

---

**SENAI**

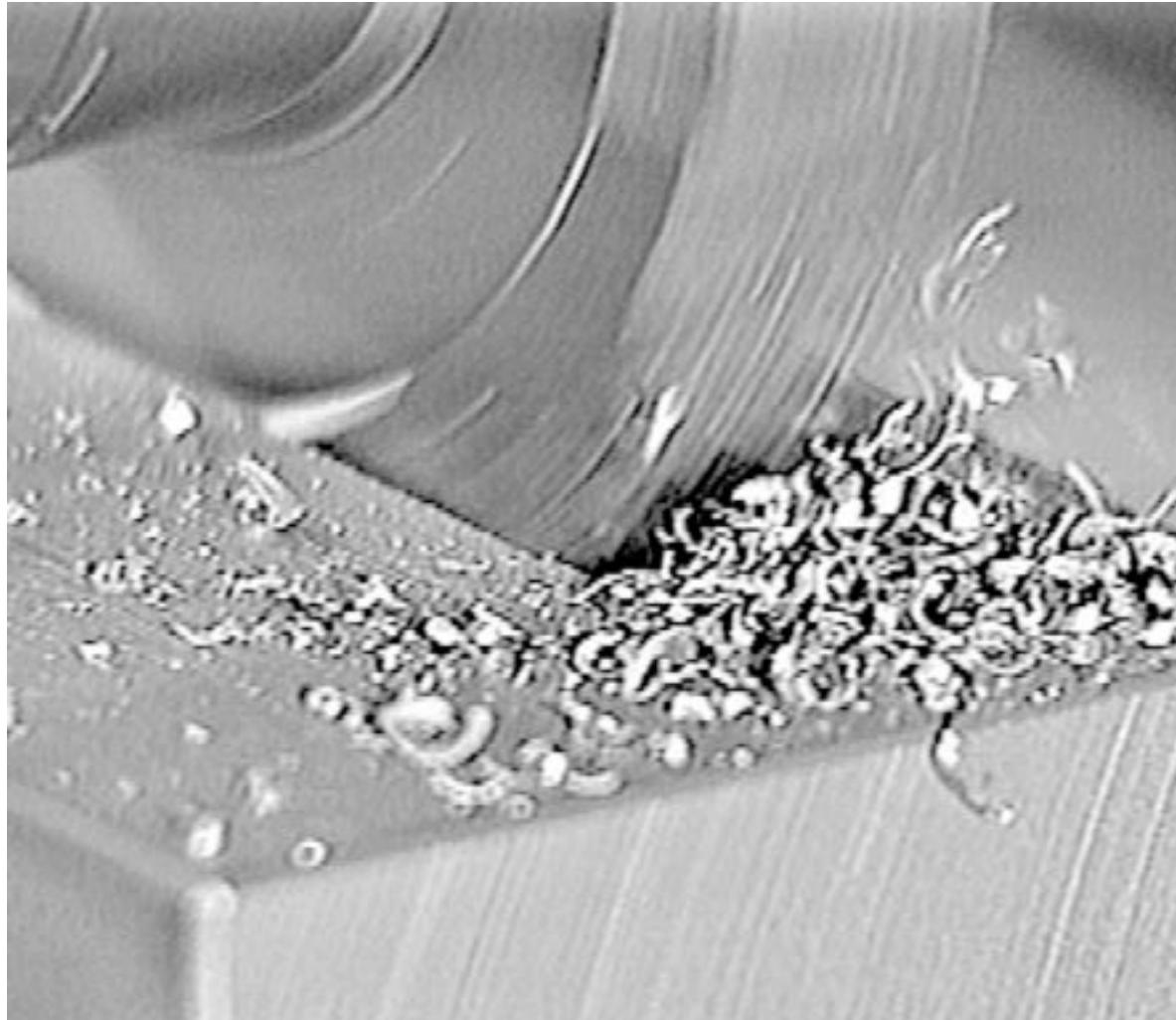
---

*Departamento Regional de São Paulo*

*Ensino a distância*

**Usinagem - Tecnologia do corte**  
**módulo 1**

# *Processos mecânicos de usinagem*



*Trabalho elaborado pela Divisão de Recursos Didáticos  
da Diretoria de Educação  
do Departamento Regional do SENAI-SP*

*Coordenação geral      Adilson Tabain Kole  
Coordenação de equipe      Célio Torrecilha*

*Equipe responsável*

<i>Elaboração</i>	<i>Franciso B. Tudela</i>
	<i>Maria Rita Aprile</i>
<i>Revisão</i>	<i>José Benedito Alves</i>
	<i>Maria Elisa Napolitano</i>
<i>Revisão Técnica</i>	<i>Abílio José Weber</i>
	<i>Adriano Ruiz Secco</i>
<i>Pesquisa de imagens</i>	<i>Adriano Ruiz Secco</i>
<i>Ilustração</i>	<i>José Joaquim Pecegueiro</i>
	<i>Leury Giacomeli</i>
<i>Diagramação e capa</i>	<i>José Joaquim Pecegueiro</i>

FICHA CATALOGRÁFICA

---

S47u SENAI. SP. DRD. Usinagem - tecnologia do corte. São Paulo, 1998.  
3v.

Conteúdo: v.1 Processos mecânicos de usinagem - v. 2 Teoria do corte - v. 3.  
Velocidades de corte de máxima produção e de mínimo custo  
Acompanha Guia de Estudo

1. USINAGEM 2. TECNOLOGIA DO CORTE. 3. MECÂNICA

CDU: 621. 7

*SENAI -Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial*

*Departamento Regional de São Paulo  
Praça Alberto Lion, 100  
CEP 01515 - 000 São Paulo - SP  
Telefone: (011) 243-5000  
FAX: (011) 243-5213  
E-mail: drd@sp.senai.br*

# Sumário

## Unidade 1 - Usinagem

<b>Introdução .....</b>	7
<b>Movimentos de usinagem.....</b>	8
Remoção do sobremetal .....	8
Ferramentas de corte .....	9
Máquinas operatrizes .....	9
Movimento de corte .....	10
Movimento de avanço .....	11
Movimento de profundidade .....	11
Exercícios .....	13
<b>Processos mecânicos de usinagem .....</b>	16
Normalização dos processos .....	16
Principais processos .....	16
Exercícios .....	30
<b>Respostas dos exercícios.....</b>	32
<b>Verificação.....</b>	33
<b>Respostas da verificação .....</b>	36

## Unidade 2 - Ferramentas de corte

<b>Introdução .....</b>	39
<b>Velocidades de corte e de avanço e tempo de corte ...</b>	40
Velocidade de corte .....	40
Velocidade de avanço .....	42
Tempo de corte .....	45
Exercícios .....	48
<b>Geometria da ferramenta .....</b>	50
Superfícies da cunha cortante .....	50
Arestas de corte .....	51
Exercícios .....	53
<b>Geometria do corte .....</b>	56
Elementos da geometria do corte .....	56
Exercícios .....	60

<b>Geometria da cunha cortante .....</b>	62
Sistema de referência .....	62
Plano de referência .....	63
Plano de corte .....	64
Plano de medida .....	64
Ângulos do sistema de referência.....	66
Função dos ângulos na usinagem .....	69
Exercícios .....	80
<b>Materiais para ferramentas de corte .....</b>	83
Classificação dos materiais quanto à dureza.....	83
Tipos de materiais .....	83
Exercícios .....	87
<b>Respostas dos exercícios .....</b>	89
<b>Verificação.....</b>	91
<b>Respostas da Verificação .....</b>	94
<b>Referências bibliográficas .....</b>	95

# **Unidade 1 – Usinagem**



# Introdução

A partir desta unidade, você vai iniciar o Curso de Usinagem - Tecnologia do Corte. **Usinagem** é o processo de fabricação que confere formato, dimensão e acabamento da superfície de uma peça, removendo-se o material excedente ou **sobremetal**.

O sobremetal removido denomina-se **cavaco**. O cavaco é retirado de diferentes tipos de materiais, tais como: ferro fundido, aço, alumínio, bronze, plástico e outros, que são os mais utilizados pela indústria mecânica para fabricação de seus produtos.

Ao ser submetida à usinagem, a peça já apresenta uma forma definitiva: blocos, tarugos, fios, chapas ou barras. O formato da peça bruta determina o processo de fabricação empregado, que pode ser: forjamento, laminação e trefilação.

Esses processos, no entanto, não garantem a exatidão dimensional e a qualidade de superfície da peça executada. É a usinagem que gera a peça com essas características.

A **exatidão dimensional** indica que as dimensões da peça executada devem variar segundo os intervalos de tolerância e as especificações técnicas previstas para seu uso e serviço. Já **qualidade de superfície** refere-se ao tipo de acabamento final dado à peça, que deve estar de acordo com a finalidade a que se destina.

A **usinagem**, portanto, é o processo de fabricação que, mediante a remoção do sobremetal, atende às exigências e qualidade estabelecidas por fabricantes e consumidores.

Nesta **primeira unidade**, você estudará dois temas importantes:

- movimentos de usinagem e
- processos mecânicos de usinagem.

O **primeiro capítulo** trata dos **movimentos de usinagem** que permitem a retirada do sobremetal e a transformação da matéria bruta em peça. Os movimentos são executados por máquinas operatrizes, que devem responder às exigências de forma, de exatidão dimensional e de acabamento superficial exigidas da peça a ser trabalhada.

O **segundo capítulo** trata dos principais processos de usinagem empregados na indústria mecânica. Estes **processos** são apresentados segundo a norma ABNT NBR 6175 (TB - 83) que padroniza a denominação, a classificação e as operações de usinagem. Por seguir padrões internacionais, esta norma permite às empresas nacionais e estrangeiras o emprego de uma linguagem técnica comum.

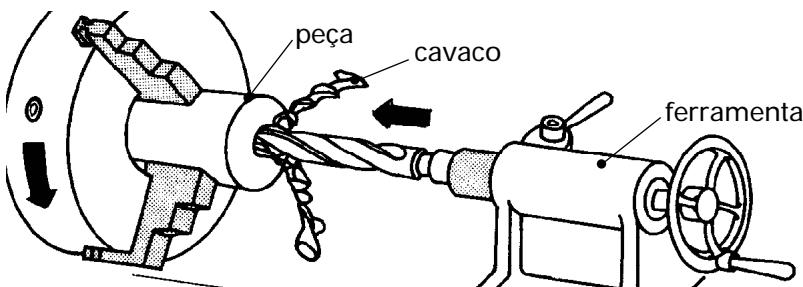
Estude tudo com atenção, pois os assuntos tratados nesta unidade ajudarão você a compreender melhor as etapas seguintes. Sempre que possível, procure relacionar os assuntos com o seu trabalho ou com o que observa em outras áreas. Com isso, seu estudo ficará enriquecido e seu aproveitamento será maior. Vá em frente! Boa sorte!

# Movimentos de usinagem

Você já sabe que usinagem é o processo de fabricação que consiste em remover o sobremetal de uma peça ou de um bloco de aço para obter um ou vários produtos. Assim, removendo o sobremetal, a peça adquire a forma, as dimensões e o acabamento que estão especificados no desenho de execução ou desenho da peça.

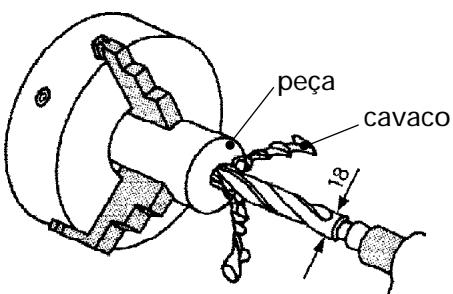
## Remoção do sobremetal

Como já foi dito, o sobremetal removido da peça ou material bruto é transformado em cavaco. E **cavaco** é o excedente do ferro fundido, do aço, do alumínio, do bronze e de outros materiais retirados de uma peça durante o processo de usinagem. Portanto, os cavacos são constituídos por lascas, pedaços ou fragmentos extraídos do material usado na fabricação de uma peça qualquer.



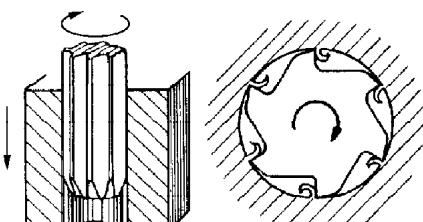
A remoção do sobremetal ocorre em duas fases: desbaste e acabamento da peça.

**Desbaste** é a fase inicial da usinagem. É utilizada para dar forma ao material que ainda não passou pelo acabamento definitivo. Na fase do desbaste, os cavacos obtidos são grossos e a superfície da peça desbastada apresenta sulcos profundos.



No **acabamento**, podemos obter um produto com dimensões finais e rugosidade adequada, que é o assunto que você estudará com mais detalhes, na unidade 5.

No acabamento, os sulcos produzidos na superfície quase não são percebidos, pois os cavacos obtidos, em geral, são finos.



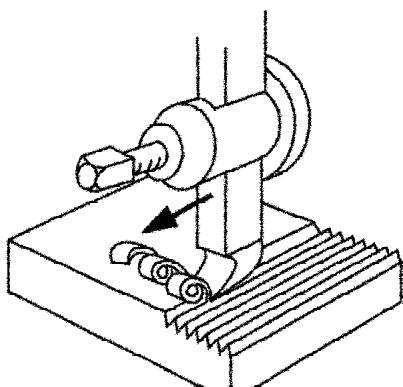
alargamento cilíndrico de acabamento

# Ferramentas de corte

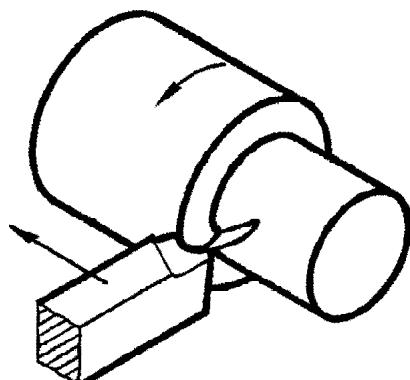
O sobremetal pode ser removido manualmente, com o auxílio de uma ferramenta de corte, como é o caso da limagem. A remoção do sobremetal também pode ser feita mecanicamente, por exemplo, na furação.

As ferramentas de corte são classificadas em monocortantes e multicortantes.

As **ferramentas monocortantes**, conhecidas por *bite*, apresentam barras com extremidades adequadamente afiadas para o tipo de operação e de material a ser trabalhado.

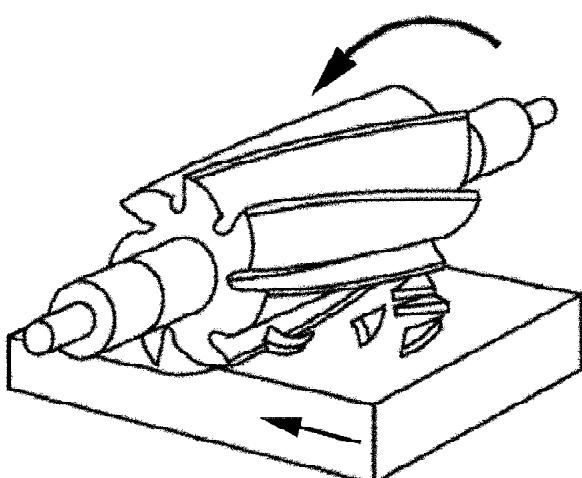


aplaínamento

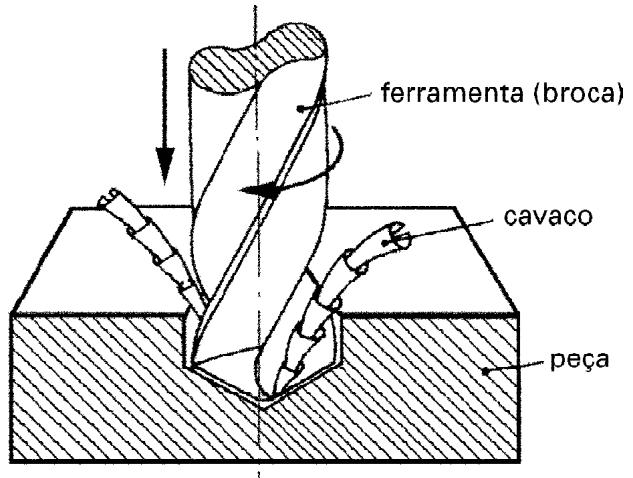


torneamento

A associação ou combinação de ferramentas monocortantes dá origem às **ferramentas multicortantes**. Por essa razão, as multicortantes dispõem de múltiplas facas de corte, ao contrário das monocortantes que apresentam apenas uma.



fresa (várias arestas de corte)



broca (duas arestas de corte)

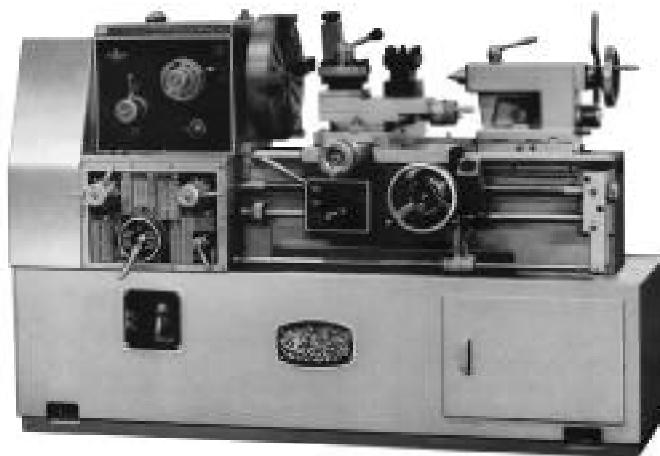
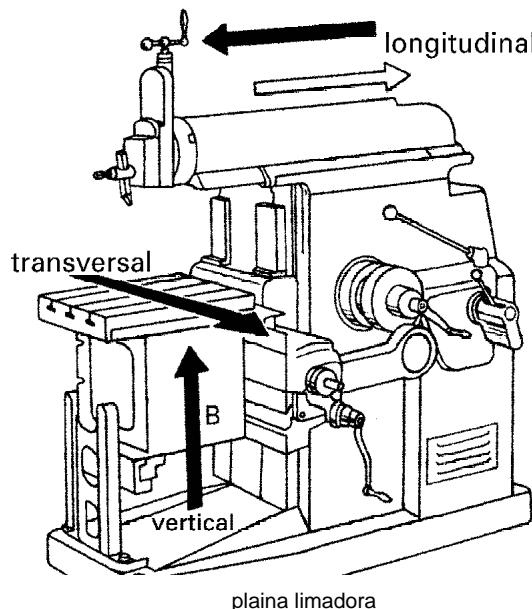
As facas de corte também são conhecidas por **arestas de corte** ou **lâminas de corte**.

# Máquinas operatrizes

O conjunto mecânico responsável pelos movimentos destinados à remoção do sobremetal recebe a denominação de **máquina operatriz** ou **máquina-ferramenta**.

Existe, na indústria, uma variedade de máquinas operatrizes. Provavelmente, você

conheça ou opere algumas delas: tornos, fresadoras, mandriladoras, plainas, furadeiras, retificadoras cilíndricas ou planas, máquinas copiadoras e máquinas de eletroerosão.



A escolha de uma ou outra máquina depende das especificações técnicas exigidas da peça tais como formato do produto, acabamento superficial e exatidão dimensional. Portanto, com o auxílio das máquinas operatrizes, é possível obter superfícies com formatos diversos, isto é, planas, curvas, cilíndricas, cônicas e outras, como mostra a figura a seguir.



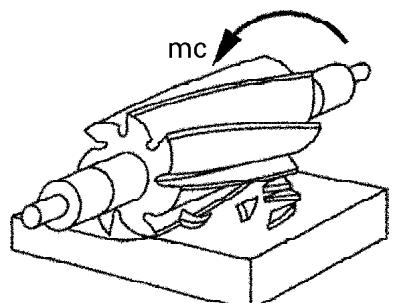
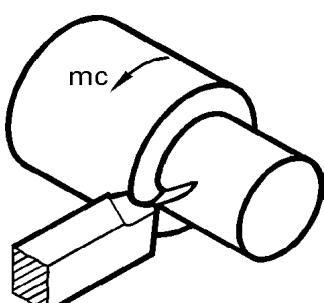
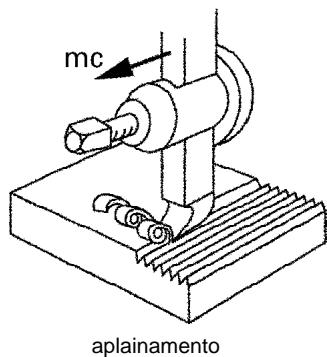
Além de atender às especificações técnicas exigidas na fabricação de determinado produto, as máquinas operatrizes tanto fabricam peças unitárias quanto produtos em larga escala.

Os principais **movimentos de usinagem** são: movimento de corte; movimento de avanço e movimento de profundidade.

