveis com o processo de fabricação, que pode ser a usinagem em tornos e roscadeiras ou por conformação como forjamento ou laminação (roscas roladas).

A norma ABNT - EB - 168 estabelece as características mecânicas e as prescrições de ensaio de parafuso e peças roscadas similares, com rosca ISO de diâmetro até 39mm, de qualquer forma geométrica e de aço-carbono ou aço liga.

Agrupam os parafusos em classes de propriedades mecânicas, levando em consideração os valores de resistência à tração, da tensão de escoamento e do alongamento. Cada classe é designada por dois números separados por um ponto.

O primeiro número corresponde a um décimo do valor em  $\text{kgf/mm}^2$ , do limite de resistência à tração mínima exigida na classe e o segundo número corresponde a um décimo da relação percentual entre a tensão de escoamento e a de resistência à tração, sendo estes os valores mínimos exigidos.

Resistência de parafusos

Classe	Resistência à tração $kgf/mm^2$		HB Dureza Brinell		Tensão de	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Escoamento $kgf/mm^2$	Elasticidade $kgf/mm^2$
3.6	34	49	90	150	20	–
4.6	40	55	100	170	24	–
4.8	40	55	100	170	32	–
5.6	50	70	140	215	30	–
5.8	50	70	140	215	40	–
6.8	60	80	170	245	48	–
8.8	80	100	225	300	–	64
10.9	100	120	280	365	–	90
12.9	120	140	330	425	–	108
14.9	140	160	390	–	–	126

### Dimensionamento de parafusos

O dimensionamento de parafusos pode ser dividido nos seguintes casos:

Parafuso solicitados a tração:

- sem carga inicial de aperto;
- com carga inicial de aperto.
- parafusos solicitados ao cisalhamento

#### *Alguns fatores importantes...*

Deve-se tomar cuidado com alguns fatores que podem comprometer as uniões por meio de parafusos:

1. O desconhecimento exato das forças externas a serem aplicadas. Deve-se reduzir a tensão admissível.
2. Aperto incorreto do parafuso.
  - Parafusos pequenos podem ser facilmente degolados. Devemos utilizar material de alta resistência ou reduzir a tensão admissível;
  - Parafusos grandes normalmente não são suficientemente apertados;
  - Em junções com vários parafusos o aperto normalmente não é uniforme o que acarreta uma má distribuição das cargas. Devemos usar o torquímetro.
3. Apoio irregular do parafuso(apenas um lado) adicionando tensões de flexão.

## **Seleção de parafusos**

Existem algumas recomendações sobre a escolha dos parafusos que serão empregados em uma construção mecânica e devem ser seguidas. Procura-se sempre utilizar parafusos de uso comercial, ou seja, parafusos que são encontrados facilmente no comércio. Os parafusos de bitolas especiais devem ser utilizados somente quando for estritamente necessário, pois além de ser difícil encontrá-los (geralmente fabricados por encomenda), tem o preço significativamente maior em relação aos de uso comercial.

## **União soldada**

Soldagem é o processo de união de duas ou mais partes, pela aplicação de calor, pressão ou ambos garantido-se na junta a continuidade das propriedades químicas, físicas e mecânicas.

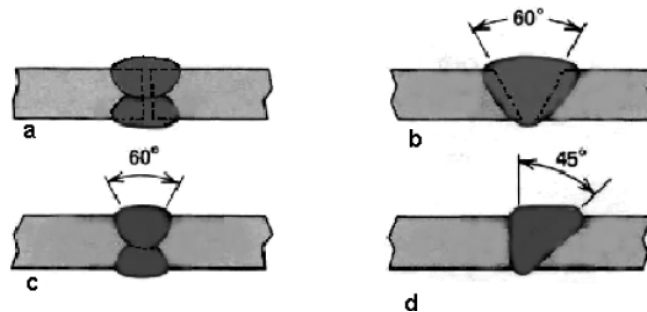
A união de elementos metálicos é de fundamental importância na montagem de estruturas que transmitam ou suportem os esforços que surgem na execução de trabalhos mecânicos pelas máquinas.

## **Modelos para união soldada de peças**

Dentre as principais configurações para uniões soldadas serão apresentadas as principais.

### **Solda de topo**

É a mais simples configuração de soldagem. É utilizado para unir as extremidades de dois elementos. A figura a seguir mostra quatro arranjos para este tipo de soldagem.



Em (a) tem-se a pior situação possível, tanto em termos de concentração de tensões como em termos da mistura dos materiais. Esta configuração traz a solda características de resistência bem diferentes daquelas das peças originais.

Em (b) a área de contato entre as peças e a solda é aumentada pelo chanfro, as tensões são diminuídas e é utilizado principalmente para soldagem de peças de um só dos lados.

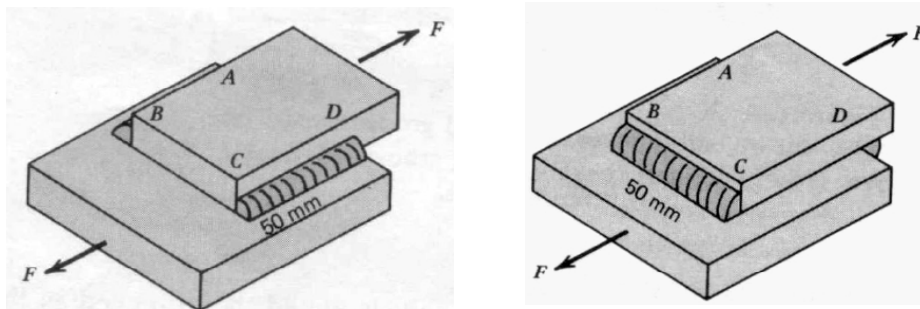
Em (c) é apresentada a melhor configuração, pois os cordões de solda por serem feitos por ambos os lados proporcionando uma melhor uniformização da solda quanto a flexão e melhora a rigidez do conjunto.

Em (d), tem-se uma variação de (b), com chanfro em uma das peças, tornando a solda mais econômica.

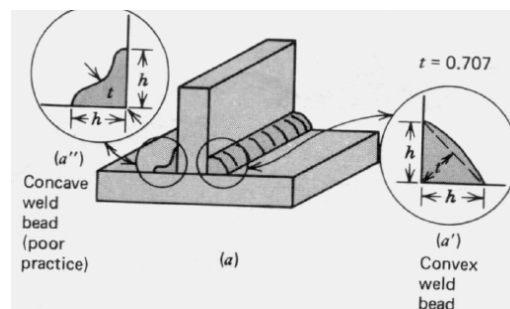
O projeto de soldas de topo consiste na comparação da tensão normal a qual as peças estão sujeitas com a resistência ao escoamento ou a ruptura do material da solda ou dos materiais mais fraco entre os soldados. No caso de existir variação do carregamento ao longo do tempo os conceitos de fadiga devem ser aplicados.

### **Solda paralela e transversal**

Quando os filetes de solda tem o eixo axial na mesma direção da aplicação da força a solda é denominada paralela. Quando for perpendicular a aplicação da força é denominada transversal.



A figura a seguir mostra o filete de solda em uma viga tipo “T” invertido. A forma correta de soldar está mostrada no detalhe à direita. No caso do detalhe esquerdo a solda não preenche toda a espessura 't' sendo considerada uma solda de baixa qualidade.



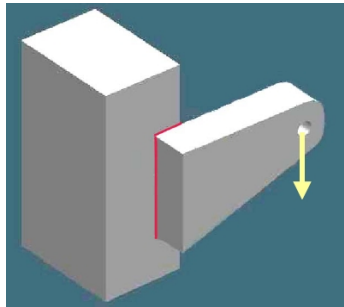
A necessidade de preencher adequadamente toda a espessura 't' vem do procedimento normalizado de cálculo. Segundo este procedimento, os filetes de soldas devem ser projetados sempre considerando o cisalhamento da área formada por essa espessura e o comprimento do filete de solda. A medida 'h' mostrada na figura acima é chamada de dimensão lateral ou perna da solda e deve estar especificada nos desenhos e instruções de soldagem.

A espessura 't' é calculada a partir de 'h' pela fórmula:

$$t = 0,707h$$

### Juncões especiais – torção nas soldas

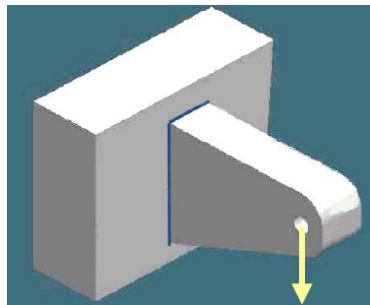
As soldas podem ser submetidas a esforços torcionais como mostrado na figura abaixo:



O arranjo de soldagem submetido a torção pode ser calculada por uma combinação da tensão de cisalhamento devido a força cortante com a tensão de cisalhamento devido a torção que as soldas sofrem quando resistem a flexão da chapa em balanço.

### Juncões especiais – Flexão nas soldas

A figura a seguir mostra uma solda que sofre uma composição entre a tensão de flexão e a de cisalhamento devido a força cortante.



O cálculo requer que ambas sejam combinadas e a resultante seja considerada tensão de cisalhamento agindo na seção definida pela espessura 't' e pelo comprimento do filete.

## Juncões soldadas com carregamento variável

Juncões soldadas sofrendo carregamento variável podem falhar por fadiga. A falta de uma sistemática de cálculos que realmente represente o que acontece na solda e a impossibilidade de incluir muitos fatores que influenciam na qualidade da junção soldada fazem com que os coeficientes de segurança para estruturas soldadas, em especial as que sofrem carregamentos variáveis, sejam elevados.

A tabela a seguir mostra os valores para os principais tipos de juncões soldadas. O procedimento para dimensionamento é semelhante ao usado para dimensionamento de qualquer outro elemento sujeito a carregamento variável, mas com coeficientes de segurança maiores que os usuais.

<b><i>Tipo de solda</i></b>	<b><i>Kf</i></b>
Solda de topo com reforço	1,2
Cordões transversais – inclui flexão e torção	1,5
Extremidade de cordões paralelos	2,7
Solda de topo e em “T” com cantos agudos	2

## Molas helicoidais cilíndricas

São elementos de máquinas que apresentam grandes deformações sem ultrapassar seu limite elástico, ou seja, retornam a sua configuração inicial quando retirada a carga à que está sendo submetida.

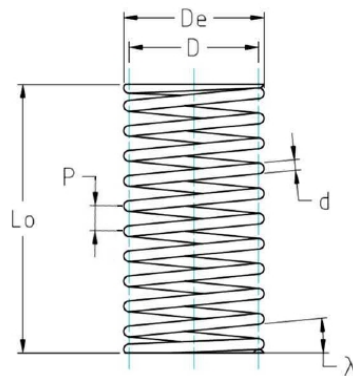
De forma construtiva geralmente simples, consiste em um fio (arame), que pode ser redondo ou quadrado, ou ainda, de formato especial, dependendo de sua aplicação e que tem como principais funções exercer tração, compressão e torção.

Dentre suas inúmeras aplicações pode-se citar algumas: armazenamento de cargas, amortecimento de choque, distribuição de cargas, limitação de vazão, preservação de juncões ou contatos.

