

# INTRODUÇÃO A USINAGEM



CAMPUS VIII  
Varginha- MG

Prof. : Tarcísio Gonçalves de Brito

## Índice

INTRODUÇÃO.....	(3)
COM CAVACO OU SEM CAVACO?.....	(5)
PROCESSOS DE USINAGEM.....	(9)
FERRAMENTA DE CORTE.....	(11)
MOVIMENTO DE CORTE.....	(17)
ESTUDO DO CAVACO.....	(21)
GERAÇÃO DE CALOR E DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS.....	(24)
FLUIDO DE CORTE.....	(24)
CONCEITUAÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	(32)
NOÇÕES BASICAS DE UMA MAQUINA-FERRAMENTA.....	(33)
PRINCIPAIS PARTES DO TORNO.....	(38)
CONTROLE DA MEDIDA.....	(42)
FRESAGEM.....	(43)
FRESADORAS.....	(45)
FRESAS.....	(47)

TIPOS DE FRESAS E SUAS APLICAÇÕES.....	(49)
CALCULO DA RPM, AVANÇO E PROFUNDIDADE DE CORTE EM FRESAGEM.....	(51)
FRESANDO SUPERFICIE PLANA, PLANA INCLINADA E EM ESQUADRO.....	(54)
PINÇAS E MANDRIS, (EIXOS PORTA-FRESAS).....	(56)
CABEÇOTE DIVISOR.....	(57)
RUGOSIDADE.....	(66)
TOLERANCIA DE FORMA.....	(78)
REFERENCIAS.....	(87)

## **INTRODUÇÃO**

### **A USINAGEM COMO REFERENCIAL PRÉ-HISTÓRICO**

A Pré-História compreende o período que vai desde o surgimento do homem até o aparecimento da escrita, sendo subdividida em:

- Idade da Pedra Lascada (Paleolítico- fig. Machado de Pedra Lascada).
- Idade da Pedra Polida (Neolítico - fig. Foice de osso).
- Idade dos Metais (fig. Pontas de armas).

Observe que a usinagem evoluiu juntamente com o homem, sendo usada como parâmetro de subdivisão de um período.



Fonte: SOUZA. Osvaldo, "História Antiga e Medieval", Editora Atica

### **Surge o Princípio da Fabricação.**

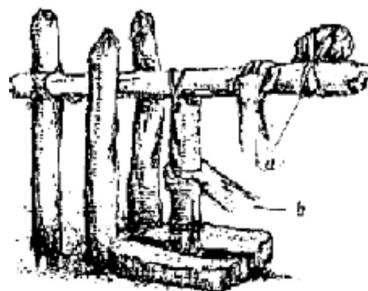
No Período Paleolítico, as facas, pontas de lanças e machados eram fabricados com lascas de grandes pedras. No Período Neolítico, os artefatos eram obtidos com o desgaste e polimento da pedra (Princípio da Retificação).

### **Surge o Conhecimento de Novos Materiais.**

O Homem passa a usar metais na fabricação de ferramentas e armas no fim da pré-história. Os primeiros metais a serem conhecidos foram o cobre e o ouro, e, em escala menor, o estanho. O ferro foi o último metal que o homem passou a utilizar na fabricação de seus instrumentos.

### **A Evolução da Ferramenta.**

Com a pancada de uma cunha manual surgiu o cinzel, movimentando esta ferramenta para frente e para trás, aplicando-se pressão surgiu a serra.



### **Dispositivo da era Neolítica usado no corte de pedras**

Um grande avanço nesse período foi a transformação do movimento de translação em movimento de rotação (com sentido de rotação invertido a cada ciclo). Este princípio foi aplicado em um dispositivo denominado Furação de Corda Puxada. A prova da existência desse mecanismo foi uma pintura encontrada em um túmulo datado de 1450 A.C.

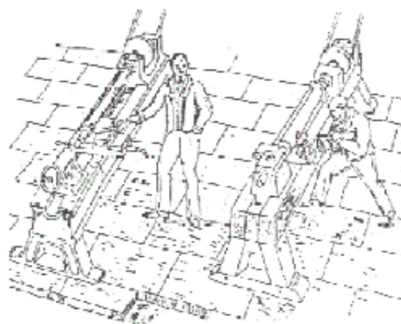


## A Evolução da Máquina Ferramenta

A figura abaixo mostra que a evolução das máquinas possibilitou que um só homem, com pouco esforço físico, realizasse seu trabalho.



No século 19 o trabalho do ferreiro era muito lento. Surgem então as máquinas movidas a vapor (energia esta transmitida através da oficina por meio de eixos, correias e roldanas). Mais tarde o vapor seria substituído pela energia elétrica. A introdução de suporte mecânico no torno é outro exemplo de um grande avanço no processo de fabricação. O suporte eliminou a necessidade de segurar as ferramentas com as mãos, diminuindo, portanto o risco de acidentes.



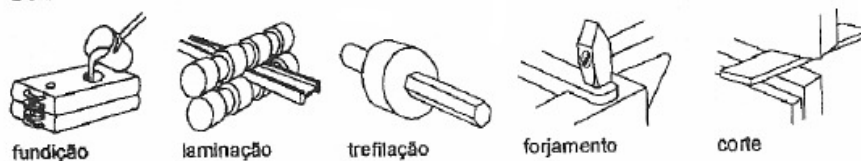
Porém foi durante o período de guerra que ocorreu considerável progresso das máquinas destinadas à fabricação. O marco deste progresso foi o surgimento de partes intercambiáveis.

## COM CAVACO OU SEM CAVACO?

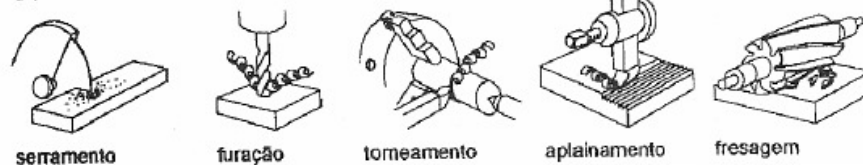
Todos os conjuntos mecânicos que nos cercam são formados por uma porção de peças: eixos, anéis, discos, rodas, engrenagens, juntas, suportes, parafusos, carcaças... Para que essas peças sirvam às necessidades para as quais foram fabricadas, elas devem ter exatidão de medidas e um determinado acabamento em sua superfície.

A maioria dos livros sobre processos de fabricação diz que é possível fabricar essas peças de dois modos: sem a produção de cavacos, como nos processos metalúrgicos (fundição, laminação, trefilação etc.), e com produção de cavacos, o que caracteriza todos os processos de usinagem.

#### Sem cavaco



#### Com cavaco



Na maioria dos casos, as peças metálicas fabricadas por fundição ou forjamento necessitam de alguma operação posterior de usinagem. O que acontece é que essas peças geralmente apresentam superfícies grosseiras que precisam de melhor acabamento. Além disso, elas também deixam de apresentar saliências, reentrâncias, furos com rosca e outras características que só podem ser obtidas por meio da produção de cavacos, ou seja, de usinagem. Isso inclui ainda as peças, por questões de produtividade e custos, não podem ser produzidas por processos de fabricação convencionais.

Assim podemos dizer que a usinagem é todo o processo pelo qual a forma de uma peça é modificada pela remoção progressiva de cavacos ou aparas de material metálico ou não-metálico. Ela permite:

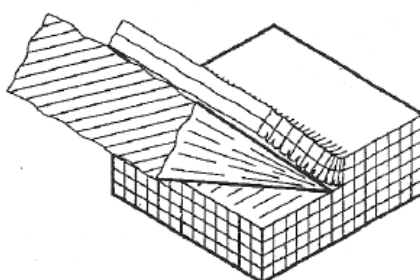
- Acabamento de superfície de peças fundidas ou conformadas, fornecendo melhor aspecto e dimensões com maior grau de exatidão;
- Possibilidade de abertura de furos, roscas, rebaixos etc.;
- Custo mais baixo porque possibilita a produção de grandes quantidades de peças;
- Fabricação de somente uma peça com qualquer formato a partir de um bloco de material metálico, ou não-metálico.

Do ponto de vista da estrutura do material, a usinagem é basicamente um processo de cisalhamento, ou seja, ruptura por aplicação de tensão, que ocorre na estrutura cristalina do metal.

Como já foi dito, a usinagem é uma enorme família de operações, tais como:

Torneamento, aplainamento, furação, mandrilamento, fresamento, serramento, brochamento, roscamento, retificação, brunimento, lapidação, polimento, afiação, limagem, rasqueteamento.

Essas operações são realizadas manualmente ou por uma grande variedade de máquinas-ferramenta que empregam as mais variadas ferramentas. Vamos falar um pouco sobre essas ferramentas e como elas cortam, mas só na próxima parte da aula.

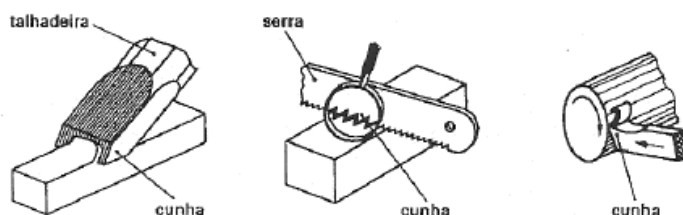


Corta!

Algumas das operações que citamos na outra parte da lição podem ser feitas tanto manualmente como com o auxílio das máquinas operatrizes ou das máquinas-ferramenta. Um exemplo de usinagem manual é a operação de limar.

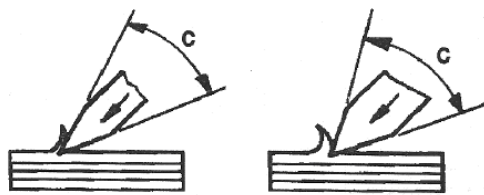
Tornear, por sua vez, só se faz com uma máquina-ferramenta denominada torno.

Quer seja com ferramentas usadas em um torno, uma fresadora ou uma furadeira, o corte dos materiais é sempre executado pelo que chamamos de princípio fundamental, um dos mais antigos e elementares que existe: a cunha.



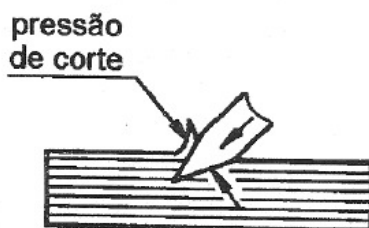
Observe que a característica mais importante da cunha é o seu ângulo de cunha ou ângulo de gume ( $c$ ).

Quanto menos ele for, mais facilidade a cunha terá para cortar. Assim uma cunha mais aguda facilita a penetração da aresta cortante no material, e produz cavacos pequenos, o que é bom para o acabamento da superfície.



## Pressão de corte

Por outro lado, uma ferramenta com um ângulo muito agudo terá a resistência de sua aresta cortante diminuída. Isso pode danificá-la por causa da pressão feita para executar o corte.

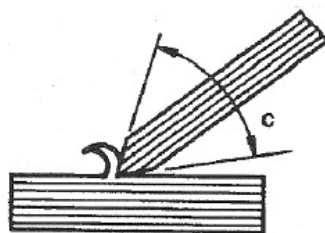


Outra coisa que a gente tem de lembrar é que qualquer material oferece certa resistência ao corte. Essa resistência será tanto maior quanto maiores forem a dureza e a tenacidade do material a ser cortado. Por isso, quando se constrói e se usa uma ferramenta de corte, deve-se considerar a resistência que o material oferecerá ao corte.

Por exemplo, a cunha de um formão pode ser bastante aguda porque a madeira oferece pouca resistência ao corte.



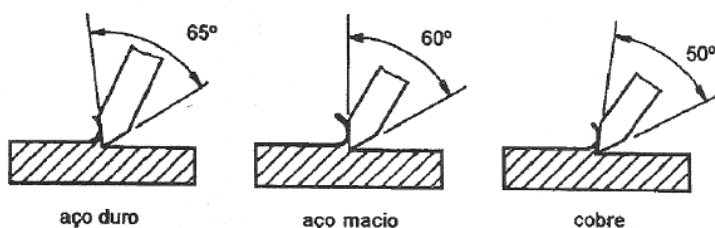
Por outro lado, a cunha de uma talhadeira tem um ângulo mais aberto para poder penetrar no metal sem se quebrar ou se desgastar rapidamente.



Isso significa que a cunha da ferramenta deve ter um ângulo capaz de vencer a resistência do material a ser cortado, sem que sua aresta cortante seja prejudicada.

**Dureza:** é a capacidade de um material resistir ao desgaste mecânico.

**Tenacidade:** é a capacidade de um material de resistir à quebra.

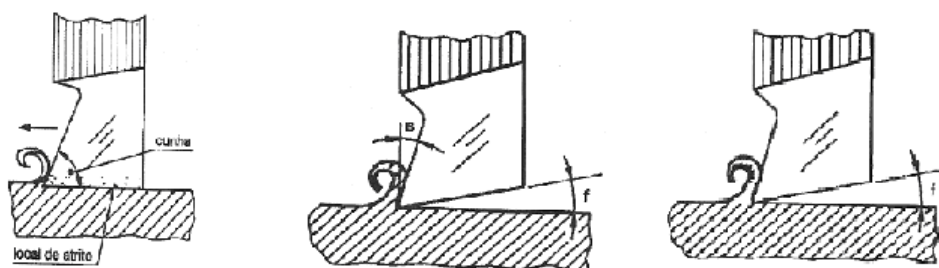


Porém, não basta que a cunha tenha um ângulo adequado ao material a ser cortado. Sua posição em relação à superfície que vai ser cortada também influencia decisivamente nas condições do corte.

Por exemplo, a ferramenta de plaina representada para cortar o material. Todavia, há uma grande área de atrito entre o topo da ferramenta e a superfície da peça.



Para solucionar esse problema, é necessário criar um ângulo de incidência ( $f$ ) que elimina a área de atrito entre o topo da ferramenta e o material da peça.



Além do ângulo de cunha ( $c$ ) e do ângulo de folga ( $f$ ), existe ainda um outro muito importante relacionado à posição da cunha. É o ângulo de saída ( $s$ ) ou ângulo de ataque.

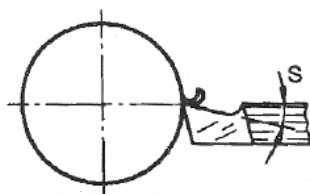
Do ângulo de saída depende um maior ou menor atrito da superfície de ataque da ferramenta. A consequência disso é o maior ou menor aquecimento da ponta da ferramenta. O ângulo de saída pode ser positivo, nulo ou negativo.



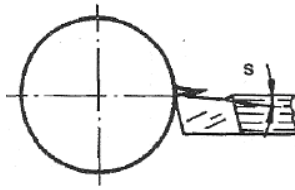
## Dica tecnológica

Para facilitar seu estudo, os ângulos de cunha, de folga e de saída foram denominados respectivamente de  $c$ ,  $f$  e  $s$ . Esses ângulos podem ser representados respectivamente pelas letras gregas  $\beta$  (lê-se beta),  $\alpha$  (lê-se alfa) e  $\gamma$  (lê-se gama).

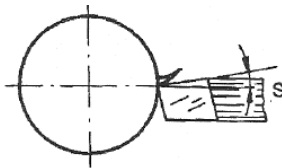
Para materiais que oferecem pouca resistência ao corte, o ângulo de cunha ( $c$ ) deve ser mais agudo e o ângulo de saída ( $s$ ) deve ser maior.



Para materiais mais duros a cunha deve ser mais aberta e o ângulo de saída ( $s$ ) deve ser menor.



Para alguns tipos de materiais plásticos e metálicos com irregularidades na superfície, adota-se um ângulo de saída negativo para as operações de usinagem.



Todos esses dados sobre os ângulos representam o que chamamos de geometria de corte. Para cada operação de corte, existem já calculados, os valores corretos para os ângulos da ferramenta a fim de se obter seu máximo rendimento.

Esses dados são encontrados nos manuais de fabricantes de ferramentas

## PROCESSOS DE USINAGEM

No processo de Usinagem uma quantidade de material é removida com auxílio de uma ferramenta de corte produzindo o cavaco, obtendo-se assim uma peça com formas e dimensões desejadas. De um modo geral, as principais operações de usinagem podem ser classificadas em:

- Torneamento
- Aplainamento
- Fresamento
- Furação
- Retificação

### Aplainamento

Na operação de aplainamento, o corte gera superfícies planas. O movimento da ferramenta de corte é de translação enquanto a peça permanece estática, ou vice-versa. Abaixo as possíveis operações de aplainamento.



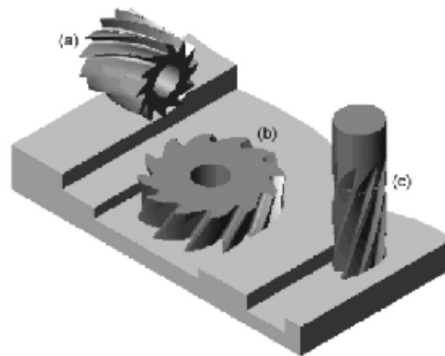
Aplainamento de rasgos; Aplainamento de Perfis; Aplainamento de Ranhuras em "T";



Aplainamento de Superfície Côncava; Aplainamento de Guias

## Fresamento

Na operação de fresamento a ferramenta de corte possui vários gumes e executa movimento de giro, enquanto é pressionada contra a peça. A peça movimenta-se (alimentação) durante o processo. A superfície usinada resultante pode ter diferentes formas, planas e curvas. Veja as variantes do processo.



(a) Fresamento Tangencial

(b) Fresamento frontal

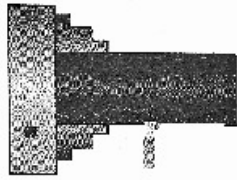
(c) Fresamento de topo

## Torneamento - o Processo

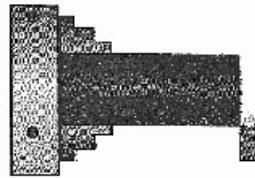
No torneamento, a matéria prima (tarugo) tem inicialmente a forma cilíndrica. A forma final é cônica ou cilíndrica. Na operação de corte a ferramenta executa movimento de translação, enquanto a peça gira em torno de seu próprio eixo. Abaixo as variações do processo de torneamento.

As principais operações executáveis através de torneamento são:

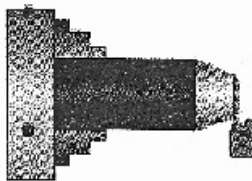
- Torneamento externo
- Torneamento interno
- Faceamento
- Sangramento



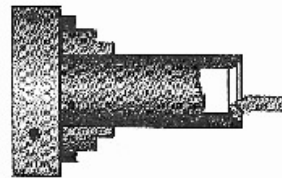
Sangramento Radial



Torneamento cilíndrico externo



Torneamento Cônico Externo

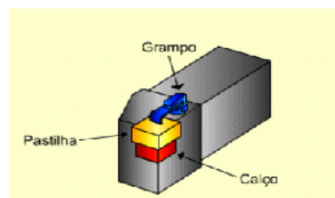


Torneamento Cilíndrico Interno

## FERRAMENTA DE CORTE

As ferramentas para torneamento sofreram um processo evolutivo ao longo do tempo. A demanda da produção, cada vez mais acelerada forçou a procura por ferramentas mais duráveis e eficientes. Dos cinzéis utilizados nas operações manuais até as pastilhas cerâmicas de alta resistência.

Os primeiros passos de pesquisa passaram pela procura das melhores geometrias para a operação de corte. A etapa seguinte dedicou-se à busca de materiais de melhores características de resistência e durabilidade. Finalmente passou-se a combinar materiais em novos modelos construtivos sincronizando as necessidades de desempenho, custos e redução dos tempos de parada no processo produtivo. Como resultado desta evolução consagrou-se o uso de ferramentas compostas, onde o elemento de corte é uma pastilha montado sobre uma base. Veja abaixo a montagem da pastilha sobre a base.



Exemplo de um Suporte Porta-Ferramenta

Existem diferentes tipos de pastilhas e sistemas de fixação. As pastilhas podem assumir diferentes formas geométricas. Elas podem também ser classificadas por tipo;

- face simples;
- dupla face;
- com ou sem quebra cavaco.

### Processo de Furação

Na furação uma ferramenta (broca) de dois gumes executa uma cavidade cilíndrica na peça. O movimento da ferramenta é uma combinação de rotação e deslocamento retilíneo (ao longo do eixo do furo).



Furação com broca helicoidal

Uma variante da furação é o alargamento de furos, onde uma ferramenta similar à broca, porém com múltiplos gumes, remove material de um furo, aumentando seu diâmetro, ao mesmo tempo conferindo-lhe um alto grau de acabamento. Este é um processo típico de acabamento.

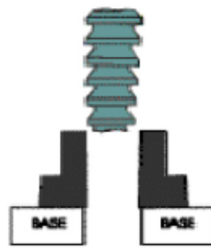


Alargamento de furos

### Brochamento

No brochamento a ferramenta multicortante executa movimento de translação, enquanto a peça permanece estática. Em alguns casos pode existir movimento rotativo relativo entre as duas.

- A superfície usinada resultante em geral é curva.
- O grau de acabamento do brochamento é superior.
- O processo é caro devido ao custo da ferramenta.
- O brochamento pode ser interno ou externo. Ilustrado abaixo o processo interno:



Brochamento interno

## Retificação

Na retificação a ferramenta remove material da peça por ação de grãos abrasivos. A ferramenta gira em torno de seu próprio eixo além de poder executar movimento de translação. A peça a usinar também pode movimentar-se. O processo é de alta precisão dimensional e proporciona grau de acabamento superior (polimento). Abaixo são exemplificados variações do processo.



Retificação Plana Retificação Interna

## Ferramentas de Corte de Geometria Definida

### Descrição Geral da Ferramenta

Agora vamos conhecer um pouco mais sobre este tipo de ferramenta de usinagem. A descrição a seguir é baseada numa ferramenta de tornear simples, que representa uma típica ferramenta de geometria definida. Assim buscamos fixar esta parte do conteúdo, que é muito importante, para entender o funcionamento das demais ferramentas de geometria definida, como brocas e fresas.

- Elementos da ferramenta
- Sistema de Referência e Planos
- Movimentos de Corte
- Ângulos da Ferramenta.

### Elementos da Ferramenta

- Superfície da Ferramenta

- Gumes e Quina

### Superfície da Ferramenta

FACE: Superfície da cunha sobre a qual o cavaco escoa.