## Movimento de corte

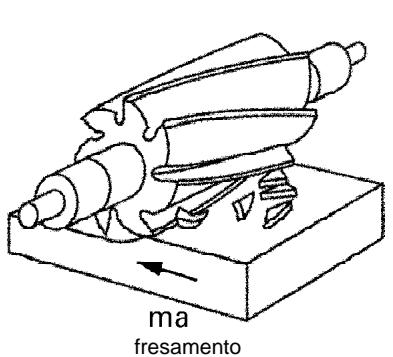
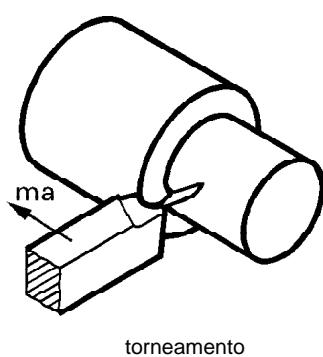
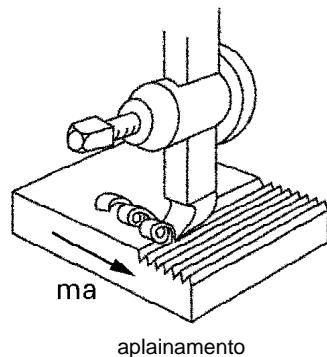
O **movimento de corte** consiste na volta ou curso dado no material bruto ou na ferramenta para remover o sobremetal localizado neste percurso. Nos manuais, catálogos

e demais documentos, o movimento de corte é indicado pelas letras **mc**. O movimento de corte gera o **comprimento** do cavaco.



## Movimento de avanço

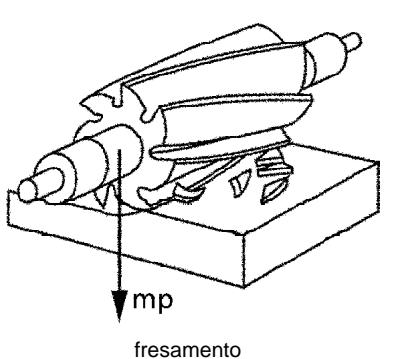
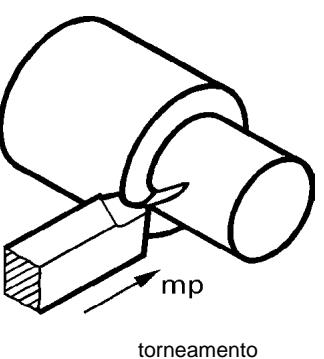
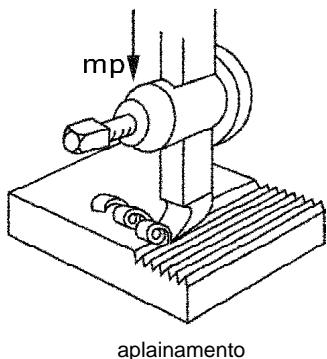
Já o **movimento de avanço** possibilita a retirada do sobremetal nas voltas ou cursos seguintes, dando origem à **espessura** do cavaco. O movimento de avanço é indicado nos manuais, catálogos e demais documentos pelas letras **ma**.



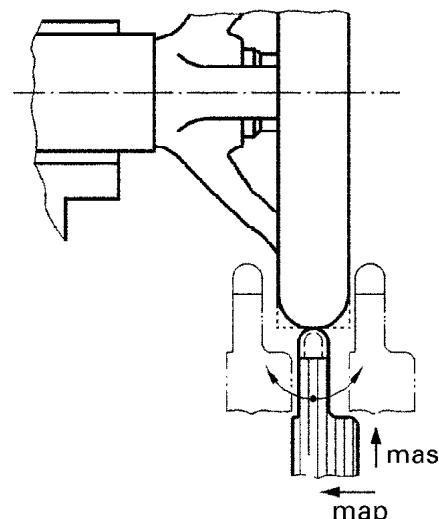
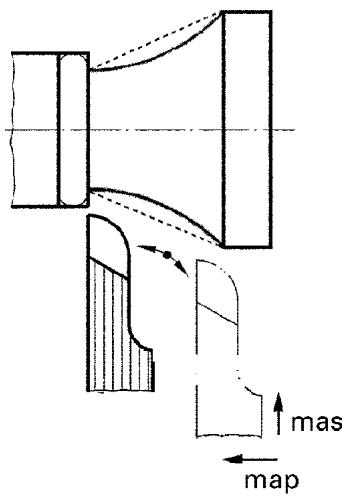
## Movimento de profundidade

O **movimento de profundidade**, por sua vez, permite a regulagem do corte, gerando a **largura** do cavaco. Nos manuais, catálogos e demais documentos, o movimento de profundidade é indicado pelas letras **mp**. O movimento de profundidade difere do movimento de avanço uma vez que é realizado a cada passe feito.

**Observação - Passe** é o percurso realizado no movimento de avanço.



Em algumas situações de usinagem, podem ocorrer dois movimentos de avanço: um movimento principal (**map**) e um movimento secundário (**mas**).



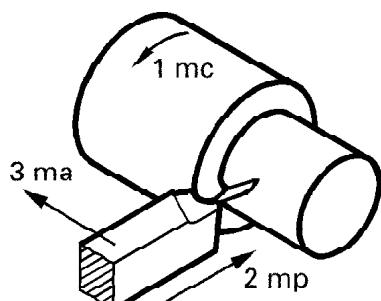
torneamento de superfícies curvas

Pelo que você acabou de ver, podemos estabelecer as seguintes relações:

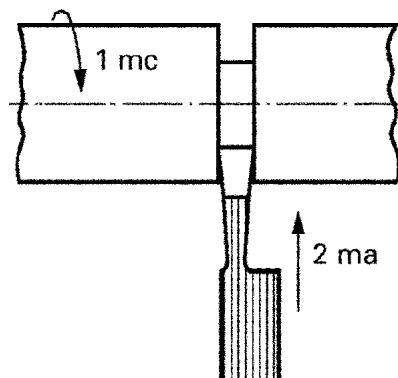
- movimento de corte → comprimento do cavaco
- movimento de avanço → espessura do cavaco
- movimento de profundidade → largura do cavaco

Veja nas figuras a seguir exemplos de situações em que os movimentos de usinagem estão indicados de maneira associada.

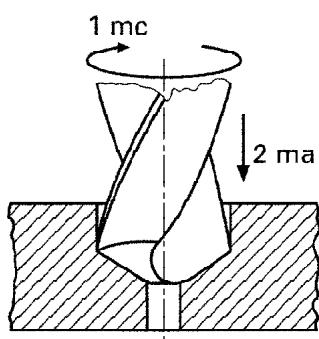
**Observação** - Para designar esses movimentos, adotaremos a partir daqui as letras: mc; ma; mp; map e mas.



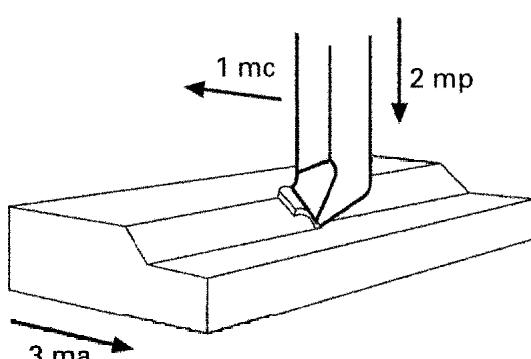
torneamento cilíndrico externo



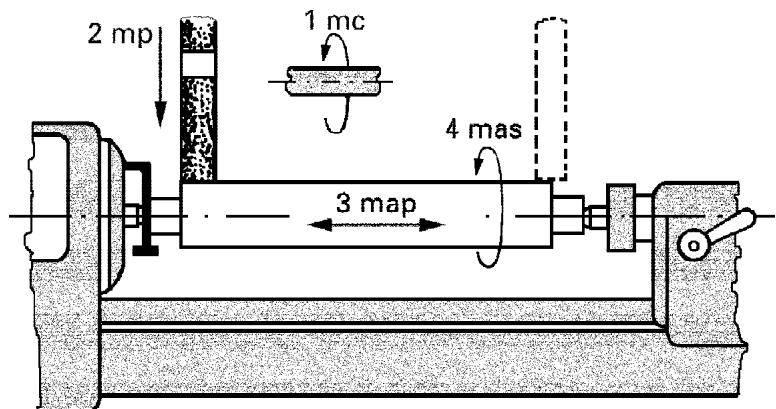
sangramento radial



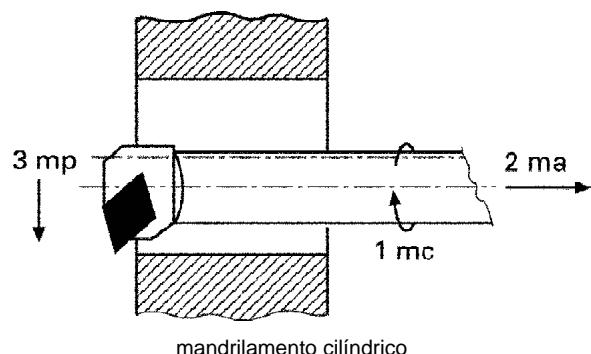
furação com pré-furação



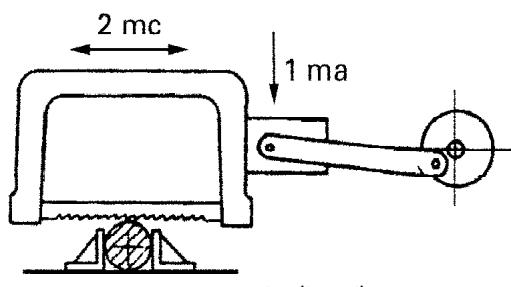
Aplainamento de superfícies



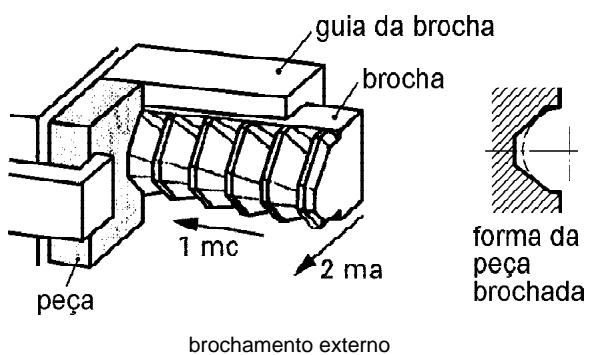
retificação cilíndrica externa com avanço longitudinal



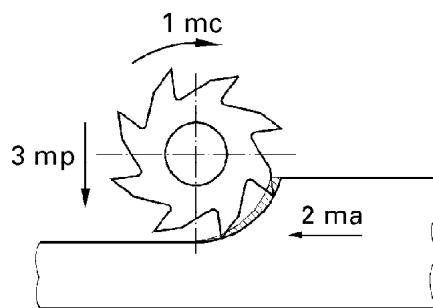
mandrilamento cilíndrico



serramento alternativo



brochamento externo



fresamento cilíndrico tangencial

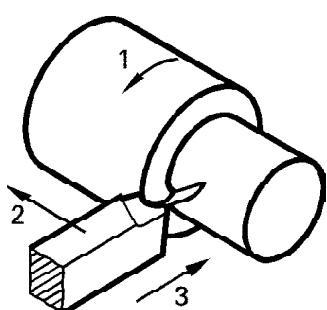
*Resolva, agora, os exercícios a seguir para verificar se você entendeu o que foi estudado. Se tiver dúvidas, volte ao texto ou entre em contato com o seu monitor.*

*Bom trabalho!*

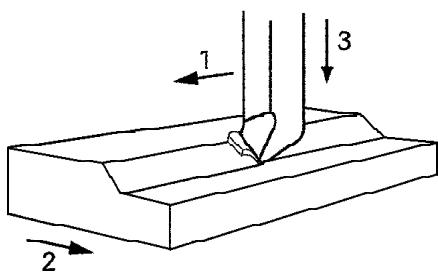
## Exercícios

1 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e complete a frase abaixo.

O movimento de corte está indicado pelo número .....

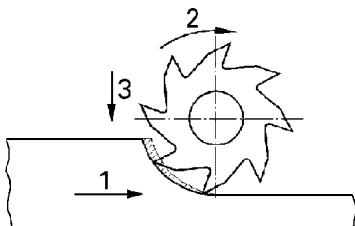


- 2** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e complete a frase abaixo.



O movimento de profundidade está indicado pelo número .....

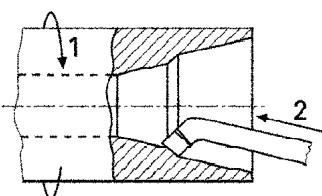
- 3** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



Os movimentos 1, 2 e 3 correspondem a seqüência:

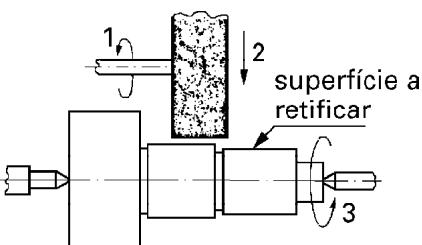
- a ( ) corte, avanço e profundidade
- b ( ) corte, profundidade e avanço
- c ( ) avanço, corte e profundidade
- d ( ) profundidade, corte e avanço

- 4** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e responda a questão abaixo.



O movimento de avanço está indicado pelo número.....

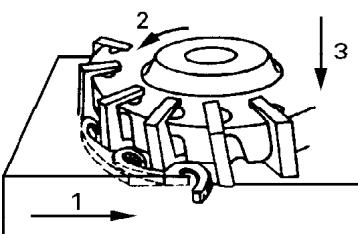
- 5** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



Os movimentos 1, 2 e 3 correspondem à seqüência:

- a ( ) avanço, profundidade e corte
- b ( ) corte, profundidade e avanço
- c ( ) profundidade, avanço e corte
- d ( ) corte, avanço e profundidade

- 6** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e escreva nas linhas pontilhadas o nome correto de cada movimento.

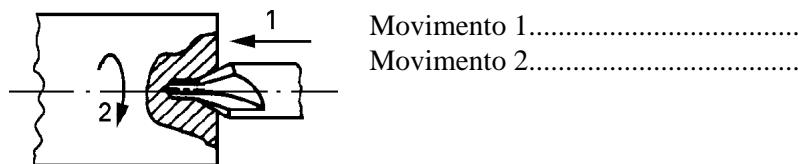


Movimento 1 .....

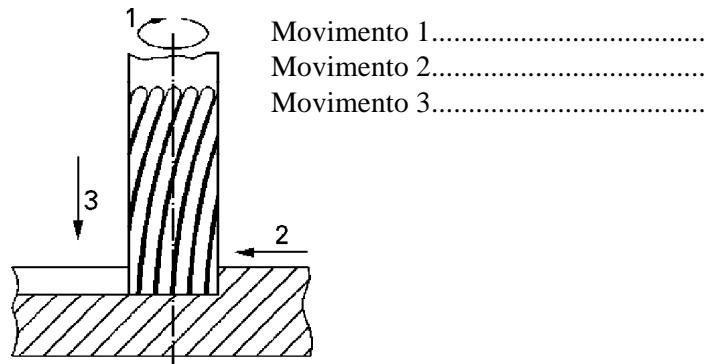
Movimento 2 .....

Movimento 3 .....

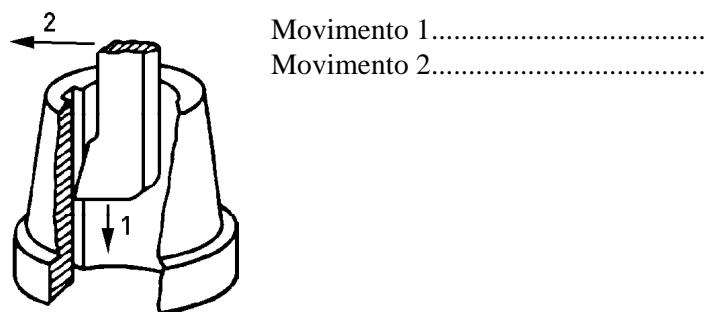
Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e escreva nas linhas pontilhadas o nome correto de cada movimento.



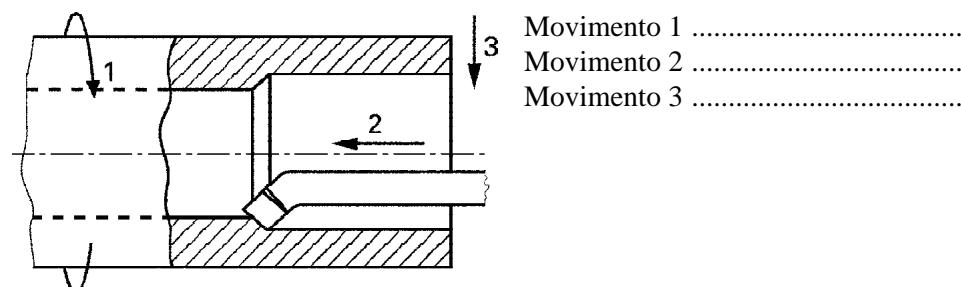
- 8 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e escreva nas linhas pontilhadas o nome correto de cada movimento.



- 9 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e escreva nas linhas pontilhadas o nome correto de cada movimento.



- 10 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e escreva nas linhas pontilhadas o nome correto de cada movimento.



Confira, agora, suas respostas nas páginas 32 e 33. Acertando tudo, passe para o capítulo seguinte. Se tiver alguma dúvida, releia o capítulo que acabou de estudar e faça novamente as questões que você encontrou dificuldade. Se as dúvidas continuarem solicite a colaboração de seu monitor.

# Processos mecânicos de usinagem

Damos o nome de **processos mecânicos de usinagem** ao conjunto dos movimentos destinados à remoção do sobremetal mediante o emprego de uma determinada ferramenta.

Os processos mecânicos têm, portanto, a finalidade de conferir forma, dimensão e acabamento superficial à peça que está sendo executada.

Os movimentos de usinagem são executados de acordo com o processo de usinagem empregado. Por exemplo, para executar uma peça cilíndrica, o movimento de corte deve ser rotativo. Já, a execução de uma peça plana solicita o movimento de corte linear.

## Normalização dos processos

Os processos mecânicos de usinagem são normalizados e padronizados pela norma **NBR 6175 (TB - 83 da ABNT)**. Por meio dela, as indústrias brasileiras e estrangeiras adotam a mesma denominação e classificação para definir os processos de usinagem.

O uso da mesma linguagem técnica apresenta inúmeras vantagens, entre elas:

- facilitar o processo de comunicação e intercâmbio;
- garantir a confiabilidade do produto, ou seja, que foi submetido ao processo adequado de usinagem;
- possibilitar o entendimento correto de manuais técnicos e outros documentos relacionados às operações de usinagem.

Segundo a norma **NBR 6175 (TB - 83)**, existem inúmeros processos de usinagem, que se subdividem em vários subprocessos. A opção por um ou outro processo depende de alguns fatores, tais como:

- formato da peça (plano, curvo, cilíndrico ou côncico)
- exatidão dimensional
- acabamento superficial.

## Principais processos

Você vai conhecer agora algumas características importantes dos principais processos mecânicos de usinagem de acordo com as especificações da norma **NBR 6175 (TB-83)**.

### Torneamento

O torneamento é o processo empregado para obter produtos com superfícies cilíndricas, planas e cônicas de diâmetros diversos.



O processo de torneamento abrange os seguintes passos:

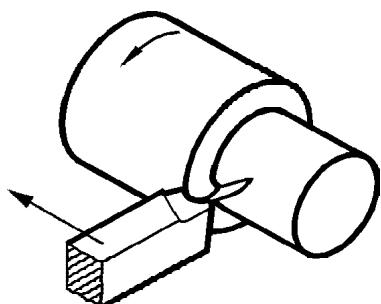
1. a peça a executar é presa à placa do **torno** (máquina operatriz).

**Observação** - A ferramenta de corte é presa ao porta-ferramenta.

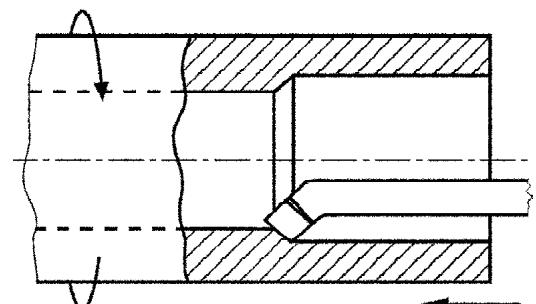
2. a peça, acoplada ao torno, gira ao redor do eixo principal de rotação da máquina e desenvolve o movimento de corte;

3. a ferramenta de corte se desloca simultaneamente em sentido longitudinal ou transversal à peça, realizando o movimento de avanço;

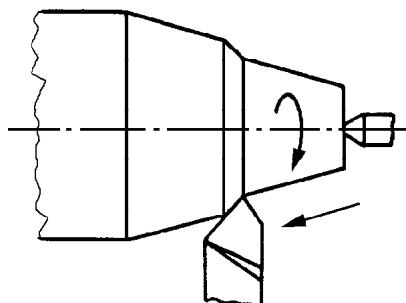
4. a partir do movimento sincronizado da peça e da ferramenta de corte são obtidas superfícies planas, cilíndricas e cônicas com diâmetros sucessivamente menores.