## Molas de compressão

São molas que exercem forcas no sentido de “empurrar”. Tem suas espiras

separadas de modo que possam ser comprimidas. A mola helicoidal de compressão quando é comprimida por alguma força, tem o espaço entre as espiras diminuído, tornando menor o comprimento da mola. O comprimento livre ( $L_0$ ) é o comprimento máximo da mola livre de carregamento. O comprimento sólido ( $L_s$ ) é o comprimento mínimo da mola quando a carga aplicada é suficiente para eliminar todos os espaços entre as espiras.

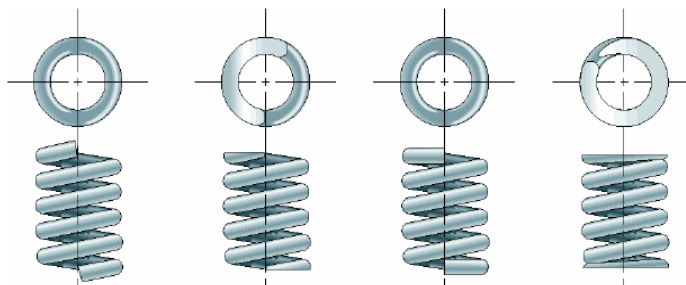


$D_e$  = Diâmetro externo  
 $D$  = Diâmetro médio  
 $d$  = Diâmetro do arame  
 $p$  = Passo  
 $L_0$  = Comprimento livre  
 $N_a$  = Número de espiras ativas  
 $\lambda$  = Ângulo de hélice

### **Tipos de extremidades das molas helicoidais de compressão**

As extremidades das molas de compressão são preparadas conforme a necessidade de aplicação, para proporcionar maior estabilidade e assentamento na base que irá sustentá-la.

A figura a seguir ilustra os tipos de extremidades de molas:



Começando pela esquerda: simples, simples retificada, em esquadro, em esquadro retificada.

As espiras ativas ( $N_a$ ) são as espiras que deformam quando a mola é

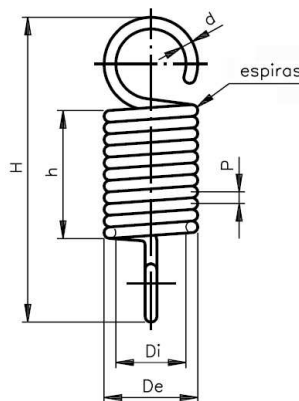


carregada, enquanto que as espiras inativas em cada extremidade não deformam.

	Simples	Em esquadro	Simples retificada	Em esquadro retificada
Na	$N_t$	$N_t - 2$	$N_t - 1$	$N_t - 2$
Lo	$N_{ap} + d$	$N_{ap} + 3d$	$N_{tp}$	$N_{ap} + 2d$
Ls	$(N_t + 1)d$	$(N_t + 1)d$	$N_{td}$	$N_{td}$

## Molas de tração

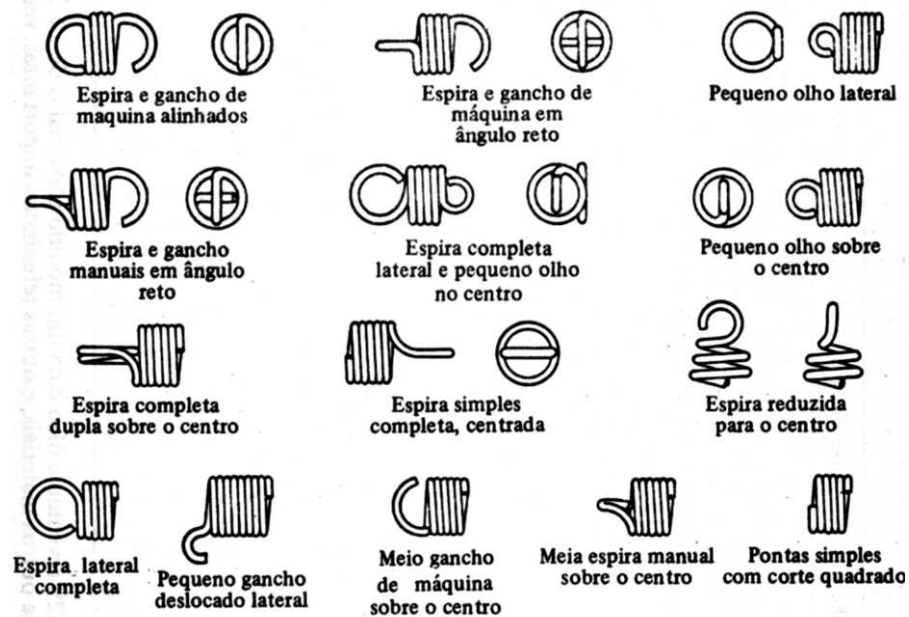
As molas helicoidais de tração são similares as molas helicoidais de compressão no entanto elas precisam de extremidades especiais para que a carga possa ser aplicada. Estas extremidades são chamadas de ganchos, e podem ter diversos formatos.



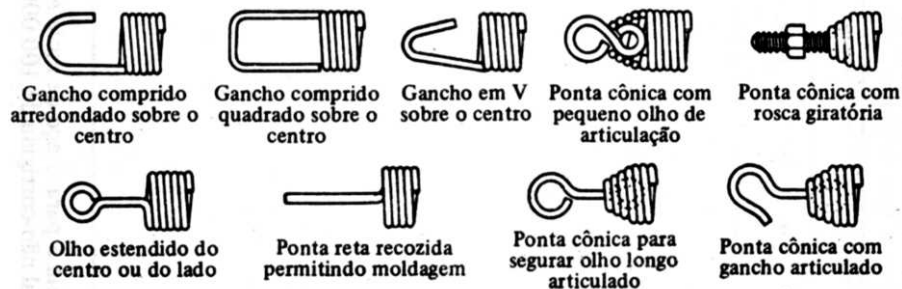
As molas de tração quando tracionada por alguma força, tem o espaço entre as espiras aumentado tornando maior o seu comprimento.

## Forma dos ganchos das molas de tração

A tabela a seguir mostra as principais formas de ganchos de molas de tração:



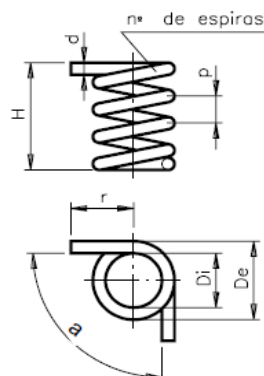
TODAS AS PONTAS ACIMA SÃO TIPOS PADRÃO PARA AS QUAIS NÃO SÃO NECESSÁRIAS FERRAMENTAS ESPECIAIS



ESTE GRUPO DE PONTAS ESPECIAIS PRECISA DE FERRAMENTAS ESPECIAIS

## molás de torção

As molas helicoidais de torção possuem extremidades em forma de braços de alavanca onde é aplicada a força. As molas helicoidais de torção quando submetidas ao esforço de uma carga qualquer tendem a enrolar ainda mais suas espiras.

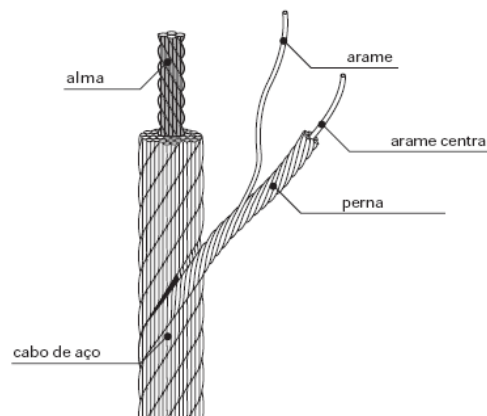


$D_e$  = Diâmetro externo da mola;  
 $D_i$  = Diâmetro interno da mola;  
 $H$  = Comprimento da mola;  
 $d$  = Diâmetro da seção do arame;  
 $p$  = Passo;  
 $n^\circ$  = Número de espiras;  
 $r$  = Comprimento do braço de alavanca;  
 $a$  = Ângulo entre as pontas da mola.

As forças que atuam sobre a mola de torção são perpendiculares ao seu eixo, enquanto que, nas molas de tração e de compressão, a força segue a mesma direção do eixo.

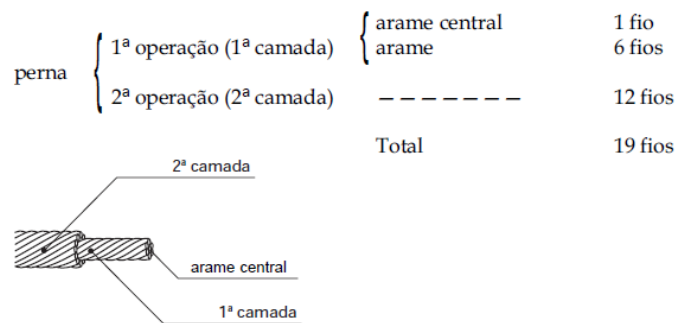
## **cabos de aço**

São elementos de construção mecânica utilizados para transporte, tração, elevação, etc, de cargas.



## **Construção de cabos**

Um cabo pode ser construído em uma ou mais operações, dependendo da quantidade de fios e, especificamente, do número de fios da perna. Por exemplo: um cabo de aço 6 por 19 significa que uma perna de 6 fios é enrolada com 12 fios em duas operações, conforme segue:



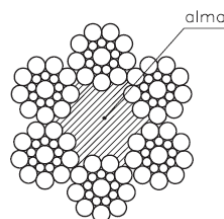
São classificados quanto a sua composição em normal, warrington, seale, filler.

### Distribuição normal

Os fios dos arames e das pernas são de um só diâmetro.

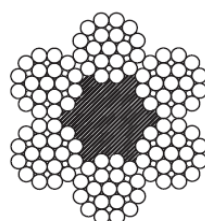
### Distribuição seale

As camadas são alternadas em fios grossos e finos.



### Distribuição filler

As pernas contêm fios de diâmetro pequeno que são utilizados como enchimento dos vãos dos fios grossos.



## Distribuição warrington

Os fios das pernas têm diâmetros diferentes numa mesma camada.

## Tipos de torção de cabos

Os cabos de aço, apresentam torção das pernas ao redor da alma e podem ser à direita ou à esquerda:



à direita



à esquerda

Nas pernas também há torção dos fios ao redor do fio central. O sentido dessas torções pode variar, obtendo-se as situações:

## Torção regular ou em cruz



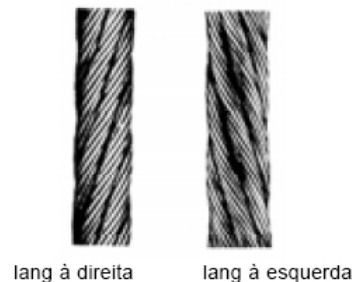
regular à direita



regular à esquerda

Os fios de cada perna são torcidos no sentido oposto ao das pernas ao redor da alma. As torções podem ser à esquerda ou à direita. Esse tipo de torção confere mais estabilidade ao cabo.

### **Torção lang ou em paralelo**



Os fios de cada perna são torcidos no mesmo sentido das pernas que ficam ao redor da alma. As torções podem ser à esquerda ou à direita. Esse tipo de torção aumenta a resistência ao atrito (abrasão) e dá mais flexibilidade.

### **Alma de cabos de aço**

As almas de cabos de aço podem ser feitas de vários materiais, de acordo com a aplicação desejada. Existem, portanto, diversos tipos de alma. Veremos os mais comuns que são: alma de fibra, de algodão, de asbesto, de aço.