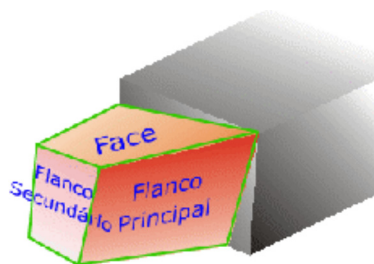
FACE REDUZIDA: É uma superfície que separa a face em duas regiões - face e face reduzida – de modo que o cavaco entre em contato somente com a face reduzida.

FLANCO: Superfície da cunha voltada para a peça.

FLANCO PRINCIPAL: Superfície da cunha voltada para a superfície transitória da peça.

FLANCO SECUNDÁRIO: Superfície da cunha voltada para a superfície usinada da peça.

QUEBRA CAVACO: São alterações presentes na face reduzida com o objetivo de controlar o tamanho do cavaco de modo que não ofereça risco ao operador e não obstrua o local de trabalho.



### Gumes e Quina

Usado como referência para medir os ângulos da ferramenta.

GUME: É o encontro da face com o flanco, destinada à operação de corte.

GUME PRINCIPAL: Interseção da face e do flanco principal.

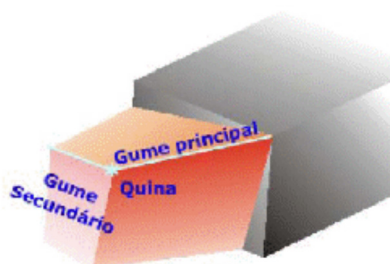
GUME SECUNDÁRIO: Interseção da face e do flanco secundário.

GUME ATIVO: É a parte do gume que realmente está cortando.

GUME PRINCIPAL ATIVO: É a parte do gume principal que realmente está cortando.

GUME SECUNDÁRIO ATIVO: É a parte do gume secundário que realmente está cortando.

QUINA: É o encontro do gume principal com o gume secundário.



## Sistema de Referência e Planos

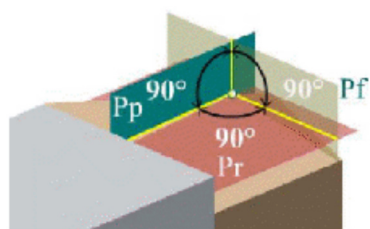
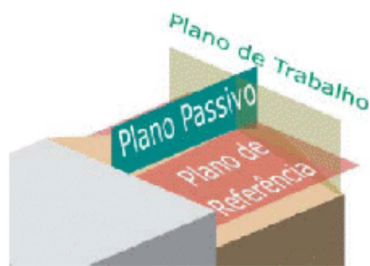
Para definir os planos e medir os ângulos da ferramenta é preciso selecionar um ponto de referência posicionado em qualquer parte do gume principal.

Sistema de Referência FERRAMENTA NA MÃO: Usado para medir os ângulos da ferramenta.

-Pr (Plano de referência da ferramenta): É paralelo à base da ferramenta no ponto selecionado.

-Pf (Plano de trabalho convencional): É perpendicular ao Pr e paralelo à direção de avanço.

-Pp (Plano passivo da ferramenta): É perpendicular ao Pr e ao Pf.



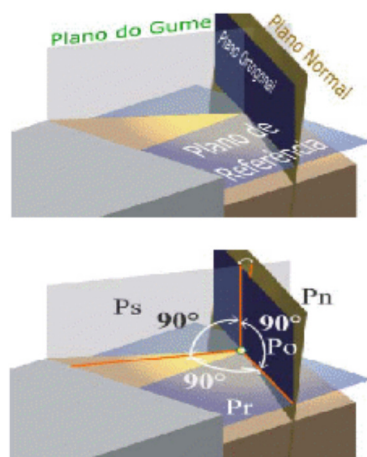
-Ps (Plano do gume da ferramenta): É tangente ao gume no ponto selecionado e perpendicular ao Pr;

-Pn (Plano normal ao gume): É perpendicular ao gume no ponto selecionado;

-Po (Plano ortogonal da ferramenta): É perpendicular ao Pr e Ps no ponto selecionado;

Obs.: Os planos Pn e Po são muito parecidos. Perceba que o plano normal é geralmente inclinado em relação ao plano ortogonal.





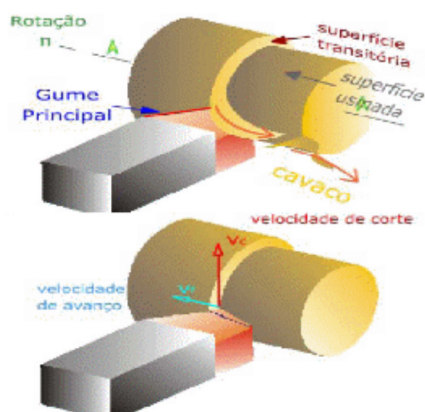
## MOVIMENTO DE CORTE

Movimentos da Peça e da Ferramenta

**MOVIMENTO DE CORTE:** É o movimento relativo entre a peça e a ferramenta que força o material da peça a escoar sobre a face da ferramenta, proporcionando a formação de cavaco.

**MOVIMENTO DE AVANÇO:** É o movimento relativo entre a peça e a ferramenta o qual, combinado ao movimento de corte, proporciona uma remoção contínua do cavaco e conseqüente formação de uma superfície usinada.

**MOVIMENTO RESULTANTE DE CORTE:** É o movimento resultante dos movimentos de corte e de avanço.



## Ângulos da Ferramenta

- Ângulos medidos no Plano de Referência
- Ângulos medidos no Plano do Gume
- Ângulos medidos no Plano Passivo

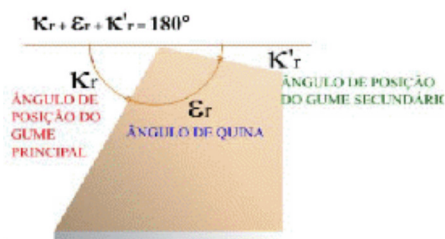
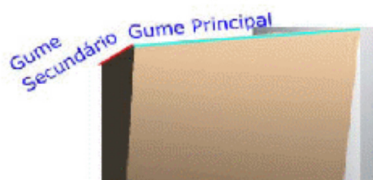
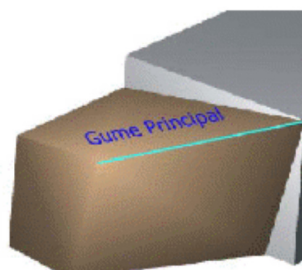
- Ângulos medidos no Plano de Trabalho
- Ângulos medidos no Plano Ortogonal
- Ângulos medidos no Plano Normal

- $\kappa_r$  (ângulo de direção do gume da ferramenta): Formado entre o plano de trabalho (Pf) e o gume principal, medido no plano de referência (Pr);

- $\epsilon_r$  (ângulo de quina da ferramenta): Formado entre o gume principal e o gume secundário, medido no Pr;

- $\kappa'_r$  (ângulo de direção do gume secundário da ferramenta): Formado entre o plano de trabalho (Pf) e o gume secundário, medido no Pr.

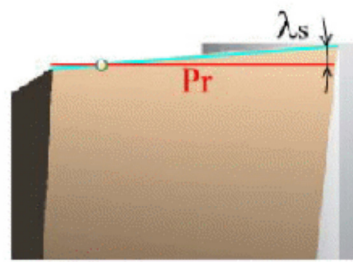
$$-\kappa_r + \epsilon_r + \kappa'_r = 180$$



### Ângulos medidos no Plano do Gume

- $\lambda_s$  (ângulo de inclinação do gume da ferramenta): Formado entre o gume e o plano de referência (Pr), medido no plano do gume (Ps).

ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DO GUME PRINCIPAL

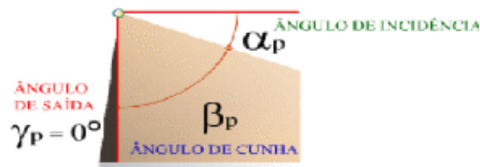


### Ângulos medidos no Plano Passivo

- $\alpha_p$  (ângulo de incidência passiva da ferramenta): Formado entre o plano do gume ( $P_s$ ) e o flanco secundário, medido no plano passivo ( $P_p$ ).

- $\beta_p$  (ângulo passivo de cunha da ferramenta): Formado entre a face e o flanco secundário, medido no  $P_p$ .

$$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ$$



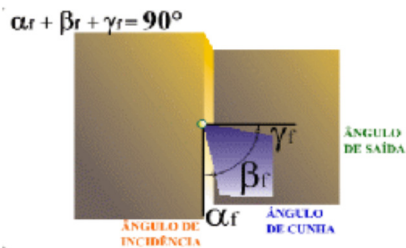
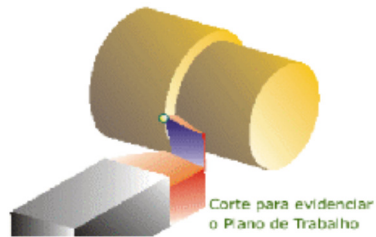
- $\gamma_p$  (ângulo de saída passiva da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência ( $P_r$ ), medido no  $P_p$ .

### Ângulos medidos no Plano de Trabalho

- $\alpha_f$  (ângulo de incidência lateral da Ferramenta): Formado entre o flanco principal e o plano do gume ( $P_s$ ), medido no plano de trabalho ( $P_f$ ).

- $\beta_f$  (ângulo lateral de cunha da ferramenta): Formado entre a face e o flanco principal, medido no  $P_f$ .

- $\gamma_f$  (ângulo de saída lateral da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência ( $P_r$ ), medido no  $P_f$ .

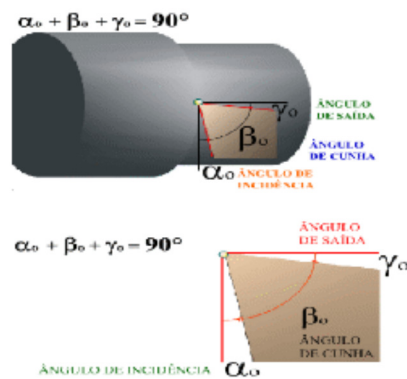


### Ângulos medidos no Plano Ortogonal

- $\alpha_o$  (ângulo de incidência ortogonal da Ferramenta): Formado entre o flanco principal e o plano do gume (Ps), medido no plano ortogonal (Po).

- $\beta_o$  (ângulo ortogonal de cunha da ferramenta): Formado entre a face e o flanco principal, medido no Po.

- $\gamma_o$  (ângulo de saída ortogonal da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência (Pr), medido no Po.

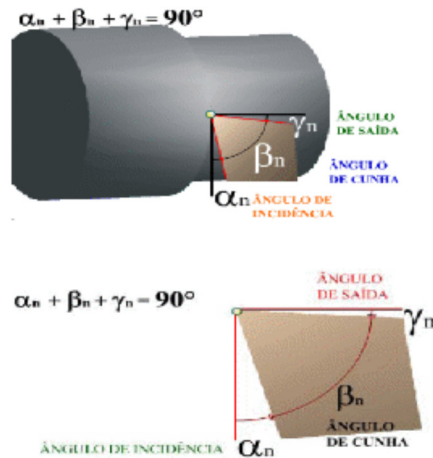


### Ângulos medidos no Plano Normal

- $\alpha_n$  (ângulo de incidência normal da Ferramenta): Formado entre o flanco principal e o plano do gume (Ps), medido no plano normal (Pn).

- $\beta_n$  (ângulo de normal de cunha): Formado entre a face e o flanco principal, medido no Pn.

- $\gamma_n$  (ângulo de saída da ferramenta): Formado entre a face e o plano de referência (Pr), medido no Pn.



## ESTUDO DO CAVACO

### Cavaco;

Cavaco é o material removido do tarugo durante o processo de usinagem, cujo objetivo é obter uma peça com forma e dimensões definidas. Para um melhor entendimento podemos fazer uma analogia com o ato de apontar um lápis, onde:

- lápis é o tarugo.
- lamina do apontador é a ferramenta de corte.
- material removido é o cavaco.

Os diferentes aspectos do cavaco nas operações de usinagem são apresentados, seguindo-se a ordem abaixo:

### Formação do Cavaco

#### Classificação:

Dependo das condições de corte e características do material usinado podem-se considerar dois atributos específicos para o cavaco:

- Tipos de cavaco.
- Formas do cavaco.

Fatores que Influenciam os diferentes tipos e formas de cavaco

- Fator de Recalque – definição.
- Geração de Calor e distribuição de Temperaturas.

## TIPOS DE CAVACO

### Mecanismo de formação do Cavaco



## CAVACO CONTÍNUO

Mecanismo de Formação:

O cavaco é formado continuamente, devido a ductilidade do material e a alta velocidade de corte.

Acabamento Superficial:

Como a força de corte varia muito pouco devido a contínua formação do cavaco, a qualidade superficial é muita boa.

## CAVACO CISALHADO

Mecanismo de Formação:

O material fissa no ponto mais solicitado. Ocorre ruptura parcial ou total do cavaco. A soldagem dos diversos pedaços (de cavaco) é devida a alta pressão e temperatura desenvolvida na região. O que difere um cavaco cisalhado de um contínuo (aparentemente), é que somente o primeiro apresenta um serrilhado nas bordas.

Acabamento Superficial:

A qualidade superficial é inferior a obtida com cavaco contínuo, devido a variação da força de corte. Tal força cresce com a formação do cavaco e diminui bruscamente com sua ruptura, gerando fortes vibrações que resultam numa superfície ondulada.

## **CAVACO ARRANCADO**

Mecanismo de Formação:

Este cavaco é produzido na usinagem de materiais frágeis como o ferro fundido.

O cavaco rompe em pequenos segmentos devido a presença de grafita, produzindo uma descontinuidade na microestrutura.

Acabamento Superficial:

Devido a descontinuidade na microestrutura produzida pela grafita (no caso do FoFo), o cavaco rompe em forma de concha gerando uma superfície com qualidade superficial inferior.

## **FORMAS DO CAVACO**

### **INDESEJÁVEIS (Cavacos longos)**

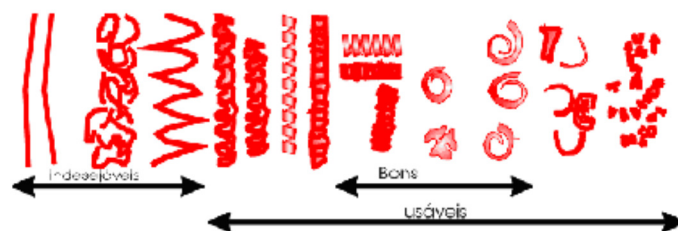
- Oferecem risco ao operador.
- Obstruem o local de trabalho.
- Podem danificar tanto a ferramenta quanto prejudicar o acabamento superficial da peça.
- Dificultam o manuseio e a armazenagem.
- Causam aumento da força de corte e da temperatura com conseqüente redução da vida da ferramenta.

### **BONS**

- Ocupam pouco volume.
- Não obstruem o local de trabalho.
- São removidos facilmente.

### **Condições de Corte.**

Grandes avanços (f) produz alta concentração de cavaco na zona de cisalhamento, aumentando a resistência ao corte, gerando flutuações na zona de corte, produzindo conseqüentemente cavaco cisalhado.



## FATORES QUE INFLUENCIAM

- Quebra-Cavaco.
- Fluido de Corte.
- Condições de Corte.
- Geometria da Ferramenta.

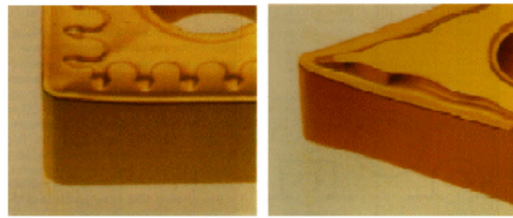


## Quebra-Cavaco

O quebra cavaco (alteração na face da ferramenta) é usado principalmente para reduzir o tamanho de cavacos longos, com o objetivo de:

- Evitar o "enrolamento" do cavaco na ferramenta.
- Diminuir o tempo de contato do cavaco com a ferramenta e desta maneira reduzir a transferência de calor.



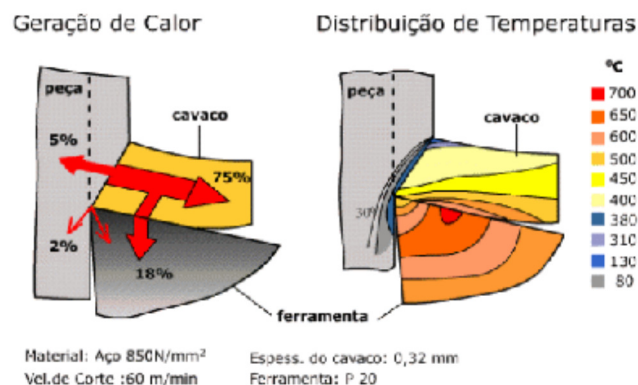


Quebra-Cavaco apresentado na superfície de saída

## GERAÇÃO DE CALOR E DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS

Durante o processo de corte é gerado calor que se transmite através das partes envolvidas, a saber: peça, ferramenta e cavaco. A maior porção do calor transmite-se para o cavaco. Na figura observa-se um exemplo dos percentuais de calor e sua distribuição, assim como as curvas de distribuição de temperatura.

Estes parâmetros dependem das condições de corte, tipo de material da peça, da ferramenta, e geometria do cavaco. Entretanto os valores totais dos parâmetros mantêm-se dentro desta ordem de grandeza para a maioria das situações de corte, podendo, portanto ser considerados como padrões indicativos.



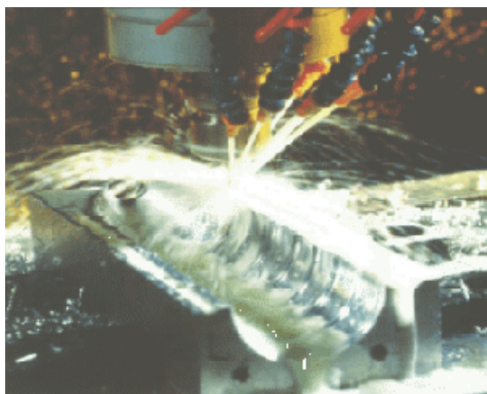
## FLUIDO DE CORTE

Fluidos de corte são aqueles líquidos e gases aplicados na ferramenta e no material que está sendo usinado, a fim de facilitar a operação de corte. Frequentemente são chamados de lubrificantes ou refrigerantes em virtude das suas principais funções na usinagem: reduzir o atrito entre a ferramenta e a superfície em corte (lubrificação) e diminuir a temperatura na região de corte (refrigeração). Veja a figura abaixo posicionando o mouse sobre o botão. O fluido de corte é o líquido branco que escorre pela serra.



A forma do cavaco é alterada pelo uso de fluido de corte devido os seguintes fatores:

- Diminuição da resistência ao escoamento causada pelo atrito.
- Deflexão do cavaco causada pela injeção de fluido.
- Encruamento do cavaco devido a ação do fluido de corte.



Uso do fluido de corte na usinagem de um molde de sopro

### **Funções e Finalidades dos fluidos de corte**

Os fluidos de corte cumprem nas suas aplicações, uma ou mais das seguintes funções:

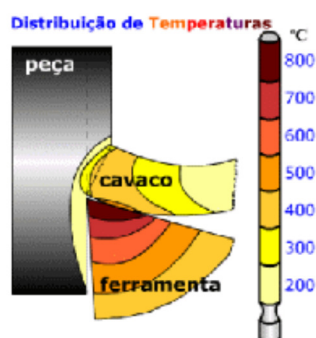
- a) Refrigerar a região de corte.
- b) Lubrificar as superfícies em atrito.
- c) Arrastar o cavaco da área de corte.
- d) Proteger a ferramenta, a peça e a máquina contra oxidação e corrosão.

Eles são utilizados quando as condições de trabalho são desfavoráveis, podendo trazer os seguintes benefícios:

- Redução da Força e Potência necessária ao corte;
- Redução do consumo de Energia;
- Diminuição da Temperatura da peça e da ferramenta em trabalho;
- Desobstrução da região de corte;
- Aumento da Vida da ferramenta;
- Eliminação do Gume Postiço;
- Melhor Acabamento da superfície usinada.

### Refrigeração

Uma das principais funções dos fluidos de corte é refrigerar, ou seja, remover o calor gerado durante a operação. Isso ajuda a prolongar a vida útil das ferramentas e a garantir a precisão dimensional das peças pela redução dos gradientes térmicos. Abaixo está representada a distribuição típica de temperaturas na região de corte. De maneira geral, quanto maior a velocidade de corte ( $v_c$ ), maiores serão as temperaturas e maior a necessidade de refrigeração.

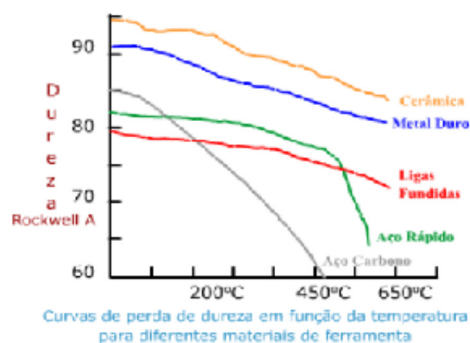


Na usinagem com ferramenta de geometria definida, a maior parte do calor gerado vai para o cavaco. A figura abaixo exemplifica uma distribuição de calor na região de corte.

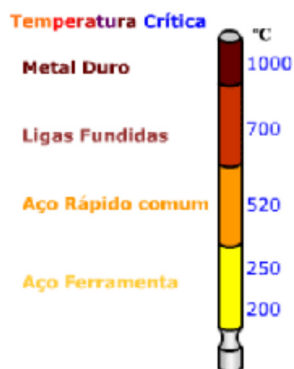


Na maioria dos casos, é benéfico diminuir temperaturas tão altas. Nesses casos, se o calor não for removido, ocorrerão distorções térmicas nas peças e alterações prejudiciais na estrutura da ferramenta. Como resultado, tem-se o desgaste prematuro e trocas frequentes da ferramenta. O gráfico abaixo mostra o efeito da temperatura sobre a dureza de alguns materiais de ferramenta. Observe a nítida

diminuição da dureza dos materiais com o aumento da temperatura.