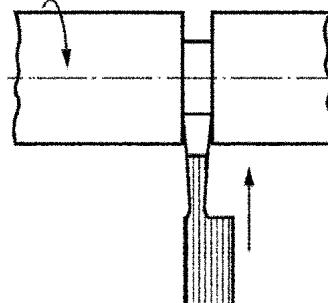
torneamento cilíndrico externo



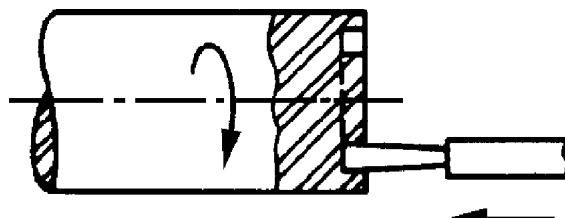
torneamento cilíndrico interno



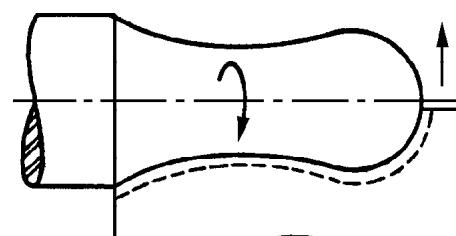
torneamento cônico externo



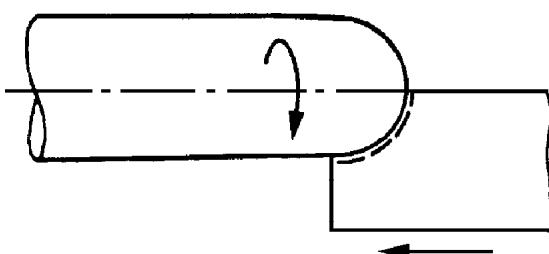
sangramento radial



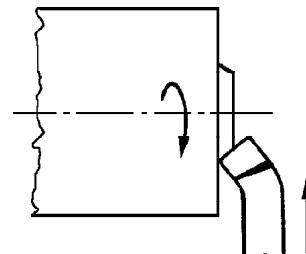
sangramento axial



perfilamento radial



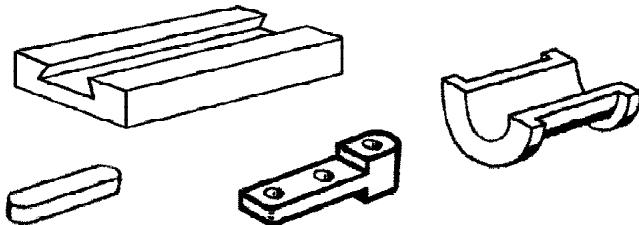
perfilamento axial (superfície plana)



torneamento de faceamento

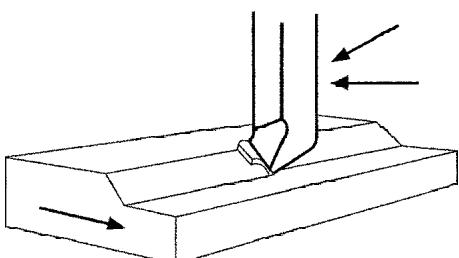
## Aplainamento

É o processo utilizado para obter peças com superfícies planas, paralelas, perpendiculares e inclinadas.

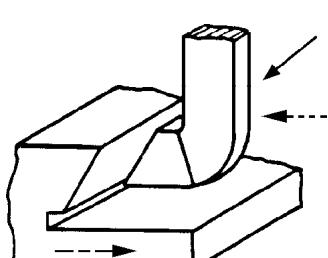


O aplainamento é feito na máquina-operatriz denominada **plaina limadora** ou **plaina de mesa** auxiliada por uma ferramenta monocortante. O aplainamento das superfícies é obtido por meio de movimentos retilíneos alternados desenvolvidos pela peça ou ferramenta.

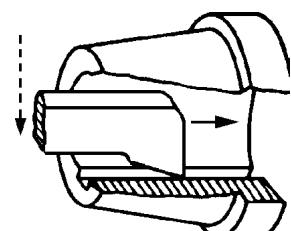
A ferramenta executa o movimento de corte e, a peça, o movimento de avanço na plaina limadora.



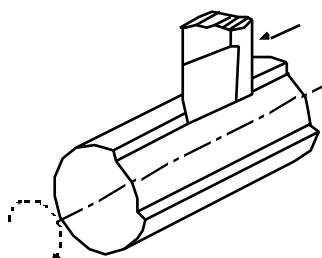
aplaínamento de superfície



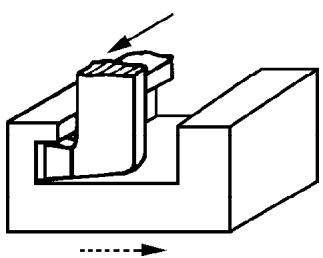
aplaínamento de guias



aplaínamento de rasgo de chaveta



aplaínamento de superfícies de revolução



aplaínamento de ranhuras em T

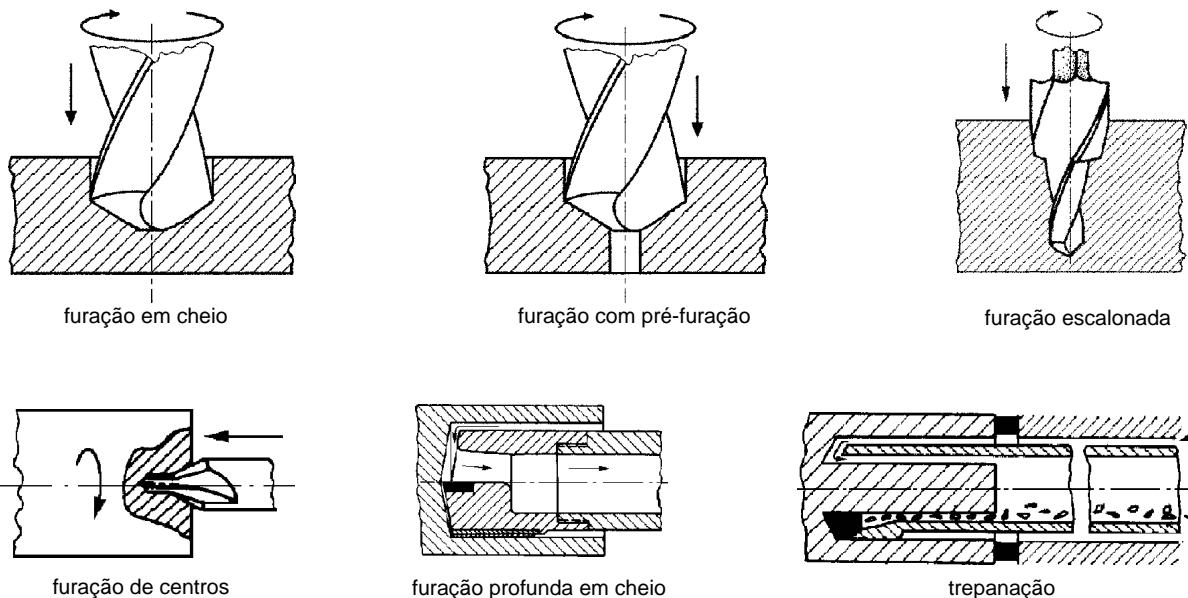
## Furação

O processo de usinagem denominado furação é empregado para obter peças com furos.



Na furação são utilizadas diferentes máquinas-operatrizes, que contam com o auxílio da **broca**, que é uma ferramenta multicortante. A escolha da ferramenta depende do formato e das dimensões da peça que será furada.

Para fazer os furos, a peça ou a ferramenta desenvolvem movimentos rotativos. A peça ou a ferramenta se desloca e, ao mesmo tempo, desenvolve o movimento de avanço em sentido paralelo ao eixo da broca.

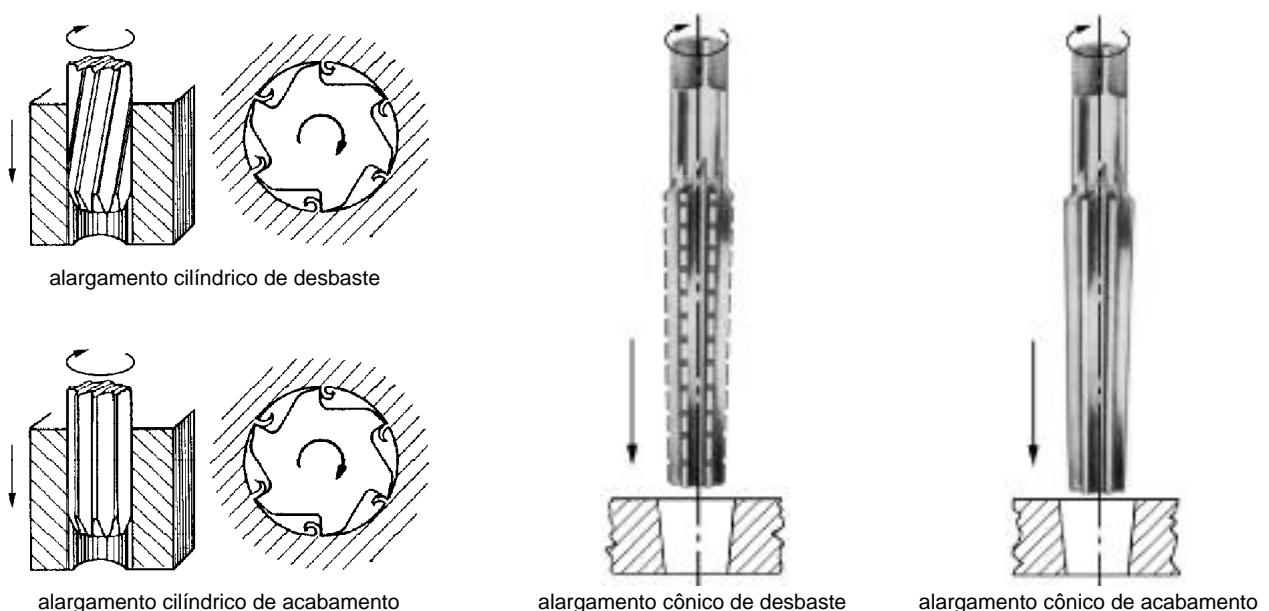


## Alargamento

É usado para aumentar o diâmetro de um furo, removendo, nessa operação, pequena parte de seu diâmetro, cerca de 10 a 20%.

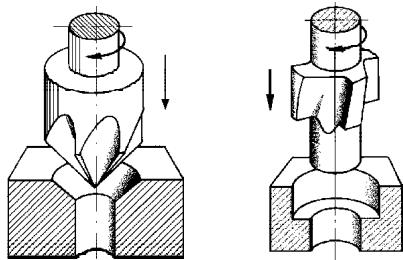
A furação com brocas convencionais de duas facas gera furos com qualidade H12, que é a tolerância de erro permitido para o diâmetro do furo. Os furos com qualidade H7 são realizados pelos **alargadores**, que são ferramentas parecidas com brocas, que contêm mais de seis facas.

A ferramenta multicortante ou a peça cujo diâmetro do furo deverá ser aumentado, desenvolve o movimento de corte em sentido rotativo e realiza o movimento de avanço em sentido paralelo ao eixo de rotação.

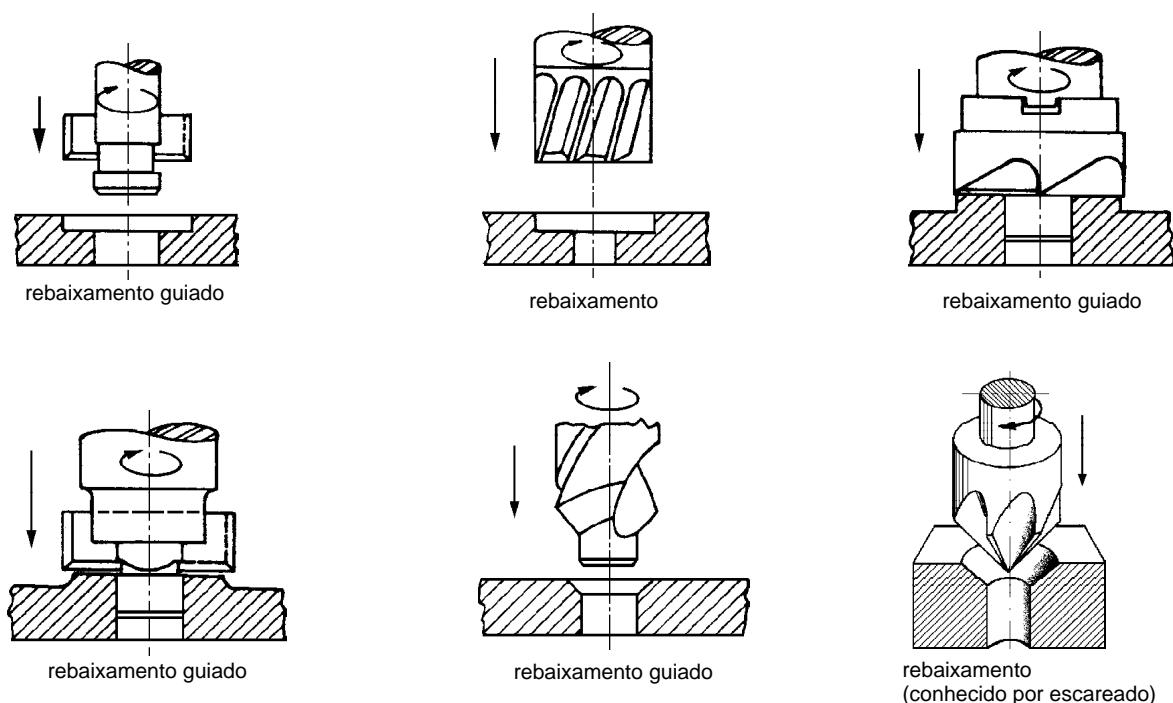


# Rebaixamento

Quando um produto exige furos com diâmetros diferentes e concêntricos isto é, dois furos alinhados apresentando o mesmo centro, utilizamos o processo de rebaixamento.



O rebaixamento consiste em girar a peça ou a ferramenta e, em seguida, realizar o movimento de avanço em sentido paralelo ao eixo de rotação da máquina.

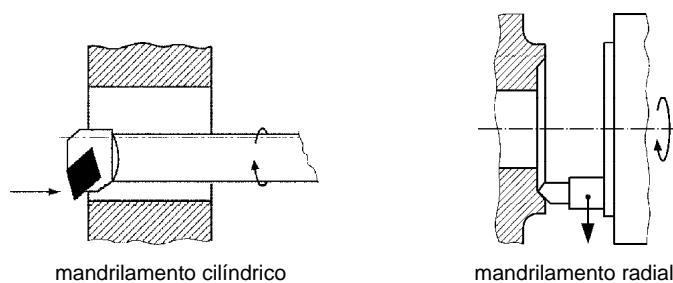


# Mandrilamento

O termo mandrilamento vem de **mandril**. Mandril é o dispositivo que suporta a ferramenta e, por essa razão, apresenta grandes proporções.

Por meio do mandrilamento, obtemos superfícies de revolução, isto é, superfícies cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta.

Fixada ao mandril, que pode ser uma **barra**, a ferramenta monocortante desenvolve os movimentos de corte e de avanço.



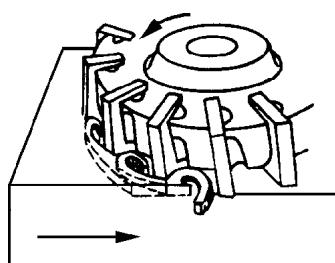
# Fresamento

É usado para obter superfícies com formatos:

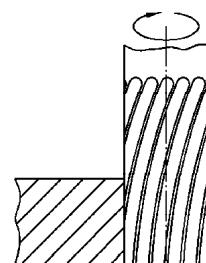
- planos, paralelos ao eixo de rotação da ferramenta;
- planos, perpendiculares ao eixo de rotação da ferramenta.

O fresamento também é empregado para obter formas combinadas desses dois tipos de superfície.

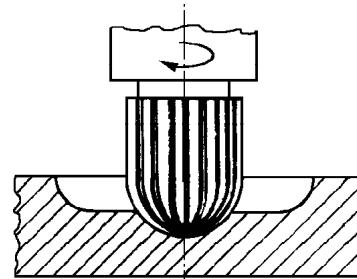
A **fresa** é a ferramenta multicortante empregada para realizar o fresamento. A fresa realiza o movimento de corte; a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se desloca, realizando o movimento de avanço.



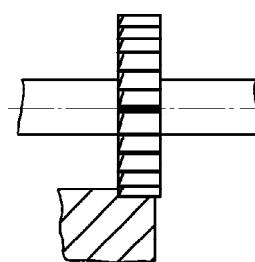
fresamento frontal



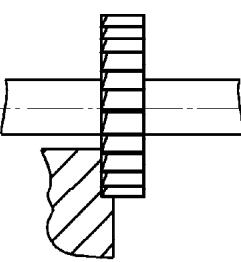
fresamento cilíndrico tangencial



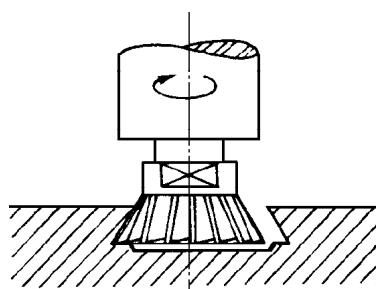
fresamento frontal (caso especial)



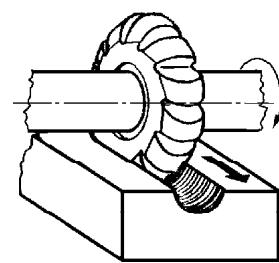
fresamento tangencial



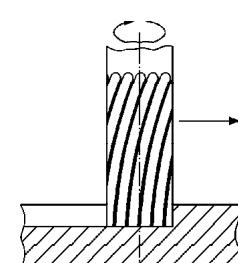
fresamento frontal



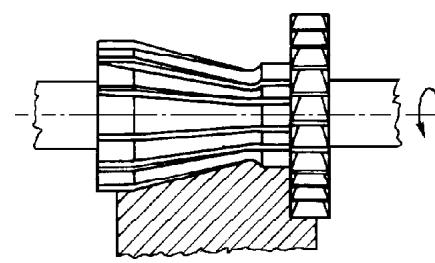
fresamento tangencial de encaixes "rabo-de-andorinha"



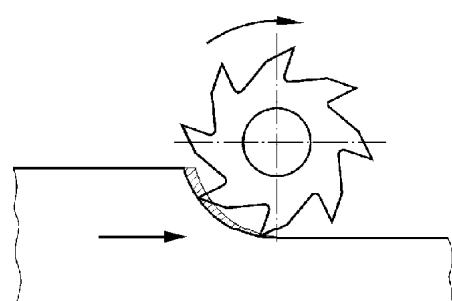
fresamento tangencial de perfil



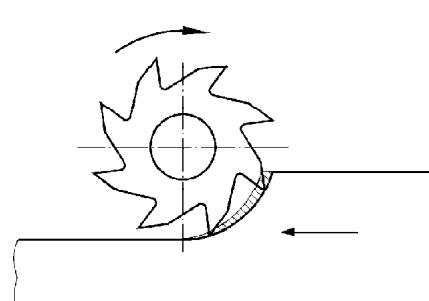
fresamento frontal de canaletas com fresa de topo



fresamento composto



fresamento cilíndrico tangencial discordante



fresamento cilíndrico tangencial concordante

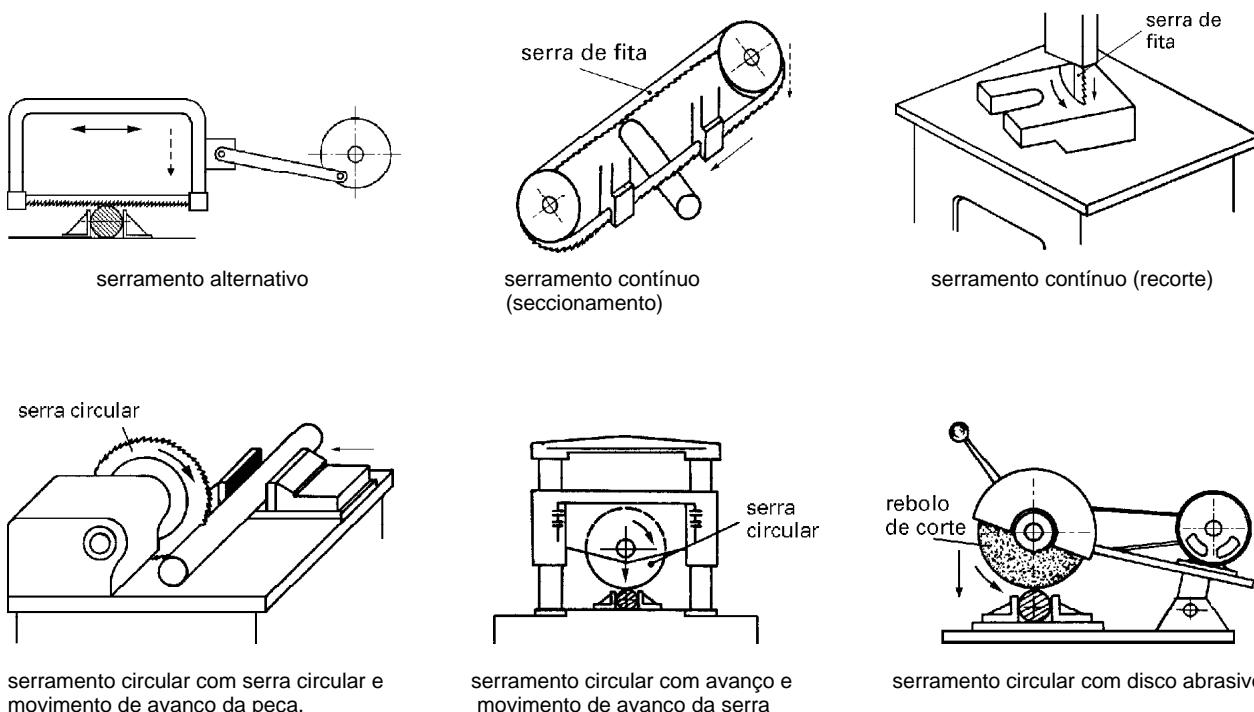
# Serramento

É o processo utilizado para separar uma peça em duas partes (seccionamento).