#### **Alma de fibra**

É o tipo mais utilizado para cargas não muito pesadas. As fibras podem ser naturais (AF) ou artificiais (AFA).

As fibras naturais utilizadas normalmente são o sisal ou o rami. Já a fibra artificial mais usada é o polipropileno (plástico).

Vantagens das fibras artificiais:

- não se deterioram em contato com agentes agressivos;
- são obtidas em maior quantidade;
- não absorvem umidade.

Desvantagens das fibras artificiais:

- maior custo;
- aplicação em cabos especiais.

### **Alma de algodão**

Tipo de alma que é utilizado em cabos de pequenas dimensões.

### **Alma de asbesto**

Tipo de alma utilizado em cabos especiais, sujeitos a altas temperaturas.

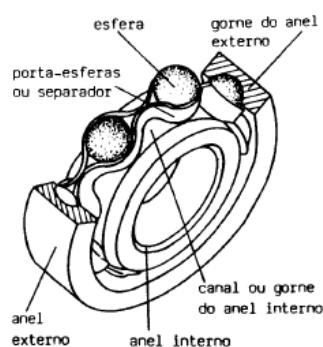
### **Alma de aço**

Pode ser formada por uma perna de cabo (AA) ou por um cabo de aço independente (AACI), sendo que este último oferece maior flexibilidade somada à alta resistência à tração.

## **Rolamentos**

Rolamentos são suportes mecânicos montados nos eixos. Basicamente, são constituídos por dois anéis fabricados de aço especial, separados por fileiras de esferas, ou de rolos cilíndricos ou cônicos e estas esferas ou rolos são separados entre si por meio de porta esferas ou porta rolos. Desenvolvem a função de suportar eixos permitindo-os realizar movimentos rotacionais com facilidade, minimizar a fricção entre as peças móveis da máquina e suportar uma carga.

Sempre que há rotação, existe a necessidade de alguma forma de mancal, seja por meio de rolamentos ou mancais de deslizamento.



## Vantagens dos rolamentos em relação aos mancais de deslizamento

A seguir, veja as vantagens e desvantagens que os rolamentos possuem em relação aos mancais de deslizamento.

### Vantagens

- Menor atrito e aquecimento;
- Coeficiente de atrito de partida (estático) não superior ao de operação (dinâmico);
- Pouca variação do coeficiente de atrito com carga e velocidade;
- Baixa exigência de lubrificação;
- Intercambialidade internacional;
- Mantém a forma de eixo (não ocasiona desgaste do eixo);
- Pequeno aumento da folga durante a vida útil.

### Desvantagens

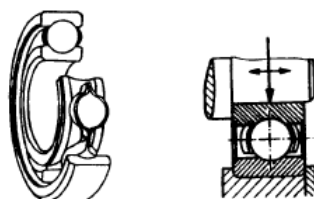
- Maior sensibilidade aos choques;
- Maiores custos de fabricação;
- Tolerância pequena para carcaça e alojamento do eixo;
- Não suporta cargas tão elevadas como os mancais de deslizamento.

## Classificação dos rolamentos

Quanto ao tipo de carga que suportam, os rolamentos podem ser:

*Radiais* - suportam cargas radiais e leves cargas axiais.

Ex: motores elétricos.





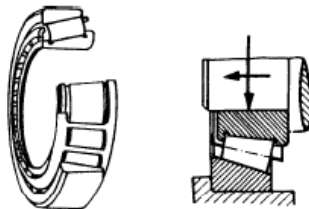
*Axiais* – Suportam cargas axiais e não podem ser submetidos a cargas radiais.

Ex: rolamento de embreagem de automóveis.



*Mistos* - suportam tanto carga axial quanto radial.

Ex: rolamento de roda de automóveis.

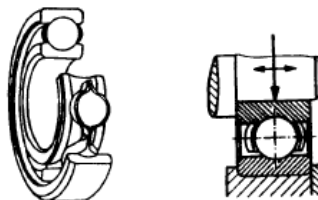


Quanto a forma construtiva podem ser:

### **Rolamento fixo de uma carreira de esferas**

É o mais comum dos rolamentos. Suporta cargas radiais e pequenas cargas axiais e é apropriado para rotações mais elevadas.

Sua capacidade de ajustagem angular é limitada, por conseguinte, é necessário um perfeito alinhamento entre o eixo e os furos da caixa.



Classificação:

- Abertos;
- Com anel de retenção (sufixo NR);

- Blindados (sufixo Z ou ZZ);
- Vedados (sufixos DDU ou VV).

## Rolamentos Blindados

O rolamento recebe placas de aço inseridas sob pressão em ranhuras nos anéis interno e externo especialmente projetadas, para evitar que as placas sejam retiradas. As placas ao serem retiradas deformam-se.

A placas são feitas de aço comum, portanto, não poderão receber esforços;

As placas de blindagem protegem os rolamentos contra a penetração de corpos estranhos e o escoamento de graxa.

A estrutura da blindagem é composta de duas fendas contraídas e um espaço para refrear a graxa.

Quando blindados ou vedados de ambos os lados, os rolamentos são fornecidos com graxa de qualidade comprovada e em volume adequado.

***Atenção!:* Recomenda-se que não sejam retiradas as blindagens. A quantidade de graxa inserida é suficiente para aplicações normais e para a vida do rolamento. Não é necessário acrescentar mais graxa. Graxas de composições diferentes não podem ser misturadas. As blindagens se deformam quando retiradas, além da possibilidade de danificar a peça, tocando nas esferas.**



## Rolamentos Vedados

Em aplicações onde têm-se muita poeira ou água, os rolamentos vedados são utilizados como uma vedação auxiliar onde deve-se ter ainda, uma vedação principal no equipamento como defletores, labirintos, retentores, etc.

### Vedação Com Contato (tipo DDU)

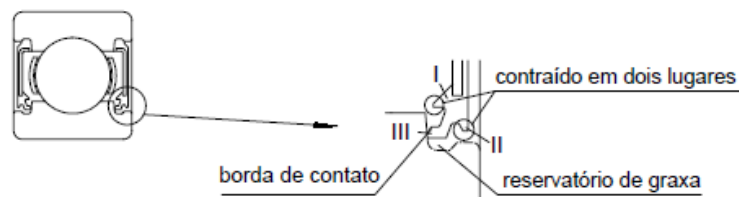
A vedação com contato é uma placa de borracha nitrílica reforçada com alma de aço, introduzida sob pressão no rebordo do anel externo.

O sistema de vedação consiste de duas fendas estreitas, uma para refrear a graxa (I) e a outra para borda de contato (III).

A borda de contato (III) é protegida por uma borda externa (II), evitando a penetração de corpos estranhos.

Ótima capacidade protetiva contra sujeira.

Devido ao contato no anel externo, este tipo de rolamento tem restrições quanto ao limite de rotação. Consultar o Catálogo do Fabricante, para sua aplicação.



### Vedação Sem Contato (tipo VV)

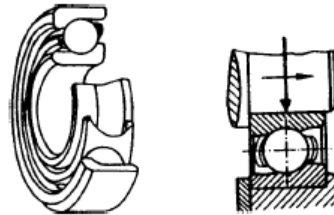
A vedação sem contato é semelhante à vedação com contato, porém com diferenças construtivas. Duas fendas contraídas são dispostas diagonalmente. A fenda é mais estreita que a do rolamento comum com vedação tipo labirinto sem contato.

Neste caso, como não tem contato, não há restrições quanto ao limite de rotação.



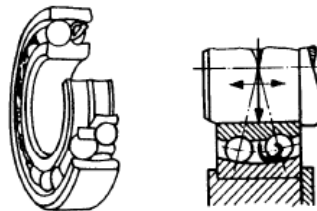
### **Rolamento de contato angular de uma carreira de esferas**

Admite cargas axiais somente em um sentido, portanto, deve sempre ser montado contraposto a um outro rolamento que possa receber a carga axial no sentido contrário.



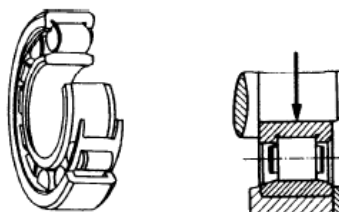
### **Rolamento auto compensador de esferas**

É um rolamento de duas carreiras de esferas com pista esférica no anel externo, o que lhe confere a propriedade de ajustagem angular, ou seja, compensar possíveis desalinhamentos ou flexões do eixo.



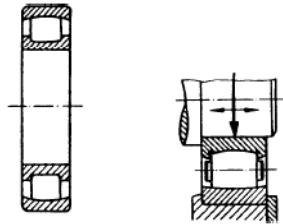
### **Rolamento de rolo cilíndrico**

É apropriado para cargas radiais elevadas e seus componentes são separáveis, o que facilita a montagem e desmontagem.



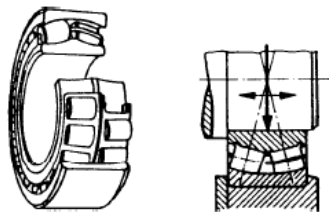
### **Rolamento auto-compensador de uma carreira de rolos**

Seu emprego é particularmente indicado para construções em que se exige uma grande capacidade de suportar carga radial e a compensação de falhas de alinhamento.



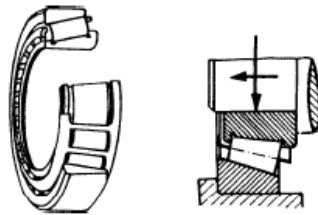
### **Rolamento auto-compensador com duas carreiras de rolos**

É um rolamento para os mais pesados serviços. Os rolos são de grande diâmetro e comprimento. Devido ao alto grau de oscilação entre rolos e pistas, existe uma distribuição uniforme de carga.



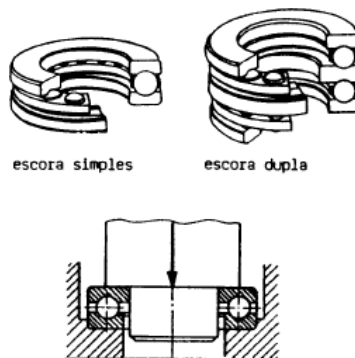
### **Rolamento de rolos cônicos**

Além de cargas radiais, os rolamentos de rolos cônicos também suportam cargas axiais em um sentido. Os anéis são separáveis. O anel interno e o externo podem ser montados separadamente. Como só admitem cargas axiais em um sentido, de modo geral torna-se necessário montar os anéis aos pares, um contra o outro.



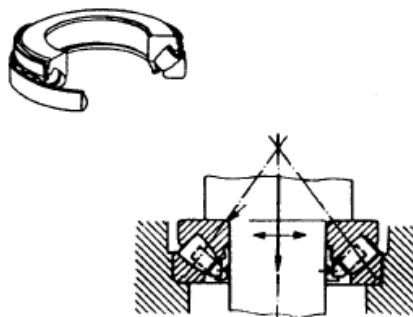
### **Rolamento axial de esfera**

Ambos os tipos de rolamento axial de esfera (escora simples e escora dupla) admitem elevadas cargas axiais, porém, não podem ser submetidos a cargas radiais. Para que as esferas sejam guiadas firmemente em suas pistas, é necessária a atuação permanente de uma determinada carga axial mínima.