Por outro lado, há casos onde as temperaturas elevadas facilitam o corte da peça em virtude desta redução de dureza. Nesses casos, é importante usar uma ferramenta com temperatura crítica maior. Um fator importante na vida da ferramenta é que a temperatura de nenhuma de suas partes, especialmente do gume, ultrapasse um valor crítico, além do qual se verifica forte redução da dureza. A tabela abaixo indica temperaturas críticas para diferentes materiais de ferramenta.



A figura abaixo mostra a aplicação de um fluido refrigerante numa operação de retificação. As faíscas que saem da região de corte são pequenos cavacos a altíssimas temperaturas.



## Lubrificação

Nos processos de usinagem, a lubrificação nas interfaces Peça-ferramenta-cavaco é difícil e complexa, em virtude das elevadas pressões de contato nessas interfaces. Outro agravante é a dificuldade de levar esse lubrificante até a posição desejada. A forma como o fluido penetra na região de contato cavaco-ferramenta é uma questão ainda em discussão entre pesquisadores. A eficiência do lubrificante vai depender das características e da sua habilidade em penetrar na região entre o cavaco e a ferramenta, formando um filme com resistência ao cisalhamento menor que a resistência do material na interface. Tanto a superfície do cavaco quanto a da ferramenta não são perfeitamente lisas. Elas são rugosas, ou seja, apresentam minúsculas saliências, asperezas em forma de picos e vales da ordem de micrômetros. Os picos mais salientes atrim-se, desgastando a ferramenta, gerando calor e uma força de atrito. Com a progressão do desgaste, pequenas partículas soldam-se no gume da ferramenta, formando o gume postiço. Para reduzir esse atrito, o fluido de corte penetra na interface rugosa por capilaridade. (Runge, P. 1990) Como consequência, reduz-se uma parcela da geração de calor. Também se reduz o consumo de energia, a força necessária ao corte e praticamente elimina-se o gume postiço. Nas fotos abaixo a aplicação de lubrificantes no brochamento e na retificação.



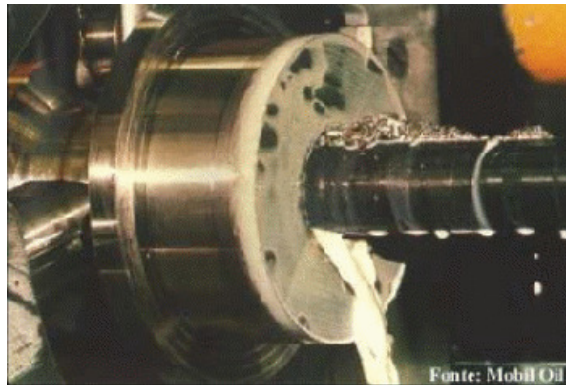
Exemplos de aplicação em Brochamento e Retificação

## Remoção de Cavaco

Em alguns processos de usinagem é muito importante considerar o destino do cavaco após a sua formação. O cavaco formado deve ser retirado da área de trabalho para não riscar ou comprometer o acabamento da peça, danificar a ferramenta ou impedir a própria usinagem. Na furação profunda, por exemplo, o cavaco formado no fundo do furo tende a se acumular excessivamente, dificultando o corte e a formação de mais cavaco. Até mesmo no torneamento externo, cavacos em forma de fitas longas podem se enroscar na peça e na ferramenta e atrapalhar o trabalho. Por isso os fluidos de corte são empregados também como removedores de cavaco da área de trabalho. Isso pode ocorrer de 3 formas:

- 1) O escoamento de alta vazão do fluido ajuda a carregar ou empurrar o cavaco para longe.
- 2) O resfriamento brusco do cavaco fragiliza-o e facilita sua quebra ou fragmentação.
- 3) Ao se utilizar fluidos de corte os parâmetros de usinagem podem ser ajustados de modo a facilitar a obtenção de cavacos menores.

Uma boa remoção dos cavacos também evita a formação de pontos onde poderiam instalar-se focos de microorganismos cuja proliferação causaria a infecção do fluido de corte. Abaixo é mostrado o uso de fluido de corte desempenhando com função de remover o cavaco, numa operação de furação profunda.



Exemplo de Furação Profunda

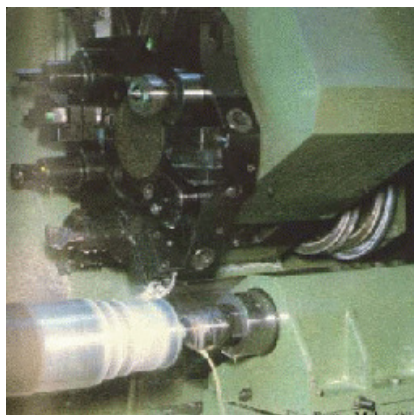
### **Tipos de Fluido de Corte**

- Soluções (fluidos sintéticos)
- Emulsões ("óleos solúveis" e fluidos semi-sintéticos)
- Óleos (fluidos integrais)
- Gases e Névoas
- Sólidos (MoS<sub>2</sub>)

### **Soluções (fluidos sintéticos)**

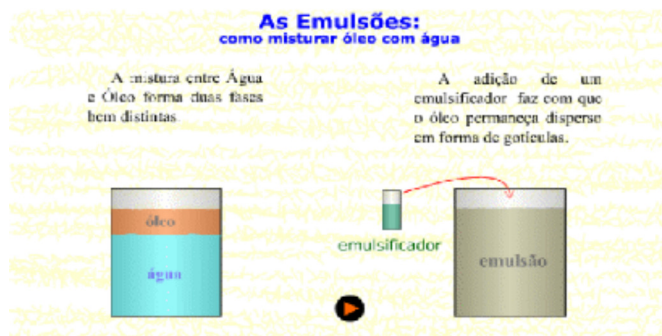
As soluções são misturas de água e produtos orgânicos e inorgânicos especiais que lhe conferem propriedades úteis para o seu uso como fluido de corte. As soluções não contêm óleo na sua composição.

### **Emulsões ("óleos solúveis" e fluidos semi-sintéticos)**



Exemplo de utilização de óleo solúvel

A denominação "óleo solúvel" é imprópria porque o óleo não está solubilizado na água, mas sim disperso por causa do emulsificador. As emulsões também contêm aditivos que melhoram ou conferem novas propriedades ao fluido. Os fluidos semi-sintéticos também são formadores de emulsões, mas apresentam uma menor concentração de óleo na emulsão. Isso aumenta a vida do fluido e diminui os riscos à saúde.



### Óleos (fluidos integrais)

Os óleos (ou fluidos) integrais são constituídos basicamente de óleos graxos e óleos minerais, que podem ser usados puros ou misturados, ou com aditivos. Os óleos graxos, de origem animal ou vegetal, foram os primeiros óleos integrais, mas sua rápida deterioração e alto custo fizeram com que eles fossem substituídos por outros produtos. Atualmente são usados como aditivos de óleos minerais. Óleos minerais são derivados do petróleo. O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos (parafínicos, aromáticos, fenólicos), de forma que antes de usá-lo é necessário selecioná-los e purificá-los. Isso é feito em refinarias, de onde se obtém os óleos que formarão a base dos fluidos integrais.



Exemplo utilização de fluidos integrais

**Gases e Névoas** O ar é o mais comum fluido gasoso utilizado, estando presente até mesmo na usinagem a seco. O ar comprimido é utilizado para melhorar a retirada de calor e expulsão do cavaco da zona de corte. Os fluidos gasosos, com sua menor viscosidade, são mais eficientes na capacidade de penetrar até a zona ativa da ferramenta. Outros gases como o argônio, hélio, nitrogênio e dióxido de carbono também são utilizados para a refrigeração e proteção contra oxidação, porém apenas em casos específicos, visto ser esta uma usinagem pouco econômica. Névoas e gases são usados em operações de mecânica de precisão, usinagem de alta velocidade e em QMFC (quantidade mínima de fluido de

corde). O termo QMFC é empregado para sistemas de névoa onde o consumo na operação permanece abaixo de 50 ml/h de fluido de corte. Nesse tipo de aplicação o fluido é disperso na forma de spray sobre a região que se quer refrigerar ou lubrificar.

#### **Vantagens:**

- Menor consumo de óleo, o que reduz os custos e os impactos ao meio-ambiente;
- Melhor visibilidade;
- Melhora a vida da ferramenta.

#### **Desvantagens:**

- Capacidade de lubrificação e refrigeração limitadas;
- É necessário um sistema de exaustão.

#### **Sólidos (MoS2)**

A pasta de Bissulfeto de Molibdênio (MoS2) pode ser aplicada na superfície de saída da ferramenta com um pincel. Pelas suas características lubrificantes em condições de extrema pressão, tem dado excelentes resultados.

### **CONCEITUAÇÃO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

#### **Velocidade de corte (ou de trabalho)**

É importante considerar o movimento relativo “ferramenta-peça”, que deve ser feito com velocidades apropriadas. Algumas máquinas (plainas) só possuem uma ou poucas velocidades de trabalho. Todavia, há máquinas que podem ser acionadas com muitas velocidades, principalmente as que têm movimentos de rotação (furadeira, fresadora, torno). A velocidade de rotação é dada em rotações por minuto (rpm), sendo que – para um diâmetro “d” (mm), a velocidade de corte é expressa por:

$$v \text{ (m/min)} = \frac{\pi \cdot d \text{ (mm)} \cdot n \text{ (rpm)}}{1000}$$

A velocidade de corte é a velocidade com que se dá a retirada do cavaco. Se, por exemplo, em um minuto é retirado um cavaco de 10m de comprimento, então a velocidade de corte perfaz 10m/min. A escolha da velocidade de corte apropriada implica num custo mínimo de obtenção da peça. Não se pode trabalhar com uma velocidade de corte qualquer:



- se "v" for muito pequena, o tempo empregado para usinagem será demasiadamente grande;
- se "v" for alta, a aresta de corte perde a têmpera em fun o do forte aquecimento sofrido, desgastando-se rapidamente;
- deve-se, então, escolher a velocidade de corte mais adequada para cada caso.

### Avanço e profundidade de corte

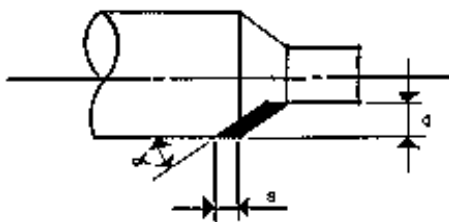


Figura 1 – Avanço e profundidade de corte.

Designa-se por avanço, o espaço (mm) que a aresta de corte percorre em cada rota o completa da peça, ao toronar paralelo ou facear no torno.

A sec o transversal do cavaco (A)   obtida pelo produto: avanço (s) x profundidade de corte (a).

  vantajoso trabalhar com:

- avanço reduzido;
- grande profundidade de corte;
-  ngulo de posi o em torno de 45 .

Observa es:

- materiais frágeis (bronze, ferro fundido) \ cavacos saltam sob a forma de cavacos arrancados;
- materiais tenazes \ formam-se cavacos plásticos e a superfície obtida   muito lisa.

### NO ES BÁSICAS DE UMA MÁQUINA-FERRAMENTA

O assunto será desenvolvido em fun o do torno, pois o mesmo vem a ser a máquina operatriz mais comum de se encontrar em setores de usinagem. Efetivamente, quando se fala em processos de fabrica o por usinagem, logo   lembrado o torno mecânico. A figura 2 mostra um torno mecânico paralelo.

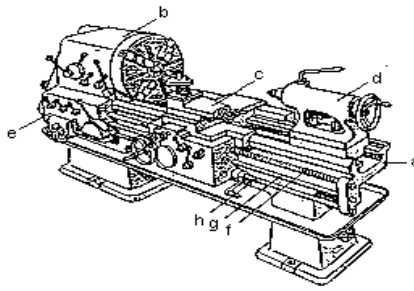


Figura 2 – Torno mecânico paralelo.

### O princípio

O torno desde antigamente vem sendo usado como meio de fabricar rodas, partes de bombas d'água, cadeiras, mesas, e utensílios domésticos. Sabe-se que antigas civilizações, a exemplo dos egípcios, assírios e romanos, já utilizavam antigos tornos como um meio fácil de fazer objetos com formas redondas.

### O Torno de Vara

Os Tornos de Vara foram muito utilizados durante a idade média e continuaram a ser utilizados até o século 19 por alguns artesões. Nesse sistema de torno a peça a ser trabalhada era amarrada com uma corda presa numa vara sobre a cabeça do artesão e sua outra extremidade era amarrada a um pedal. O pedal quando pressionado puxava a corda fazendo a peça girar, a vara por sua vez fazia o retorno. Por ser fácil de montar esse tipo de torno permitia que os artesões se deslocassem facilmente para lugares onde houvesse a matéria prima necessária para eles trabalharem.

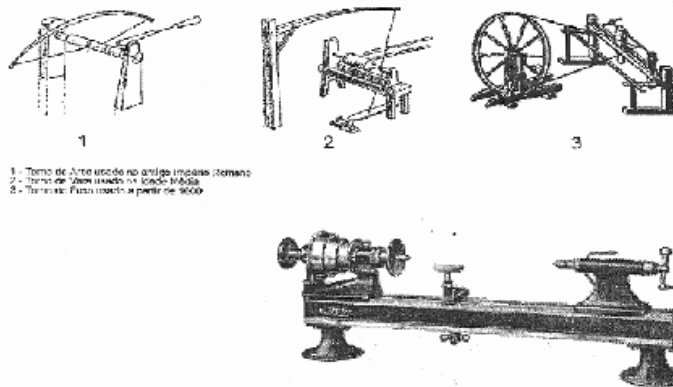
### Leonardo da Vinci

No final do século 15 da Vinci desenhou três máquinas em uma página. A primeira delas é com certeza um torno que já utilizava uma roda apesar de que somente para inércia, a segunda era uma serra, e a terceira era um sistema que usava um pedal para girar uma roda, que poderia ser anexado a diversos dispositivos.

### O Torno de Fuso

A necessidade por uma velocidade contínua de rotação fez com que fossem criados os Tornos de Fuso. Esses tornos necessitavam de duas pessoas para serem utilizados (mais, dependendo do tamanho do fuso), enquanto um servo girava a roda o artesão utilizava suas ferramentas para dar forma ao material. Esse torno permitia que objetos maiores e com materiais mais duros fossem trabalhado.

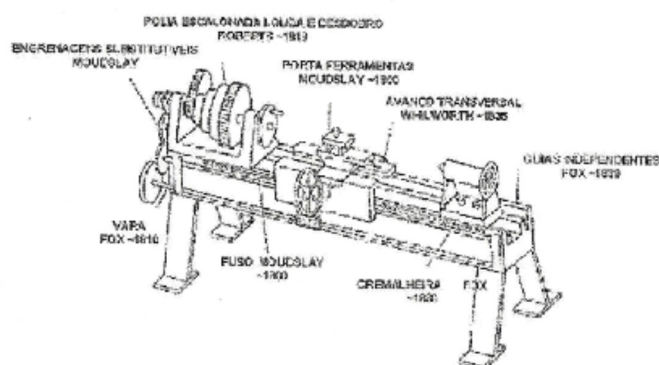
### Imagens dos primeiros tornos



### Moudslay e Whitworth

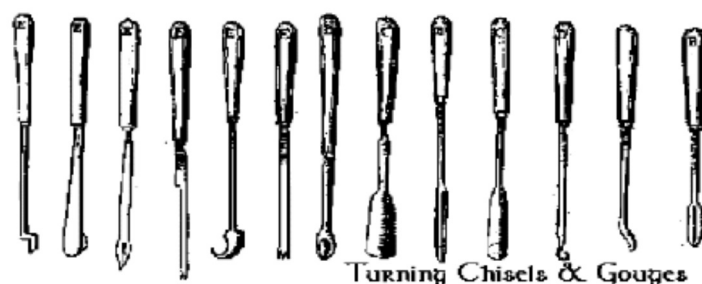
Com a invenção da máquina a vapor por James Watt, os meios de produção como teares e afins foram adaptados a nova realidade. O também inglês, Henry Moudslay adaptou a nova maravilha a um torno criando o primeiro torno a vapor. Essa invenção não só diminuía a necessidade de mão de obra, uma vez que os tornos podiam ser operados por uma pessoa apenas, como também fez com que a mão de obra se tornasse menos especializada. A medida que a manufatura tornava-se mais mecânica e menos humana as caras habilidades dos artesões eram substituídas por mão de obra barata. Isso deu condições para que Whitworth em 186 mantivesse uma fábrica com 700 funcionários e 600 máquinas ferramenta. Moudslay e Whitworth ainda foram responsáveis por várias outras mudanças nos tornos da época, como o suporte para ferramenta e o avanço transversal.

Essas inovações podem ser mais bem observadas na ilustração abaixo:

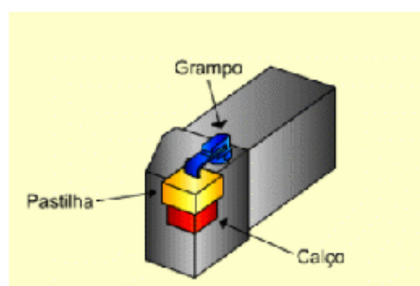


### Ferramentas de Torneamento

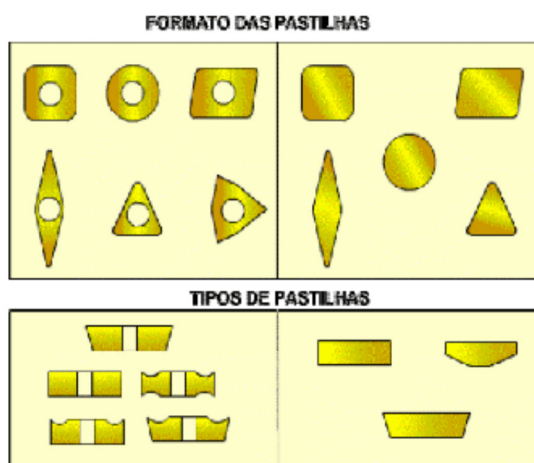
As ferramentas para torneamento sofreram um processo evolutivo ao longo do tempo. A demanda da produção, cada vez mais acelerada forçou a procura por ferramentas mais duráveis e eficientes. Dos cinzéis utilizados nas operações manuais até as pastilhas cerâmicas de alta resistência.



Os primeiros passos de pesquisa passaram pela procura das melhores geometrias para a operação de corte. A etapa seguinte dedicou-se à busca de materiais de melhores características de resistência e durabilidade. Finalmente passou-se a combinar materiais em novos modelos construtivos sincronizando as necessidades de desempenho, custos e redução dos tempos de parada no processo produtivo. Como resultado desta evolução consagrou-se o uso de ferramentas compostas, onde o elemento de corte é uma pastilha montado sobre uma base. Veja abaixo a montagem da pastilha sobre a base.



Exemplo de um Suporte Porta-Ferramenta



## A reta final

-1906: Os tornos já têm incorporados todas as modificações feitas por Moudsley e Whitworth. A correia motriz é movimentada por um conjunto de polias de diferentes diâmetros, o que possibilitava uma variada gama de velocidades de rotação. Sua propulsão era obtida através de um eixo acionado por um motor, o que fixava a máquina a um local específico.

-1925 o torno paralelo: O problema de ter de fixar o torno é resolvido pela substituição do mesmo por um motor elétrico nos pés da máquina. A variação de velocidades vinha de uma caixa de engrenagem e desengates foram postos nas sapatas para simplificar alcances de rotação longos e repetitivos. Apesar de apresentar dificuldades para o trabalho em série devido a seu sistema de troca de ferramentas é o mais usado atualmente.

-1960 o torno automático: Para satisfazer a exigência de grande rigidez criou-se uma estrutura completamente fechada. A máquina é equipada com um engate copiador que transmite o tipo de trabalho do gabarito através de uma agulha.

-1978 o torno de CNC: Apesar de não apresentar nenhuma grande mudança na sua mecânica, o torno de CNC como é chamado substituiu os mecanismos usados para mover o cursor por microprocessadores. O uso de um painel permite que vários movimentos sejam programados e armazenados permitindo a rápida troca de programa.

### **Subsistemas da Máquina Ferramenta**

Atualmente as máquinas ferramentas apresentam 5 subsistemas básicos, mudando um pouco de máquina para máquina porém mantendo suas características. Obs.: Todos os links para animação mostrarão o subsistema em questão representado em um torno paralelo.

#### **Subsistema de Suporte**

É responsável pela sustentação de todos os órgãos da máquina. Ele é constituído pelos seguintes componentes: Apoios, barramento e guias. No caso do torno, a finalidade das guias é manter o alinhamento do movimento do cabeçote móvel e do carro longitudinal.

#### **Subsistema de Fixação da Peça**

É responsável pela fixação, na máquina, da peça a ser usinada. É constituído pelo cabeçote móvel e placa.

#### **Subsistema de Fixação e Movimento da Ferramenta**

Tem a função de fixar a ferramenta e realizar a sua movimentação em diferentes direções. No caso do torno, é composto pelo carro longitudinal, carro transversal, carro porta-ferramenta, torre de fixação das ferramentas, fuso e vara.

#### **Subsistema de Avanço**

Tem a finalidade de proporcionar o movimento automático da ferramenta e suas variações de velocidade. Seus principais componentes são as engrenagens da grade e as engrenagens no próprio variador de avanço.

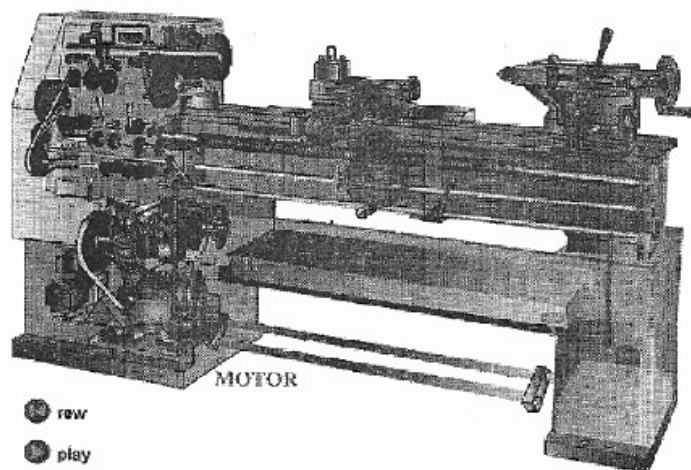
#### **Subsistema de Acionamento Principal**

A função deste subsistema é proporcionar o giro da peça com diferentes velocidades. Como principais

constituintes têm os motores de acionamento, polias, correias, eixos engrenagens para transmissão de movimentos.