Com o auxílio da **serra** (ferramenta multicortante), são realizados os movimentos de corte e de avanço. Dependendo do tipo de seccionamento ou recorte exigido, esses movimentos poderão ocorrer ou não simultaneamente, enquanto a peça se desloca ou se mantém parada.

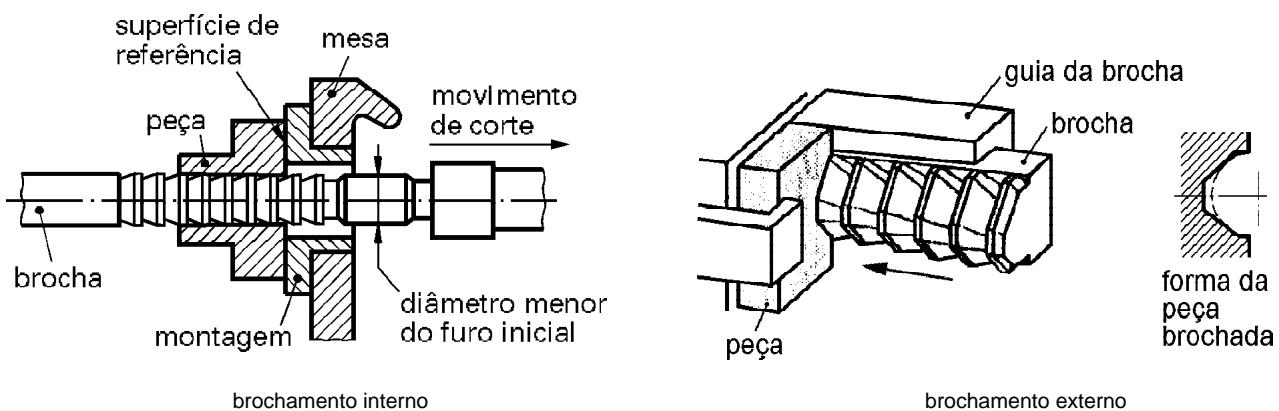
No serramento alternativo, o corte ocorre no movimento de ida; no retorno, a serra é levantada para minimizar o atrito e preservar a afiação dos dentes. Ao reiniciar o corte, a serra desce além da posição anterior, dando origem ao movimento de avanço.

A espessura dos dentes da serra, conhecida por **travamento**, caracteriza a profundidade de corte.



# Brochamento

É o processo realizado com auxílio da **brocha**. A brocha é uma ferramenta multicortante, de vários formatos. É constituída de dentes com dimensões progressivamente maiores ao longo de toda a sua extensão. A progressão dos dentes é muito importante, pois permite realizar uma operação completa de usinagem desde o desbaste grosso até o acabamento. Essa progressão dá origem ao movimento de avanço.

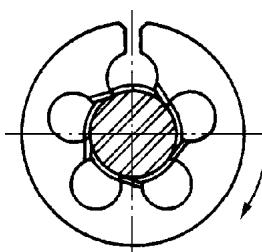


# Roscamento

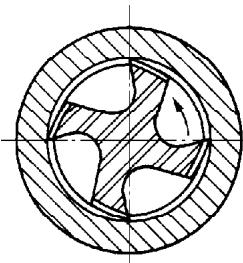
O roscamento é empregado para confecção de elementos de fixação (parafusos, porcas), transporte de materiais (roscas transportadoras), transmissão de movimentos (fusos). O roscamento tem origem nos **filetes**, que são sulcos helicoidais sobre superfícies cilíndricas, cônicas ou planas.

No roscamento, são utilizadas ferramentas com perfis de diferentes formatos: triangular, trapezoidal, quadrado e outros.

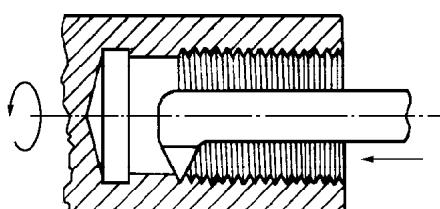
As rosas podem ser confeccionadas manualmente (cossinetes, machos, etc) ou por meio de máquinas (roscadeiras, tornos, fresadoras, etc). O passo da hélice da rosca dá origem ao movimento de avanço. Veja nas figuras a seguir alguns exemplos de operações de roscamento.



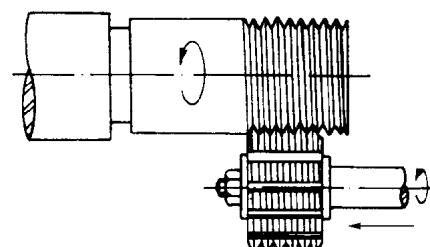
roscamento externo com ferramenta de perfil único com cossinete



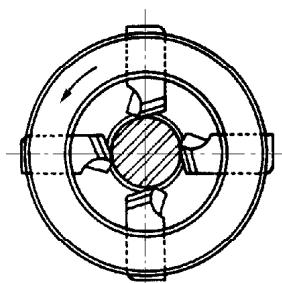
roscamento interno com macho



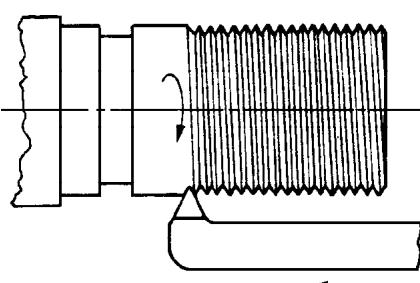
roscamento interno com ferramenta de perfil único



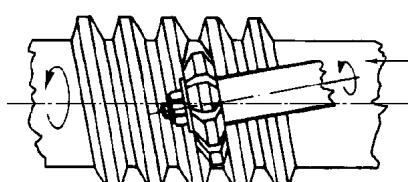
roscamento externo com fresa de perfil múltiplo



roscamento externo com jogo de pentes



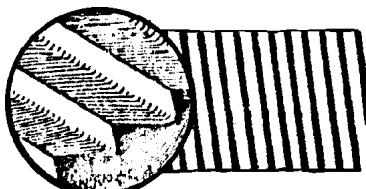
roscamento externo



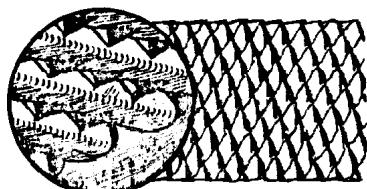
roscamento externo com fresa de perfil único

## Limagem

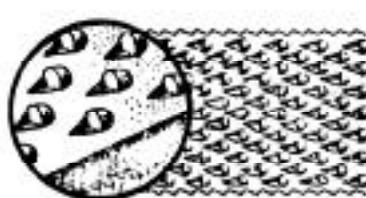
É o processo usado para o desbaste ou acabamento de superfícies planas, côncavas e convexas. Em sua execução, empregamos a **lima** manual ou mecânica, que é uma ferramenta multicortante que apresenta dentes, filetes ou ranhuras, também conhecidos por **picado**.



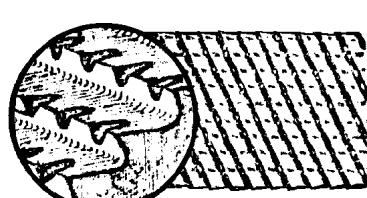
lima de picado simples



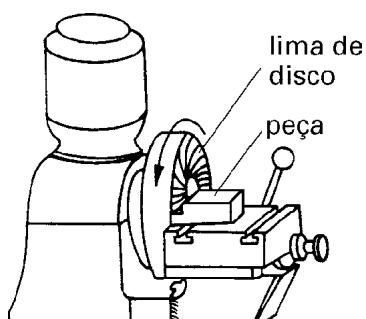
lima de picado em cruz



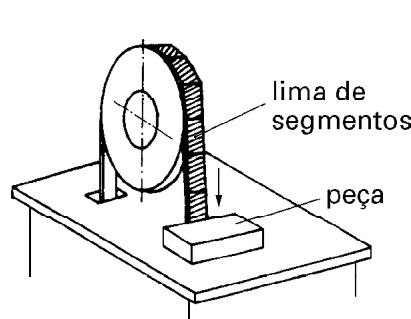
serrilha de grossa para trabalho com materiais não-metálicos



lima fresada com ranhuras para quebrar o cavaco



limagem contínua

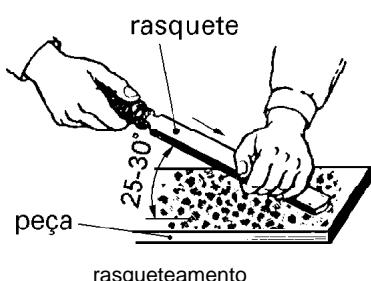


## Rasqueamento

Consiste na aplicação manual de uma ferramenta monocortante denominada **rasquete** sobre a peça a ser usinada.

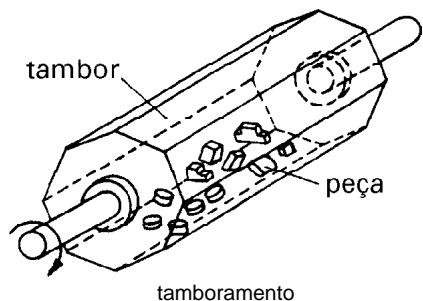
Este processo é utilizado para gerar uma superfície plana, que apresenta determinado número de pontos de contato.

Em contato com outra peça, esses pontos são caracterizados como área de apoio e as cavidades, bolsões de acúmulo de óleo para lubrificação.



# Tamboramento

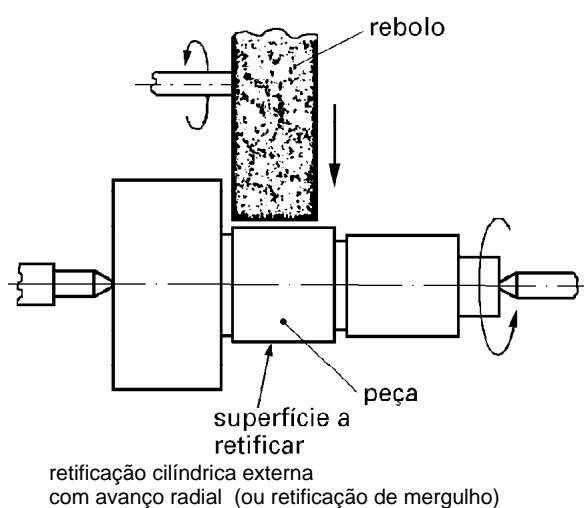
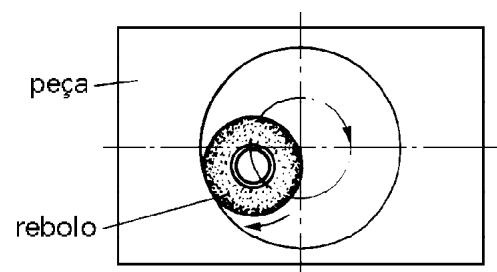
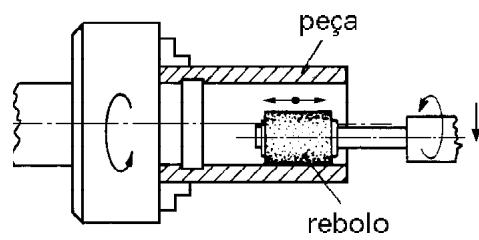
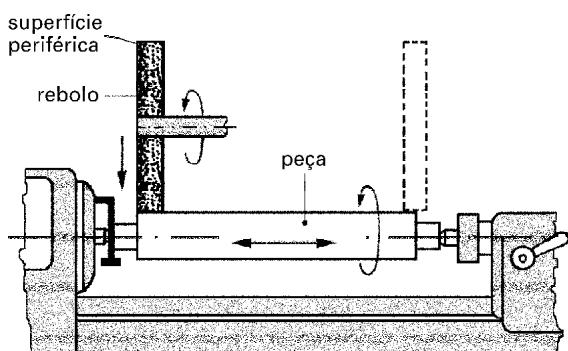
Para a realização deste processo, as peças são colocadas no interior de um tambor rotativo para serem rebarbadas ou polidas. Misturadas ou não a outros materiais especiais, como pedras e abrasivos, as peças são rebarbadas ou recebem o acabamento devido ao impacto sofrido entre si.

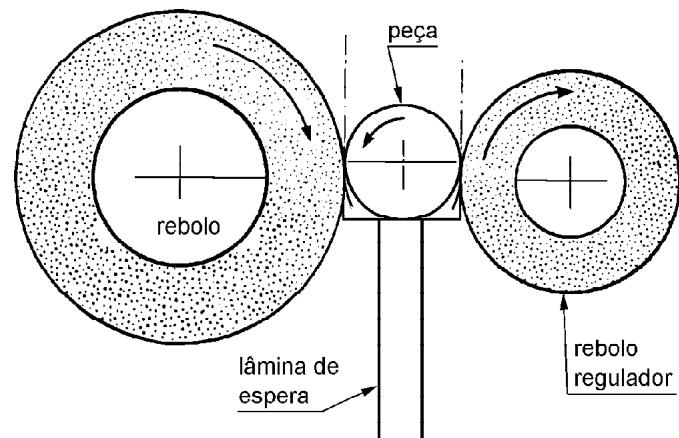
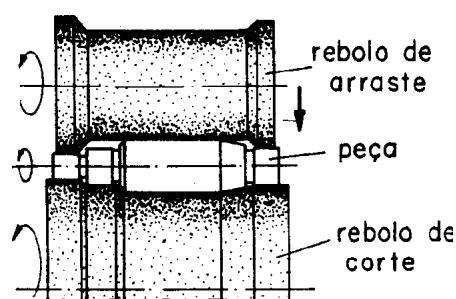
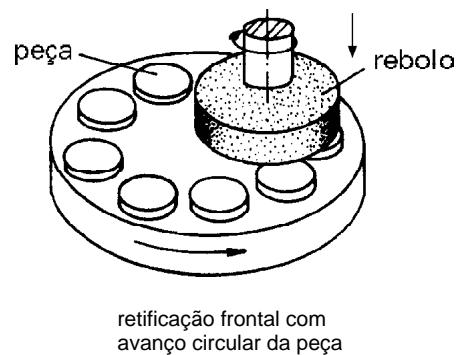
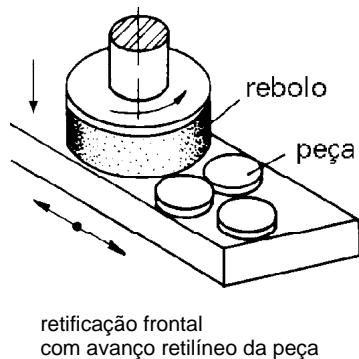
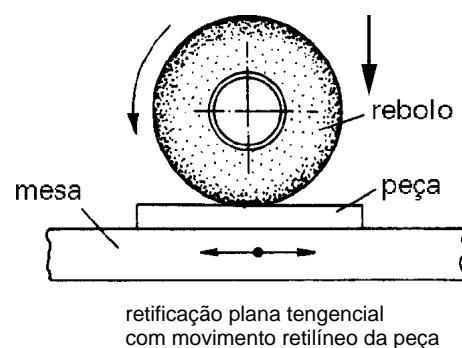
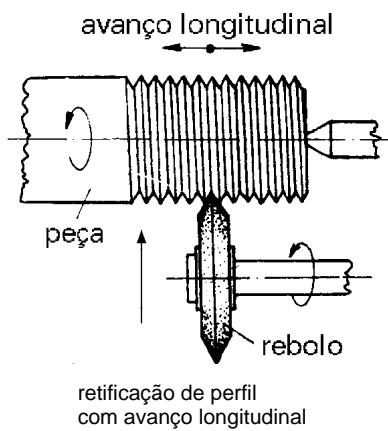
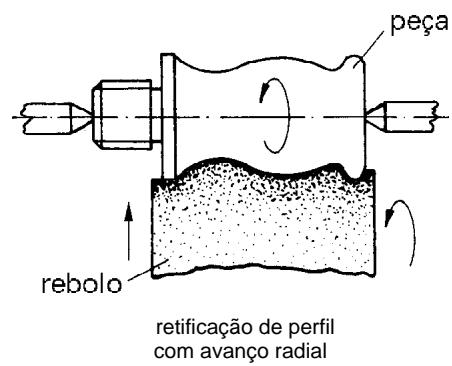
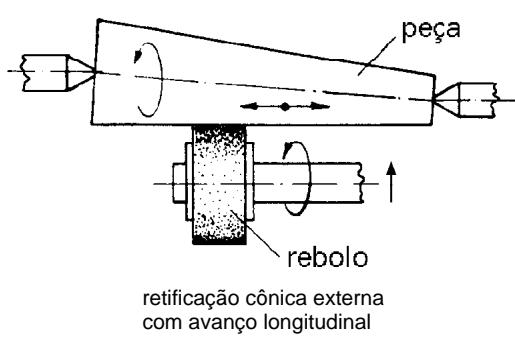


# Retificação

É o processo de abrasão utilizado na execução de peças que devem apresentar dimensões e formas rigorosas, rugosidade superficial muito pequena ou, ainda, peças com dureza elevada (acima de 40RC).

Na retificação, são empregadas ferramentas abrasivas rotativas denominadas **rebolos**. Os rebolos são responsáveis pela realização do movimento de corte. Dependendo do perfil do rebolo, as superfícies a serem usinadas (internas ou externas) podem ser cilíndricas, cônicas, planas, entre outras.

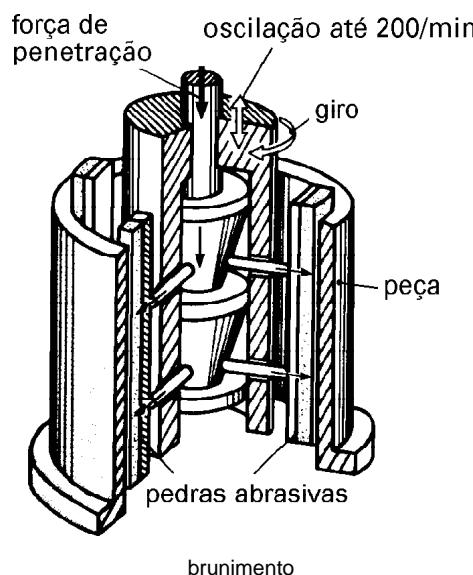




# Brunimento

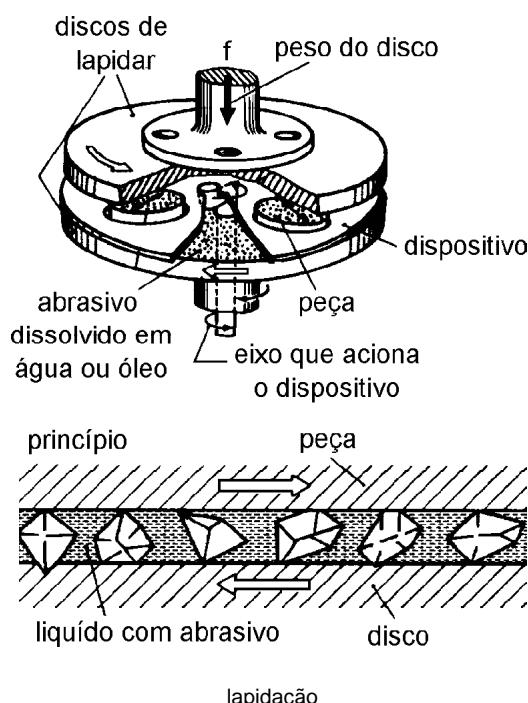
O brunimento é empregado no acabamento de furos cilíndricos, em geral profundos, com ferramentas abrasivas. No brunimento, são utilizados segmentos de material abrasivo.

Os movimentos de corte e de avanço são realizados com auxílio do **brunidor**, que é um suporte para segmentos de material abrasivo.



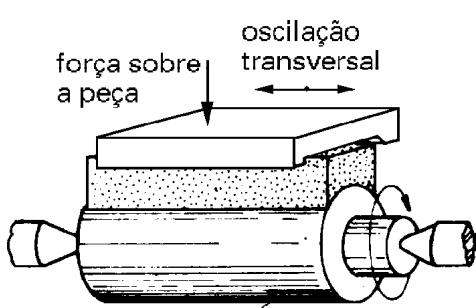
# Lapidação

A superfície da peça a ser usinada é coberta por uma camada de pasta abrasiva. Sobre esta camada, é aplicada a força de um **lapidador**, que ocorre por meio de movimentos relativamente lentos. O lapidador é a ferramenta responsável pela obtenção das dimensões exigidas para a peça.