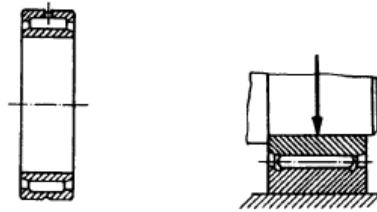
### **Rolamento axial auto-compensador de rolos**

Possui grande capacidade de carga axial e, devido à disposição inclinada dos rolos, também pode suportar consideráveis cargas radiais. A pista esférica do anel da caixa confere ao rolamento a propriedade de alinhamento angular, compensando possíveis desalinhamentos ou flexões do eixo.



## Rolamento de agulhas

Possui uma seção transversal muito fina, em comparação com os rolamento de rolos comuns. É utilizado especialmente quando o espaço radial é limitado.



## Escolha dos rolamentos

Para selecionar o rolamento a ser usado deve-se levar em consideração as cargas que nele serão aplicadas e vida nominal básica desejada, além da rotação e do ambiente a que será submetido. Os fabricantes de rolamentos oferecem catálogos que ajudam na escolha mais adequada ao serviço destinado.

## Eixos e Árvores

Eixos geralmente são peças que servem para apoiar peças de máquinas que podem ser fixadas a eles ou serem móveis (giratórias ou oscilantes).

Os eixos podem ser fixos ou móveis (giratórios ou oscilantes). Os eixos não transmitem momento de torção e são solicitados principalmente a flexão. Eixos curtos podem também serem chamados de pinos. As partes dos eixos onde se apóiam são chamadas "apoios" e quando móveis (apoiados sobre mancais) "moentes".

Eixos-árvore são aqueles que transmitem momento de torção e portanto, podem ser solicitados a torção ou a flexão e torção.

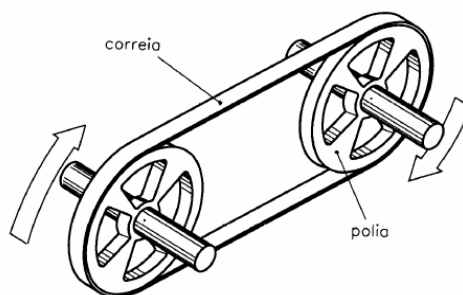
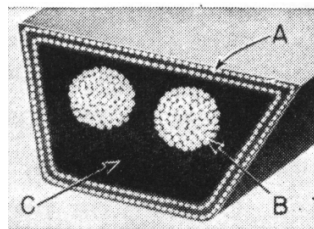
Quanto a sua seção transversal, eixos e eixos-arvore podem ser maciços ou ocos. Podem ser redondos, quadrados, sextavados, ranhurados, etc.

## Correias e Polias

Quando precisa-se transmitir movimento de um eixo para outro e o emprego de engrenagens não é aconselhável por razões técnicas ou econômicas, utiliza-se correias.

Correias são elementos de máquinas que tem a finalidade de transmitir movimento de um eixo para outro, através de polias.

As correias mais usadas são as planas e as trapezoidais. A correia em “V” ou trapezoidal é inteiriça, fabricada com seção transversal em forma de trapézio. É feita de borracha revestida de lona e é formada no seu interior por cordonéis vulcanizados para suportar as forças de tração.

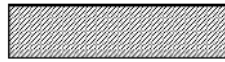


Além das correias acima citadas ainda existem correias redondas e correias com formatos especiais fabricadas para aplicações específicas.



### Correia plana

De formato transversal plano, podem variar de espessura e largura conforme a aplicação. Admitem maiores rotações que as correias em “V”.



### Correia redonda

Correia de seção transversal redonda usada geralmente para transportes de pequenas cargas.

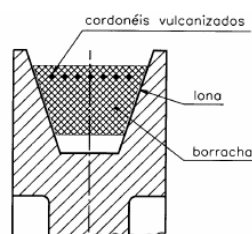


### Correia trapezoidal ou em “v”

As correias mais usadas são planas e as trapezoidais. A correia em “V” ou trapezoidal é inteiriça, fabricada com seção transversal em forma de trapézio.

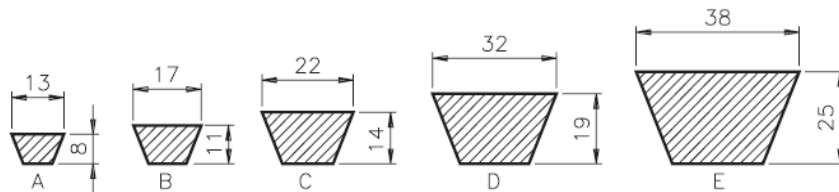


É feita de borracha revestida de lona e é formada no seu interior por cordões vulcanizados para suportar as forças de tração.



### Medidas das correias em “V”

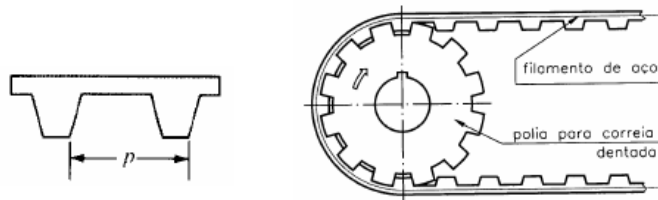
Os perfis padronizados de correias trapezoidais são descritos por letras, e suas dimensões de seção transversal apresentam-se na figura abaixo.



O comprimento é dado em polegadas.

### Correia dentada

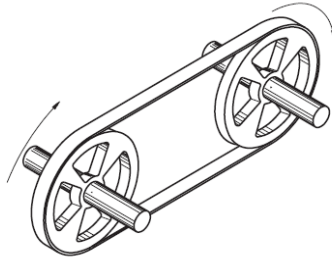
Utilizada para casos em que não se pode ter nenhum deslizamento, como no comando de válvulas do automóvel. Também conhecida como correia sincronizadora devida a sua propriedade de sincronizar movimentos entre eixos.



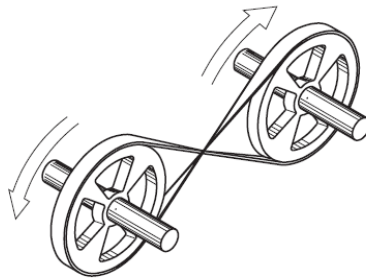
### Configurações de montagem

Na transmissão por polias e correias, a polia que transmite movimento e força é chamada polia motora ou condutora. A polia que recebe movimento e força é a polia movida ou conduzida. A maneira como a correia é colocada determina o sentido de rotação das polias.

**Sentido direto de rotação** - a correia fica reta e as polias têm o mesmo sentido de rotação. Pode ser aplicado a todas as formas de correias.



**Sentido de rotação inverso** - a correia fica cruzada e o sentido de rotação das polias inverte-se, aplica-se em correias planas.



**Transmissão de rotação entre eixos não paralelos** - aplicado em correias planas.




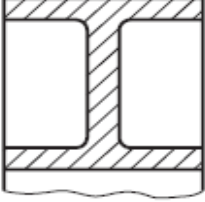

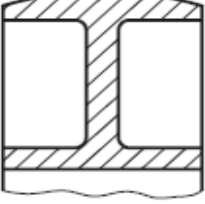



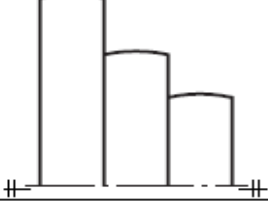

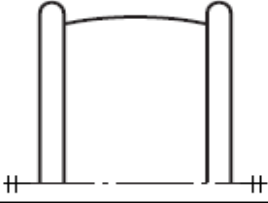




**Resumo dos principais danos que as correias podem sofrer, suas causas prováveis e soluções recomendadas.**

PROBLEMAS COM CORREIAS	CAUSAS	SOLUÇÕES
Perda da cobertura e inchamento.	Excesso de óleo.	Lubrificar adequadamente, limpar polias e correias.
Rachaduras	Exposição ao tempo	Proteger; trocar as correias
Cortes	Contato forçado contra a polia; obstrução; contato com outros materiais.	Instalar adequadamente; verificar o comprimento da correia; remover obstrução.
Derrapagem na polia	Tensão insuficiente; polia movida presa.	Tensionar adequadamente; limpar e soltar a polia presa.
Camada externa (envelope) gasta.	Derrapagens constantes; sujeira excessiva.	Tensionar adequadamente; alinhar o sistema; proteger.
Envelope gasto desigualmente.	Polias com canais irregulares.	Trocar as polias; limpar e corrigir a polia.
Separação de componentes.	Polia fora dos padrões; sujeira excessiva.	Redimensionar o sistema; instalar adequadamente.
Cortes laterais.	Polia fora dos padrões.	Redimensionar o sistema.
Rompimento.	Cargas momentâneas excessivas; material estranho	Instalar adequadamente; operar adequadamente; proteger.
Deslizamento ou derrapagem	Polias desalinhadas; polias gastas; vibração excessiva.	Alinhar o sistema; trocar as polias.
Endurecimento e rachaduras prematuras.	Ambiente com altas temperaturas.	Providenciar ventilação.
Correias com squeal (chiado)	Cargas momentâneas excessivas.	Tensionar adequadamente.
Alongamento excessivo.	Polias gastas; tensão excessiva; sistema insuficiente (quantidades de correias; tamanhos).	Trocar as polias; tensionar adequadamente; verificar se a correia está correta em termos de dimensionamento.
Vibração excessiva	Tensão insuficiente; cordonéis danificados.	Tensionar adequadamente; trocar as correias.
Correias muito longas ou muito curtas na instalação.	Correias erradas; sistema incorreto; esticador insuficiente.	Colocar correias corretas; verificar equipamentos.
Jogo de correias mal feito na instalação.	Polias gastas; mistura de correias novas com velhas; polias sem paralelismo; correias com marcas diferentes.	Trocar as polias; trocar as correias; alinhar o sistema; usar somente correias nova; usar correias da mesma marca.

### Vantagens das transmissões com ( correias em "V" )

VANTAGENS	OBSERVAÇÕES
Desembaraço do espaço	Com as correias em "V", a distância entre os eixos pode ser tão curta quanto as polias o permitam. As polias loucas são eliminadas do sistema.
Baixo custo de manutenção	Um equipamento acionado por correias em "V" não requer a atenção constante do mecânico de manutenção.
Absorvem choques	Poupando a máquina, as correias em "V" absorvem os choques produzidos por engrenagens, êmbolos, freios etc.
São silenciosas	Podem ser usadas em hospitais, auditórios, escritórios e instalações similares, por não possuírem emendas ou grampos e trabalharem suavemente.
Não patinam facilmente	Por sua forma trapezoidal, as correias em "V" aderem perfeitamente às paredes inclinadas da polias e asseguram velocidades constantes, dispensando o uso de pastas adesivas, que sujam as máquinas e o piso.
Poupam mancais	Funcionando com baixa-tensão, não trazem sobrecargas aos mancais.
Instalação fácil	As correias em "V" oferecem maior facilidade de instalação que as correias comuns, podendo trabalhar sobre polias de aros planos, quando a relação de transmissão for igual ou superior a 1:3. Nessa condição, a polia menor será sempre ranhurada.
Alta resistência à tração e flexão	Apresentam longa durabilidade e permitem trabalhos ininterruptos.
Permitem grandes relações de transmissão	Devido à ação de cunha das correias em "V" sobre as polias ranhuradas, uma dada transmissão pode funcionar com pequeno arco de contato sobre a polia menor, permitindo alta relação de velocidades e, em consequência, motores de altas rotações.
Limpeza	Não necessitando de lubrificantes, como acontece nas transmissões de engrenagens ou correntes, as correias em "V" proporcionam às instalações e máquinas o máximo de limpeza.