### Outros Subsistemas

Além desses existem outros subsistemas que cumprem funções específicas dependendo da necessidade de cada uma. Exemplos são os subsistemas de emissão de fluido de corte e o subsistema de aparo do cavaco.



### PRINCIPAIS PARTES DO TORNO

**Barramento:** o barramento do torno suporta todas as partes principais desta máquina. Descansa apoiado sobre os pés do torno. Carro e contraponto deslocam-se sobre as guias, as quais geralmente apresentam a forma prismática (figura 3). O barramento também pode ser observado na figura 2 (letra a).

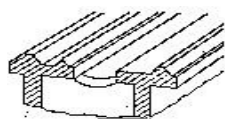


Figura 3 – Barramento de torno com guias prismáticas.

**Cabeçote fixo:** observe-se a figura 2 (letra b). No cabeçote fixo está montada a árvore principal ou de trabalho, por meio da qual a peça recebe o movimento de rotação. Tal árvore gira adequadamente apoiada, suportada com robustez, e é construída com aços de qualidade elevada.

**Cabeçote móvel (ou contraponto):** observe-se a figura 2 (letra d). Ele é utilizado como encosto ou apoio para montagem entre pontos de peças a torner, que apresentem comprimentos significativos. Na operação de furar – por exemplo – nele é também colocada a ferramenta.

**Carro:** observe-se a figura 2 (letra c). Ele oferece apoio à ferramenta de corte e proporciona os movimentos de avanço e penetração. Trata-se do que se pode chamar de carro em cruz (ou de

movimento em cruz) e que se compõe de: carro longitudinal (ou de barramento), carro inferior (ou carrinho transversal) e carro superior (com porta-ferramenta). Os carros devem mover-se nas guias respectivas sem folga alguma.

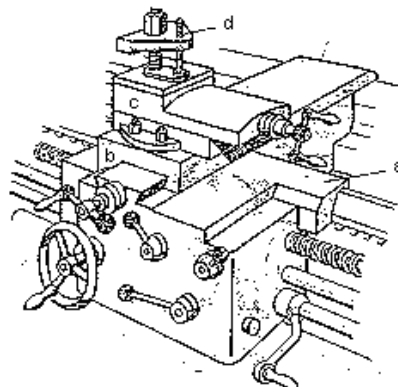


Figura 4 – Constituição do carro: (a) carro longitudinal ou de barramento; (b) carro inferior ou carrinho transversal; (c) carro superior; (d) porta-ferramenta.

**Luneta (ou guia de acompanhamento):** observe-se a figura 5. A luneta é exemplo de um acessório de extrema importância. As peças compridas e delgadas podem fletir durante o torneamento, com o seu diâmetro tornando-se irregular. Além disso, a superfície da peça está sujeita a apresentar marcas resultantes de vibrações. Para evitar a flexão, é utilizada a luneta, a qual exibe grampos reguláveis, entre os quais gira a peça. Há dois tipos de lunetas:

-luneta fixa ou guia de três contatos \ é fixada ao barramento do torno;

-luneta móvel ou guia de dois contatos \ é fixada ao carro.

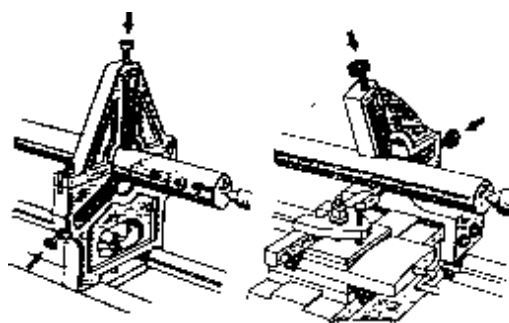
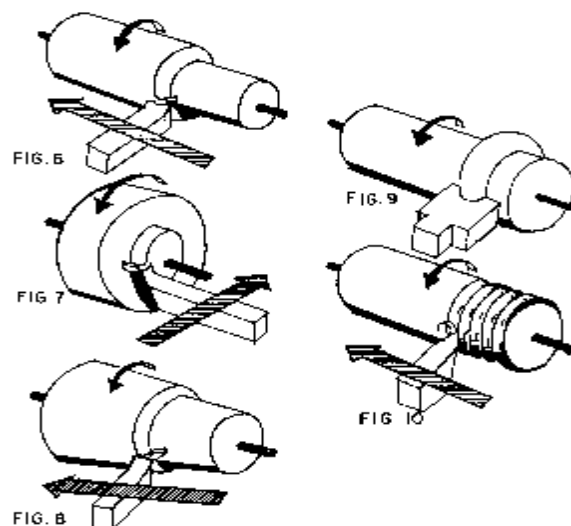


Figura 5 – Lunetas (fixa e móvel).

**Trajelórias da ferramenta (processos de torneiar):** as figuras 6, 7, 8, 9 e 10 ilustram as trajetórias da ferramenta no torno mecânico, as quais definem os processos de torneiar.



Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 – Trajetórias da ferramenta (definição dos processos de torneiar).

**Torneamento paralelo ou cilíndrico (cilindramento):** utilizado para a fabricação de peças cilíndricas (figura 6).

**Torneamento de faces (faceamento):** utilizado para a obtenção de superfícies planas (figura 7).

**Torneamento cônico:** utilizado na obtenção de cones (figura 8).

**Torneamento perfilador:** utilizado para a obtenção de peças perfiladas, sendo empregadas ferramentas que reproduzem perfis (figura 9).

**Abertura de roscas ou filetagem ao torno:** utilizado para a obtenção de roscas (figura 10).

**Mecanismos para variar o número de rotações:** o número de rotações deve ser variado, conforme a exigência do trabalho a executar. Para a produção dos diferentes números de rotações, recorre-se a um mecanismo de acionamento. Na maioria das vezes, esse mecanismo está localizado no cabeçote fixo. Através de mecanismos de transmissão por correias ou por rodas dentadas (engrenagens) podem ser variados "por escalões" os números de rotações (ex.: 105, 151, 214 rpm). Existem também mecanismos que possibilitam uma alteração de velocidades "sem escalonamento".

**Transmissão por correias:** observem-se as figuras 11 e 12.



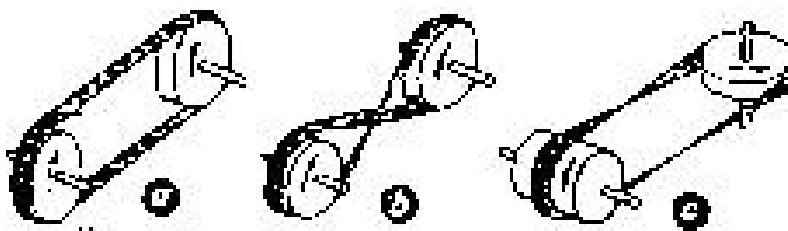


Figura 11 – Transmissões por correias: (a) transmissão simples por correia, o mesmo sentido de rotação; (b) transmissão por correia cruzada, sentidos de rotação opostos; (c) transmissão por correia para veios que se cruzam.



Figura 12 – Secções transversais de correias: (a) correia chata; (b) correia trapezoidal.

**Transmissão por rodas dentadas:** se dá mediante o engrenamento dos dentes. Cálculos referentes à transmissão por correias e por rodas dentadas: observem-se as figuras 13 e 14.

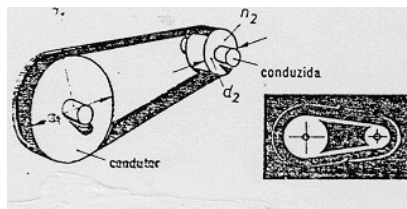


Figura 13 – Transmissão simples por correia.

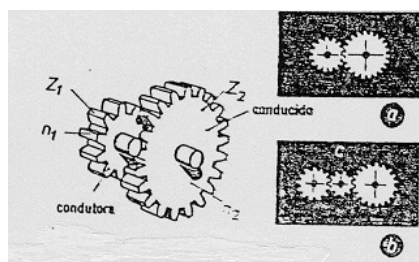


Figura 14 – Transmissão simples de engrenagens.

**Mecanismos escalonados:** para que se possa regular o número de rotações da forma mais vantajosa possível, recorre-se a mecanismos escalonados, os quais podem ser sem ou com jogo de engrenagens. Vejamos um exemplo de mecanismo sem jogo de engrenagens (figura 15). Pode-se dispor de quatro diferentes rotações na árvore principal.

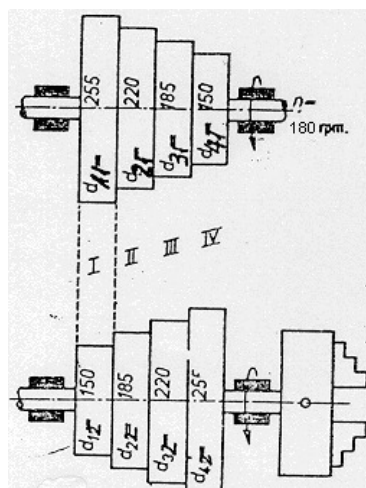


Figura 15 – Mecanismo escalonado de cones de polias múltiplas ou cones de espinha.

Posição de correias I:

$$n \cdot d_{11} = n_1 \cdot d_{12} \quad \left( 180 \times 255 = n_1 \cdot 150 \right) \quad n_1 = 306 \text{ rpm}$$

Posição de correias II:

$$n \cdot d_{21} = n_2 \cdot d_{22} \quad \left( 180 \times 220 = n_2 \cdot 185 \right) \quad n_2 = 214 \text{ rpm}$$

Posição de correias III:

$$n \cdot d_{31} = n_3 \cdot d_{32} \quad \left( 180 \times 185 = n_3 \cdot 220 \right) \quad n_3 = 151,36 \text{ rpm}$$

Posição de correias IV:

$$n \cdot d_{41} = n_4 \cdot d_{42} \quad \left( 180 \times 150 = n_4 \cdot 255 \right) \quad n_4 = 105,88 \text{ rpm}$$

## CONTROLE DE MEDIDA

### Noções de ajustes e tolerâncias

**Tolerância:** é a inexatidão admissível de fabricação, a diferença entre os valores máximos e mínimos admitidos para uma determinada dimensão. Observe-se a figura 18, onde: IT = intervalo de tolerância;  $D_{\text{máx}}$  = diâmetro máximo;  $D_{\text{mín}}$  = diâmetro mínimo.

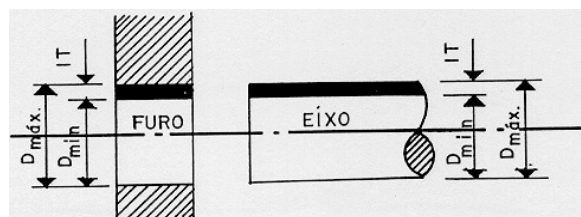


Figura 18 – Tolerância.

**Folga:** é o valor da diferença entre os diâmetros efetivos do furo e do eixo, quando o primeiro é maior que o segundo (figura 19).

**Interferência ou folga negativa:** é o valor da diferença entre os diâmetros efetivos do furo e do eixo, quando o diâmetro do furo é menor (figura 19).

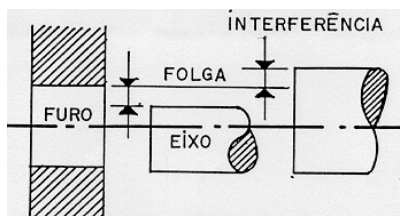


Figura 19 – Folga e interferência.

**Tolerância unilateral:** verifica-se que quando a tolerância total referente ao diâmetro básico ocorre numa só direção da linha zero (figura 20). Ex.: diâmetro =  $100 - 0,05$  ou  $100 + 0,05$ .

**Tolerância bilateral:** ocorre quando a mesma é dividida acima e abaixo da linha zero (figura 20). Ex.: diâmetro =  $100 \pm 0,05$ .

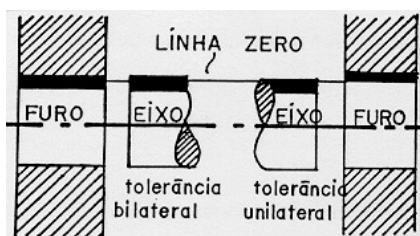
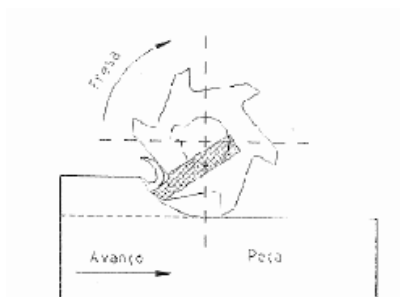


Figura 20 – Tolerâncias (unilateral e bilateral).

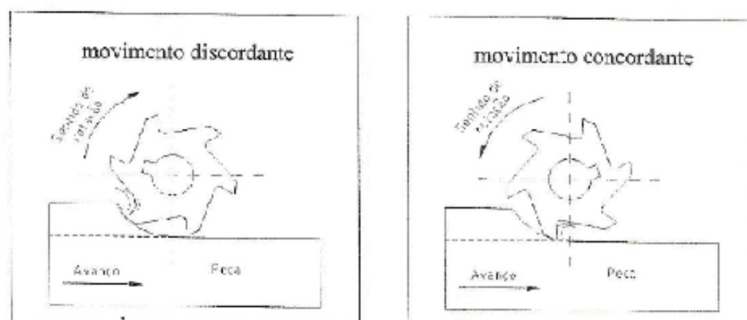
## FRESAGEM

A fresagem é um processo de usinagem mecânica, feito por fresadoras e ferramentas especiais chamadas fresas. A fresagem consiste na retirada do excesso de metal ou sobremetal da superfície de uma peça, a fim de dar a esta uma forma e acabamento desejados. Na fresagem, a remoção do

sobremetal da peça é feita pela combinação de dois movimentos, efetuados ao mesmo tempo. Um dos movimentos é o de rotação da ferramenta, a fresa. O outro é o movimento da mesa da máquina, onde é fixada a peça a ser usinada. É o movimento da mesa da máquina ou movimento de avanço que leva a peça até a fresa e torna possível a operação de usinagem.

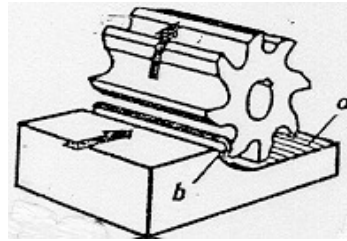


O movimento de avanço pode levar a peça contra o movimento de giro do dente da fresa. É o chamado movimento discordante. Ou pode também levar a peça no mesmo sentido do movimento do dente da fresa. É o caso do movimento concordante.

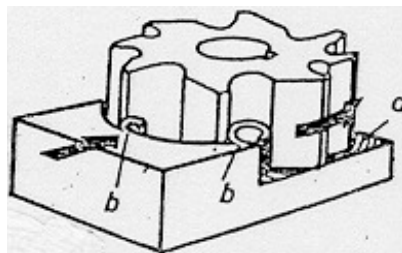


A maioria das fresadoras trabalha com o avanço da mesa baseado em uma porca e um parafuso. Com o tempo e desgaste da máquina ocorre uma folga entre eles. Veja figura abaixo. No movimento concordante, a folga é empurrada pelo dente da fresa no mesmo sentido de deslocamento da mesa. Isto faz com que a mesa execute movimentos irregulares, que prejudicam o acabamento da peça e podem até quebrar o dente da fresa. No movimento discordante, a folga não influi no deslocamento da mesa. Por isso, a mesa tem um movimento de avanço mais uniforme. Isto gera um melhor acabamento da peça. Assim, nas fresadoras dotadas de sistema de avanço com porca e parafuso, é melhor utilizar o movimento discordante. Para tanto, basta observar o sentido de giro da fresa e fazer a peça avançar contra o dente da ferramenta.

**Processos de fresagem:** observe as figuras



Fresagem cilíndrica: (a) superfície de trabalho (freqüentemente com sulcos ondulados); (b) forma de apra.



Fresagem frontal ou de topo: (a) superfície trabalhada (não existem ondulações de fresagem); (b) forma de apra.

**Fresagem cilíndrica:** o eixo da fresa acha-se disposto paralelamente à superfície de trabalho da peça. Tem-se uma fresa de formato cilíndrico e os cavacos (aparas) têm a configuração duma vírgula. A figura que se segue mostra exemplos de fresagem horizontal.

**Fresagem frontal ou de topo:** o eixo da fresa é perpendicular à superfície de trabalho. Sempre que possível, superfícies planas devem ser fresadas por este processo, em função das seguintes vantagens:

- a carga da fresadora é uniforme;
- as superfícies obtidas são + lisas.

Como outros processos, a fresagem permite trabalhar superfícies planas, convexas, côncavas ou de perfis especiais. Mas tem a vantagem de ser mais rápido que o processo de tornear, limar, aplinar. Isto se deve ao uso da fresa, que é uma ferramenta multicortante.

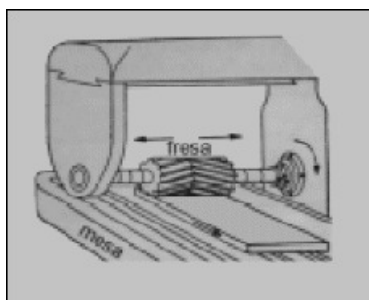
## FRESADORAS

A fresadora é uma máquina-ferramenta de movimento contínuo que realiza as operações de fresagem. As máquinas fresadoras são classificadas geralmente de acordo com a posição do seu eixo-árvore em relação à mesa de trabalho. Mesa de trabalho é o lugar da máquina onde se fixa a peça a ser usinada. O eixo-árvore é a parte da máquina onde se fixa a ferramenta.

As fresadoras classificam-se em relação ao eixo-árvore em:

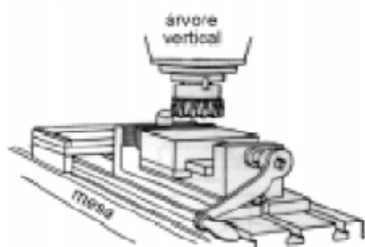
- horizontal;
- vertical;
- universal.

A fresadora é horizontal quando seu eixo-árvore é paralelo à mesa da máquina.



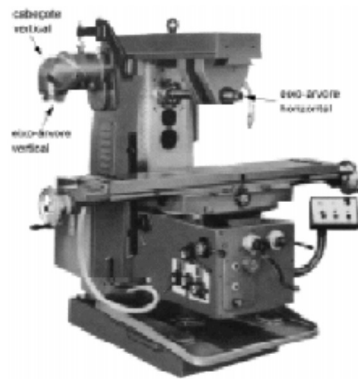
Fresadora horizontal

Se o eixo-árvore for perpendicular à mesa da máquina, dizemos que se trata de uma fresadora vertical.



Fresadora vertical

Já a fresadora universal dispõe de dois eixos-árvore, um horizontal e outro vertical. O eixo vertical situa-se no cabeçote, parte superior da máquina. O eixo horizontal localiza-se no corpo da máquina. O fato de a fresadora universal dispor de dois eixos permite que ela seja utilizada tanto na posição horizontal quanto na vertical.

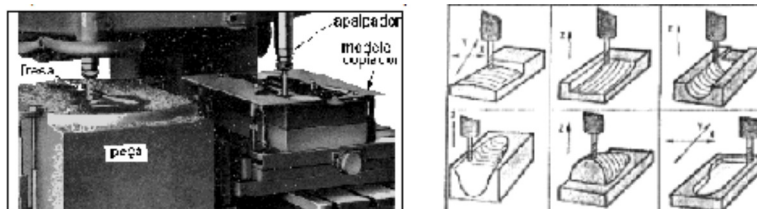


Fresadora universal

De acordo com o trabalho que as fresadoras realizam podem ser:

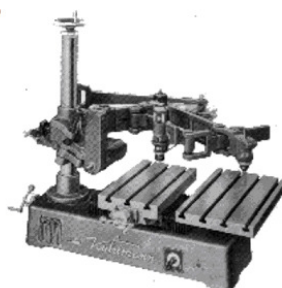
- Copiadoras
- Pantográfica ou Pantógrafo
- Geradora de Engrenagens

A fresadora copiadora trabalha com uma mesa e dois cabeçotes: o cabeçote apalpador e o de usinagem. Como o nome diz, a fresadora copiadora tem a finalidade de usinar, copiando um dado modelo.



Fresadora copiadora

A fresadora pantográfica ou o pantógrafo também permite a usinagem a partir da cópia de um modelo. A diferença é que no pantógrafo, a transmissão do movimento é coordenada manualmente pelo operador. Isso permite trabalhar detalhes como canais e pequenos raios, mais difíceis de serem obtidos numa fresadora copiadora.



## Fresadora pantográfica

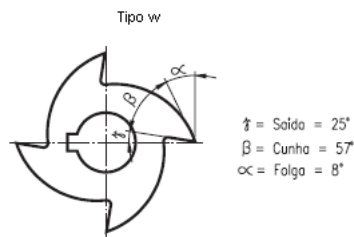
A Fresadora Geradora de Engrenagens permite a usinagem em alta produção de engrenagens. Os processos de geração de engrenagens por meio desse tipo de máquina-ferramenta são de três tipos:

- processo Renânia;
- processo Fellows e Maag

## FRESAS

São ferramentas de corte dotadas de facas ou dentes multicortantes. Isto lhe confere uma vantagem sobre outras ferramentas: quando os dentes não estão cortando, eles estão se refrigerando. Isto contribui para um menor desgaste da ferramenta. A escolha da ferramenta é uma das etapas mais importantes da fresagem. Ela está relacionada principalmente com o tipo de material a ser usinado. Ao escolher uma fresa, deve-se levar em conta se ela é resistente ao material que será usinado. Os materiais são mais ou menos resistentes. Assim, uma fresa adequada à usinagem de um material pode não servir para a usinagem de outro. As fresas são classificadas segundo os ângulos de saída, cunha e folga em W, N, H.

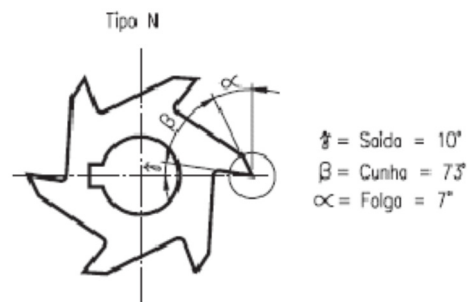
A fresa tipo W, por ter uma abertura de ângulo de cunha menor ( $\beta = 57^\circ$ ), é menos resistente. Por isso ela é recomendada para a usinagem de materiais não-ferrosos de baixa dureza como o alumínio, o bronze e plásticos.