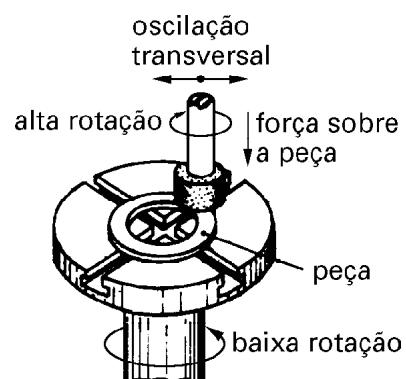


# Superacabamento

É um processo de usinagem por abrasão empregado no acabamento de peças cuja ferramenta abrasiva está em contato permanente com a superfície da peça que está sendo usinada. A peça gira de forma lenta enquanto a ferramenta realiza movimentos de oscilação muito rapidamente.



superacabamento cilíndrico

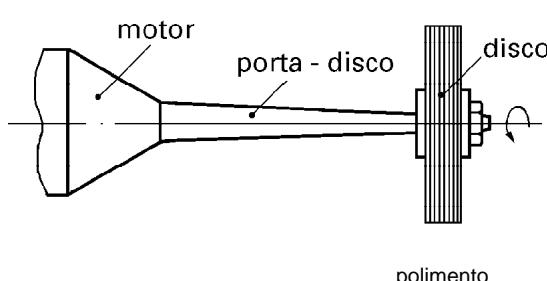


superacabamento plano

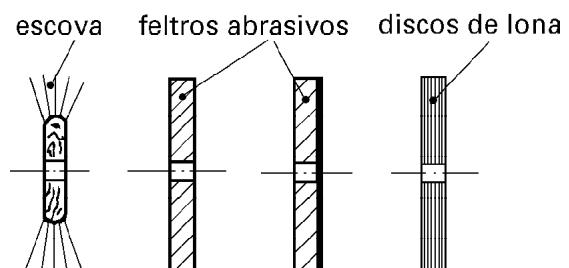
# Polimento

Também é um processo de usinagem por abrasão, em que a ferramenta é constituída por um disco revestido de substâncias abrasivas.

torno para polimento

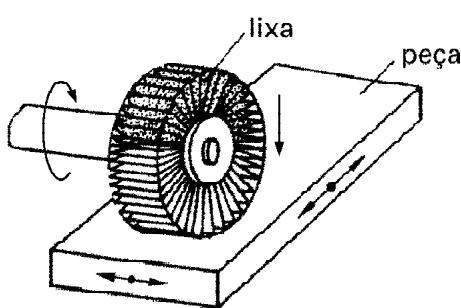


discos diversos

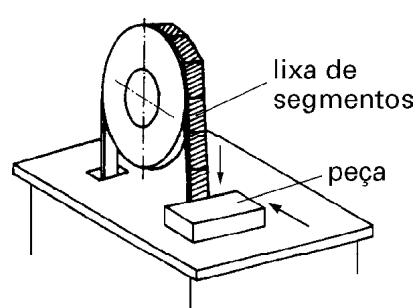


# Lixamento

Para realização do lixamento, o abrasivo que adere a uma tela de papel ou tecido é movimentado com pressão sobre a peça.



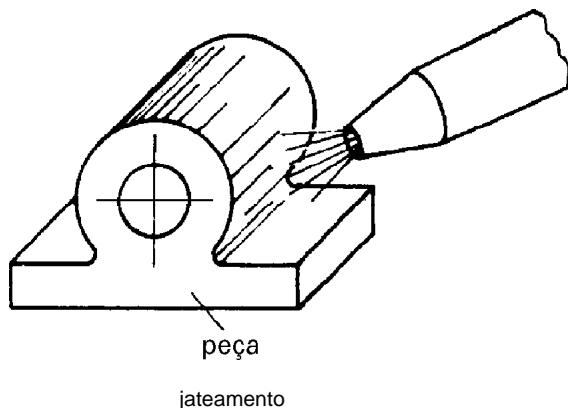
lixamento com folhas abrasivas



lixamento com fita abrasiva

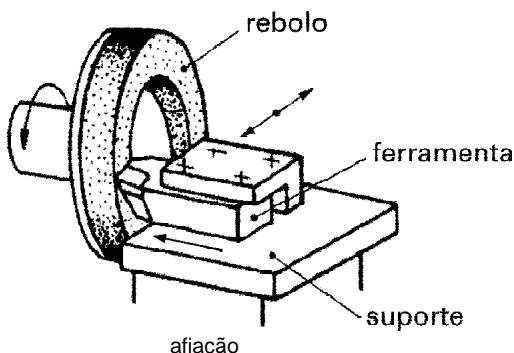
## Jateamento

Grãos abrasivos são lançados contra a peça por meio de jatos de ar ou de água comprimidos. Este processo permite rebarbar a peça ou remover a camada superficial oxidada ou pintura deteriorada.



## Afiação

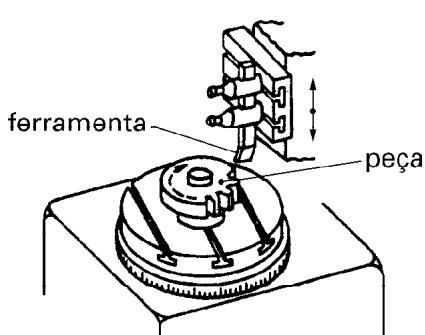
É o processo de usinagem por abrasão que utiliza rebolos. É empregado para gerar as superfícies da cunha cortante. A peça trabalhada é a própria ferramenta de corte.



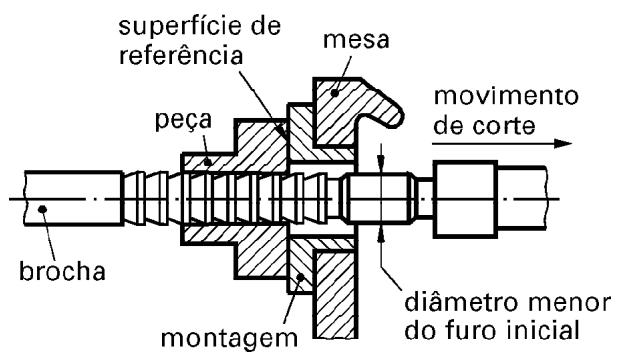
## Denteamento

É utilizado na execução de elementos denteados, engrenagens, por exemplo.

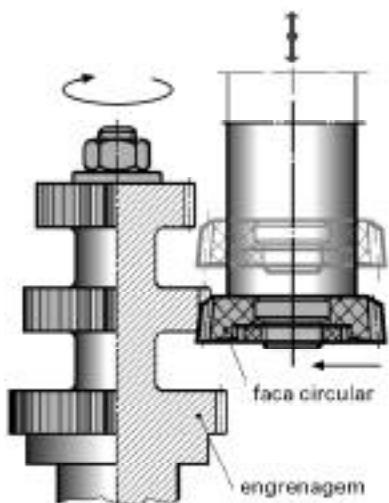
A ferramenta transfere o formato de seu dente para a peça executada (**formação**) ou, gera o perfil do dente pela conjugação dos movimentos de corte e de avanço (**geração**).



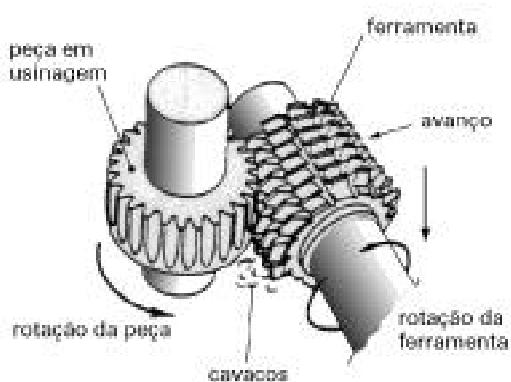
formação de dentes por aplanaimento



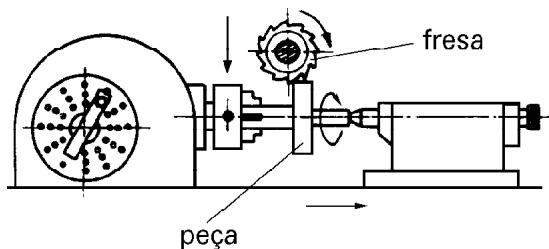
formação de dentes por brochamento



geração contínua de dentes por aplaínamento  
(feita pela máquina Fellows)



geração contínua de dentes  
por fresamento (feita pela máquina Renania)



formação de dentes por fresamento

*Com o estudo deste capítulo, você chegou ao final da unidade 1. Resolva, agora, os exercícios a seguir que se relacionam ao conteúdo que você acabou de estudar. Boa sorte!*

## Exercícios

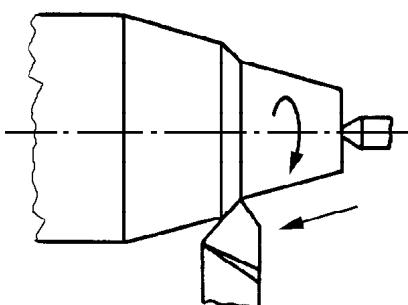
- 11 A coluna da esquerda indica alguns processos de usinagem e a da direita algumas ferramentas de corte.

Relacione a coluna da esquerda com a da direita, escrevendo dentro de cada parênteses a letra adequada.

Atenção: um dos parênteses deverá ficar vazio.

- |                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| (a) retificação  | ( ) ferramenta monocortante  |
| (b) fresamento   | ( ) broca                    |
| (c) furação      | ( ) barra                    |
| (d) aplaínamento | ( ) rebolo                   |
|                  | ( ) ferramenta multicortante |

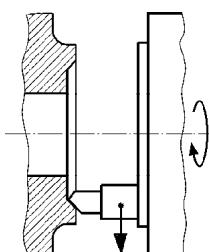
- 12 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O processo de usinagem indicado é:

- a ( ) furação escalonada
- b ( ) aplaínamento de revolução (rasgo de chaveta)
- c ( ) torneamento cônico externo
- d ( ) rebaixamento

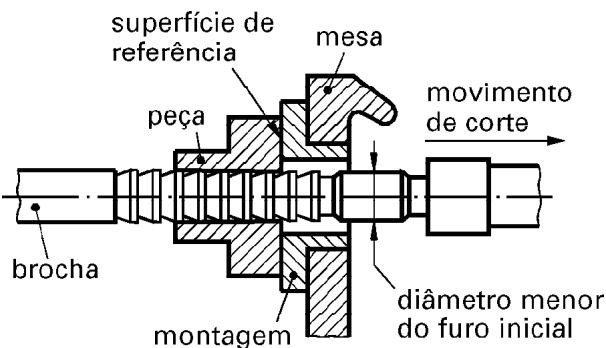
- 13 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O processo de usinagem indicado é:

- a ( ) fresamento frontal de canaletas
- b ( ) mandrilamento radial
- c ( ) retificação cilíndrica
- d ( ) torneamento de faceamento

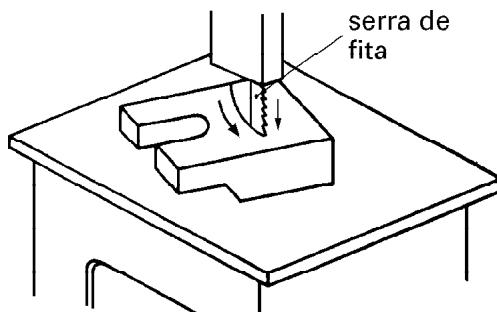
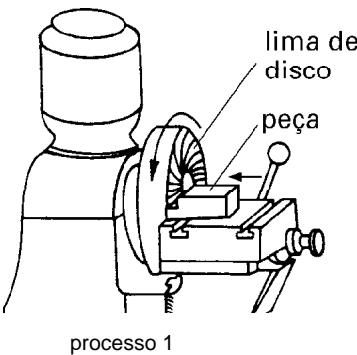
- 14 Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O processo de usinagem indicado é:

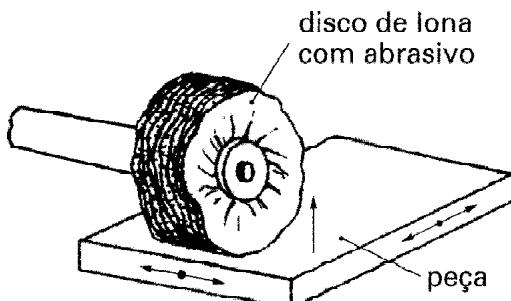
- a ( ) brochamento interno
- b ( ) rosamento interno
- c ( ) torneamento cilíndrico interno
- d ( ) aplaínamento de guias

- 15 Observe os processos de usinagem indicados na figura a seguir e responda a questão abaixo.

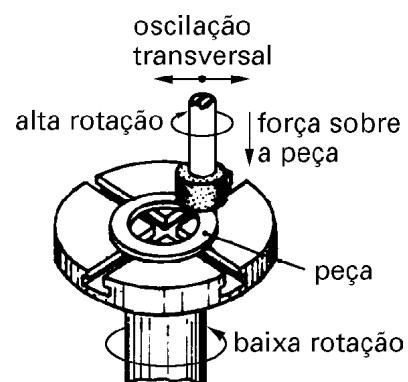


O processo de limagem contínua está indicado pelo número:  
Resposta: .....

- 16** Observe os processos de usinagem indicados na figura a seguir e responda a questão abaixo.



processo 1



processo 2

O processo de superacabamento plano está indicado pelo número:  
Resposta: .....

*Confira, agora, suas respostas na página 33. Se você acertou todas as questões, muito bem! Faça a Verificação a seguir. Se você errou algum exercício, volte ao texto e tente resolvê-lo novamente.*

*Se mesmo assim, as dúvidas continuarem, solicite a colaboração de seu monitor, conforme as orientações de seu Guia de estudo.*

## Respostas dos exercícios

**1** 1

**2** 3

**3** c (x)

**4** 2

**5** d (x)

**6** Movimento 1 - ma ou avanço  
Movimento 2 - mc ou corte  
Movimento 3 - mp ou profundidade

**7** Movimento 1 - ma ou avanço  
Movimento 2 - mc ou corte

**8** Movimento 1 - mc ou corte  
Movimento 2 - ma ou avanço  
Movimento 3 - mp ou profundidade

**9** Movimento 1 - mc ou corte  
Movimento 2 - ma ou avanço

**10** Movimento 1 - mc ou corte  
Movimento 2 - ma ou avanço  
Movimento 3 - mp ou profundidade

**11** (d)  
(c)  
( )  
(a)  
(b)

**12** c (x)

**13** b (x)

**14** a (x)

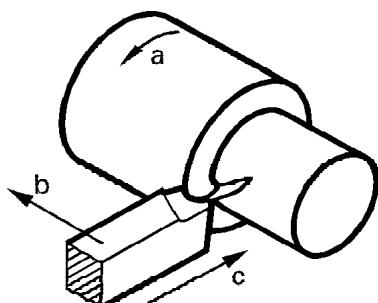
**15** 1

**16** 2

*Você chegou ao final da unidade 1. Muito bem! Faça agora a Verificação que contém questões acerca dos assuntos mais importantes desta unidade.*

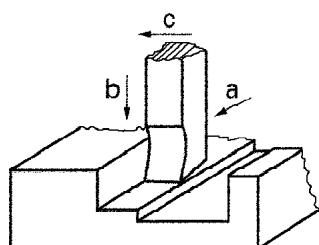
## Verificação

**1** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e complete a frase abaixo.



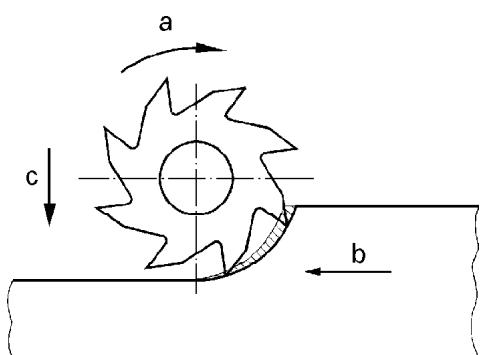
O movimento de corte está indicado pela letra .....

**2** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e complete a frase abaixo.



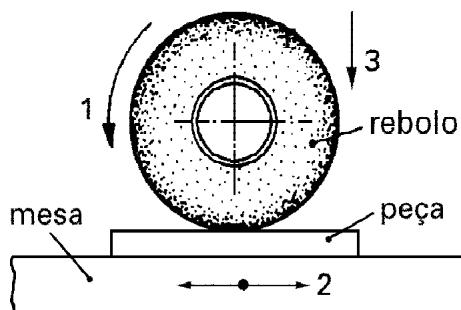
O movimento de profundidade está indicado pela letra .....

- 3** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e complete a frase abaixo.



O movimento de avanço está indicado pela letra .....

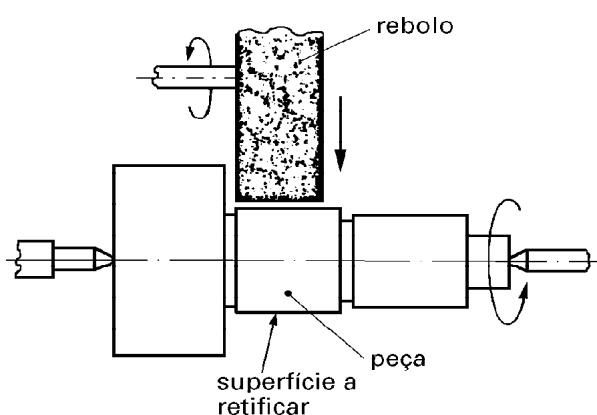
- 4** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



Os movimentos **1**, **2** e **3** correspondem a seqüência:

- a ( ) ma, mc e mp
- b ( ) mc, ma e mp
- c ( ) mp, mc e ma
- d ( ) mc, mp e ma

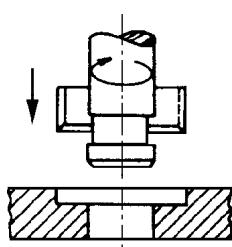
- 5** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O processo de usinagem indicado é:

- a ( ) furação escalonada
- b ( ) alargamento cilíndrico de desbaste
- c ( ) retificação cilíndrica externa com avanço rad
- d ( ) rebaixamento

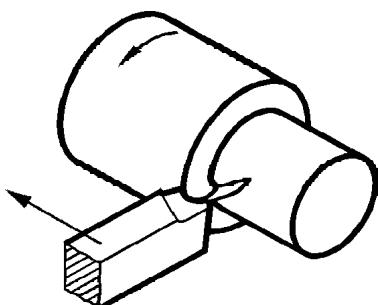
- 6** Observe o processo de usinagem indicado na figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



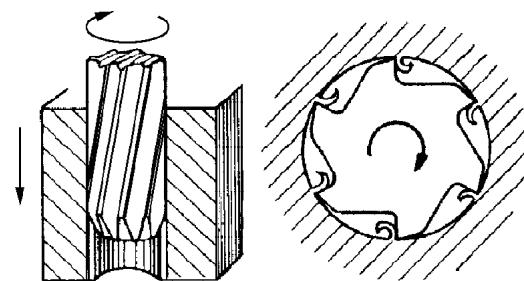
O processo de usinagem indicado é:

- a ( ) fresamento frontal de canaletas
- b ( ) sangramento axial
- c ( ) retificação cilíndrica interna
- d ( ) rebaixamento

**7** Observe os processos de usinagem **1** e **2** indicados nas figuras a seguir e complete a frase abaixo.



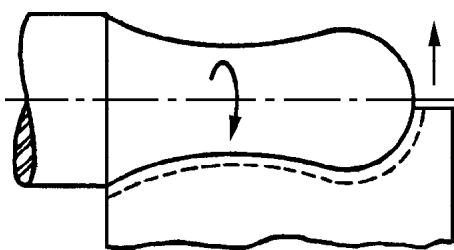
processo 1



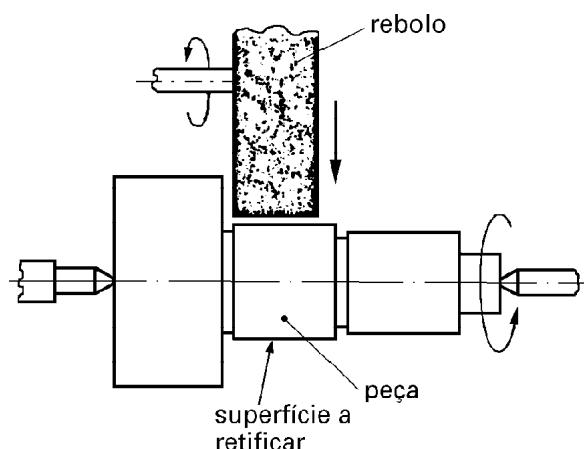
processo 2

O processo de número \_\_\_\_ corresponde ao torneamento cilíndrico externo.

**8** Observe os processos de usinagem **1** e **2** indicados na figura a seguir e responda a questão abaixo.



processo 1



processo 2

O processo de número \_\_\_\_ corresponde à retificação externa de avanço radial.

*Confira, agora, as suas respostas na página 36.*

# Respostas da verificação

Número do exercício	Resposta certa	Se você errou, leia de novo as páginas de números :
1	a (x)	10 e 11
2	b (x)	11 e 12
3	b (x)	11
4	b (x)	12 e 13
5	c (x)	25 e 26
6	d (x)	20
7	1	16 e 17
8	2	25 e 26

*Se você constatou algum erro, releia as páginas indicadas ou entre em contato com seu tutor ou monitor. Se acertou tudo, parabéns! Passe para a unidade 2. Boa sorte!*

## **Unidade 2 – Ferramentas de corte**



# Introdução

Na primeira unidade, você viu que as ferramentas de corte são utilizadas para confeccionar peças com diferentes formatos, acabamento superficial e exatidão dimensional.

O **uso adequado** das ferramentas de corte é de grande importância para o processo de usinagem, pois interfere no processo de fabricação e contribui para a qualidade do produto usinado. Por essa razão, os trabalhadores da usinagem devem conhecer as principais características das ferramentas e as condições necessárias para o seu uso adequado.

Nesta unidade, você terá a oportunidade de estudar alguns aspectos importantes das ferramentas de corte:

- velocidades de corte e de avanço e tempo de corte;
- geometria da ferramenta;
- geometria do corte;
- geometria da cunha cortante e
- materiais para as ferramentas de corte.

Ao final desta unidade, espera-se que os trabalhadores, como você, tenham adquirido um maior número de informações sobre o emprego das ferramentas de corte selecionadas para a execução de seu trabalho.

Leia com atenção o conteúdo apresentado. Sempre que tiver dúvidas, volte ao texto e releia o trecho em que encontrou dificuldades. Se mesmo assim, as dúvidas continuarem entre em contato com seu monitor. Boa sorte! Siga em frente!