### Polias (principais formas)

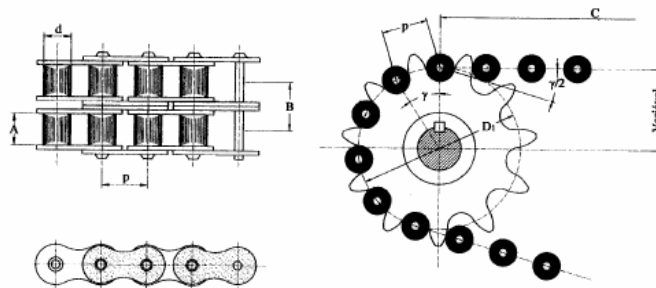
		polia de aro plano
		polia de aro abaulado
		polia escalonada de aro plano
		polia escalonada de aro abaulado
		polia com guia
		polia em "V" simples
		polia em "V" múltipla

## Corrente

A transmissão por correntes consiste basicamente de um par de rodas dentadas e uma corrente. Pode-se citar algumas das vantagens deste tipo de transmissão.

- não patinam, portanto mantem a relação de transmissão;
- garantem rendimento de 96% a 98%;
- podem transmitir potência em locais de difícil acesso;
- permitem montagens com grandes distâncias entre centros;
- permitem o acionamento simultâneo de vários eixos;
- em geral, não necessitam de tencionadores;
- podem ser usados em locais poeirentos, com temperaturas elevadas e locais úmidos.

É importante que seja tomado cuidado com a lubrificação do conjunto. Uma boa lubrificação é condição essencial para um funcionamento suave e duradouro.



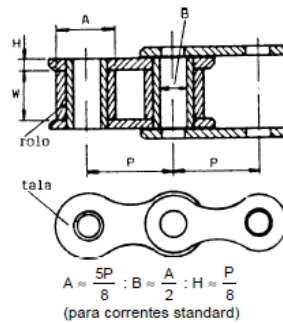
É, ainda, de muita utilidade para transmissões entre eixos próximos, substituindo trens de engrenagens intermediárias.

## Tipos de correntes

### Corrente de rolos

É composta por elementos internos e externos, onde as talas são permanentemente ligadas através de pinos e buchas. Sobre as buchas são, ainda, colocados rolos. Esta corrente é aplicada em transmissões, em movimentação e

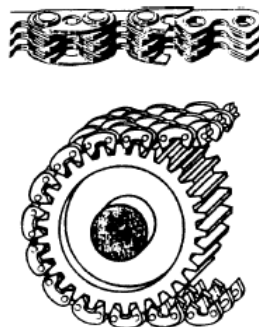
sustentação de contrapeso e, com abas de adaptação, em transportadores. É fabricada em tipo standard, médio e pesado.



### Corrente de dentes

Nesse tipo de corrente há, sobre cada pino articulado, várias talas dispostas uma ao lado da outra, onde cada segunda tala pertence ao próximo elo da corrente.

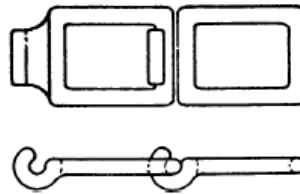
Dessa maneira, podem ser construídas correntes bem largas e muito resistentes. Além disso, mesmo com o desgaste, o passo fica, de elo a elo vizinho, igual, pois entre eles não há diferença. Esta corrente permite transmitir rotações superiores às permitidas nas correntes de rolos.



### Corrente de elos livres

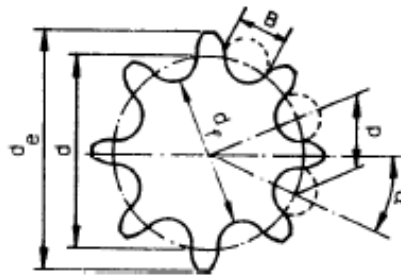
Esta é uma corrente especial usada para transportadores e, em alguns casos, pode ser usada em transmissões. Sua característica principal é a facilidade de retirar-se qualquer elo, sendo apenas necessário suspendê-lo.



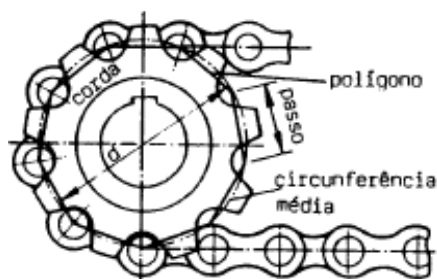


## Engrenagens para correntes

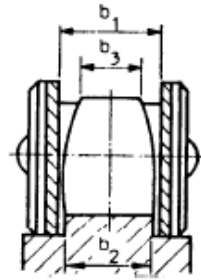
As engrenagens para correntes têm como medidas principais o número de dentes ( $Z$ ), o passo ( $p$ ) e o diâmetro ( $d$ ).



O passo é igual à corda medida sobre o diâmetro primitivo desde o centro de um vão ao centro do vão consecutivo, porque a corrente se aplica sobre a roda em forma poligonal.



O perfil dos dentes corresponde ao diâmetro dos rolos da corrente e para que haja facilidade no engrenamento, as laterais dos dentes são afiladas e 10% mais estreitas que a corrente.



## Engrenagens

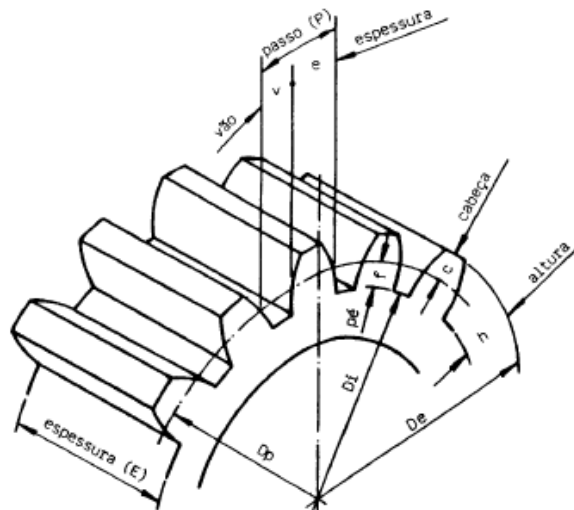
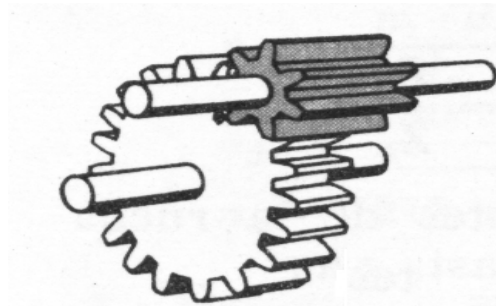
Dentre os elementos disponíveis para transmissão de movimento entre eixos, sejam eles paralelos, reversos ou concorrentes, as engrenagens são sem dúvida as mais usadas. Isto se deve ao fato de, se comparadas a correntes e correias, possuírem grande resistência, grande vida útil, pequenas dimensões, permitirem a transmissão com velocidade constante e pelo alto rendimento ( $\sim 98\%$ ). Além disso podem ser fabricadas com diversos materiais.

Engrenagens são rodas dentadas cujos dentes são de forma e espaçamentos iguais. Durante a transmissão os dentes da roda motriz empurram os dentes da roda movida de tal forma que o contato se faz sem escorregamento.

As circunferências primitivas representam os diâmetros das rodas de atrito que transmitiriam o mesmo movimento com a mesma relação de transmissão das engrenagens, desde que não haja escorregamento.

## Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos

Engrenagens cilíndricas de dentes retos são rodas dentadas, cujos dentes são retos e paralelos ao eixo. São usadas para transmitir potência entre árvores paralelas quando estas não estão muito afastadas e quando se deseja uma razão de velocidade constante. A relação de transmissão é a mesma que seria obtida por dois cilindros imaginários comprimidos um contra o outro, girando sem deslizamento.



- (De) Diâmetro externo: É o diâmetro máximo da engrenagem  $De = m (z + 2)$ .
- (Di) Diâmetro interno: É o diâmetro menor da engrenagem.
- (Dp) Diâmetro primitivo: É o diâmetro intermediário entre De e Di. Seu cálculo exato é  $Dp = De - 2m$ .
- (C) Cabeça do dente: É a parte do dente que fica entre Dp e De.
- (f) Pé do dente: É a parte do dente que fica entre Dp e Di.

- (h) Altura do dente: É a altura total do dente  $\frac{D_e - D_i}{2}$  ou  $h = 2,166 \cdot m$

2

- (e) Espessura de dente: É a distância entre os dois pontos extremos de um dente, medida à altura do  $D_p$ .
- (V) Vão do dente: É o espaço entre dois dentes consecutivos. Não é a mesma medida de  $e$ .
- (P) Passo: Medida que corresponde a distância entre dois dentes consecutivos, medida à altura do  $D_p$ .
- (M) Módulo: Dividindo-se o  $D_p$  pelo número de dentes ( $z$ ), ou o passo ( $P$ ) por  $\pi$ , teremos um número que se chama módulo ( $M$ ). Esse número é que caracteriza a engrenagem e se constitui em sua unidade de medida. O módulo é o número que serve de base para calcular a dimensão dos dentes.
- ( $\alpha$ ) = Ângulo de pressão: Os pontos de contato entre os dentes da engrenagem motora e movida estão ao longo do flanco do dente e, com o movimento das engrenagens, deslocam-se em uma linha reta, a qual forma, com a tangente comum às duas engrenagens, um ângulo. Esse ângulo é chamado ângulo de pressão ( $\alpha$ ), e no sistema modular é utilizado normalmente com 20 ou 15°.

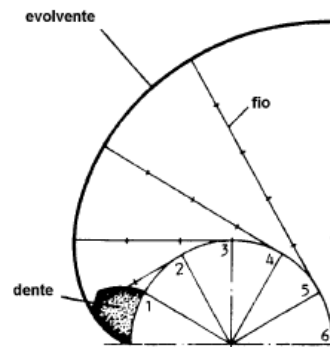
### Perfil do flanco do dente

O perfil do flanco do dente é caracterizado por parte de uma curva cícloidal chamada evolvente. A figura a seguir apresenta o processo de desenvolvimento dessa curva.

O traçado prático da evolvente pode ser executado ao redor de um círculo, marcando-se a trajetória descrita por um ponto material definido no próprio fio.

Quanto menor for o diâmetro primitivo ( $D_p$ ), mais acentuada será a evolvente.

Quanto maior for o diâmetro primitivo, menos acentuada será a evolvente, até que, em uma engrenagem de  $D_p$  infinito (cremalheira) a evolvente será uma reta. Neste caso, o perfil do dente será trapezoidal, tendo como inclinação apenas o ângulo de pressão ( $\alpha$ ).



### Engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais

Os dentes são dispostos transversalmente em forma de hélice em relação ao eixo.

É usada em transmissão fixa de rotações elevadas por ser silenciosa devido a seus dentes estarem em componente axial de força que deve ser compensada pelo mancal ou rolamento.