Fresa do tipo W

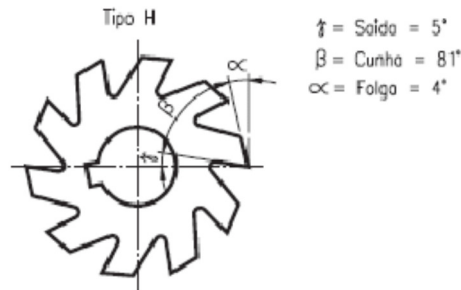
A fresa tipo N ( $\beta = 73^\circ$ ) é mais resistente que a fresa tipo W e por isso recomendada para usinar materiais de média dureza, como o aço com até 700N/mm<sup>2</sup> de resistência à tração.





Fresa do tipo N

A fresa tipo H ( $\beta = 81^\circ$ ) é mais resistente que a fresa W e a fresa N. Portanto, recomenda-se seu uso para usinar materiais duros e quebradiços como o aço com mais de 700N/mm<sup>2</sup> de resistência à tração.



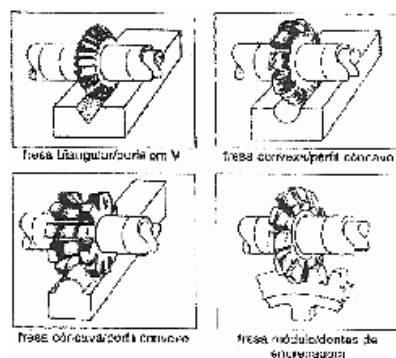
Fresa do tipo H

Percebeu que a soma dos ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  em cada um dos tipos de fresa é sempre igual a  $90^\circ$ ? Pois bem, a partir desta observação e de acordo com o material a ser usinado, você já pode escolher a fresa adequada ao seu trabalho. Ainda quanto às fresas tipo W, N e H, você deve estar se perguntando por que uma tem mais dentes que outra. A resposta tem a ver com a dureza do material a ser usinado. Suponha que você deve usinar uma peça de aço. Por ser mais duro que outros materiais, menor volume dele será cortado por dente da fresa. Portanto, menos cavaco será produzido por dente e menos espaço para a saída será necessário. Já maior volume por dente pode ser retirado de materiais mais moles, como o alumínio. Neste caso, mais espaço será necessário para a saída de cavaco. Um dos problemas em usinar materiais moles com fresa com muitos dentes é que o cavaco fica preso entre os dentes e estes não são refrigerados adequadamente. Isto acarreta o desgaste dos dentes e pode ainda gerar um mau acabamento da peça.

## TIPOS DE FRESAS E SUAS APLICAÇÕES

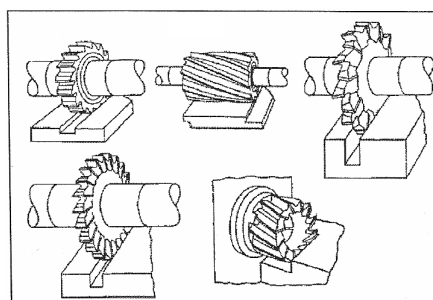
### Fresas de perfil constante

São fresas utilizadas para abrir canais, superfícies côncavas e convexas ou gerar engrenagens entre outras operações.



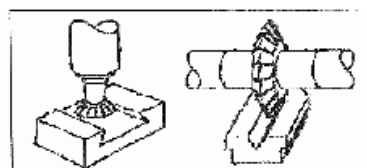
## Fresas planas

Trata-se de fresas utilizadas para usinar superfícies planas, abrir rasgos e canais.



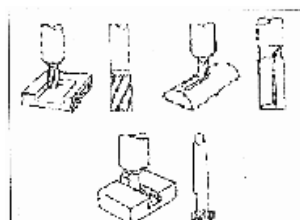
## Fresas angulares

Estas são fresas utilizadas para a usinagem de perfis em ângulos, como rasgos prismáticos e encaixes do tipo rabo-de-andorinha.



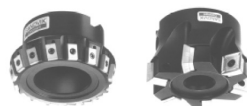
## Fresas para rasgos

As fresas para rasgos são utilizadas para fazer rasgos de chavetas, ranhuras retas ou em perfil T, como as das mesas das fresadoras e furadeiras.



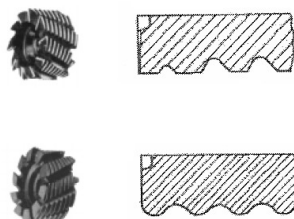
### Fresas de dentes postiços

São também chamadas de cabeçote de fresamento. Trata-se de uma ferramenta com dentes postiços. Esses dentes são pastilhas de metal duro, fixadas por parafusos, pinos ou garras, e podem ser substituídas facilmente.



### Fresas para desbaste

Estas são fresas utilizadas para o desbaste de grande quantidade de material de uma peça. Em outras palavras, servem para a usinagem pesada. Esta propriedade de desbastar grande quantidade de material é devida ao seccionamento dos dentes.



### CALCULO DA RPM, O AVANÇO E A PROFUNDIDADE DE CORTE EM FRESAGEM.

Você deve estar lembrado que rpm, avanço e profundidade de corte são parâmetros de corte para qualquer tipo de usinagem. A escolha dos parâmetros de corte é uma etapa muito importante na fresagem. Parâmetros de corte inadequados podem causar sérios problemas, como alterar o acabamento superficial da peça e até mesmo reduzir a vida útil da ferramenta. Como então calcular os parâmetros de corte na fresagem? O primeiro passo é calcular a melhor rotação. Esta depende basicamente de dois elementos: o diâmetro da fresa e a velocidade de corte. A velocidade de corte, por sua vez, vai depender de fatores como o tipo de material a ser usinado, o material da fresa e o tipo de aplicação da fresa. Escolher a velocidade de corte é uma tarefa relativamente simples. Os fabricantes das fresas fornecem tabelas com as velocidades de corte relacionadas com o material da fresa e da peça a ser trabalhada. Mas fique ligado, porque as tabelas podem trazer tanto valores de  $V_c$  para ferramentas de aço rápido, as HSS (High Speed Steel), quanto para as fresas de metal duro. Ou ainda contemplar em um mesmo espaço as  $V_c$  dos dois materiais: aços rápidos e metal duro.

Dica tecnológica

As  $V_c$  para ferramentas de metal duro chegam a ser entre 6 a 8 vezes maior que as  $V_c$  utilizadas para ferramentas de aço rápido. Isso porque as ferramentas de metal duro têm maior resistência ao desgaste.

Observar a tabela abaixo.

### ESCOLHA DA VELOCIDADE DE CORTE PARA FRESAS DE AÇO RÁPIDO

MATERIAL a ser cortado	Velocidade de corte em m/min		
	Desbaste até a profundidade de		Acaba- mento 1,5 mm
	8 mm	5 mm	
Aço até 60 kgf/mm <sup>2</sup>	16 - 20	22 - 26	32 - 36
Aço de 60-90 kgf/mm <sup>2</sup>	14 - 16	20 - 24	26 - 30
Aço de 90-110 kgf/mm <sup>2</sup>	12 - 14	18 - 22	22 - 26
Aço acima de 110 kgf/mm <sup>2</sup>	8 - 12	14 - 16	16 - 20
Ferro fundido até 180 HB	18 - 22	24 - 28	18 - 32
Ferro fundido acima de 180 HB	10 - 14	12 - 18	18 - 22
Latão	32 - 48	46 - 72	80 - 120
Metais leves	220 - 320	280 - 480	400 - 520
Cobre	40 - 50	60 - 80	80 - 100

Achada a velocidade de corte, podemos calcular a rpm. Antes, porém, é preciso mais um dado, o diâmetro da fresa. Mas este não é preciso calcular: basta medir a fresa. Então, vamos ao cálculo da rpm? Para calcular a rotação da fresa (rpm), basta usar a fórmula:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

O valor da rpm encontrada deve ser selecionado na fresadora. Mas vamos supor que a gama de rotações da sua fresadora não contempla este valor. Mas dispõe de valores aproximados. De preferência utilize o valor maior, que garante maior produção de peças. Cuide, porém para que ele não ultrapasse a velocidade de corte recomendada pelo fabricante. Caso contrário pode haver problemas com sua ferramenta, como queima dos dentes de corte e, conseqüentemente, perda do corte. E também problemas no acabamento superficial, que pode ficar rugoso, por exemplo. Então, se optamos pelo maior valor de rpm encontrado, devemos calcular a velocidade de corte real. Para isso invertamos a fórmula usada para o cálculo da rpm. Veja abaixo.

$$V_c = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \therefore$$

Se o valor encontrado ultrapassar a faixa recomendada pelo fabricante, então, deve escolher a menor rpm mais próxima, a fim de não danificar a fresa.

### Exercício

Calcule a rpm necessária para fresar uma peça de latão com uma fresa de aço rápido com diâmetro de 50 mm e profundidade de corte de 3 mm.

### Cálculo do avanço da mesa

Para calcular o avanço da mesa, consultamos inicialmente uma tabela. Isto nos dá o valor de avanço por dente da fresa. Para consultar a tabela, é preciso conhecer o material, o tipo de fresa e identificar se a operação é de desbaste ou acabamento. Também é preciso saber o número de dentes da fresa. Para isto basta observá-la.

#### ESCOLHA DO AVANÇO POR DENTE PARA FRESAS DE AÇO RÁPIDO

MATERIAL a ser cortado	TIPO da fresa	AVANÇO em milímetros por dente		
		desbaste		acaba.
		até 8mm	até 5mm	até 1mm
Aço até 60 kgf/mm <sup>2</sup>	Cilíndrica <b>DIN 884</b>	0,22	0,26	0,10
Aço de 60-90 kgf/mm <sup>2</sup>		0,20	0,24	0,08
Aço de 90-110 kgf/mm <sup>2</sup>		0,17	0,22	0,06
Aço acima de 110 kgf/mm <sup>2</sup>		0,10	0,12	0,04
Ferro fundido, até 180 HB		0,22	0,30	0,08
Ferro fundido, acima de 180 HB		0,18	0,20	0,06
Latão		0,24	0,28	0,10
Metais leves		0,10	0,12	0,04
Cobre		0,26	0,26	0,08
Aço até 60 kgf/mm <sup>2</sup>		de topo <b>DIN 841</b> <b>DIN 1880</b>	0,25	0,30
Aço de 60-90 kgf/mm <sup>2</sup>	0,22		0,27	0,10
Aço de 90-110 kgf/mm <sup>2</sup>	0,22		0,24	0,08
Aço acima de 110 kgf/mm <sup>2</sup>	0,12		0,14	0,06
Ferro fundido, até 180 HB	0,25		0,34	0,10
Ferro fundido, acima de 180 HB	0,18		0,22	0,08
Latão	0,25		0,30	0,10
Metais leves	0,12		0,16	0,06
Cobre	0,26		0,30	0,10
Aço até 60 kgf/mm <sup>2</sup>	Circulares dentes retos <b>DIN 885B</b>		0,08	0,12
Aço de 60-90 kgf/mm <sup>2</sup>		0,07	0,11	0,04
Aço de 90-110 kgf/mm <sup>2</sup>		0,06	0,10	0,03
Aço acima de 110 kgf/mm <sup>2</sup>		0,05	0,09	0,03
Ferro fundido, até 180 HB		0,08	0,12	0,05
Ferro fundido, acima de 180 HB		0,06	0,10	0,03
Latão		0,08	0,12	0,05
Metais leves		0,10	0,14	0,06
Cobre		0,10	0,14	0,05
Aço até 60 kgf/mm <sup>2</sup>		Circulares, dentes cruzados <b>DIN 885A</b>	0,13	0,19
Aço de 60-90 kgf/mm <sup>2</sup>	0,12		0,18	0,07
Aço de 90-110 kgf/mm <sup>2</sup>	0,10		0,16	0,05
Aço acima de 110 kgf/mm <sup>2</sup>	0,09		0,15	0,04
Ferro fundido, até 180 HB	0,13		0,19	0,08
Ferro fundido, acima de 180 HB	0,10		0,16	0,05
Latão	0,13		0,19	0,08
Metais leves	0,15		0,22	0,09
Cobre	0,15		0,22	0,09

Achado o avanço por dente da fresa, resta encontrar o avanço da mesa, a ser selecionado na máquina como fizemos com a rpm. Para isso usam-se as formulas.

$$av = ad \cdot z \quad am = av \cdot n$$

Em que: Em que:

$z$  = número de dentes  $a_m$  = avanço da mesa

$a_d$  = avanço por dente  $a_v$  = avanço por volta

$a_v$  = avanço por volta  $n$  = rotação .

Agora é só selecionar na fresadora, Caso não seja possível, deve-se escolher o avanço menor mais próximo. Isso evitará que cada dente corte um valor acima do recomendado pelo fabricante. O que poderia acarretar um desgaste excessivo e até mesmo a quebra do dente.

### Exercício

Dada uma peça de aço de 55 kgf/mm<sup>2</sup> de resistência e utilizando uma fresa circular de 40 dentes retos, diâmetro de 80 mm e profundidade de corte de 7 mm, determine:

Vc	rpm	ad	av	am

### Profundidade de corte

Finalmente, o último passo antes de usinar uma peça é escolher a profundidade de corte, para saber quantas passadas à ferramenta deve dar sobre a peça a fim de retirar o sobremetal e deixar a peça no tamanho desejado. Este é um dado prático. Depende muito da experiência do operador em identificar a resistência e robustez da fresadora.

$$\text{n}^\circ \text{ de passadas} = \frac{\text{sobremetal}}{\text{profundidade de corte}}$$

Para escolher a profundidade de corte, é preciso antes medir a peça em bruto, a fim de determinar a quantidade de sobremetal a ser removida. Com este dado em mãos, decide-se o número de passadas da fresa sobre a peça. Durante a operação, as passadas são executadas sobre a peça, levantando-se a mesa da fresadora ou abaixando-se a fresa. Na prática, a máxima profundidade de corte adotada é de até 1/3 da altura da fresa.

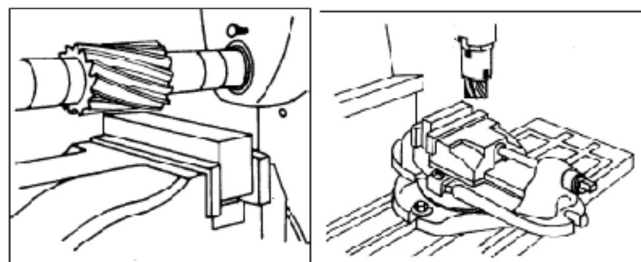
### Exercício

Você recebeu uma peça de ferro fundido com dureza Brinell de 170HB e 15 mm de sobremetal. A fresa disponível é cilíndrica de 8 dentes, 40 mm de diâmetro e máxima profundidade de corte de 5 mm. Determine:

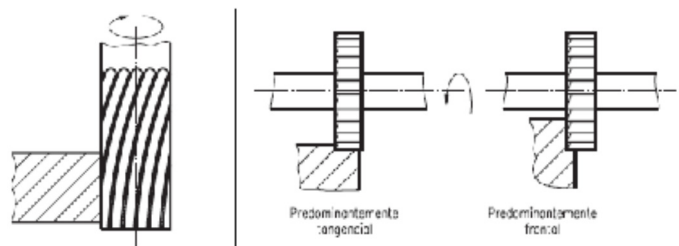
Vc	rpm	ad	av	am	nº de passes

## FRESANDO SUPERFÍCIE PLANA, PLANA INCLINADA E EM ESQUADRO.

Existem duas formas de fresar superfícies: a tangencial e a frontal. Na fresagem tangencial, o eixo de rotação da fresa é paralelo à superfície da peça que está sendo usinada. Na fresagem frontal, o eixo de rotação é perpendicular à superfície da peça. Tanto a fresagem tangencial quanto a frontal podem ser executadas em qualquer tipo de fresadora. Veja figuras a seguir.



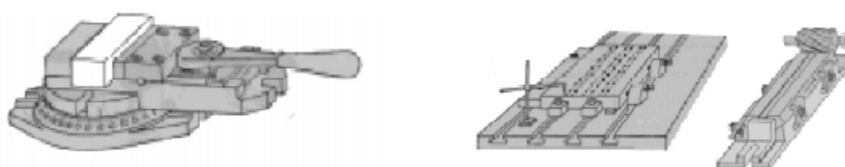
fresagem tangencial em fresadora horizontal fresagem frontal em fresadora vertical .



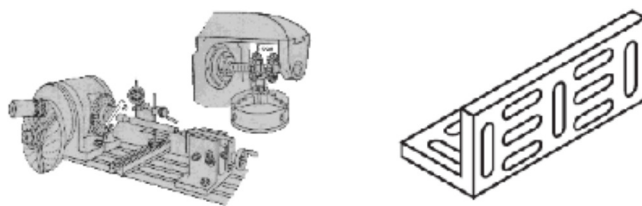
fresagem tangencial em fresadora vertical fresagem frontal em fresadora horizontal .

Com esta pequena introdução, já podemos entrar no assunto. Distinguimos na fresagem em superfície plana três casos: fresagem de superfície plana simples, de superfície plana perpendicular a uma superfície de referência e, finalmente, de superfície plana inclinada.

## Meios de fixação



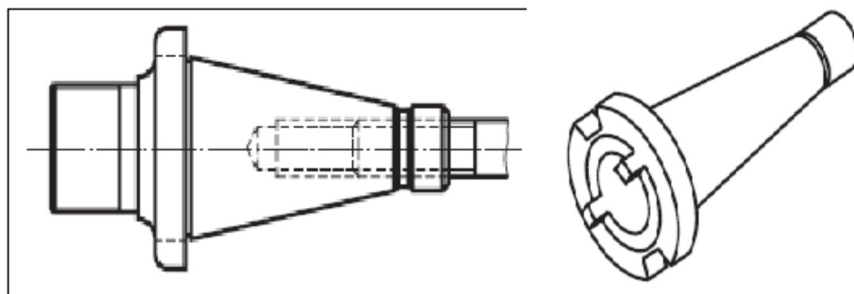
Fixação em morsa Fixação sobre a mesa .



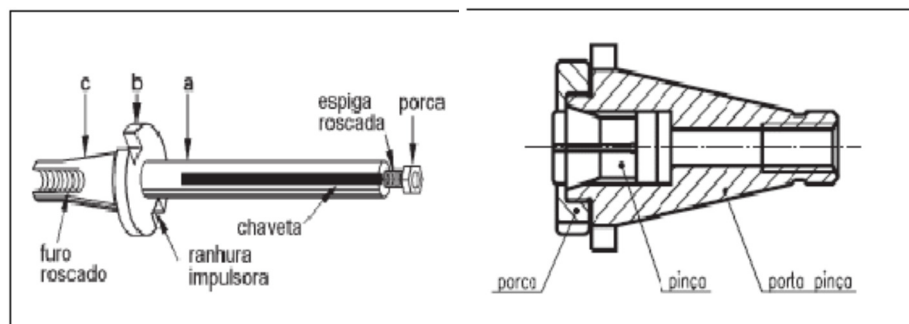
Fixação com aparelho divisor Fixação em cantoneira .

## PINÇAS E MANDRIS, (EIXOS PORTA-FRESAS).

Veja a seguir os tipos de mandril.

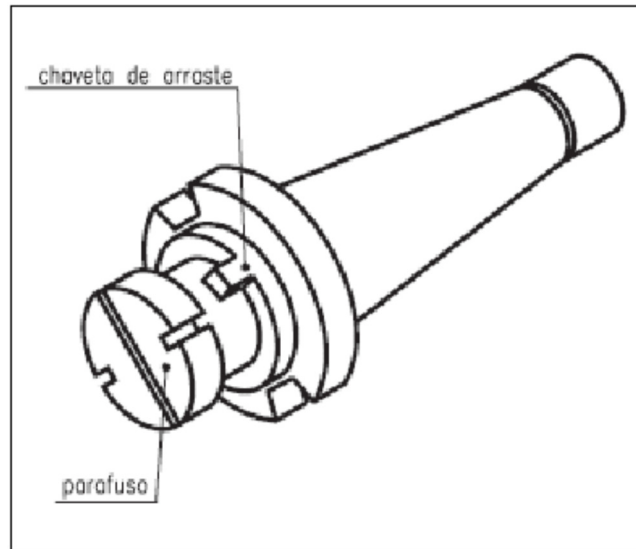


Mandril para fresa com furo rosqueado Mandril para fresas de hastes cônicas



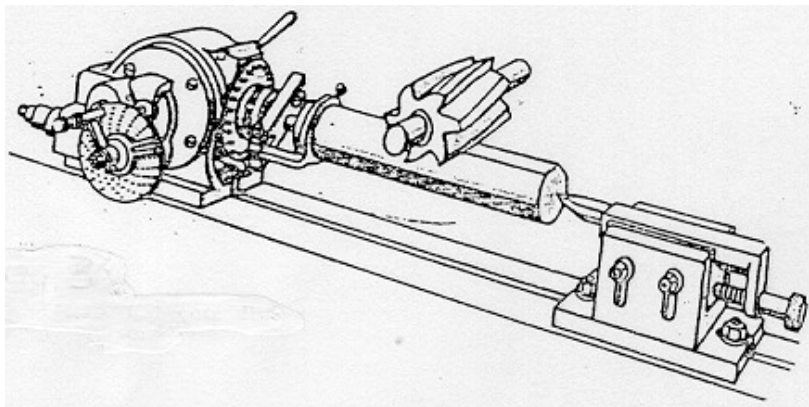
Eixo porta-fresas (haste longa) Mandril porta-pinças .