# Velocidades de corte e de avanço e tempo de corte

Este capítulo trata das velocidades de corte e de avanço e do tempo de corte utilizados na usinagem. A velocidade dos movimentos não é constante, pois tanto podem ser muito rápidos, quanto bem lentos.

O tempo de corte, como o nome indica, corresponde ao intervalo de tempo necessário para execução de uma peça.

A velocidade de corte empregada depende das propriedades da peça trabalhada, do acabamento superficial desejado, do tipo e material da ferramenta empregada.

Materiais duros, como o aço temperado, quando usinados em altas velocidades de corte provocam o desgaste prematuro das ferramentas. Isto porque a alta velocidade de corte provoca **mais atrito** entre a ferramenta e a peça, aumentando o calor na região de corte. Com o aumento do calor, a ferramenta apresenta perda de dureza e, por essa razão, o desgaste é mais rápido.

Materiais dúcteis, como o alumínio, quando usinados em baixas velocidades de corte causam o empastamento dos cavacos, ou seja, amontoam-se na ponta da ferramenta. Situações como essas prejudicam a superfície da peça e alteram as suas dimensões, interferindo, portanto, na qualidade final do produto obtido.

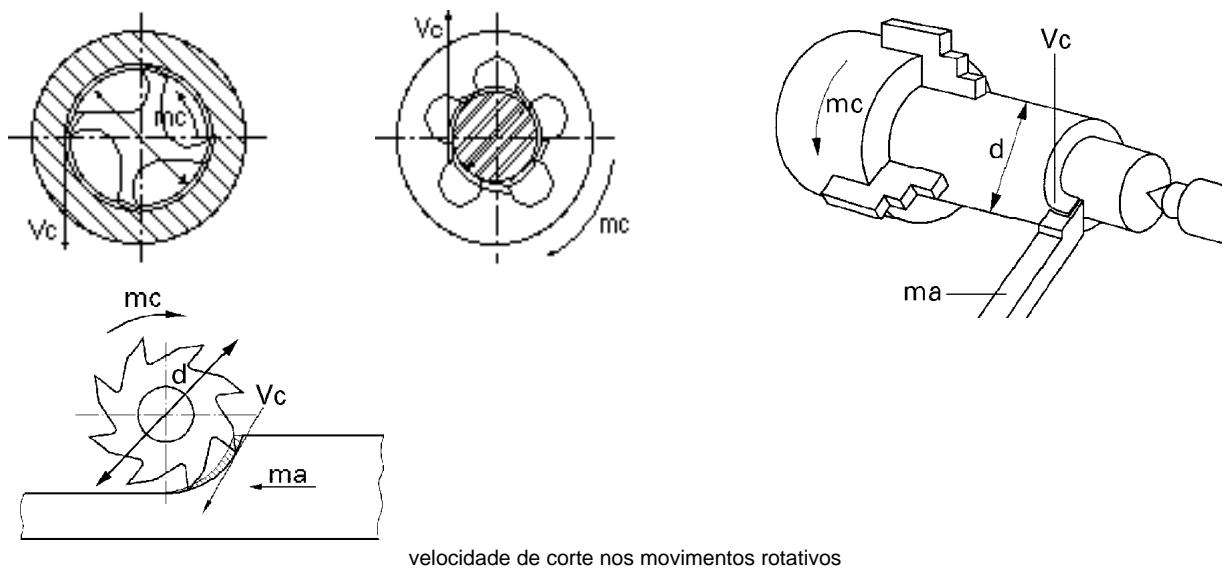
## Velocidade de corte

Velocidade de corte é a velocidade desenvolvida pelo movimento de corte. Nos manuais, catálogos e demais documentos técnicos, a velocidade de corte é indicada pelas letras  $V_c$  e o seu valor é expresso em metros por minuto (**m/min**).

Dependendo do tipo de ferramenta empregado, os movimentos de corte podem ser **rotativos ou lineares**. Com o torno, por exemplo, são realizados os movimentos rotativos; já, a plaina é específica para os movimentos lineares.

### Movimentos de corte rotativos

São característicos de alguns processos utilizados para a obtenção de superfícies cilíndricas, cônicas ou planas, como o torneamento, por exemplo.



O valor da velocidade de corte nos movimentos rotativos é obtido por meio da fórmula:

$$V_c = \pi \times d \times n$$

Onde:

$$\begin{aligned} V_c &= \text{velocidade de corte} \\ &= 3,14 \end{aligned}$$

**d** = diâmetro da peça ou da ferramenta (**m**)

**n** = número de rotações por minuto da peça ou ferramenta (**rpm**)

**Atenção** - Ao resolver questões sobre velocidade de corte, faça o seguinte:

1. transforme os valores indicados em mm para metro (m), antes de realizar as operações. Exemplo: L = 300mm → 0,300m

2. indique o resultado em números inteiros, aproximando o valor obtido para o número inteiro mais próximo. Exemplo: 44,44rpm → 44rpm

Veja o exemplo a seguir.

Qual é a velocidade de corte de uma fresa com 250mm de diâmetro que gira a 400rpm?

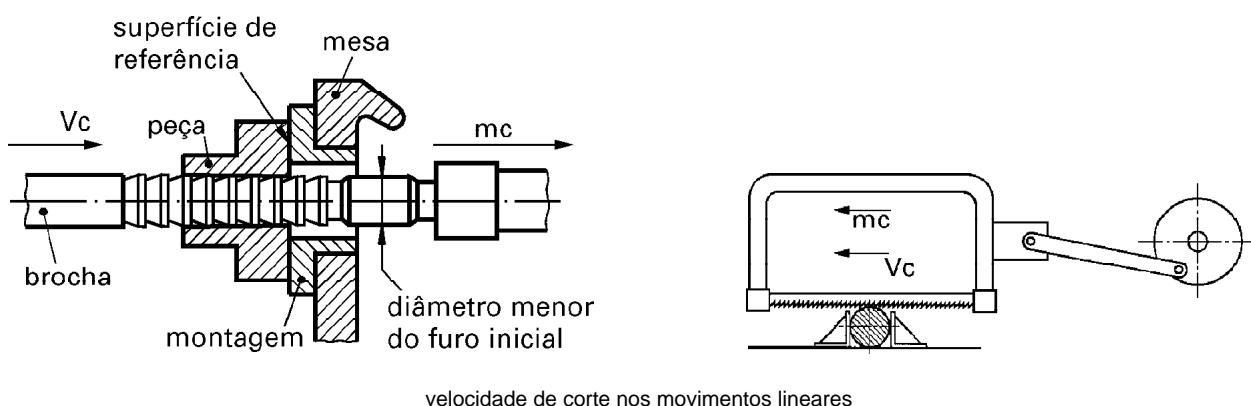
Aplicando a fórmula anterior, temos:

$$V_c = 3,14 \times 0,25 \times 400 = 314\text{m/min}$$

Resposta: 314m/min

### Movimentos de corte lineares

A velocidade com que a ferramenta ou a peça se desloca caracteriza os movimentos de corte lineares. Oplainamento e o serramento são exemplos típicos de processo de usinagem que empregam movimentos lineares e em que os movimentos periodicamente se repetem. Isso não ocorre no brochamento, onde o movimento de corte é realizado uma única vez.



A periodicidade ou ciclo dos movimentos de corte lineares é representado pelas letras **gpm** que indicam o número de golpes dados por minuto.

A máquina usada nas operações de usinagem é regulada segundo o número de vezes que, a cada minuto, o movimento de corte deve percorrer a peça.

Para obter o valor do número de golpes por minuto na plaina limadora, aplique a fórmula:  $n = \frac{V_c \times 1000}{2 \times c}$

Onde:

**n** = número de golpes por minuto (**gpm**)

**Vc** = velocidade de corte (**m/min**)

**1000** = constante de conversão de 1m para 1000mm

**2** = valor característico da plaina limadora

**C** = percurso do movimento de corte (**mm**) = comprimento da peça l + 30mm de folga

Veja o exemplo a seguir.

Qual é o número de golpes por minuto a ser ajustado à uma plaina limadora para

executar uma peça com 300mm de comprimento, utilizando uma velocidade de corte de 20m/min?

Aplicando a fórmula anterior, temos:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{2 \times c} = \frac{20\,000}{2(300 + 30)} = \frac{20\,000}{660} = 30,30$$

Resposta: 30,30gpm

Resolva agora a questão a seguir.

Calcular o número de golpes por minuto a ser ajustado à uma plaina vertical para executar um canal de chaveta num furo com 80mm de comprimento e utilizando 15m/min de velocidade de corte?

Resposta:

Você deve ter feito assim:

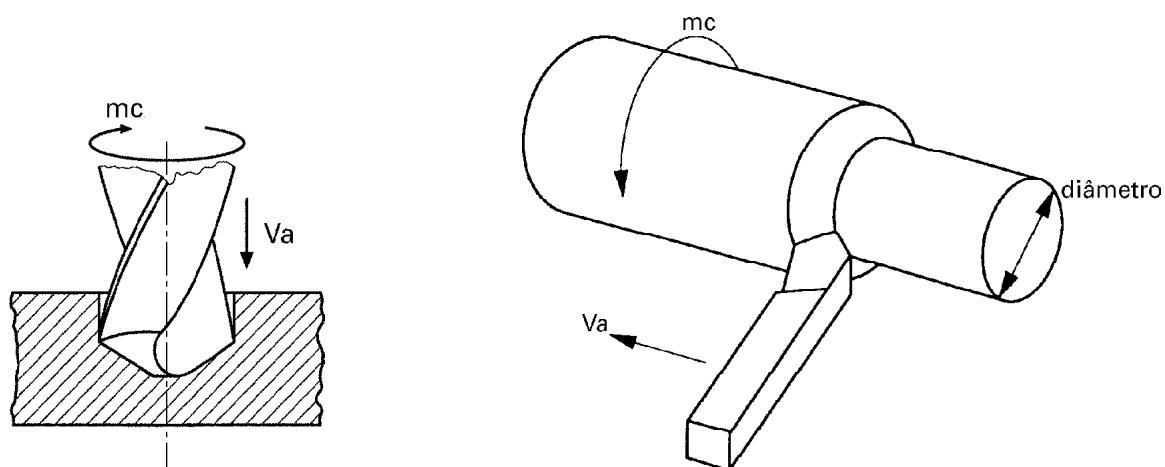
$$n = \frac{15\,000}{2(80 + 30)} = \frac{15\,000}{220} = 68,18$$

n = 68,18gpm

*Se você acertou, parabéns! Se não conseguiu acertar, tente novamente. Na segunda tentativa, tente descobrir a razão de sua dificuldade para poder superá-la.*

## Velocidade de avanço

A velocidade de avanço corresponde à velocidade do movimento de avanço. Nos manuais, catálogos e demais documentos técnicos, a velocidade de avanço é indicada pelas letras **V<sub>a</sub>** e o seu valor é expresso em **mm/min**.



Indicação da velocidade de avanço

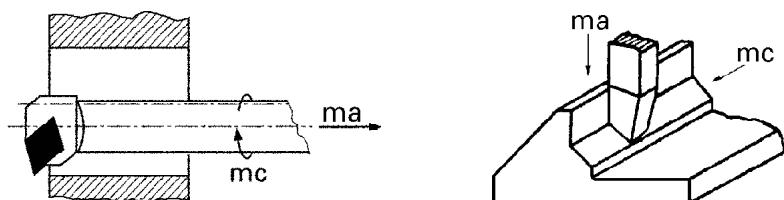
Para obter o valor da velocidade de avanço, vamos entender antes o que é:

- avanço nas ferramentas monocortantes
- avanço por dente nas ferramentas multicortantes.

### Avanço nas ferramentas monocortantes

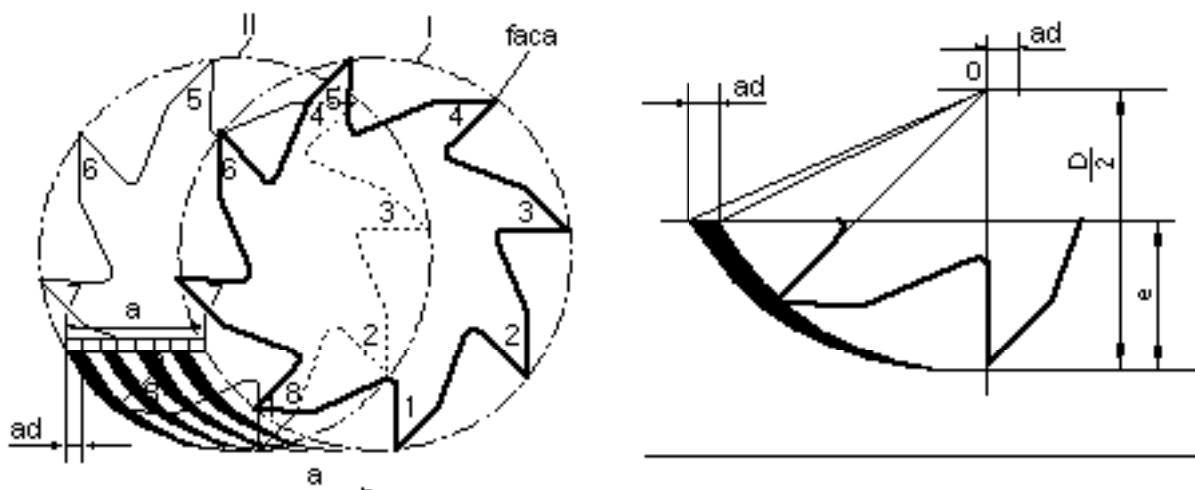
Durante o movimento de avanço, a peça ou a ferramenta monocortante se desloca segundo a direção do movimento de avanço. Esse deslocamento caracteriza o avanço nas

ferramentas monocortantes e ocorre a cada volta ou golpe da ferramenta sobre a peça. O avanço é indicado pela letra **a** e é expresso em  $\frac{\text{mm}}{\text{volta}}$  ou  $\frac{\text{mm}}{\text{golpe}}$



### Avanço por dente nas ferramentas multicortantes

É o avanço distribuído pelo número de facas ou dentes que compõem a ferramenta multicortante. O **avanço por dente**, é indicado pelas letras **ad** e é expresso em  $\frac{\text{mm}}{\text{volta x dente}}$  ou  $\frac{\text{mm}}{\text{volta x faca}}$



$$\text{Para obter o valor do avanço por dente, aplique a fórmula: } \mathbf{ad = \frac{a}{z}}$$

Onde:

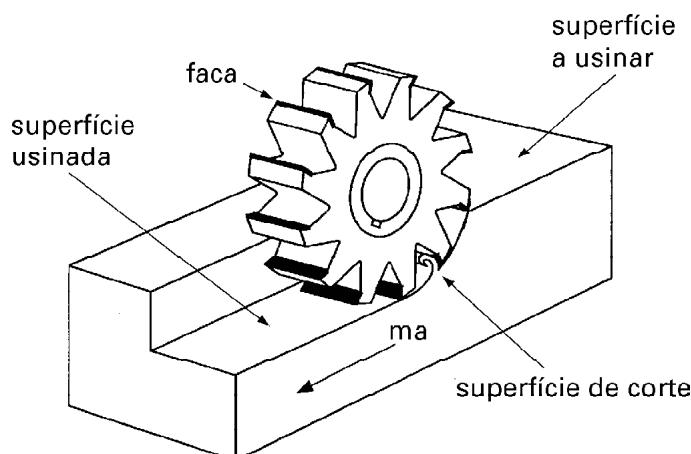
**ad** = avanço por dente

**a** = avanço

**z** = número de facas ou dentes

Veja os exemplos a seguir.

- a . Qual é o valor do avanço por dente da fresa indicada na figura a seguir que apresenta 14 dentes e trabalha com avanço de 2,8mm/volta?

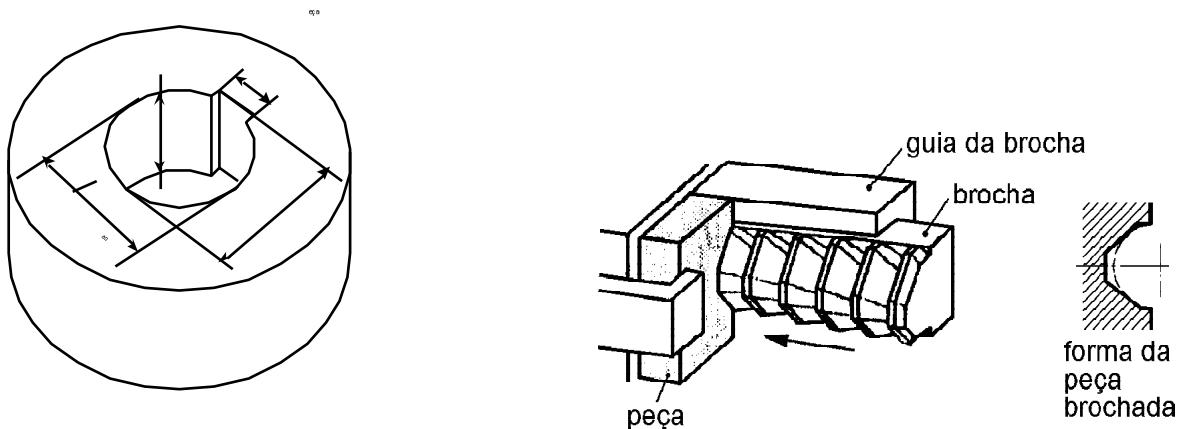


Aplicando a fórmula anterior, temos:

$$\mathbf{ad = \frac{a}{z} = \frac{2,8}{14} = 0,2}$$

Resposta: 0,2mm/volta x dente

**b.** Qual é o valor do avanço por dente para executar um canal de chaveta na figura indicada a seguir, utilizando uma brocha de 30 dentes?



$$a = 63,2 - 60 = 3,2$$

$$ad = \frac{a}{z} = \frac{3,2}{30} = 0,1$$

Resposta: 0,1mm/volta x dente

Resolva agora a questão a seguir.

Qual é o valor do avanço por dente de uma broca que apresenta 3 facas, utilizando um avanço de 0,5mm/volta?

Resposta:

Você deve ter feito assim:

$$ad = \frac{0,5}{3} = 0,17$$

Resposta = 0,17mm/volta x dente

Conseguiu chegar a resposta correta? Ótimo! Prossiga o seu estudo! Se errou, não se preocupe, tente novamente. Procure descobrir a sua dificuldade para tentar superá-la.

Veja, agora, como se calcula a velocidade de avanço.

Para obter o valor da velocidade de avanço, aplique a fórmula:  $V_a = a \times n$

Onde:

**V<sub>a</sub>** = velocidade de avanço

**a** = avanço

**n** = número de rotações por minuto da peça ou ferramenta (**rpm**) .

Veja o exemplo a seguir.

Qual a velocidade de avanço de uma broca com 12mm de diâmetro, trabalhando a uma velocidade de corte de 18m/min e avanço de 0,3mm/volta?

$$V_c = \pi \times d \times n$$

$$n = \frac{V_c}{\pi \times d} = \frac{18}{\pi \times 0,012} = 477 \text{ rpm}$$

$$V_a = a \times n = 477 \times 0,3 = 143,1$$

Resposta: 143,1mm/min

Resolva agora a questão a seguir.

Qual a velocidade de avanço de uma fresa de 125mm de diâmetro que trabalha a uma velocidade de corte de 60m/min e com avanço de 0,4mm/volta?

Resposta:

Você deve ter feito assim:

$$V_c = \times d \times n$$

$$n = \frac{V_c}{\times d} = \frac{60}{\times 0,125} = 153 \text{ rpm}$$

$$V_a = 153 \times 0,4 = 61 \text{ mm/min}$$

Resposta: 61mm/min

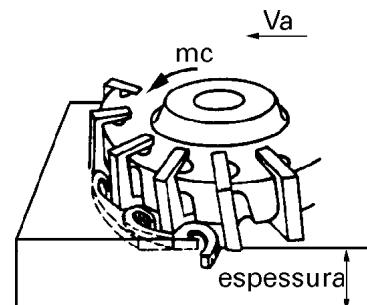
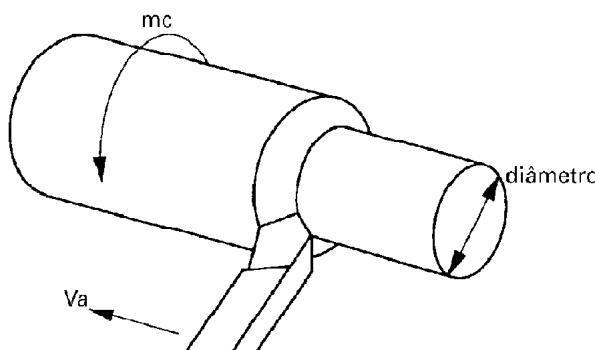
*Se você acertou, muito bem! Continue o seu estudo! Se encontrou alguma dificuldade, tente resolver a questão novamente. O importante é não desanistar e, aos poucos, superar as dificuldades.*

## Tempo de corte

Como você sabe o tempo de corte é o intervalo de tempo necessário para usinagem da peça-obra. Nos manuais, catálogos e demais documentos técnicos, o tempo de corte é indicada pelas letras **Tc** e o seu valor é expresso em minutos.

**Número de passes** é o número de vezes em que o percurso de avanço é realizado. Nos manuais, catálogos e demais documentos técnicos, o número de passes é indicado pelas letras (**Np**).

No torneamento, o **diâmetro** diminui a cada passe. Já, no fresamento, é a **espessura** que diminui a cada passe. Veja os exemplos nas figuras a seguir.