Serve para transmissão de eixos paralelos entre si e também para eixos que formam um ângulo qualquer entre si (normalmente 60 ou 90°).



### Parafuso sem-fim

Os parafusos sem-fim são usados para transmitir potência entre eixos reversos. O ângulo formado entre os eixos é na grande maioria dos casos 90°.

Relações de transmissão relativamente altas podem ser obtidas satisfatoriamente num espaço mínimo, porém com sacrifício do rendimento, comparativamente com outros tipos de engrenagens.

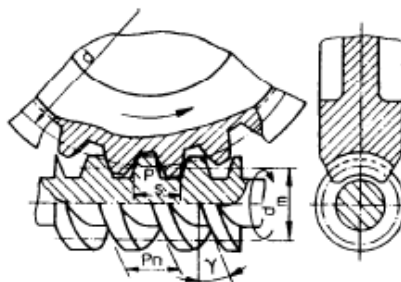
Nos parafusos sem-fim a rosca desliza em contato com os dentes da engrenagem helicoidal, evitando assim o efeito do impacto entre os dentes como nos casos dos outros tipos de engrenagem. Este efeito resulta num funcionamento silencioso se o projeto e fabricação forem adequados. Este deslizamento provoca um maior atrito, que pode levar algumas vezes a problemas de aquecimento e perda de rendimento.

O parafuso sem-fim pode ter uma, duas, três ou mais entradas. O passo axial da rosca sem-fim é igual ao passo frontal da engrenagem helicoidal. O avanço é a distância axial que o parafuso se desloca em cada volta completa.



São usados quando se precisa obter grande redução de velocidade e conseqüente aumento de momento torsor.

Quando o ângulo de inclinação ( $\gamma$ ) dos filetes for menor que  $5^\circ$ , o engrenamento é chamado de auto-retenção. Isto significa que o parafuso não pode ser acionado pela coroa.



Nos engrenamentos sem-fim, como nas engrenagens helicoidais, aparecem forças axiais que devem ser absorvidas pelos mancais.

Entre o sem-fim e a coroa produz-se um grande atrito de deslizamento. A fim de manter o desgaste e a geração de calor dentro dos limites, adequam-se os materiais do sem-fim (aço) e da coroa (ferro fundido ou bronze), devendo o conjunto funcionar em banho de óleo.

### Relação de transmissão ( i )

Para engrenagens em geral:

$$i = \frac{Dp_2}{Dp_1} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Onde:

Dp1 = diâmetro primitivo da roda motora

Dp2 = diâmetro primitivo da roda movida

Z1 = número de dentes da roda motora

Z2 = número de dentes da roda movida

### Chavetas

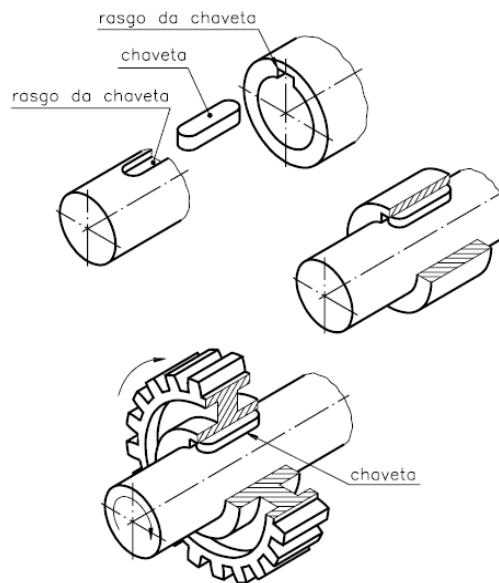
Chavetas são elementos utilizados para transmissão de torque e para união entre eixo e cubo. A maioria das chavetas são chavetas planas ou quadradas. As chavetas planas tem seção retangular, com a menor dimensão localizada na direção radial e podem ou não ser afiladas (em cunha). As chavetas quadradas tem seção quadrada e, igualmente podem ou não ser afiladas. Quando uma chaveta esta no lugar, o cubo faz pressão sobre a sua metade superior de um lado e árvore sobre sua metade inferior do outro lado, resultando um conjugado, que vai atuar tendendo a virar a chaveta na sua sede.

Diversas são as formas de unirmos o cubo com o eixo. As soluções devem ser tal que a união seja rígida ou móvel e preferencialmente provisória. Além disso, o tipo de esforço recebido ou transmitido também será fator decisivo na escolha da

solução. Estes podem ser classificadas em duas categorias:

- esforços predominantemente axiais;
- esforços predominantemente tangenciais.

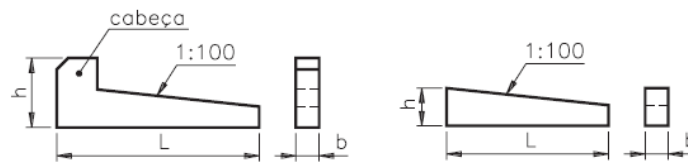
Em ambos os casos o esforço pode ser transmitido do eixo ao cubo ou vice-versa. Como exemplos típicos podemos citar para o primeiro caso a união haste-pistão e, para o segundo, a união eixo engrenagem.



### Chavetas de cunha (ABNT-PB-121)

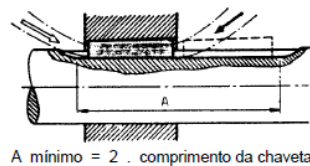
As ranhuras não devem ser muito profundas, no eixo, uma vez que a resistência diminui à medida que a ranhura se aprofunda, mas devem ser suficientemente profundas para oferecerem boa proporção. Existem tabelas em que encontram-se as dimensões da seção das chavetas retangulares e quadradas de acordo com o diâmetro do eixo. As chavetas tanto retangulares quanto quadradas podem ser afiladas para facilitar a montagem e retirada do lugar e também para permitir montar o cubo apertado (justo) contra árvore. O rasgo afilado é feito no cubo e não na árvore. A alta pressão provocada pelas chavetas afiladas resulta numa grande força de atrito que ajuda na transmissão da potência e pode ser tão grande a ponto de induzir tensões perigosas (quebrar o cubo).





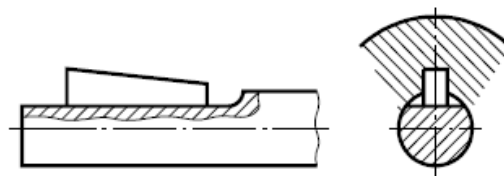
### Chaveta encaixada (DIN 141, 490 e 6883)

É uma chaveta bastante comum e sua forma corresponde ao tipo mais simples de chaveta de cunha. Para facilitar seu emprego, o rasgo da árvore é sempre mais comprido que a chaveta.



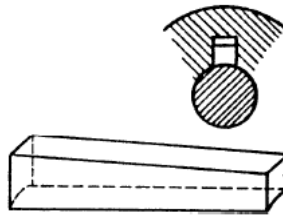
### Chaveta plana (DIN 142 e 491)

Sua forma é similar à da chaveta encaixada, porém, para sua montagem não se abre rasgo no eixo. É feito um rebaixo plano.



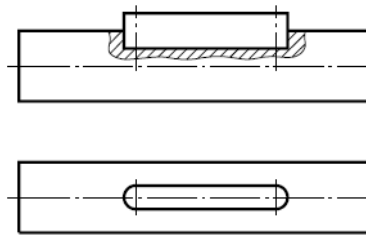
### Chaveta meia-cana (DIN 143 e 492)

Sua base é côncava (com o mesmo raio do eixo). Sua inclinação é de 1:100, com ou sem cabeça. Não é necessário rasgo na árvore, pois transmite o movimento por efeito do atrito, de forma que, quando o esforço no elemento conduzido é muito grande, a chaveta desliza sobre a árvore.



### Chavetas embutidas

Essas chavetas têm os extremos arredondados, conforme se observa na vista superior da figura que segue. O rasgo para seu alojamento no eixo possui o mesmo comprimento da chaveta. As chavetas embutidas nunca têm cabeça.



### Chavetas tangenciais (DIN 268 e 271)

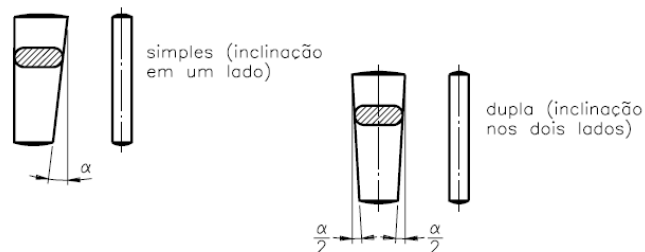
São formadas por um par de cunhas, colocado em cada rasgo. São sempre utilizadas duas chavetas, e os rasgos são posicionados a  $120^\circ$ . Transmitem fortes cargas e são utilizadas, sobretudo, quando o eixo está submetido a mudança de carga ou golpes.



### Chavetas transversais

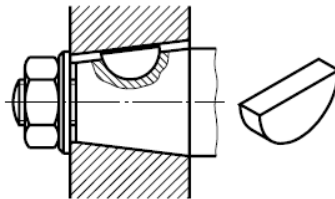
São aplicadas em união de peças que transmitem movimentos rotativos e retilíneos alternativos. Quando as chavetas transversais são empregadas em uniões

permanentes, sua inclinação varia entre 1:25 e 1:50. Se a união se submete a montagem e desmontagem freqüentes, a inclinação pode ser de 1:6 a 1:15.



### Chaveta woodruff ou chaveta meia lua (DIN 496 e 6888)

A chaveta meia lua, é usada para pequenos esforços e, na maioria das vezes, para montagem eixo-cubo cônica, pois se adapta facilmente a conicidade do fundo do rasgo do elemento externo.

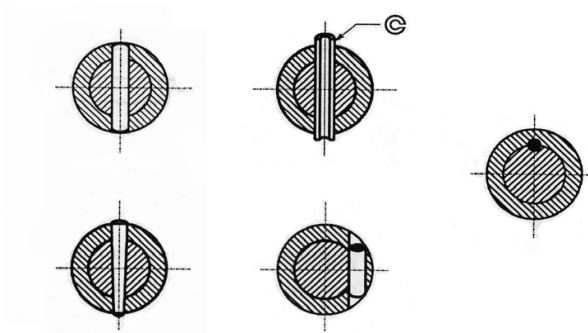


### Chavetas de pinos

Um pino, cilíndrico ou cônico usado como chaveta, é chamado de chaveta de pino. Pode ser instalada longitudinalmente ou transversalmente em relação ao eixo. No primeiro caso a potência transmitida é menor do que no segundo. Chavetas de pino são fáceis de instalar e, quando montadas na posição transversal, são algumas vezes usadas como pinos de cisalhamento. Com os pinos cônicos obtém-se uma montagem mais firme.

Outro tipo de pino são os chamados pinos elásticos, que consistem num pino cilíndrico vazado com um rasgo em um dos lados. Uma de suas extremidades é

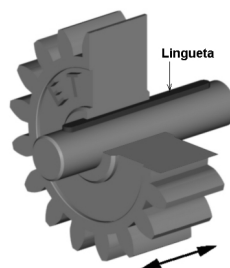
chanfrada para facilitar sua entrada no orifício que possui diâmetro menor, provocando o fechamento do rasgo. O pino exerce uma pressão contra as paredes do orifício produzindo seu travamento.