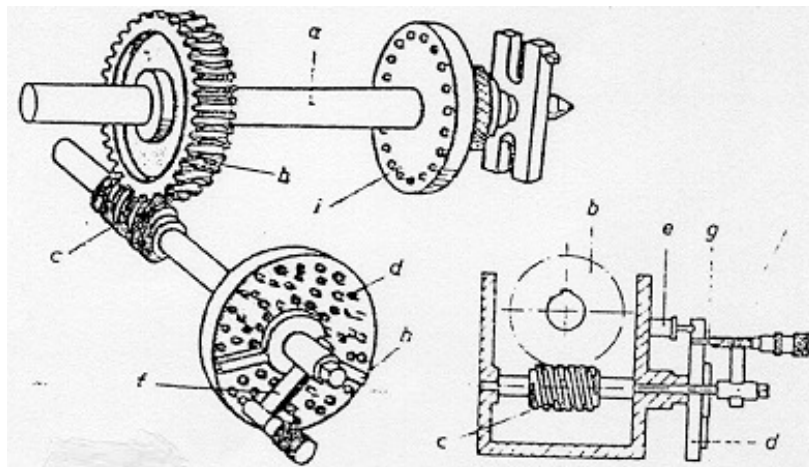


Eixo porta-fresas curto (mandril porta-fresas)

**CABEÇOTE DIVISOR**



**Cabeçote divisor**



Órgãos principais do cabeçote divisor: (a) árvore do divisor; (b) roda helicoidal; (c) parafuso sem-fim; (d) prato divisor; (e) cavilha de imobilização; (f) manivela; (g) ponto móvel indicador da divisão; (h) perna do compasso ou tesoura; (i) prato divisor para divisão direta.

O cabeçote divisor serve para a realização de um grande número de divisões diferentes. No cárter ou carcaça, encontra-se um mecanismo de parafuso sem-fim com uma redução de 40:1. A roda helicoidal encontra-se firmemente montada na árvore do divisor. O prato divisor permanece fixo e está unido à carcaça por meio duma cavilha. A cada cabeçote divisor pertencem 3 pratos divisores, cujas circunferências com furos possuem números diferentes de furos, como por exemplo:

Circunferência	Número de furos					
	I	II	III	IV	V	VI
I	15	16	17	18	19	20
II	21	23	27	29	31	33
III	37	39	41	43	47	49

A manivela para fazer girar o parafuso sem-fim é ajustável à circunferência de furos pretendida. Esta manivela possui um ponto móvel, com o qual se regula a divisão no prato divisor. O compasso ou tesoura de abertura regulável poupa, na divisão, o trabalho de contagem de furos. Como a peça a trabalhar é deslocada por meio de um mecanismo de parafuso sem-fim, denomina-se este processo de divisão indireta. Divisão por meio do cabeçote divisor: a fim de se poder executar a divisão, deve-se determinar o número de rotações da manivela. Temos:

$$nv = CD/nd$$

Onde:

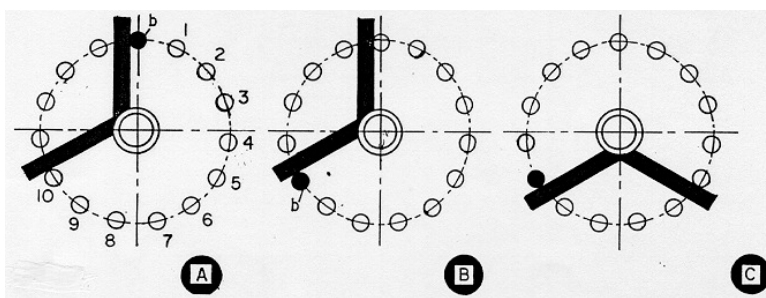
- $nv$  = número de voltas da manivela;
- $CD$  = constante do divisor (que equivale ao número de dentes da roda helicoidal, geralmente 40);
- $nd$  = número de divisões a executar na peça (ex.: 4, 6, 8, 10, 12).

Exemplo: trata-se de fresar um sextavado. Quantas rotações devem-se imprimir à manivela para que a peça gire 1/6 de circunferência após cada operação de fresagem?

$$nv = CD/nd = 40/6 = 6 \frac{2}{3}$$

Execução: escolhe-se uma circunferência cujo número de furos seja divisível por 3 (ex.: a circunferência de 15 furos):

1. Contam-se na circunferência  $2/3$  de 15 furos = 10 furos, regulando a abertura correspondente (nas hastes do compasso ou tesoura);
2. Após a fresagem da primeira face, dá-se à manivela 6 voltas completas e continua-se a girar mais  $2/3$  volta;
3. Imediatamente após esta operação, as hastes do compasso são giradas até o ponto móvel.



Execução de um sextavado

Exemplo sobre a seleção das circunferências adequadas, no uso do cabeçote divisor: seja um PRATO DIVISOR cujas circunferências têm os seguintes números de furos: 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62, 66.

Lembrando que o número de voltas da manivela é expresso por:

$$nv = CD/nd$$

- CD = constante do divisor (geralmente 40);
- nd = número de divisões a executar na peça.

Indique para cada tipo de peça (ver tabela abaixo) as circunferências do prato divisor que podem ser utilizadas:

PEÇA	N.º VOLTAS	CIRCUNFERÊNCIAS
Sextavado	$nv = 40/6 = 6 \frac{2}{3}$	51, 54, 57, 66
Oito lados	$nv = 40/8 = 5$	Qualquer
Cinco lados	$nv = 40/5 = 8$	qualquer
Dez lados	$nv = 40/10 = 4$	qualquer
Doze lados	$nv = 40/12 = 3 \frac{1}{3}$	51, 54, 57, 66
Engrenagem Z = 15	$nv = 40/15 = 2 \frac{2}{3}$	51, 54, 57, 66

Engrenagem Z = 25	$nv = 40/25 = 1 \frac{3}{5}$	(utilizar o outro lado do prato divisor)
Engrenagem Z = 60	$nv = 40/60 = 2/3$	51, 54, 57, 66
Engrenagem Z = 16	$nv = 40/16 = 2 \frac{1}{2}$	46, 54, 58, 62, 66
Engrenagem Z = 20	$nv = 40/20 = 2$	qualquer

## Retificadora

A retificadora é uma máquina empregada na usinagem de peças para dar as suas superfícies uma exatidão maior e melhor acabamento do que os conseguidos em máquinas convencionais. São, basicamente, três as situações que exigem o uso de uma retífica:

1. Quando se deseja atingir tolerâncias dimensionais superiores às obtidas com as máquinas ferramentas já vistas;
2. Quando se necessita de um melhor acabamento superficial (melhor qualidade de trabalho – maior IT);
3. Para corrigir deformações geométricas, decorrentes de outras operações de usinagem.

A retificação de peças permite obter dimensões com tolerâncias a partir de 0,001 mm, sendo comum 0,005 mm. Para operações de desbaste, são empregadas penetrações de 0,01 a 0,03 mm, enquanto que no acabamento fino de 0,002 a 0,005 mm. A retífica não é uma máquina propriamente de produção, sendo mais encontrada na manutenção, pois o seu processamento é lento, normalmente exigindo um operador bem treinado e experiente, sendo o processo mais caro na fabricação de peças, ou seja, o salário dos operadores costuma ser os maiores na fábrica e a hora/máquina a mais alta. A retífica também é uma máquina perigosa, exigindo procedimentos mais rigorosos de segurança. A atenção maior deve ser dada ao rebolo (ferramenta usada na retífica), e ao seu estado com relação a rachaduras. Por serem frágeis, os rebolos ou mós, devem ser protegidos de pancadas e choques, além de serem armazenados em local seco e na ausência de luz. Antes de serem usados, os mesmos são testados quanto a rachaduras, pelo método do som (martelo de madeira) ou pelo ultra-som. Os principais constituintes de um rebolo ou mó são os grãos abrasivos, duros e de arestas aguçadas, unidos por um aglutinante.

Os rebolos, portanto, são ferramentas multi-cortantes, com milhares de arestas de corte, formadas pelos grãos. Os abrasivos podem ser naturais ou artificiais. Os naturais mais comuns são o quartzo e a alumina, na forma natural. Os artificiais constituem a maior parte dos abrasivos encontrados em rebolos. Exemplos: alumina anidra, carboneto de silício, diamante, etc.

Os grãos dos abrasivos são triturados e os diversos tamanhos de grãos são obtidos por granulação (ou peneiramento), até o número de 600; a partir desse número, até 2000, obtém-se por técnicas de decantação. O número da granulação influencia a qualidade do acabamento superficial. Quanto menor o número, mais grosso é o grão, mais áspera à superfície, maior o rendimento. Quanto maior o número, mais fino o grão, mais lisa a superfície, menor o rendimento.

O aglomerante reúne os grãos abrasivos e molda-se para dar a forma do rebolo e sua resistência, dando-lhe condições de fazer o trabalho desejado e desprender o grão quando ele perder suas características de corte. A proporção e qualidade da liga bem como o abrasivo determinam dureza e grau de porosidade, exigidos pelo tipo de retificação.

- Vitrificadas (V): feitas à base de mistura de feldspato e argila, são as mais utilizadas, pois não sofrem ataque ou reação química pela água, óleo ou ácidos. Dão usadas nas máquinas retificadoras com velocidade periférica de no máximo 35m/s.
- Resinóides (R): São feitos com base em resinas sintéticas (fenólicas) e permitem a construção de rebolos para serviços pesados com cortes frios e em alta velocidade, que nunca deve superar 80m/s.
- Borracha (R): utilizada em aglomerante de ferramentas abrasivas para corte de metais e em rebolos transportadores das retificas sem centro (center less).
- Goma-laca (E) e Oxicloretos (O): atualmente em desuso e só aplicada em trabalhos que exijam corte extremamente frios em peças desgastadas.

Simbologia das principais ligas:

V= Vitrificadas

E= Goma-laca

B= Resinóides

O= Oxicloretos

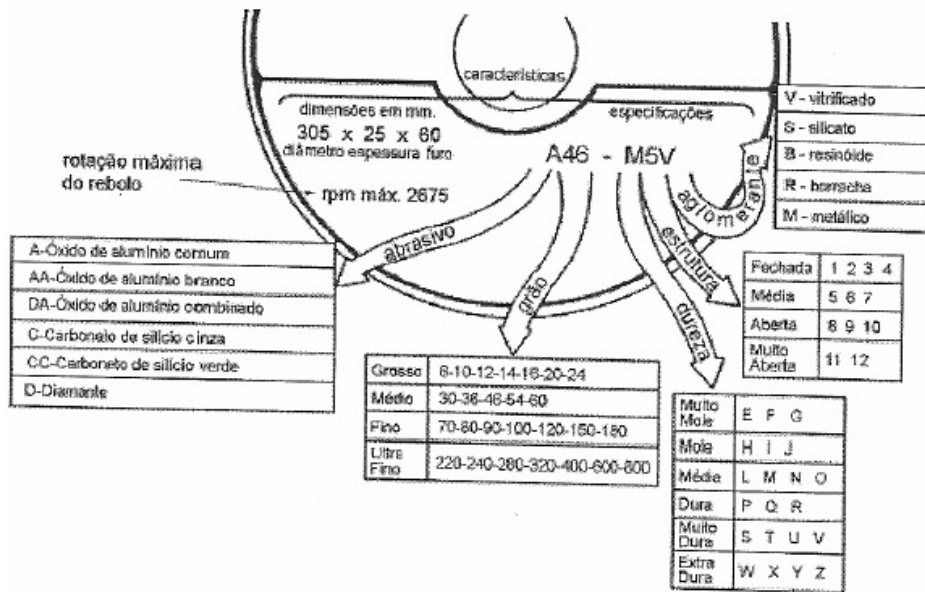
R=Borracha

S=Silicato

Salienta-se que os grãos abrasivos devem ser sempre mais duros que o material sendo usinado. Isso porque o processo de usinagem requer que cada grão retire uma pequena quantidade de material, se desgastando ao longo do tempo. Ao perde o fio, a pressão de corte aumenta, fazendo com que o grão se desprenda, dando lugar a um novo grão. Isso só é possível caso se tenha um aglomerante macio. O grau de dureza do rebolo é designado por letra( E, macia, a W, dura). A estrutura dos grãos também é indicada, variando de muito compacto a muito porosa (0 a 9).

As normas dizem que o rebolo deve ser especificado da seguinte maneira: diâmetro externo, largura, diâmetro interno, material do grão, granulação, dureza, estrutura, aglutinante. Exemplo: 250 x 25x 76 – EK 46 L 4 Ke.

Os fabricantes de rebolos adotam um código internacional, constituído de letras e números, pra indicar as especificações do rebolo conforme ilustração a seguir.



A retificação é um processo que gera muito calor, sendo necessária uma refrigeração adequada. A falta de refrigeração pode levar a perda de tratamento térmico das superfícies da peça, com “queimaduras” ao longo da sua extensão, bem como deformações geométricas.



Exemplo de uma retifica plana

## Furadeiras

São máquinas-ferramenta que permite executar operações como furar, roscar com machos, rebaixar e alargar furos. Essas operações são executadas pelo movimento de rotação e avanço das ferramentas fixadas no eixo principal da máquina.

O movimento de rotação é transmitido por um sistema de engrenagens ou de polias, impulsionadas por um motor elétrico. O avanço é transmitido por um sistema de engrenagem (pinhão e cremalheira) que pode ser manual ou automático.

Para as diferentes condições de perfuração requeridas, foram criados diferentes modelos de furadeiras. Antes de se escolher a furadeira ideal para o trabalho a ser realizado, devem ser avaliados os seguintes aspectos:

- forma da peça;
- dimensões da peça ;
- número de furos a serem abertos;
- quantidade de peças a serem produzidas;
- diversidade no diâmetro dos furos de uma mesma peça;
- grau de precisão requerido.

Na **furação**, uma ferramenta (broca) de dois gumes executa uma cavidade cilíndrica na peça. Uma variante da furação é o alargamento de furos, onde uma ferramenta similar à broca, porém com múltiplos gumes, remove material de um furo, aumentando seu diâmetro, e ao mesmo tempo conferindo-lhe um alto grau de acabamento. Este é um processo típico de acabamento.

### Classificação das Furadeiras

#### Furadeiras Portáteis

A força de avanço vem do operador, que força a furadeira contra o material, enquanto a rotação vem de um motor da própria furadeira. As furadeiras caseiras classificam-se como portáteis. É utilizada comumente em peças já montadas, onde a posição do local a ser perfurado impede a utilização de furadeiras mais precisas.

#### Furadeiras de Coluna

As furadeiras de coluna se caracterizam por apresentarem uma coluna de união entre a base e o cabeçote. A coluna permite deslocar e girar o sistema de transmissão e a mesa. Esse arranjo possibilita furação de elementos com as formas mais diversificadas, singularmente e em série.

A furadeira pode ser:

1. **De bancada** (também chamada de sensitiva) – utilizadas para pequenas perfurações. O avanço do mandril se dá por meio de uma alavanca que o operador faz avançar aos poucos, sentindo assim o avanço da broca dentro do material.

2. **De piso**- geralmente usada para a furação de peças grandes com diâmetros maiores do que os das furadeiras de bancada. Possui uma mesa giratória que permite maior aproveitamento em peças com formatos irregulares. Apresenta, também, mecanismo pra avanço automático do eixo árvore.

### **Furadeiras Radiais**

O sistema de cabeçote móvel elimina a necessidade de reposicionamento da peça quando se deseja executar vários furos. Pode-se levar o cabeçote a qualquer ponto da bancada, diminuindo o tempo de produção. Recomendadas para peças de grandes dimensões, a serem furadas em pontos afastados da periferia.

### **Furadeira de Arvores Múltiplas**

Possui vários fusos alinhados para executar operações sucessivas ou simultâneas em uma única peça ou em diversas peças ao mesmo tempo. Útil para trabalhos em uma peça que tem que passar por uma serie de operações, como furar, contrapuncionar, mandrilar, alargar furos e rebaixar cônica e cilíndricamente.

### **Furadeiras Múltiplas de Múltiplos Cabeçotes**

Nessas furadeiras mais de um cabeçote ataca a peça a ser perfurada, eliminando a necessidade de reposicionar e virar a peça a cada vez que o plano de perfuração for alterado. São utilizadas para economizar tempo uma vez que o tempo total de perfuração fica condicionado ao furo mais profundo.

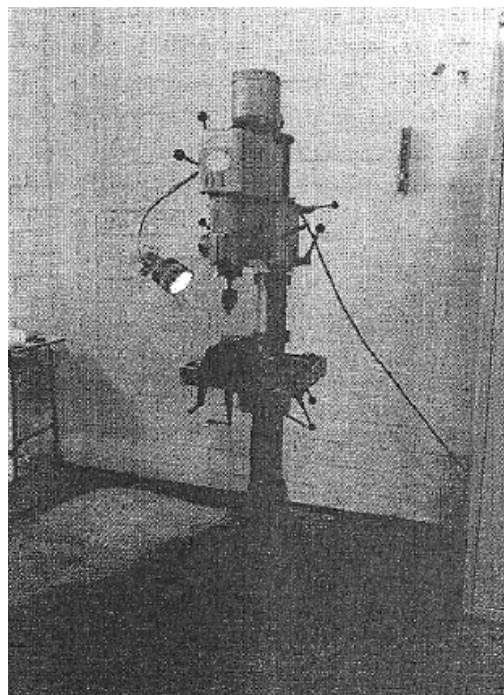
### **Furadeiras Múltiplas de Cabeçote Único**

Originaram-se da aplicação de cabeçotes de vários mandris a furadeiras de coluna. São mais úteis em peças a serem produzidas em série com necessidade de furação de muitos pontos em um ou vários planos.

### **Furadeira de Comando Numérico**

Nessas furadeiras, a opera é feita de acordo com um programa, permitindo uma maior precisão e velocidade.





Exemplo de uma furadeira de coluna

## Brocas

Broca é uma ferramenta de corte de forma cilíndrica, fabricada em aço rápido, aço carbono ou em aço carbono com ponta de metal duro soldada ou fixada mecanicamente, destinada à execução de furos cilíndricos. Para operações de furar, a broca mais utilizada é a broca helicoidal, mas além desta ainda existe um grande número de brocas para as mais diversas finalidades.

### A Broca Helicoidal

A broca helicoidal se fixa à máquina pelo seu ecabadoiro que pode ser de forma cônica ou cilíndrica. A parte cortante recebe sua forma fundamental graças às duas ranhuras de forma helicoidal. Os dois gumes principais formados pelo aguçamento da ponta são responsáveis pelo corte do material, enquanto o gume transversal, que se encontra entre as duas faces de incidência, comprime o material para fora consumindo assim cerca de 40% da força de avanço.

### A escolha da broca

Na escolha da broca devem ser considerados os seguintes fatores:

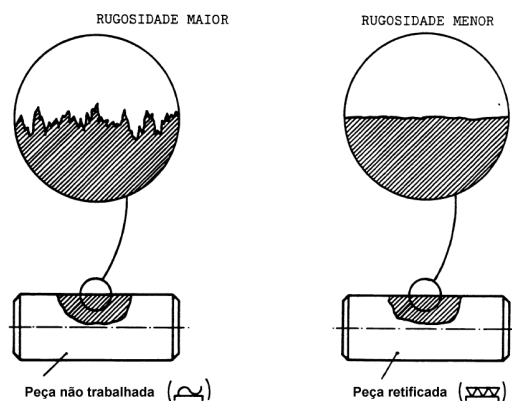
- o diâmetro do furo a ser aberto;
- o material a ser furado;
- o aguçamento da broca.

Pelo diâmetro do furo ser aberto e o material a ser perfurado, segundo a norma DIN, a broca classifica-se em W,N ou H. Com estes parâmetros, determina-se o ângulo da hélice e da ponta e assim seleciona-se a

broca. Por fim, é necessário que se verifique o aguçamento dos gumes. Uma broca com os gumes arqueados para frente ou para trás gasta rapidamente, enquanto que uma broca com comprimento de seus gumes desiguais gera um furo maior que o desejado.

## RUGOSIDADE

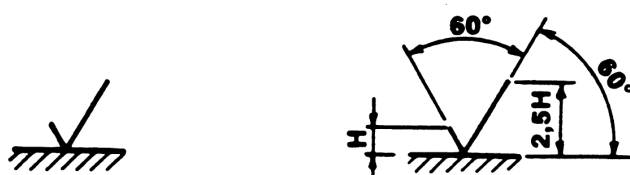
Com os símbolos de trabalho, podemos definir a natureza da peça; em alguns casos, porém, especialmente em trabalhos em bancada ou em máquinas- ferramentas, tais indicações não resultam suficientes na especificação da natureza das superfícies, visto a interpretação poder resultar subjetiva. A este propósito foi introduzido um sistema que permite designar e identificar, através de índices numéricos, a natureza da superfície graus da rugosidade.



Aumentando, através de um instrumento óptico, um pedaço de superfície em ambas as peças, das quais uma não é trabalhada, e a outra retificada, podemos notar diferentes rugosidades em dois perfis.




### Símbolos gráficos adotados na indicação do estado da superfície

O símbolo gráfico de base é composto por dois segmentos de comprimentos diversos, com uma inclinação relativa de aproximadamente  $60^\circ$ . Este é traçado com um traço fino com dimensão aproximada, relativamente ao traço que representa a superfície ou a tangente à superfície considerada.





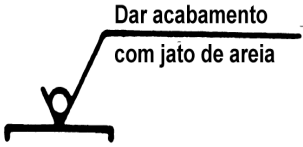
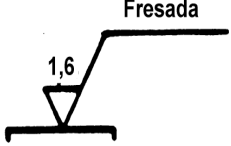
### Símbolos gráficos sem inscrição

SÍMBOLO GRÁFICO	SIGNIFICADO

	Símbolo gráfico de base. O estado da superfície pode ser obtido com qualquer tipo de trabalho.
	Superfície trabalhada com remoção de rebarba.
	Superfície da qual não é possível nenhuma remoção de rebarba. Este símbolo gráfico pode ser igualmente utilizado no desenho para indicar que uma superfície deve permanecer tal como foi obtida, com ou sem remoção de rebarba, numa fase precedente de trabalho. Neste caso, devem-se acrescentar indicações anteriores ao símbolo gráfico.