### Tempo de corte nos movimentos rotativos

Para obter o valor do tempo de corte nos movimentos rotativos, aplique a fórmula a seguir:

$$T_c = \frac{L \times N_p}{V_a}$$

Onde:

**Tc** = tempo de corte

**L** = percurso de avanço + folga (Ao usinar com ferramenta de barra, a folga é duas vezes a largura da ferramenta, em geral cerca de 30mm. com ferramentas rotativas, a folga corresponde ao diâmetro delas)

**Np** = número de passes

**Va** = velocidade de avanço.

Veja os exemplos **a**, **b** e **c** a seguir.

**a.** Qual o tempo de corte necessário para tornejar um eixo de 250mm de comprimento e 150mm de diâmetro, em 3 passes, utilizando uma velocidade de corte de

40m/min e um avanço de 0,2mm/volta?

$$V_c = \times d \times n$$

$$n = \frac{V_c}{\times d} = \frac{40}{0,150 \times 3,14} = 85 \text{ rpm}$$

$$V_a = a \times n = 0,2 \times 85 = 17 \text{ mm/min}$$

$$T_c = \frac{L \times N_p}{V_a} = \frac{(250+30)}{17} = 49,4$$

$$T_c = 49,4 \text{ min}$$

**b.** Qual o tempo de corte necessário para furar uma placa de 70mm de espessura, utilizando uma broca de 12mm de diâmetro, uma velocidade de corte de 18m/min e um avanço de 0,15mm/volta?

$$V_c = \times d \times n$$

$$n = \frac{V_c}{\times d} = \frac{18}{0,012 \times 3,14} = 477,5 \text{ rpm}$$

$$V_a = 0,15 \times 477,5 = 71,6 \text{ mm/min}$$

$$T_c = \frac{L \times N_p}{V_a} = \frac{(70+12) \times 1}{71,6} = 1,14$$

Resposta: 1,14min

**c.** Qual o tempo de corte necessário para rebaixar a espessura de uma placa com 120mm de comprimento em 6 passes, utilizando uma fresa de 90mm de diâmetro, 6 facas, 0,05mm/volta x face e 30m/min de velocidade de corte?

$$V_c = \times d \times n$$

$$n = \frac{V_c}{\times d} = \frac{30}{0,090 \times 3,14} = 106 \text{ rpm}$$

$$a = ad \times z = 0,05 \times 6 = 0,3 \text{ mm/volta}$$

$$V_a = a \times n = 0,3 \times 106 = 31,8 \text{ mm/min}$$

$$T_c = \frac{L \times N_p}{V_a} = \frac{(120+90) \times 6}{31,8} = 39,6 \text{ min}$$

Resposta: 39,6min

## Tempo de corte nos movimentos lineares

Para obter o valor de tempo de corte nos movimentos lineares, aplique a fórmula:

$$T_c = \frac{L \times N_p \times N_s}{V_c}$$

Onde:

**Tc** = tempo de corte

**L** = percurso de corte + folga

**Np** = número de passes

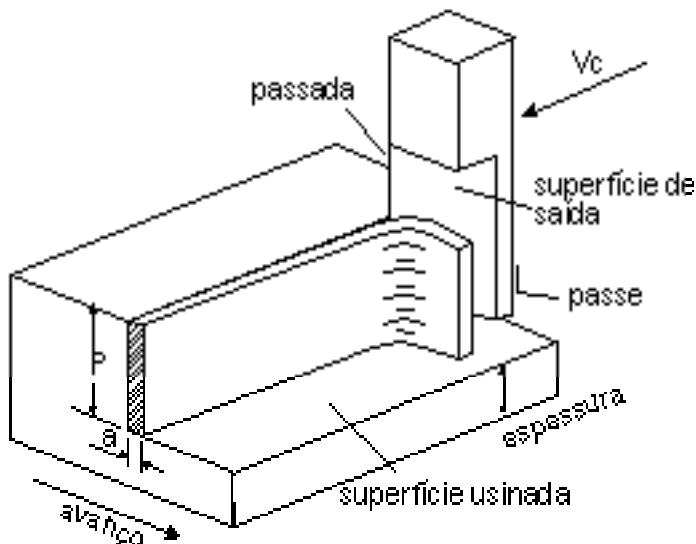
**Ns** = número de passadas

**Vc** = velocidade de corte

**Atenção** - O número de passadas é o cociente do percurso do avanço pelo avanço.

Assim:  $N_s = \frac{\text{percurso de avanço}}{\text{avanço}}$

A cada passe, a espessura diminui e a superfície usinada vai sendo formada. O percurso do avanço é a largura da peça acrescida da folga de 30min



Veja agora os exemplos **a**, **b** e **c** a seguir.

**a.** Qual o tempo de corte necessário para aplinar uma placa retangular com 400mm x 200mm, utilizando uma velocidade de corte de 20m/min e um avanço de 0,5mm/golpe em 4 passes?

$$N_s = \frac{200+30}{0,5} = 460$$

$$L = 400 + 30 = 430$$

$$T_c = \frac{L \times N_p \times N_s}{V_c} = \frac{0,430 \times 460 \times 4}{20} = 39,56\text{min}$$

Resposta: 39,56min.

**b.** Qual o tempo de corte necessário para realizar o brochamento de um peça, utilizando uma velocidade de corte de 2m/min e uma brocha com 850mm de comprimento?

$$T_c = \frac{L \times N_p \times N_s}{V_c} = \frac{0,850 \times 1 \times 1}{2} = 0,43\text{min}$$

Resposta: 0,43min.

**c.** Qual o tempo de corte necessário para o torneamento de um eixo com 200mm de diâmetro e 250mm de comprimento para que apresente 108mm de diâmetro em 12 passes, utilizando uma velocidade de corte de 35m/min e um avanço de 0,3mm/volta?

$$n = \frac{V_c}{\pi d} = \frac{35}{3,14 \times 0,20} = 106\text{rpm}$$

$n = 56\text{ rpm}$  (no cálculo da rotação, utilizar o diâmetro maior)

$$V_a = a \times n = 0,3 \times 56 = 16,8\text{mm/min}$$

$$T_c = \frac{L \times N_p}{V_a} = \frac{(250+30) \times 12}{16,8} = 200\text{min}$$

Resposta: 200min

*Resolva, agora, os exercícios a seguir para verificar se você entendeu o que estudou neste capítulo. Se tiver alguma dúvida, volte ao texto. Lembre-se de que você pode solicitar a colaboração de seu monitor. Boa sorte!*

# Exercícios

**1** Assinale com um (x) a alternativa correta.

Os movimentos de corte podem ser:

- a ( ) rotativos ou contínuos
- b ( ) lineares ou simétricos
- c ( ) rotativos ou lineares
- d ( ) lineares ou assimétricos

**2** Assinale com um (x) a alternativa correta.

O deslocamento da ferramenta ou da peça, a cada volta ou golpe no movimento de avanço é chamado de:

- a ( ) velocidade de avanço
- b ( ) avanço
- c ( ) velocidade de corte
- d ( ) rotação da ferramenta

**3** Leia e responda a questão a seguir.

Qual a rotação de uma broca com 10mm de diâmetro, trabalhando a uma velocidade de corte de 18m/min ?

Resposta: \_\_\_\_\_

**4** Leia e responda a questão a seguir.

Qual deve ser a velocidade de avanço da broca indicada na questão 3, utilizando um avanço de 0,1mm/volta e 300rpm?

Resposta: \_\_\_\_\_

**5** Leia e responda a questão a seguir.

Qual é a velocidade de corte de um fresa que apresenta 250mm de diâmetro e gira a 400rpm?

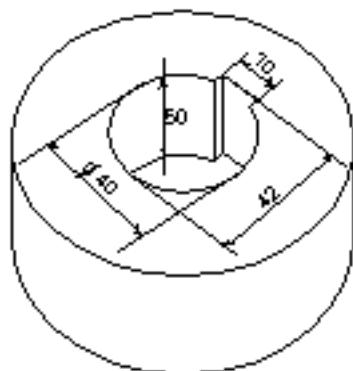
Resposta: \_\_\_\_\_

**6** Leia e responda a questão a seguir.

Qual é o avanço por dente de uma broca com 2 facas cortantes e avanço de 0,15mm/volta?

Resposta: \_\_\_\_\_

**7** Calcule os valores do avanço e do avanço por dente que a brocha com 40 dentes deve apresentar para executar o canal de chaveta interno indicado na figura a seguir.



Resposta: \_\_\_\_\_

**8** Leia e responda a questão a seguir.

Qual a velocidade de avanço de uma fresa com 12 facas e 300mm de diâmetro, trabalhando 0,08mm/volta de avanço por dente e 20m/min de velocidade de corte ?

Resposta: \_\_\_\_\_

**9** Leia e responda a questão a seguir.

Quanto tempo de corte uma broca com 80mm de diâmetro utilizando 15m/min de velocidade de corte e avanço de 0,5 mm/volta leva para furar uma chapa com 70mm de espessura, desprezando a altura da ponta da broca?

Resposta: \_\_\_\_\_

*Confira as suas respostas na página 89. Se você acertou todas, parabéns!*

*Passe para o capítulo seguinte. Se você errou algum exercício releia este capítulo e faça novamente as questões em que você encontrou dificuldade. Se as dúvidas continuarem entre rapidamente em contato com seu monitor.*

# Geometria da ferramenta

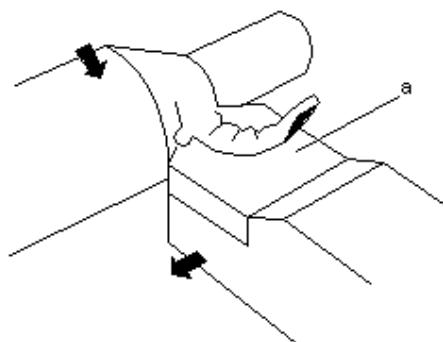
A ferramenta utilizada para o corte é também chamada de **cunha cortante**. O formato das ferramentas de corte deve permitir:

- a remoção do sobremetal, aplicando esforços de corte, cada vez menores
- a realização do acabamento superficial desejado e a durabilidade das ferramentas.

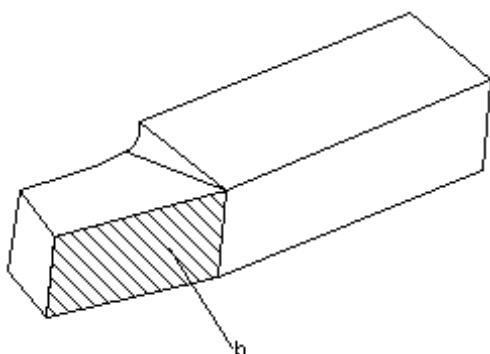
## Superfícies da cunha cortante

Superfície da ferramenta é a sua parte externa, que pode ser vista e tocada. Imagine uma ferramenta monocortante sendo usinada. Pois bem:

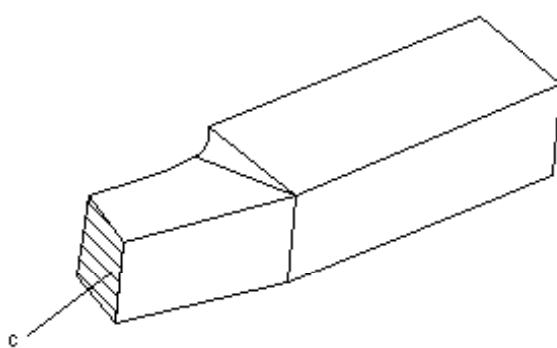
- a superfície por onde o cavaco desliza é conhecida por **superfície de saída (a)**.



- a superfície que “vê” o material a ser removido é chamada de **superfície principal de folga ou de incidência (b)**.



- a superfície que tende a atritar a ferramenta contra a região já usinada é chamada **superfície lateral de folga ou superfície secundária de folga (c)**.



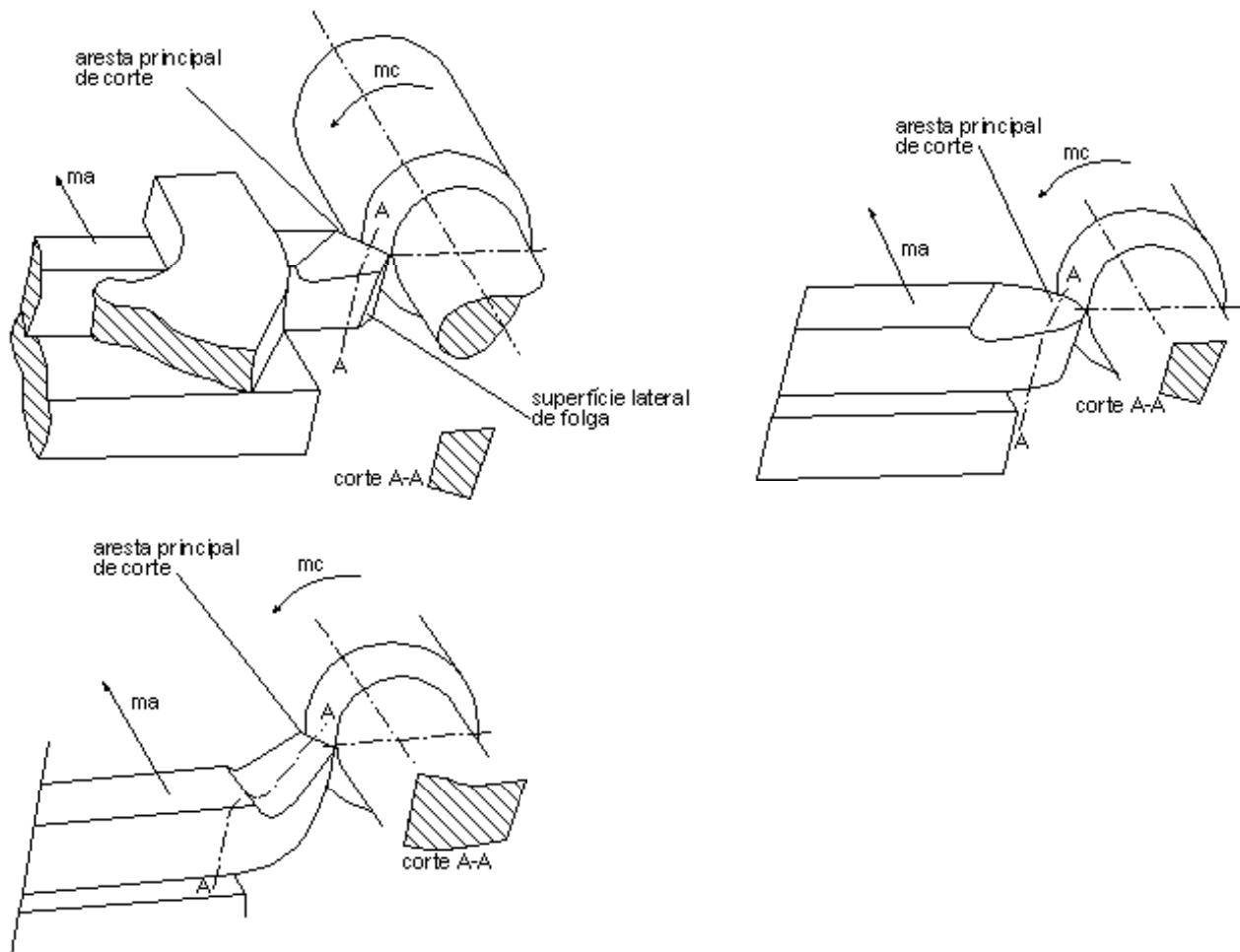
# Arestas de corte

**Aresta de corte** é a linha de intersecção ou ponto de cruzamento entre duas ou mais superfícies da ferramenta. As arestas cortantes também são conhecidas por **facas, fios, dentes ou gumes de corte**.

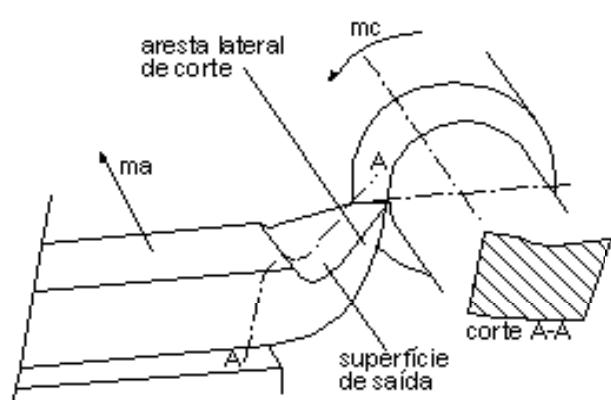
As arestas de corte são classificadas em:

- aresta principal de corte;
- aresta lateral ou secundária de corte.

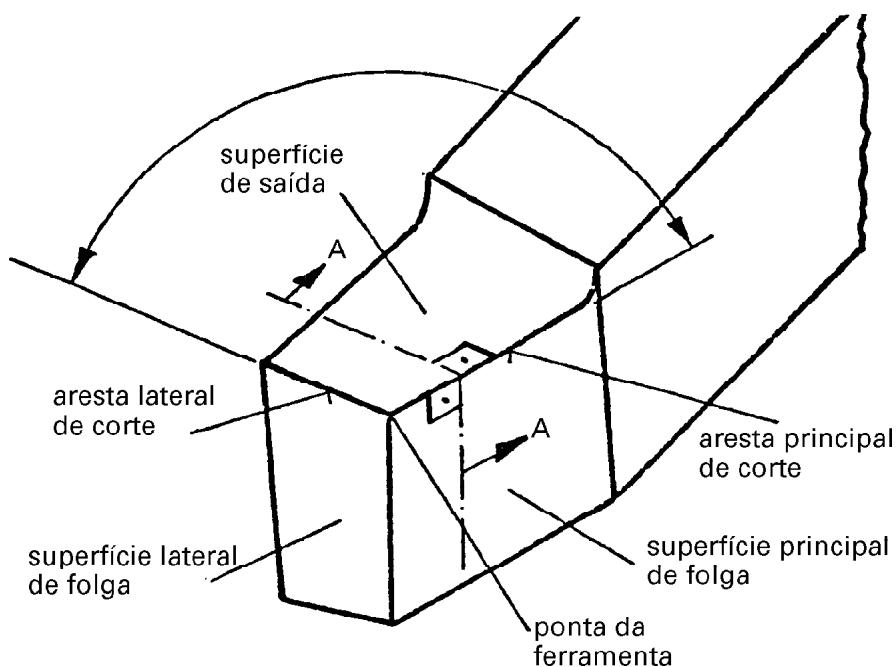
A **aresta principal de corte** resulta da intersecção entre as superfícies de saída e principal de folga. A aresta principal de corte “vê” o sobremetal a ser removido.



Já, a **aresta lateral ou secundária** está localizada na intersecção entre a superfície de saída e a superfície lateral de folga. É a aresta que “vê” a superfície já usinada da peça.



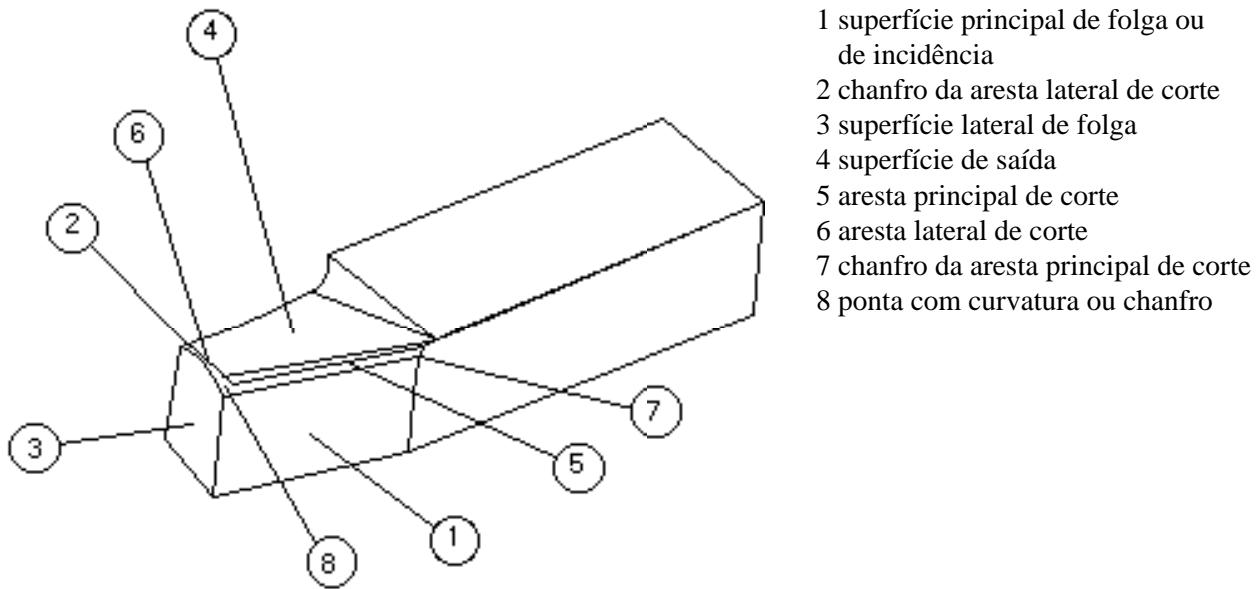
**Ponta da ferramenta** ou **bico da ferramenta** é a região onde ocorre o cruzamento das arestas cortantes: principal e secundária.



As arestas e as pontas das ferramentas são consideradas **cantos vivos**, pois, apresentam fragilidade muito acentuada, estando sujeitas a rupturas e lascamentos.