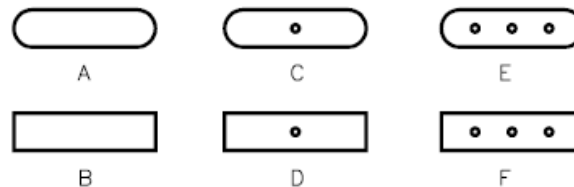
### Chavetas paralelas ou lingüetas (DIN 269)

Uma lingüeta permite ao cubo mover-se ao longo da árvore, porém impede a rotação isolada do mesmo e é usada, por exemplo, para permitir o movimento de uma engrenagem para engate ou desengate e para ligar ou desligar uma embreagem de dentes. A lingüeta pode ser fixa na árvore ou no cubo. É preferível usar duas lingüetas deslocadas de  $180^\circ$  porque neste caso a força necessária para o deslocamento axial é bem menor.

Essas chavetas têm as faces paralelas, portanto, não têm inclinação. A transmissão do movimento é feita pelo ajuste de suas faces laterais às laterais do rasgo da chaveta. Fica uma pequena folga entre o ponto mais alto da chaveta e o fundo do rasgo do elemento conduzido.

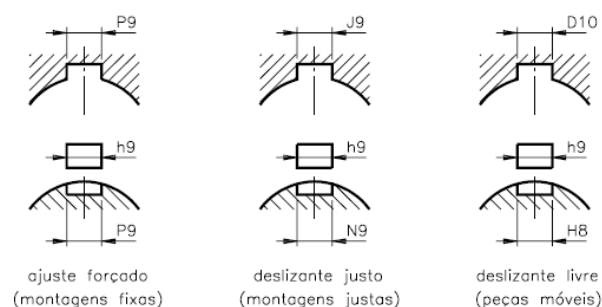


As chavetas paralelas não possuem cabeça. Quanto à forma de seus extremos, eles podem ser retos ou arredondados. Podem, ainda, ter parafusos para fixarem a chaveta ao eixo.



### Tolerâncias para chavetas

O ajuste da chaveta deve ser feito em função das características do trabalho. A figura mostra os três tipos mais comuns de ajustes e tolerâncias para chavetas e rasgos.



### Estrias ou Ranhuras

A transmissão de momentos de torção elevados pode exigir um comprimento de chaveta muito grande. Podemos resolver este problema com o uso de duas ou mais chavetas o que com certeza enfraqueceria o eixo. A solução então é abrir várias chavetas equidistantes, diretamente no eixo e conseqüentemente são feitas canaleta no cubo.

Desta forma, um eixo estriado é, na realidade, um eixo de chavetas múltiplas, com as chavetas nele incorporadas. Amplamente utilizada na indústria automobilística, as estrias apresentam como principais vantagens:

- transmissão de maior torque;

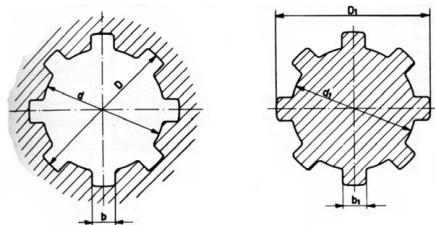
- maior resistência à fadiga;
- melhor alinhamento (balanceamento);
- melhor estabilidade em altas rotações.

A execução de estrias em qualquer das seções de uma árvore de transmissão, além de substituir as chavetas, permite a transmissão de momentos muito elevados, de atuação cíclica ou com pesados choques. Para uma mesma transmissão, a árvore estriada é mais forte do que a árvore com chavetas.

O perfil das estrias pode ser:

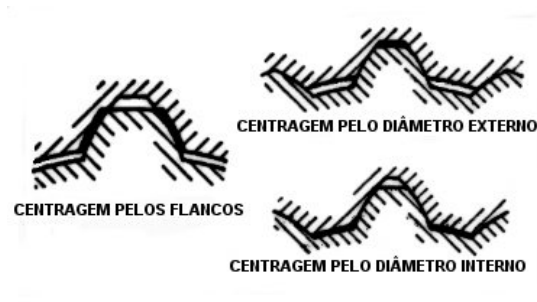
### **De lados retos e paralelos ao eixo de simetria**

Esse tipo de perfil apresenta uma série de ranhuras longitudinais em torno de sua circunferência. Essas ranhuras engrenam-se com os sulcos correspondentes de peças que serão montadas no eixo. Este tipo de estria é utilizada para transmitir grande força.



### **De lados com perfil evolvente**

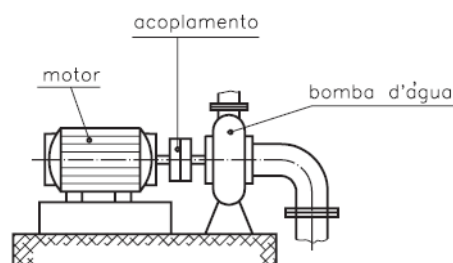
Estas estrias apresentam vantagens sobre as anteriores, podendo-se citar como as principais, as seguintes: maior capacidade de carga, concentração de tensões bem mais reduzidas, centragem mais perfeita dada a tendência de auto-alinhamento resultante da forma construtiva, possibilidade de execução em máquinas de grande produção e alta precisão. A figura abaixo apresenta o perfil típico, mostrando também as três possibilidades de centragem normalmente utilizadas.



## Acoplamentos

Acoplamento é um conjunto mecânico, constituído de elementos de máquina, empregado na transmissão de movimento de rotação entre duas árvores ou eixo-árvores.

Emprega-se o acoplamento quando se deseja transmitir um momento de rotação (movimento de rotação e forças) de um eixo motor a outro elemento de máquina situado coaxialmente a ele.



Observação: Os acoplamentos que operam por atrito são chamados de embreagem (fricção) ou freios.

## Classificação dos acoplamentos

Os acoplamentos classificam-se em permanentes e comutáveis. Os permanentes atuam continuamente e dividem-se em rígidos e flexíveis. Os comutáveis atuam obedecendo a um comando.

## **Acoplamentos permanentes**

Os acoplamentos permanentes são usados para conectar eixos que durante o funcionamento da máquina ou equipamento não existe a necessidade de haver sua desconexão, o que só ocorrerá em caso de manutenção.

São usados onde:

- a) os eixos das árvores são colineares; por exemplo: acoplamento de flange;
- b) os eixos das árvores se cruzam; por exemplo: junta universal;
- c) os eixos das árvores são paralelos; por exemplo: junta Oldham.

Acoplamentos permanentes ligando árvores colineares são de dois tipos: rígidos e flexíveis. Por causa da dificuldade prática de colocar e manter duas árvores em alinhamento exato, um acoplamento rígido pode induzir tensões que acarretam falhas por fadiga.

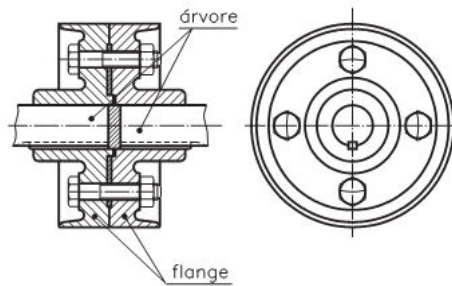
### **Acoplamentos permanentes rígidos**

#### **Flanges**

O acoplamento por flange é o método clássico de conectar árvores e é bem adequado a transmissão de potência elevada em baixa velocidade. Para assegurar um alinhamento preciso, estes acoplamentos são feitos frequentemente, com uma protuberância que encaixa num rebaixo. Algumas vezes, o alinhamento é obtido, fazendo-se uma árvore ultrapassar o seu flange e avançar um pouco no furo do flange conjugado e, algumas vezes, faceando os flanges no lugar após terem sido colocados com interferência nas árvores.

Os parafusos de ligação dos flanges devem suportar a carga a que estão submetidos tão uniformemente quanto possível. Para isso devem ser encaixados precisamente e apertados firmemente. Para melhores resultados, os orifícios para parafusos devem ser alinhados e retificados no lugar.

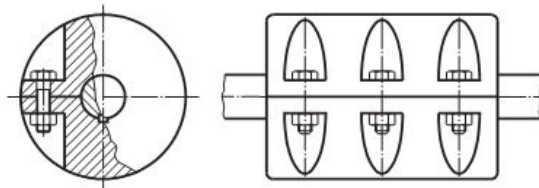




**Observação:** A união das luvas ou flanges à árvore é feita por chaveta, encaixe com interferência ou cones. Para transmissão de grandes potências usam-se os acoplamentos de disco ou os de pratos, os quais têm as superfícies de contato lisas ou dentadas.

#### **Acoplamento com luva de compressão ou de aperto**

Esse tipo de luva facilita a manutenção de máquinas e equipamentos, com a vantagem de não interferir no posicionamento das árvores, podendo ser montado e removido sem problemas de alinhamento.



#### **Acoplamentos permanentes flexíveis**

Esses elementos são empregados para tornar mais suave a transmissão do movimento em árvores que tenham movimentos bruscos e quando não se pode garantir um perfeito alinhamento entre as árvores. Os acoplamentos elásticos são construídos em forma articulada, elástica ou articulada e elástica.

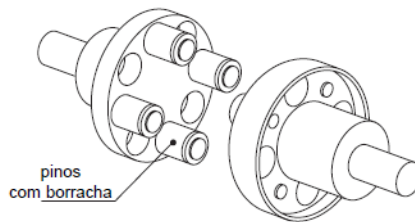
Eixos ligeiramente desalinhados, conectados por acoplamentos rígidos, são forçados a sofrer inversão de tensão contínuas, que podem induzir a uma ruptura

progressiva. Uma pressão além do normal é exercida sobre os mancais, provocando superaquecimento e, possivelmente, problemas mais graves. Estes inconvenientes, provenientes da flexão dos eixos, são eliminados ou aliviados quando um acoplamento flexível é usado. Eles permitem pequenos desvios angulares e deslocamento dos eixos e, possuem também a capacidade de absorver alguns choques.

Os acoplamentos flexíveis, consistem de dois cubos, um em cada eixo, projetados de modo que ambos se liguem com um elemento intermediário, flexível ou flutuante, ou ambas as coisas. Os eixos devem ser cuidadosamente alinhados pois estes são usados para absorver desalinhamentos casuais, tal como os que decorrem do assentamento de pisos ou fundações, desgastes dos mancais, variações de temperatura ou uma deflexão anormal provocada por uma correia apertada demais.

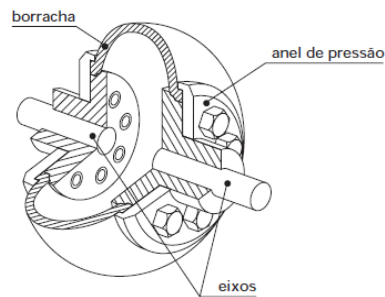
### **Acoplamento elástico de pinos**

Os elementos transmissores são pinos de aço com mangas de borracha.



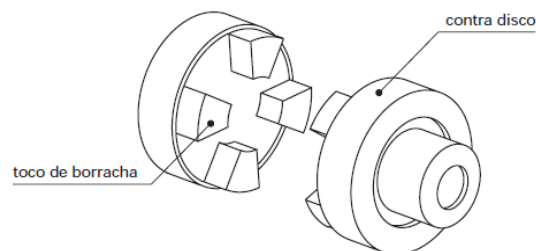
### Acoplamento perflex

Os discos de acoplamento são unidos perifericamente por uma ligação de borracha apertada por anéis de pressão. Esse acoplamento permite o jogo longitudinal de eixos.