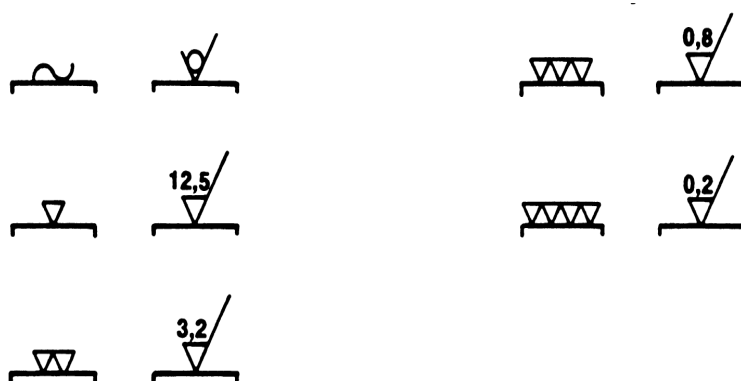
A rugosidade Ra, obtida mediante instrumentos apropriados, exprime-se em ( $\mu\text{m}$ ). Os valores numéricos da rugosidade Ra são transcritos na tabela indicada. De preferência, devem ser adotados os valores assinalados com asterisco.

RUGOSIDADE RA ( $\mu\text{m}$ )			
0,008			
0,01			
0,012	0,125	1,25	* 12,5
0,016	0,16	* 1,6	16
0,02	* 0,2	2	20
‡ 0,025	0,25	2,5	25
0,032	0,32	* 3,2	32
0,04	* 0,4	4	40
* 0,05	0,5	5	50
0,063	0,63	6,3	63
0,08	* 0,8	8	80
* 0,1	1	10	100

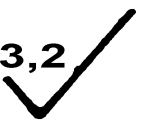


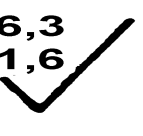
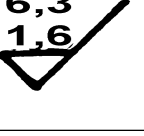
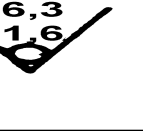
	A rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ ) deve ser escrita no interior do símbolo gráfico.		Sendo necessário fornecer indicações complementares acrescenta-se ao traço mais comprido do símbolo gráfico um traço horizontal.
Para as indicações complementares, completa-se o símbolo gráfico com as relativas indicações:			
			

Entende-se a rugosidade indicada como aquela obtida uma vez realizado o trabalho, isto é, a seguir à última operação à qual se submeteu a superfície, salvo a indicação em contrário.

A norma UNI 3963 já não prevê a indicação da natureza da superfície mediante triângulos. Para a interpretação das indicações em desenhos antigos, pode-se a título indicativo a seguinte comparação:















Símbolos gráficos com a indicação da rugosidade:

Símbolo gráfico onde o trabalho com a remoção de rebarba é			SIGNIFICADO
Facultativo	Obrigatório	Proibido	
			Superfície com uma rugosidade Ra de 3,2 $\mu\text{m}$ .
			

Indicações com orientação preferencial dos sulcos:

A indicação de uma orientação preferencial dos sulcos de rugosidade deve ser marcada no desenho mediante os sinais convencionais do resumo seguinte:

--	--	--	--	--	--	--	--

=	Os sulcos devem ser orientados paralelamente ao traço da superfície à qual se refere o sinal no desenho.			M	Os sulcos devem ser orientados segundo mais direções quaisquer.		
⊥	Os sulcos devem ser orientados em direção normal ao traço da superfície em à qual se refere o sinal do desenho.			C	Os sulcos devem ser orientados segundo direções aproximadamente concêntricas ao centro da superfície ao qual o desenho se refere.		
X	Os sulcos devem ser orientados segundo duas direções cruzadas			R	Os sulcos devem ser orientados segundo direções aproximadamente radicais em relação ao centro da superfície à qual o desenho se refere.		

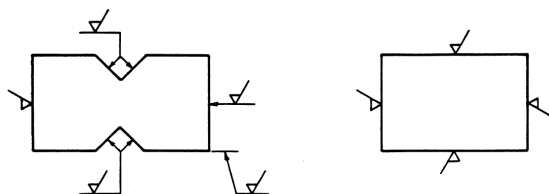


Se quiser prescrever o sobremetal, isto é indicado à esquerda do símbolo e deve ser expresso em milímetros.

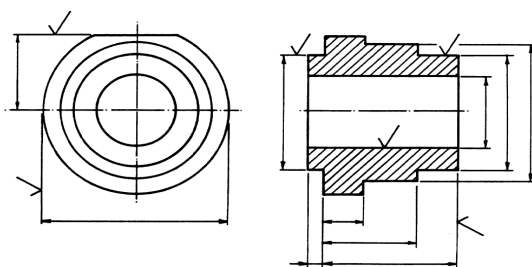
## REGRAS PARA A APLICAÇÃO DE SÍMBOLOS GRÁFICOS NOS DESENHOS

O símbolo gráfico e as relativas inscrições devem ser dispostos na base e à direita do desenho de modo a serem legíveis. Sempre que necessário, o símbolo gráfico pode-se referir ao traço da superfície interessada, através de linha de chamada que termina com uma seta orientada do interior da peça para o

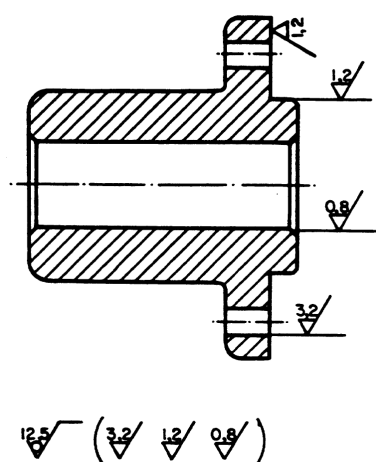
traço da superfície considerada ou seu prolongamento.



Em conformidade ao princípio geral de dimensionamento, o símbolo gráfico deve aparecer apenas uma vez na mesma superfície e, se possível, na vista na qual comparecem as cotas que definem as dimensões ou a posição da superfície.

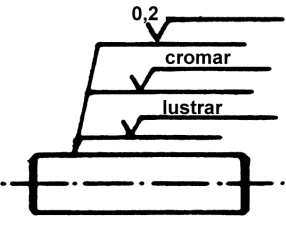
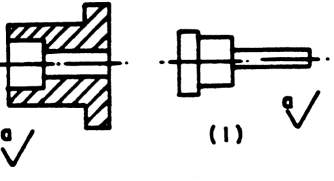
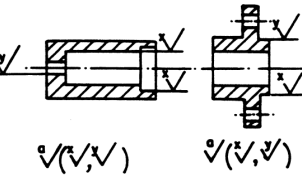
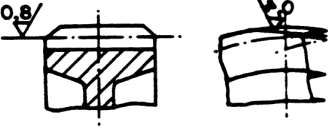
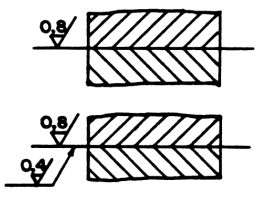
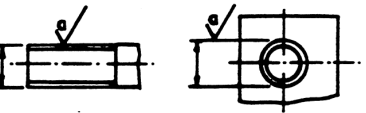


No caso de o objeto ser constituído na sua maior parte por um mesmo tipo de superfície, o símbolo gráfico correspondente é indicado na legenda destinada às inscrições ou no espaço reservado às notas gerais. Outros tipos eventuais de acabamentos das superfícies serão indicados diretamente sobre as superfícies e escritos, entre parênteses, ao lado daquele geral.



#### Indicações especiais

EXEMPLO	DESCRIÇÃO
---------	-----------

	<p>Se a rugosidade se refere a um estado da superfície anterior ao acabamento, deve-se marcar também a sucessão dos controles, referida ao ciclo dos trabalhos. As várias indicações se marcam na ordem com a qual devem ser satisfeitas; a indicação mais próxima à última prescrição que deve ser satisfeita.</p>
	<p>Quando um detalhe deve apresentar a mesma rugosidade em todas as suas partes indistintamente, a indicação respectiva é colocada uma só vez no ângulo inferior esquerdo ao desenho ou ao lado do número distintivo da peça.</p>
	<p>Quando em uma peça as superfícies devem ter em predominância a mesma rugosidade com exceção de qualquer uma destas, a indicação relativa à rugosidade predominante é posta uma só vez no ângulo inferior esquerdo ou ao lado do número distintivo da peça, seguida pelos sinais gráficos diversos colocados entre parênteses. Somente estes últimos sinais são colocados nos traços que representam as superfícies interessadas.</p>
	<p>Para a indicação da rugosidade das superfícies dos lados dos dentes que não estão representados no desenho, coloca-se os sinais gráficos na circunferência primitiva ou na seção axial ou na vista.</p>
	<p>Geralmente a indicação da rugosidade para duas superfícies de contato se relaciona uma só vez se é requerido o mesmo valor.</p> <p>Se, ao invés, é exigida uma rugosidade diferente deve-se marcar as indicações relativas a cada uma das superfícies ao lado do detalhe a que se referem.</p>
	<p>Para a filetagem a eventual indicação da rugosidade dos lados dos filetes deve ser colocada em correspondência ao diâmetro de filetagem. Nestes casos a rugosidade não deve ser entendida senão para eventuais porções planas de diâmetro que permaneçam após a execução da filetagem.</p>

Valores de rugosidade máxima RA compatíveis com as tolerâncias ISO ( $\mu\text{m}$ ).										
Tolerâncias ISO	Grupos de dimensões ( mm )									
	$\leq 3$		$>3 \leq 18$		$>18 \leq 80$		$>80 \leq 250$		$> 250$	
	TOL	RA	TOL	RA	TOL	RA	TOL	RA	TOL	RA
IT 6	6	0,2	8 : 11	0,3	13 : 19	0,5	22 : 29	0,8	32 : 40	1,2
IT 7	10	0,3	12 : 18	0,5	21 : 30	0,8	35 : 46	1,2	52 : 63	2
IT 8	14	0,5	18 : 27	0,8	33 : 46	1,2	54 : 72	2	81 : 97	3
IT 9	25	0,8	30 : 43	1,2	52 : 74	2	87 : 115	3	130 : 155	5
IT 10	40	1,2	48 : 70	2	84 : 120	3	140 : 185	5	210 : 250	8
IT 11	60	2	75 : 110	3	130 : 190	5	220 : 290	8	320 : 400	12
IT 12	100	3	120 : 180	5	210 : 300	8	350 : 460	12	520 : 630	20
IT 13	140	5	180 : 270	8	330 : 460	12	540 : 720	20	810 : 970	-
IT 14	250	8	300 : 430	12	520 : 740	20	870 : 1150	-	1300 : 1550	-

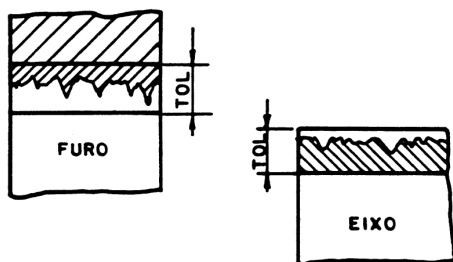


Fig. 13.6 – Em um acoplamento com jogo; no qual eixo e furo devam mover-se reciprocamente, as superfícies com rugosidade acentuada estarão expostas ao desgaste rápido que fará variar as características funcionais do acoplamento estabelecido.

SINAIS GRÁFICOS			RA $\approx 12 \mu\text{m}$ RA $\approx 3 \mu\text{m}$ RA $\approx 0,8 \mu\text{m}$
SINAL GRÁFICO OBTIDO POR EXTRAPOLAÇÃO			RA $\approx 0,2 \mu\text{m}$

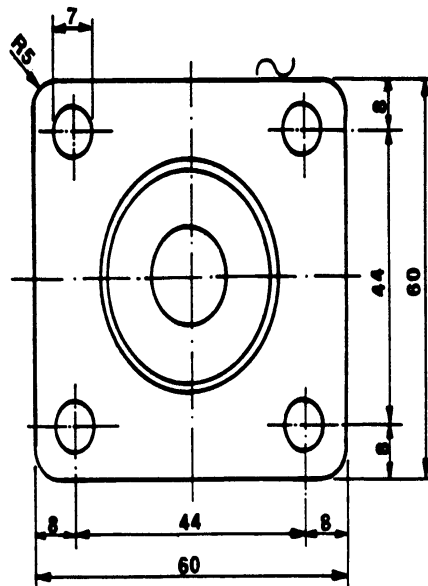
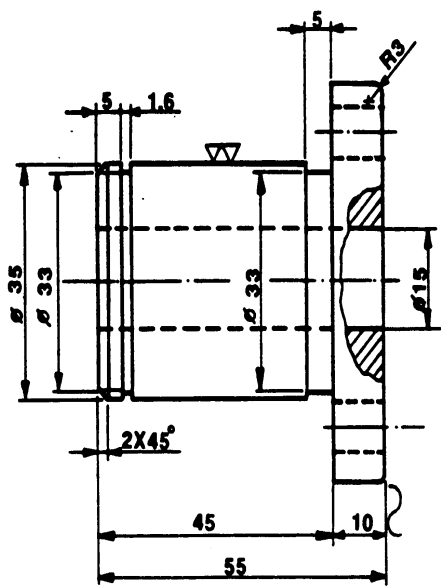
Fig. 14.6 – Os sinais gráficos admitidos provisoriamente como indicações de um certo valor de rugosidade, correspondem aos valores Ra indicados ao lado.

A tabela UNI 3963 indica a relação existente entre tipo de trabalho a rugosidade, simbolizando com a rugosidade mais freqüente e com aquela menos empregada. Relação entre tipo de trabalho e rugosidade Ra.

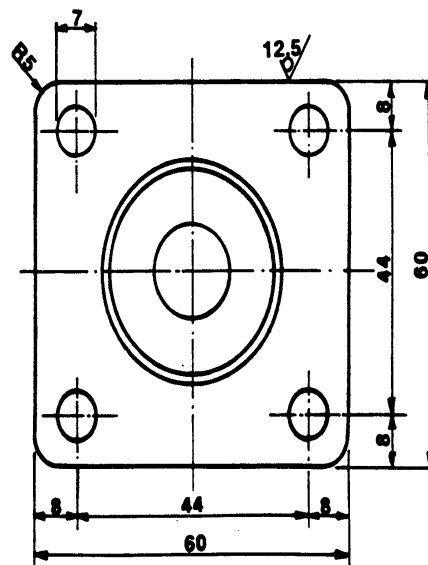
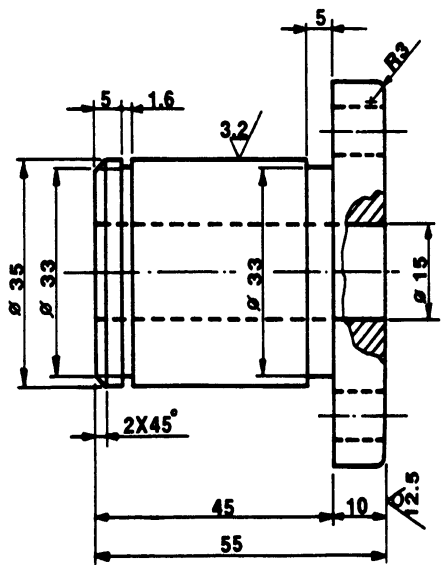


TRABALHO	RUGOSIDADE RA ( em $\mu\text{m}$ )														
	0,006	0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100
Fundição em molde de areia															
Fundição em molde em forma de concha															
Fundição em molde permanente															
Fundição de injeção															
Fundição de precisão															
Moldagem a quente															
Laminação a quente															
Laminação a frio															
Laminação com rolos perfilados															
Trefilação a frio															
Moldagem a frio, extrusão a frio															
Extrusão a quente															
Sinterização (peças não porosas)															
Cunhagem															
Banho de areia															
Rebarbação															
Aceplhadura, limação, escateladura															
Torneamento longitudinal															
Torneamento a facar															
Torn. a inserção e desinserção veoz															
Fresagem															
Fresagem química															
Furação															
Calibragem															
Eletroerosão															
Escareação															
Retificação plana															
Retificação cilíndrica															
Retificação eletrolítica															
Lavagem, polimento a disco, brunidura, etc															

Vejamos agora, o exemplo relativo aos símbolos de trabalho vistos anteriormente, e como se substituem as indicações com os índices de rugosidade:

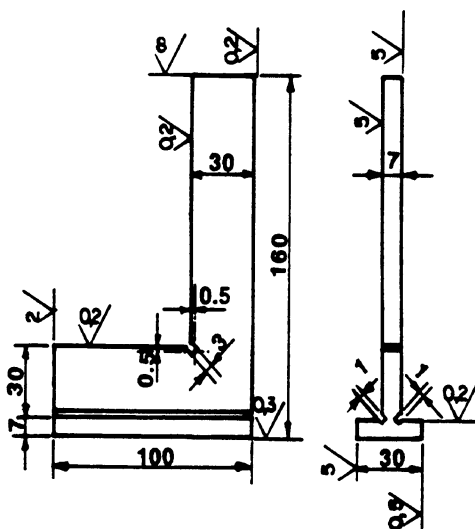
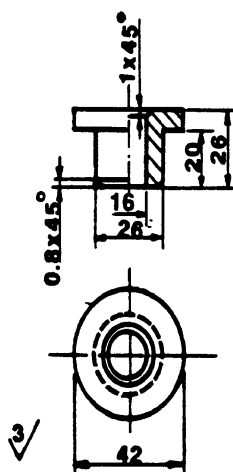
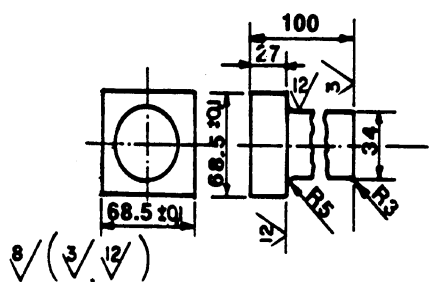
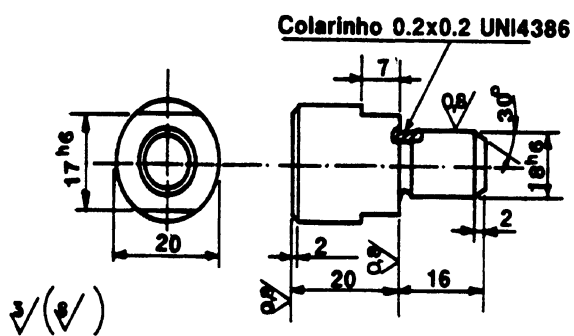


$\nabla$  ( $\sim \nabla \nabla$ )



$\nabla$  ( $\nabla$   $\nabla$   $\nabla$ )

Exemplos de indicações da rugosidade nos desenhos.



Exemplos:

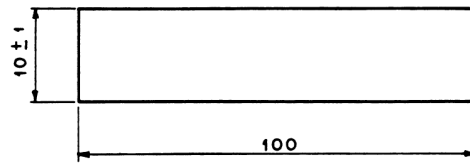


0,01	Faces de calibradores a cursor – Eixos de articulação – Ferramentas de precisão – Cossinetes superacabados – Acoplamentos estanques a alta pressão em movimento alternado, de retenção de líquido sobre pressão – Superfícies polidas de retenção sem guarnição.
0,02	Suportes eixos gomados e eixos com cames – Mancal de biela – Hastes de válvula – Superfícies de cames – Diâmetro de cilindros de bombas hidráulicas – Cossinetes polidos – Eixos de turbinas – Acoplamentos estanques móveis manuais. Guias de quadros de máquinas-ferramentas – Suportes de cossinetes a alta velocidade – Mancais de eixos de rotores de turbinas, de redutores, etc.
0,04	Eixos acanalados – Cossinetes de eixos motor – Diâmetro externo de pistões – Diâmetro s de cilindros – Eixos de grandes máquinas elétricas – Acoplamentos de prensa – Sedes de válvulas – Superfícies de retenção de serras e obturadores de válvulas; comportas, etc. – Mancais de eixos a gomos e cargas de linhas de eixos – Cossinetes de metal branco – Superfícies de partes deslizantes, como patins e guias respectivas.
0,08	Tambores de freio – Furos polidos – Cossinetes de bronze – Partes de precisão – Dentes de engrenagens – Cossinetes retificados – Superfícies de retenção de flanges sem guarnições – Mancais de eixos de gomos e cargas de linhas de eixos – Cossinetes de metal branco – Superfícies de partes deslizantes, como patins e guias respectivas.
1,6	Faces características de engrenagens – Eixos e furos de engrenagens cabeça de cilindro – Caixa de engrenagens de gusa – Faces de pistões – Superfícies de retenção de flange com guarnições.
3	Eixos e cossinetes para transmissão manual – Superfícies de acoplamento de partes fixas desmontáveis (flanges de acoplamento, batentes de centralização, etc.).
6	Superfícies de retenção de flanges com guarnições comuns.

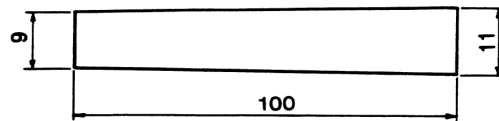
## TOLERÂNCIAS DE FORMA

Diferenças entre tolerância dimensional e tolerância de forma. Nas unidades precedentes, tratamos das tolerâncias e seus erros dimensionais; mas a fim de obter corretas condições de funcionamento e intercambiabilidade das peças devemos também considerar os erros geométricos. Estes erros geométricos admissíveis são definidos pelas tolerâncias de forma. Os erros de forma além de estabelecer o erro máximo da forma de uma superfície, devem ser compreendidos pela tolerância dimensional; assim diminuem a amplitude da mesma e por isso devem ser usados apenas quando indispensável.

Consideremos um detalhe:

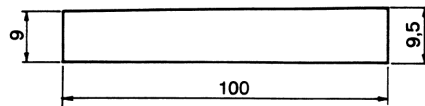


No limite máximo da tolerância o detalhe poderia apresentar as seguintes dimensões:

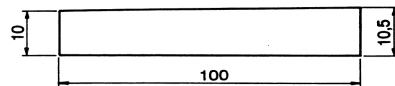


Se prescreve um erro de paralelismo de 0,5 o detalhe poderá ser construído entre as cotas 9 e 11; mas ao definir uma cota, a outra deverá sofrer uma variação de 0,5 e não de 2 como requerido pela tolerância dimensional.

Por exemplo:



Ou então:



E assim sucessivamente...

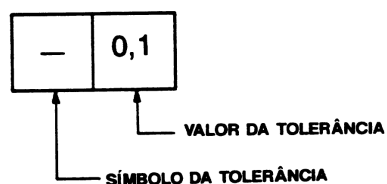
Deste modo reduzimos ulteriormente o desvio da tolerância nominal.