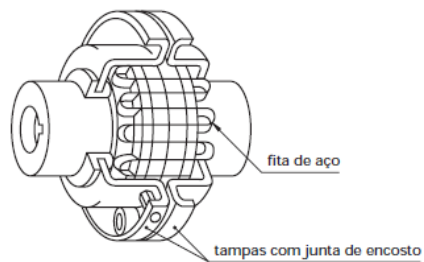
### Acoplamento elástico de garras

As garras, constituídas por tocos de borracha, encaixam-se nas aberturas do contra disco e transmitem o movimento de rotação.



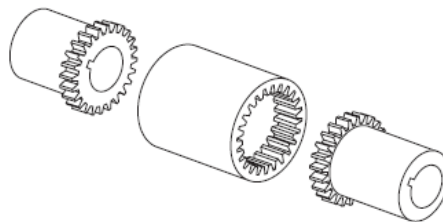
### Acoplamento elástico de fita de aço

Consiste de dois cubos providos de flanges ranhuradas, nos quais está montada uma grade elástica que liga os cubos. O conjunto está alojado em duas tampas providas de junta de encosto e de retentor elástico junto ao cubo. Todo o espaço entre os cubos e as tampas é preenchido com graxa. Apesar de esse acoplamento ser flexível, as árvores devem estar bem alinhadas no ato de sua instalação para que não provoquem vibrações excessivas em serviço.



### **Acoplamento de dentes arqueados**

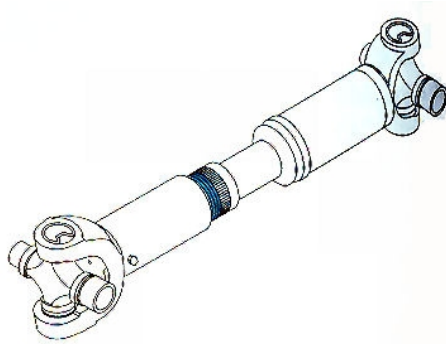
Os dentes possuem a forma ligeiramente curvada no sentido axial, o que permite até 3 graus de desalinhamento angular. O anel dentado (peça transmissora do movimento) possui duas carreiras de dentes que são separadas por uma saliência central.



### **Acoplamentos Articulados**

#### **Juntas universais (cardan)**

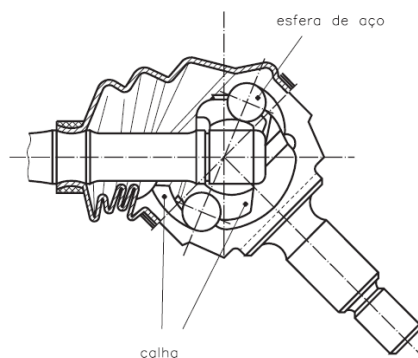
são acoplamentos usados na ligação de árvores que formam um ângulo permanente entre si. As juntas universais (junta cardan) consistem basicamente de dois cubos que possuem cada um garfo os quais são ligados a uma cruzeta. As juntas universais ligando eixos que se cruzam possuem o inconveniente de não transmitirem o movimento a frequência constante.



**Observação:** *árvores paralelas ligadas por uma junta universal dupla podem transmitir movimentos uniformes.*

### **Junta universal homocinética**

Esse tipo de junta é usado para transmitir movimento entre árvores que precisam sofrer variação angular, durante sua atividade. Essa junta é constituída de esferas de aço que são acomodadas em alojamentos específicos denominados calhas.

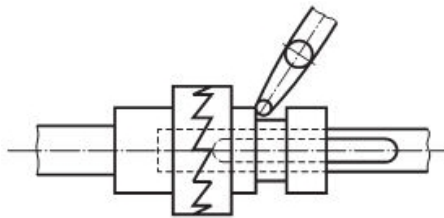


### **Acoplamentos móveis (embreagem)**

São empregados para permitir a conexão e a desconexão das árvores sem a necessidade de desmontar o acoplamento. Esses acoplamentos transmitem força e movimento somente quando acionados, isto é, são controlados por um comando. Existem dois tipos de embreagens:

### **Embreagens por adaptação de forma**

As embreagens de adaptação de forma são aquelas em que o movimento é transmitido de uma árvore para outra quando um cubo se conecta ao outro através do encaixe de um ou mais ressaltos (pinos, dentes, etc). As embreagens por adaptação de forma precisam de sincronismo para serem engatadas, ou seja, quando as duas árvores possuem a mesma velocidade (a velocidade de uma em relação a outra é igual a zero).



Geralmente, esses acoplamentos são usados em aventais (carros de tornos) e caixas de engrenagens de máquinas-ferramenta convencionais.

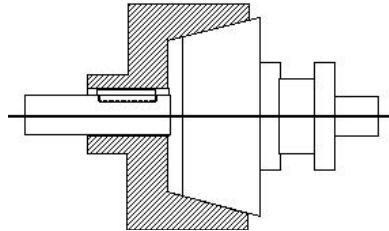
### **Embreagens por atrito**

As embreagens por atrito são aquelas em que o acoplamento se faz através do atrito entre duas ou mais superfícies. Este tipo de embreagem permite o acoplamento mesmo sem que haja sincronismo.

### **Embreagem cônica**

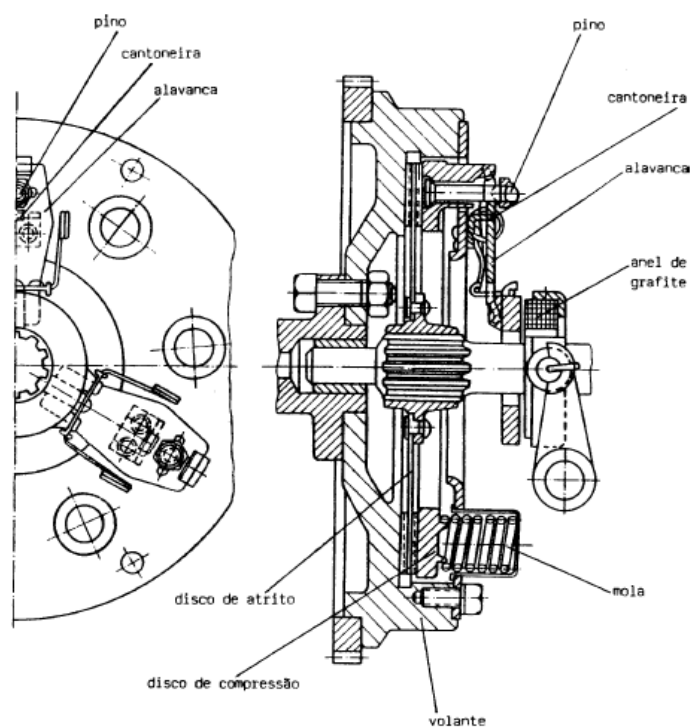
Possui duas superfícies de fricção cônicas, uma das quais pode ser revestida com um material de alto coeficiente de atrito. A capacidade de torque de uma embreagem cônica é maior que a de uma embreagem de disco de mesmo diâmetro.

Sua capacidade de torque aumenta com o decréscimo do ângulo entre o cone e o eixo. Esse ângulo não deve ser inferior a  $8^\circ$  para evitar o emperramento.



### Embreagem de disco

Consiste em anéis planos apertados contra um disco feito de material com alto coeficiente de atrito, para evitar o escorregamento quando a potência é transmitida. Normalmente a força é fornecida por uma ou mais molas e a embreagem é desengatada por uma alavanca.



### Tipos de acionamentos para embreagens

Para que se possa conectar e desconectar as árvores são usados diversos

tipos de acionamento das embreagens.

- Acionamento manual - por meio de alavancas ou pedais;
- Acionamento eletromagnético - por meio de solenóides ou bobinas;
- Acionamento hidráulico - por meio de pistões hidráulicos;
- Acionamento pneumático - por meio de pistões pneumáticos;
- Acionamento por mola - através da pressão de uma mola.

### **Aplicações**

As embreagens podem ser usadas com diversas finalidades, dentre elas destacamos:

- Aceleração;
- Reversão de movimento;
- Mudança de velocidade;
- Segurança.

### **Montagem de acoplamentos**

Os principais cuidados a tomar durante a montagem dos acoplamentos são:

Colocar os flanges à quente, sempre que possível.

Evitar a colocação dos flanges por meio de golpes: usar prensas ou dispositivos adequados.

O alinhamento das árvores deve ser o melhor possível mesmo que sejam usados acoplamentos elásticos, pois durante o serviço ocorrerão os desalinhamentos a serem compensados.

Fazer a verificação da folga entre flanges e do alinhamento e concentricidade do flange com a árvore.

Certificar-se de que todos os elementos de ligação estejam bem instalados antes de aplicar a carga.



## **Volantes**

São massas girantes instaladas em sistemas girantes de elementos de máquinas para agirem como um reservatório de energia cinética.

Geralmente a função de um volante é controlar as flutuações de velocidade angular e do torque, que afetam a fonte de potência, carga ou ambos.

Com a utilização de volantes podemos obter uma ou mais das vantagens potenciais que seguem:

1. amplitude reduzida da flutuação de velocidade;
2. Pico de torque motor necessário reduzido;
3. Tensões reduzidas nos eixos, acoplamentos, e possivelmente em outros componentes do sistema;
4. energia automaticamente armazenada e retirada conforme a necessidade durante o ciclo.

## **Materiais de volantes**

Volantes de baixa performance com baixa velocidade podem ser feitos de, praticamente, qualquer material. Volantes de aros e raios, quando usados em baixas rotações, geralmente são confeccionados em ferro fundido, por motivos econômicos.

Quando são necessárias velocidades um pouco mais elevadas, aço fundido pode ser usado pois apresenta propriedades de resistência melhores se comparados ao ferro fundido.

Para velocidades operacionais elevadas devem ser dada atenção especial a forma geométrica, seleção do material, concentração de tensões, tensões residuais, etc.

Pecas unidas por soldagem podem ser aplicadas na construção de volantes.

Avanços recentes com materiais compósitos com fibras geometricamente posicionadas tem mostrado um alto potencial para volantes. Compósitos de vidro-epóxi, aço-epóxi e grafite-epóxi, apresentam uma alta capacidade de armazenar energia e um potencial de operação segura em altas velocidades.

## BIBLIOGRAFIA

MELCONIAN, Sarkis. Elementos de Máquina. 8ª edição. São Paulo: Editora Érica, 2007.

SHIGLEY, Joseph E. , MISCHKLE, Charles R., BUDYNAS, Richard G. Projeto de Engenharia Mecânica. São Paulo: Bookman, 2005.

COLLINS, Jack. Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas: Uma Perspectiva de Prevenção de Falhas. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CUNHA, Lauro Salles. CRAVENCO, Marcelo Padovani. Manual Prático do Mecânico. São Paulo: Hemus, 2007.

NORTON, Robert L. Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada. 2ª edição. São Paulo: Bookman, 2004.

Apostila de Elementos de Máquinas **SENAI**.

Apostila de Elementos de Máquinas **TELECURSO 2000**.