## INDICAÇÕES DE DESENHOS

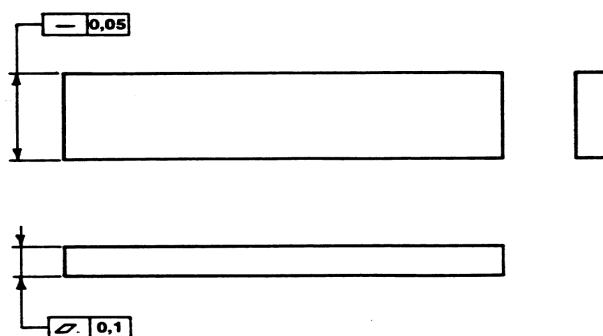
Apresentamos a tabela dos símbolos das tolerâncias de forma e posição.

CARACTERÍSTICAS		SÍMBOLO	Ponto de referência	CARACTERÍSTICAS		SÍMBOLO
FORMA DOS ELEMENTOS ISOLADOS	Rectilíneidade	—	5.1	Orientação dos elementos associados	Paralelismo	//
	Planaridade	▭	5.2		Perpendicularidade	⊥
	Circularidade	○	5.3		Inclinação	∕
	Cilindricidade	⊘	5.4	Posição dos elementos associados	Localização elemento	⊕
	Forma de uma linha qualquer	⌒	5.5		Concentricidade e coaxialidade	⊙
	Forma de uma superfície qualquer	⌒	5.6		Simetria	≡
						Oscilação

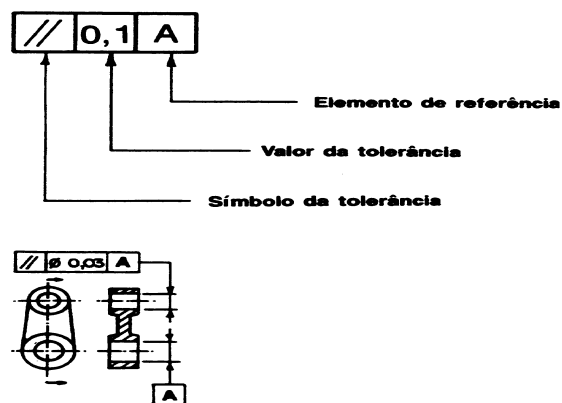
As indicações das tolerâncias estão inscritas num retângulo dividido em duas ou três casas.



Quando se querem representar as tolerâncias de forma em elementos isolados usa-se o retângulo com duas casas.

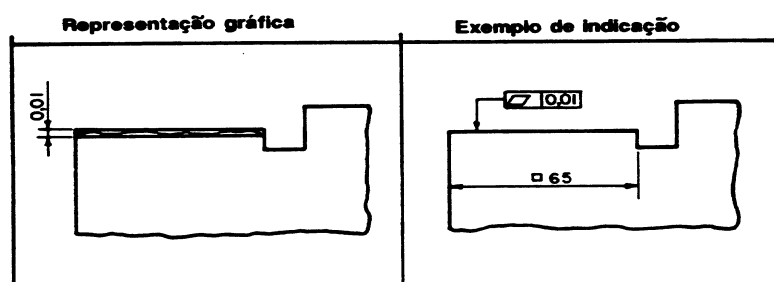


Quando se querem representar as tolerâncias em elementos associados usa-se o retângulo com três casas.



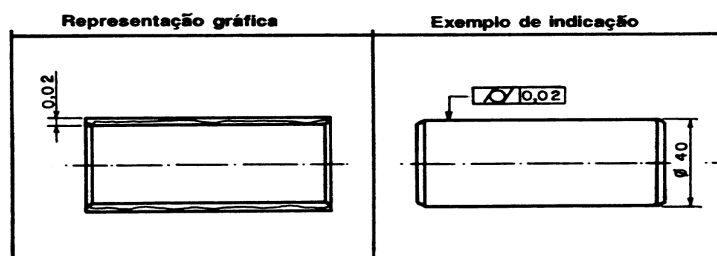
## EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

### Planaridade



A superfície real deve estar compreendida entre dois planos que distam entre eles de 0,01 mm.

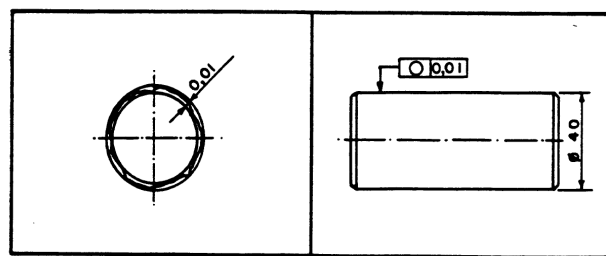
### Cilindricidade



A superfície do cilindro real deve estar compreendida entre dois cilindros coaxiais cujos raios diferem de 0,02 mm.

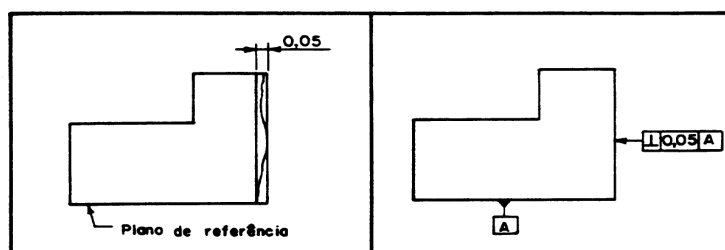
### Circularidade





Cada seção reta deve ter o contorno situado no interior de uma coroa circular com uma largura de 0,01 mm.

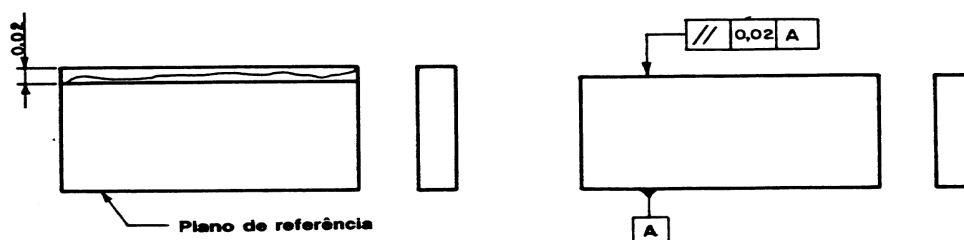
### Ortogonalidade



plano de referência

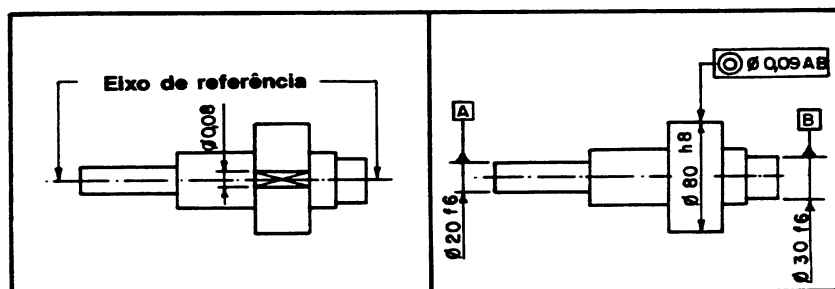
A superfície vertical deve estar compreendida entre dois planos paralelos que distam de 0,05 mm entre eles e são perpendiculares à superfície horizontal de referência A.

### Paralelismo



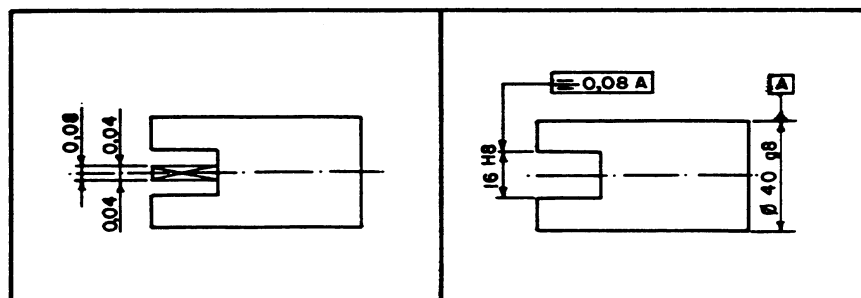
O plano superior deve estar compreendido entre dois planos paralelos cuja distância entre eles é de 0,02 mm, sendo ambos paralelos ao plano de referência A.

### Coaxibilidade

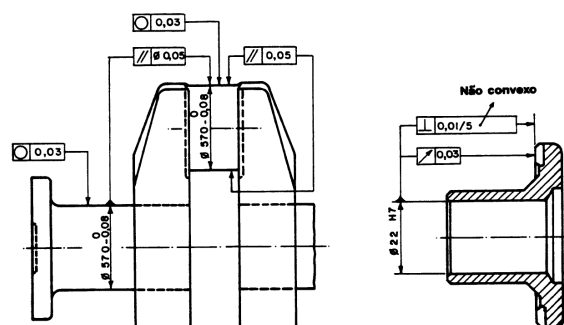


O eixo do cilindro cujo diâmetro tem a indicação de tolerância deve estar compreendido numa zona cilíndrica com 0,08 mm de diâmetro, coaxial com o eixo de referência AB.

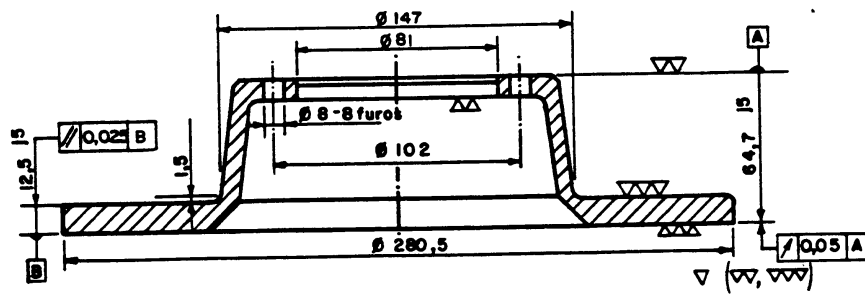
### Simetria



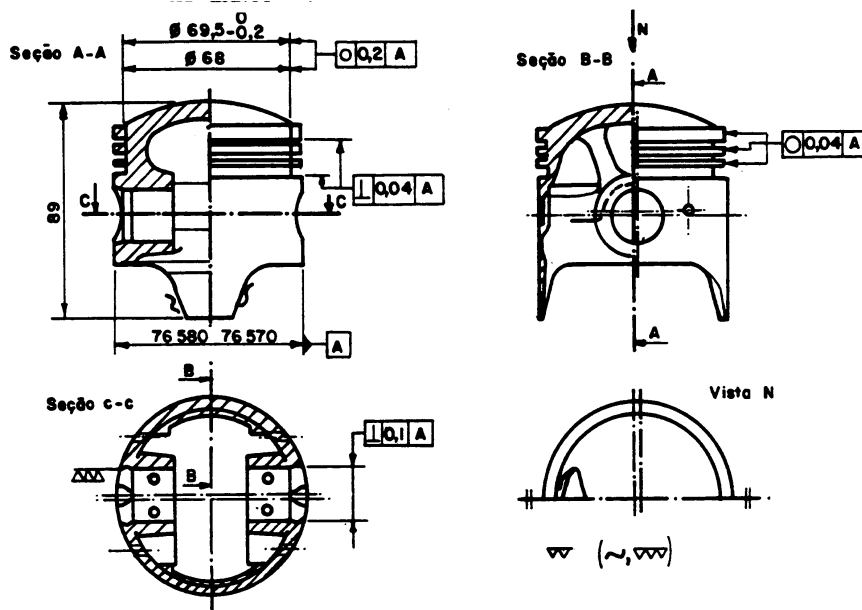
O plano de simetria do canal deve estar compreendido entre dois planos paralelos que distam de 0,08 mm e estão dispostos simetricamente em relação ao plano mediano do elemento de referência A. Exemplo de indicação das tolerâncias de forma e de posição.



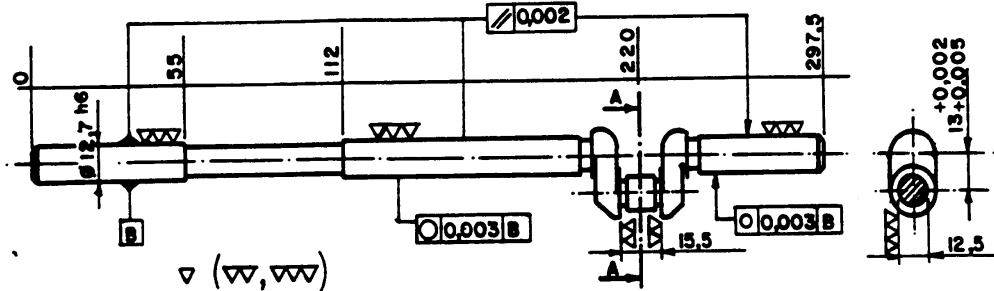
### EXEMPLOS



Disco de freio dianteiro para automóveis

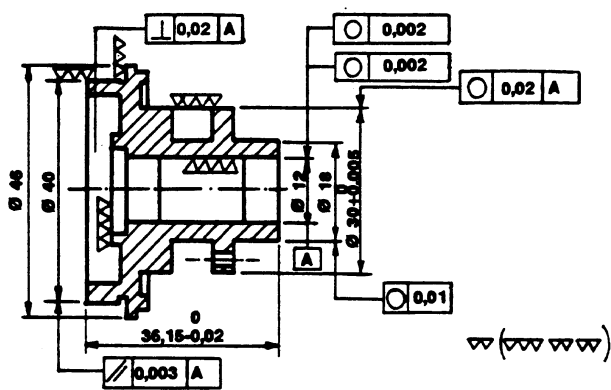


Pistão (de um desenho FIAT)

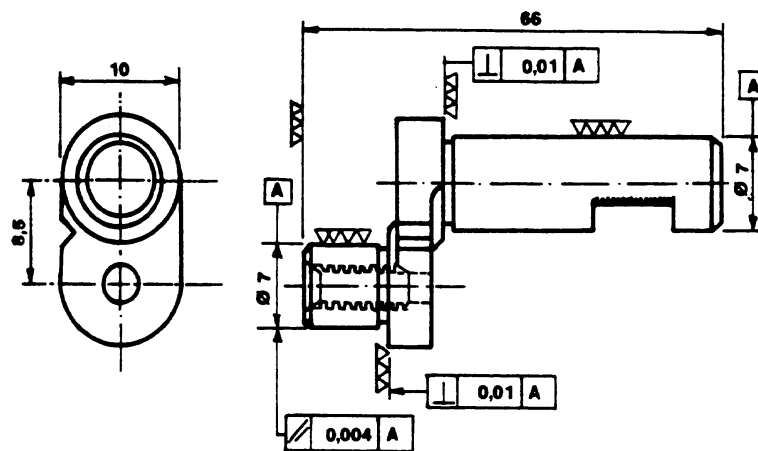


Eixo em cotovelos p/ máquinas de costura

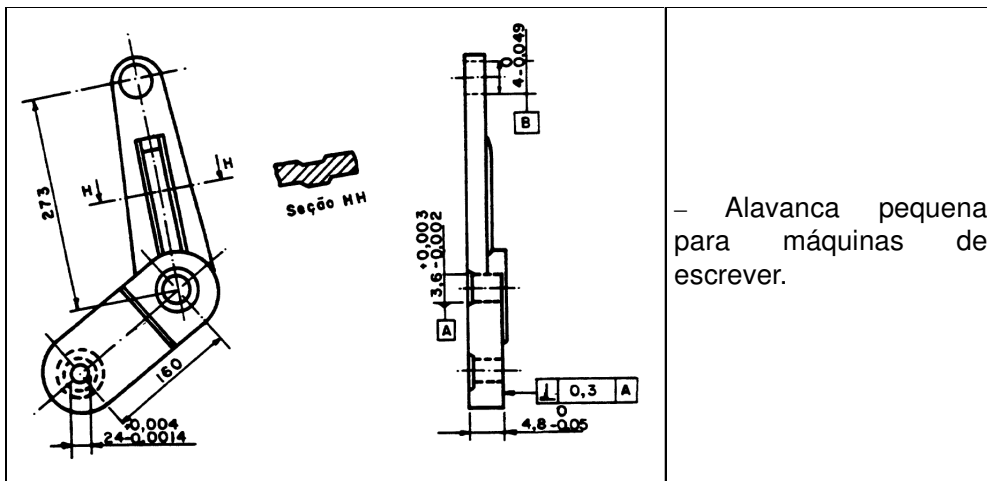
EXEMPLOS



- Mancal de eixo para pequenos níveis de engenharia .



Manivela de árvore de manivelas.



- Alavanca pequena para máquinas de escrever.







### SÍMBOLOS DE TRABALHO

Ao observar uma peça mecânica qualquer, notamos que suas superfícies são de natureza diversa. Podem ser: não trabalhadas, desbastadas, lixadas, retificadas e polidas. Além disso: pintadas, cromadas, niqueladas ou tratadas de modo a preservá-las da oxidação.

Natureza das superfícies
SUPERFÍCIE NÃO TRABALHADA: sem requisitos particulares (peças fundidas, forjadas)
SUPERFÍCIE NÃO TRABALHADA, LISA: a ser realizada com cuidado (peças fundidas, moldadas, laminadas)
SUPERFÍCIE LIXADA: trabalhada cuidadosamente com utensílios, à mão ou à máquina.
SUPERFÍCIE DESBASTADA: trabalhada com utensílios, ou à máquina.
SUPERFÍCIE RETIFICADA
SUPERFÍCIE DE NATUREZA DIVERSA DAS ANTERIORES:  (escrever o nome do tipo de trabalho ou do tratamento sofrido sobre o traço horizontal)

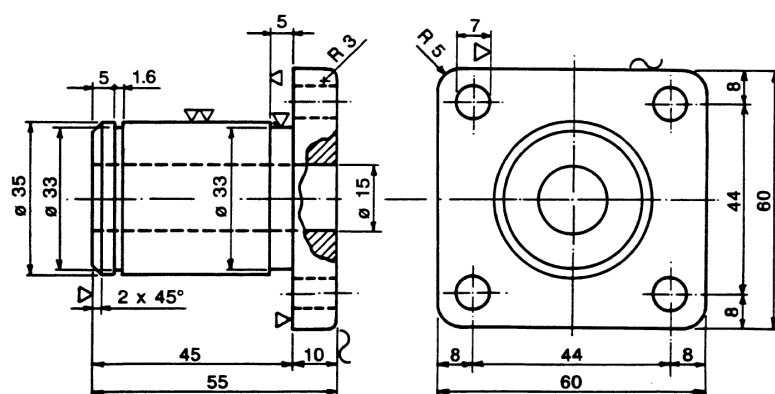
Como podemos ver, as definições são referidas aos requisitos a que as superfícies devem satisfazer. No desenho, a natureza das superfícies deve ser indicada, usando determinados símbolos designados “símbolos de trabalho”.

Estes símbolos convencionais para a indicação da natureza das superfícies são unificadas e podem-se resumir na seguinte tabela:

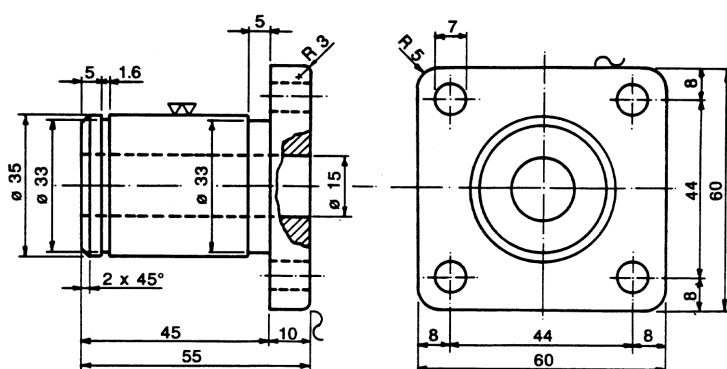
SÍMBOLO CONVENCIONAL	NATUREZA DAS SUPERFÍCIES
	SUPERFÍCIE NÃO TRABALHADA: Sem requisitos particulares (peças fundidas, forjadas).
	SUPERFÍCIE NÃO TRABALHADA, LISA: A realizar com cuidado ( peças fundidas, moldadas, laminadas).
	SUPERFÍCIE DESBASTADA: Trabalha com utensílios, à mão ou à máquina.
	SUPERFÍCIE LIXADA: Trabalhada cuidadosamente com utensílios, à mão ou à máquina.
	SUPERFÍCIE RETIFICADA
	SUPERFÍCIE DE NATUREZA DIVERSA DAS ANTERIORES (escrever o nome do tipo de trabalho e do tratamento sofridos sobre o traço horizontal).

Estes devem ser colocados sobre a linha de contorno que representa a superfície da peça e sobre o lado

exterior à superfície representada. Por exemplo:



Se a superfície de tipos diversos requer o mesmo símbolo de trabalho, evita-se a sua repetição, dispondo-o separadamente, em baixo, à esquerda, sobre a folha de desenho com, ao lado entre parênteses, os outros símbolos referidos no gráfico.



Acima ilustramos o método de simplificação do exemplo precedente.

As referencias a seguir são utilizadas para a elaboração deste poligrafo.

Recomenda-se, tanto para o acompanhamento da disciplina como para o desenvolvimento do trabalho teórico, a biografia básica relacionada no item 08 do projeto de disciplina, bem como referencias adicionais que possam ser buscadas pelos alunos.

- [1]CASILLAS, A L.Maquinas:Formulário Técnico.São Paulo, Mestre Jou, 1981. 636p.
- [2]CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. São Paulo, Associação Brasileira de Metalúrgica e Materiais, 1998. 599p.
- [3]FREIRE, J.M.Tecnologia do Corte. Rio de Janeiro, LTC, 1977. 370p.
- [4]GERLING, H. a Volta da Maquina Ferramenta. Rio de Janeiro, Livro Ibero-America Ltda.,1967.
- [5]Registros do Prof. Isaac Newton Lima da Silva. Retifica.
- [6]Site do CIMM-Centro de Informações Metal-mecanicas:<http://www.cimm.com.br> Furadeira.
- [7]VAN VLACK, L.H. Princípios de Ciência dos Materiais. São Paulo, Edgard Bütchei 1998, 427p.
- [8]DINIZ,Anselmo Eduardo tecnologia da usinagem dos materiais segunda edição editora ARTLIBER EDITORA 2000.
- [9]FERRARESI,Dino-Fundamentos da usinagem dos metais. Editora Edgard B
- [10]APOSTILA do professor GONÇALVES Tarcisio Brito, INTRODUÇÃO A USINAGEM