Para proteger os cantos vivos das ferramentas, é preciso chanfrá-los, isto é, cortá-los em ângulos ou arredondá-los.

Exemplo de ferramenta de barra com indicação das superfícies, arestas de corte, chanfros e ponta com curvatura:



Como você já sabe, a intersecção entre algumas superfícies da ferramenta gera as arestas de corte. Durante a usinagem, uma parte da aresta principal de corte é aplicada contra o sobremetal. Essa parte que toca o sobremetal é chamada de **parte ativa** da aresta de corte principal. **Ponto de referência** é o nome que recebe qualquer ponto da parte ativa da aresta principal.

*Resolva, agora, os exercícios, a seguir para verificar se você entendeu o conteúdo tratado neste capítulo. Boa sorte!*

# Exercícios

10 Assinale com um (x) a alternativa correta.

As superfícies que compõem a ferramenta monocortante são:

- a ( ) folga, principal e lateral de corte
- b ( ) saída, principal e incidência
- c ( ) saída e lateral de corte
- d ( ) saída, principal de folga e lateral de folga

11 Assinale com um (x) a alternativa correta.

onde o cavaco desliza é conhecida por:

- a ( ) superfície principal de folga
- b ( ) superfície de incidência
- c ( ) superfície de saída
- d ( ) superfície lateral de folga

12 Assinale com um (x) a alternativa correta.

A superfície que “vê” o material a ser removido é conhecida por:

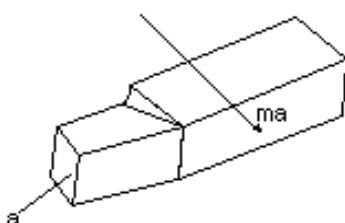
- a ( ) superfície lateral de folga
- b ( ) superfície principal de folga ou de incidência
- c ( ) superfície de saída
- d ( ) superfície secundária de corte

13 Assinale com um (x) a alternativa correta.

A superfície que tende a atritar com a região usinada é chamada:

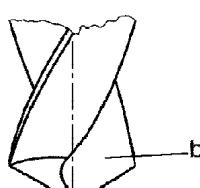
- a ( ) superfície de saída
- b ( ) superfície lateral de folga ou secundária de corte
- c ( ) superfície de incidência
- d ( ) superfície principal de folga

14 Escreva na linha pontilhada abaixo o nome correto da superfície “a” indicada na figura, a seguir:



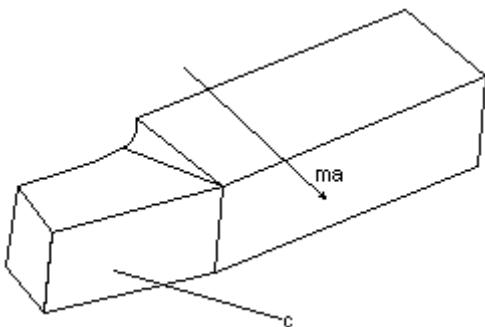
Resposta:.....

15. Escreva na linha pontilhada abaixo o nome correto da superfície ”b” indicada na ilustração, a seguir.



Resposta:.....

- 16.** Escreva na linha pontilhada abaixo o nome correto da superfície “c” indicada na ilustração, a seguir.



Resposta: .....

- 17.** Assinale com um (x) a alternativa correta.

A intersecção entre duas superfícies é chamada:

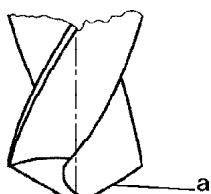
- a ( ) canto vivo
- b ( ) bico da ferramenta
- c ( ) aresta de corte
- d ( ) ponta da ferramenta

- 18.** Assinale com um (x) a alternativa correta.

As arestas de corte são classificadas em:

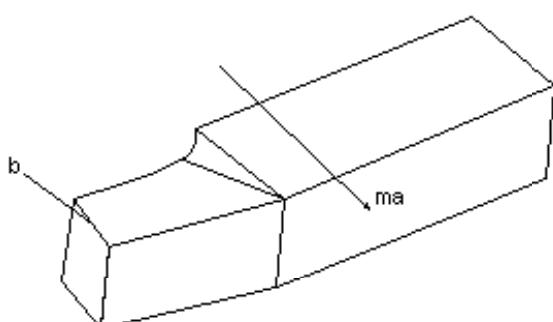
- a ( ) aresta principal e ponta da ferramenta
- b ( ) facas, fios ou gumes de corte
- c ( ) aresta principal e aresta de saída
- d ( ) aresta principal e aresta lateral de corte

- 19.** Escreva na linha pontilhada abaixo o nome correto da aresta de corte **a**:



Resposta: .....

- 20.** Escreva na linha pontilhada abaixo o nome correto da aresta de corte **b**:



Resposta: .....

**21.** Assinale com um (x) a alternativa correta.

O cruzamento das arestas cortantes é chamado:

- a ( ) aresta lateral de corte
- b ( ) ponta ou bico da ferramenta
- c ( ) aresta principal de corte
- d ( ) aresta secundária de corte

**22.** Assinale com um (x) a alternativa correta.

Para diminuir a fragilidade da ponta das ferramentas e de suas arestas cortantes, é recomendável:

- a ( ) aumentar a superfície de saída
- b ( ) diminuir a superfície lateral de folga
- c ( ) chanfrar ou arredondar os cantos vivos
- d ( ) aplainar a superfície principal de folga

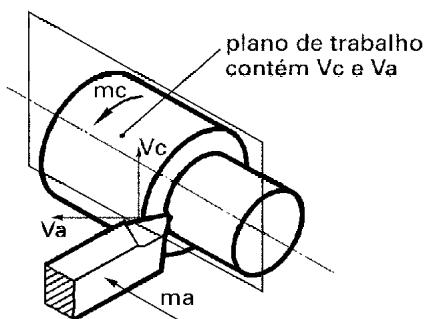
*Confira, agora, suas respostas na página 89. Se todas elas estiverem corretas, parabéns! Estude o capítulo, a seguir.*

*Se você errou algum exercício, volte ao texto e, em seguida, tente responder novamente as questões em que encontrou dificuldade. Se mesmo assim, as dúvidas continuarem solicite a colaboração de seu monitor.*

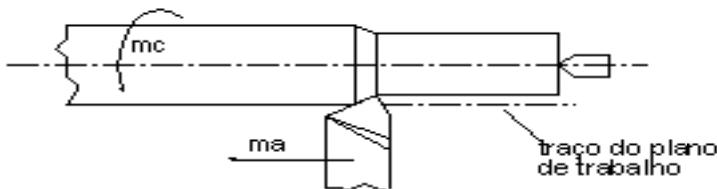
# Geometria do corte

A geometria do corte corresponde à **forma** e às **dimensões** do sobremetal localizados sobre a superfície de saída da ferramenta.

Para estudar a geometria do corte, é preciso, antes, entender o significado do plano de trabalho na cunha cortante. O **plano de trabalho** é um plano imaginário que contém as velocidades de corte ( $V_c$ ) e de avanço ( $V_a$ ), passando por um ponto de referência qualquer:



Olhando de topo para o plano de trabalho da usinagem, podemos perceber uma linha que indica a “espessura” do plano. Essa linha é chamada de **traço do plano de trabalho**.



## Elementos da geometria do corte

Os elementos da geometria do corte são tomados ou medidos tendo por referência o plano de trabalho na cunha cortante. São os seguintes os elementos da geometria do corte:

- profundidade de corte - **p**
- comprimento de corte - **b**
- espessura de corte - **h**
- largura de corte - **e**
- secção de corte - **s**

Vamos tratar, agora, das principais características de cada um dos elementos da geometria do corte.

### Profundidade de corte

Corresponde à medida de penetração da aresta principal da ferramenta de corte tomada em sentido perpendicular ao plano de trabalho da peça a ser usinada.

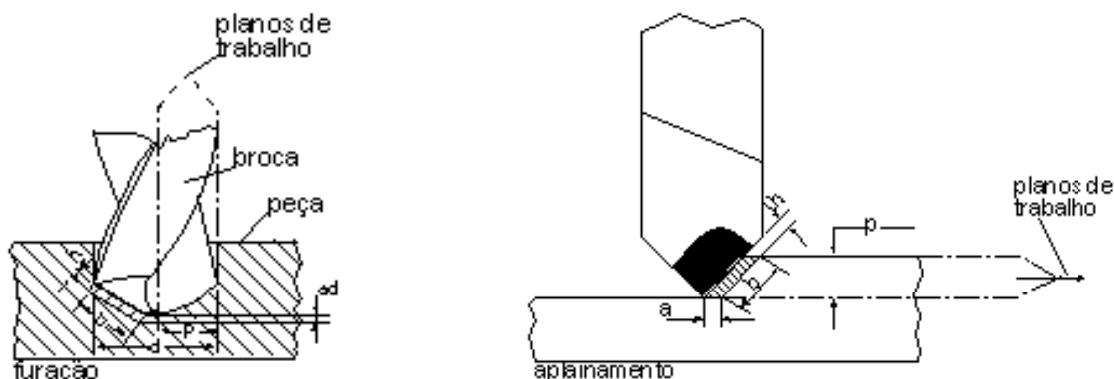
A profundidade de corte indica a distância existente entre os planos de trabalho que passam pelos pontos de referência extremos da parte ativa da aresta principal de corte. Nos manuais, catálogos e documentos técnicos, é representada pela letra **p**.

## Comprimento de corte

É a medida da parte ativa da aresta principal de corte. Nos manuais, catálogos e documentos técnicos, o comprimento de corte é indicado pela letra **b**.

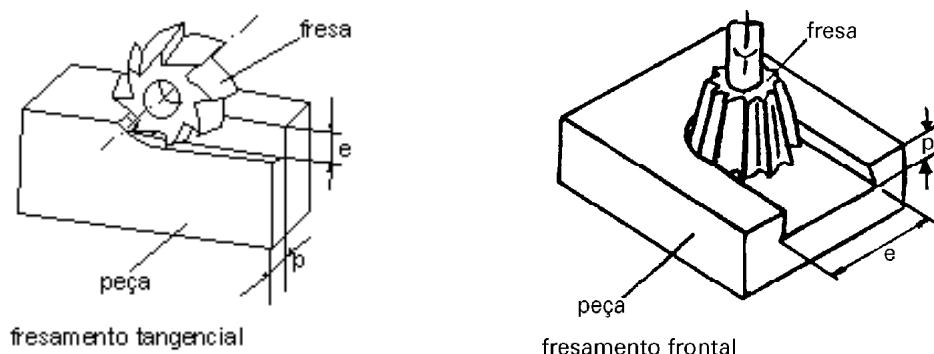
## Espessura de corte

Corresponde à espessura do sobremetal a ser removido. Nos manuais, catálogos e documentos técnicos, a espessura de corte é representada pela letra **h**.



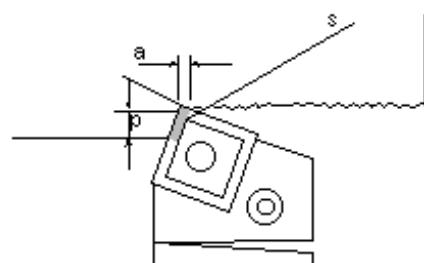
## Largura de corte

É o arco de trabalho ou curva percorrida pelas facas cortantes para remover o sobremetal, a cada volta, realizada. A largura de corte determina, pois, o arco de trabalho das facas cortantes durante o movimento de corte. Nos manuais, catálogos e documentos técnicos, a largura de corte é representada pela letra **e**.



## Secção de corte

É a área de corte, representada pela letra **s**, nos manuais, catálogos e documentos técnicos.



O valor da secção de corte nas ferramentas monocortantes é dado pela fórmula:

$$s = a \times p$$

Onde:

**s** = secção de corte

**a** = avanço

**p** = profundidade de corte

Veja o exemplo a seguir.

- Que secção de corte deve ser empregada em um torneamento para reduzir o diâmetro de 200mm para 190mm, em um só passe, utilizando 0,3mm/volta no avanço?

**Observação** - Lembre-se de que:  $d$  = diferença entre os diâmetros inicial e final

$$p = \frac{d}{2} = \frac{200 - 190}{2}$$

$$p = 5$$

$$s = 0,3 \times 5 = 1,5\text{mm}^2$$

$$\text{Resposta: } 1,5\text{mm}^2$$

O valor da secção de corte nas ferramentas multicortantes é dado pela fórmula:

$$s = ad \times p$$

Onde:

$s$  = secção de corte

$ad$  = avanço

$p$  = profundidade de corte

Veja o exemplo.

- Que secção de corte por faca e secção de corte total devem ser empregadas em uma furação em cheio, utilizando uma broca com 2 facas, 10mm de diâmetro e 0,1mm/volta de avanço?

$$ad = \frac{0,1}{2} = 0,05$$

$$p = \frac{10}{2} = 5$$

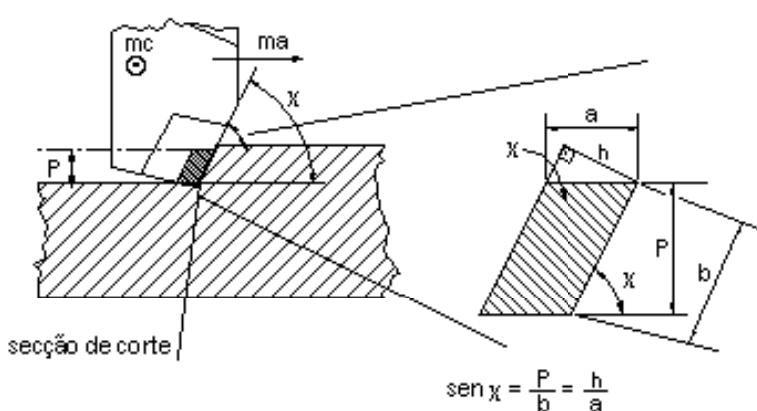
$$s = 0,05 \times 5 = 0,25\text{mm}^2$$

$$\text{secção de corte total} = 2 \times 0,25\text{mm}^2 = 0,5\text{mm}^2$$

Resposta: secção de corte por faca =  $0,25\text{mm}^2$

secção de corte total =  $0,5\text{mm}^2$

É possível estabelecer uma **relação** entre as dimensões do avanço, da profundidade de corte e as dimensões do cavaco teoricamente obtido, isto é, sem deformação.



O ângulo  $x$  é chamado de ângulo de posição.

Da figura anterior, podemos obter as seguintes relações geométricas:

$$\operatorname{sen} = \frac{h}{a} \quad a = \frac{h}{\operatorname{sen}}$$

$$\operatorname{sen} = \frac{p}{b} \quad p = b \times \operatorname{sen}$$

$$\text{Se } s = a \times p$$

$$s = \frac{h}{\operatorname{sen}} \times b \times \operatorname{sen} = h \times b$$

Veja o exemplo.

- Qual é o comprimento ativo da aresta principal de corte de um eixo com 160mm de diâmetro para ser torneado para 152mm com um ângulo de posição de 30°?

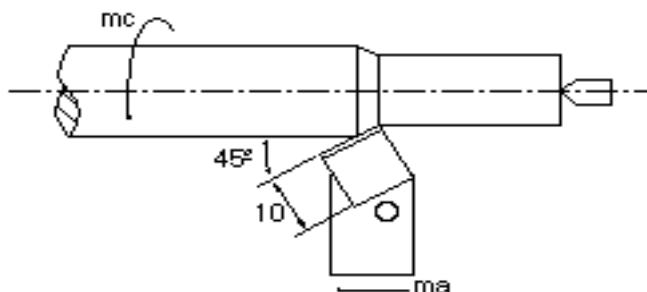
$$b = \frac{p}{\operatorname{sen}}$$

$$p = \frac{160 - 152}{2} = 4$$

$$\text{Resposta: } b = \frac{4}{\operatorname{sen} 30^\circ} = 8\text{mm}$$

Veja mais um exemplo.

- Qual a profundidade de corte a ser aplicada para utilizar 70% da aresta de corte da ferramenta de metal duro indicada na figura a seguir.



$$b = 0,7 \times 10 = 7$$

$$p = b \times \operatorname{sen} = 7 \times \operatorname{sen} 45^\circ = 5$$

$$\text{Resposta: } p = 5$$

*Resolva, agora, os exercícios a seguir para verificar se você assimilou o conteúdo tratado neste capítulo. Boa sorte! Vá em frente!*

# Exercícios

**23** Assinale com um (x) a alternativa correta.

O plano de trabalho contém:

- a ( ) as velocidades de corte e de avanço
- b ( ) a profundidade de corte e o avanço
- c ( ) a rotação e a profundidade de corte
- d ( ) os ângulos da ferramenta

**24** Leia e responda a questão a seguir:

Que profundidade de corte deve ser empregada no torneamento de um eixo para alterar o seu diâmetro de 120mm para 112mm?

Resposta: .....

**25** Leia e responda a questão a seguir:

Que profundidade de corte deve ser utilizada para furar uma placa de 8mm de espessura, utilizando uma broca de 10mm de diâmetro?

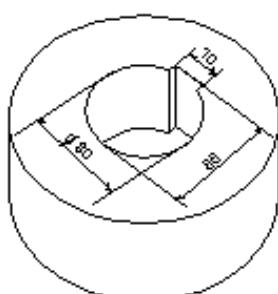
Resposta: .....

**26** Leia e responda a questão a seguir:

Que profundidade de corte deve ser empregada para alargar um furo de 8mm de diâmetro numa placa que apresenta 6mm de espessura, utilizando uma broca de 14mm de diâmetro?

Resposta: .....

**27** Que profundidade de corte deve ser utilizada para executar um canal de chaveta na figura abaixo, utilizando o processo de brochamento interno?



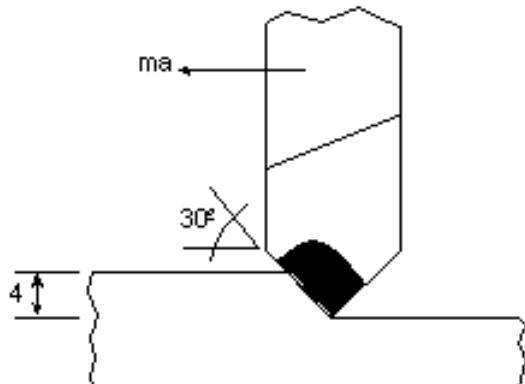
Resposta: .....

**28** Leia e responda a questão a seguir:

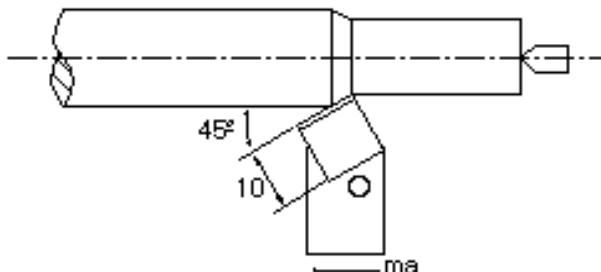
Que profundidade de corte deve ser empregada no rosqueamento de uma rosca com macho M20 (rosca métrica com 20mm de diâmetro externo) e um pré-furo de 18,5mm de diâmetro?

Resposta:.....

**29** Que comprimento de corte esta sendo utilizado no aplainamento da figura apresentada a seguir?

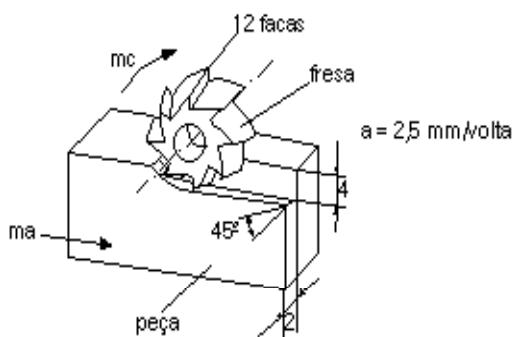


**30** Considerando os valores da ferramenta de metal duro da figura a seguir, qual deve ser a profundidade de corte de modo a utilizar 70% da aresta de corte?



Resposta:.....

**31.** Na operação de fresamento tangencial indicada na figura a seguir, calcule o que se pede:

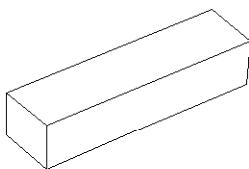


- a - profundidade de corte (p) =.....  
b - espessura de corte (h) =.....  
c - largura de corte (e) = .....  
d - avanço por dente (ad) = .....  
e - secção de corte (s) = .....  
f - secção de corte total =.....

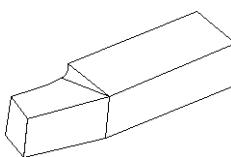
*Confira, agora, suas respostas nas páginas 89 e 90. Se você teve dificuldade em resolver alguma questão, volte ao texto e tente respondê-la novamente. Se as dúvidas continuarem, entre em contato com seu monitor.*

# Geometria da cunha cortante

A construção da cunha cortante é feita a partir de um corpo ou bloco de material com formato semelhante ao de um paralelepípedo. O bloco deve ser esmerilhado, isto é, afiado para adquirir a sua geometria ou forma final.



Bloco de material



ferramenta de barra

A construção das ferramentas de corte exige que as superfícies de saída, principal e lateral de folga estejam devidamente localizadas em relação à peça-obra ou peça a ser executada.

A localização correta das superfícies permite:

- reduzir os esforços de corte
- obter o acabamento superficial da peça
- aumentar a durabilidade das ferramentas.

## Sistema de referência

A localização adequada das superfícies das ferramentas de corte em relação à peça-obra é obtida por meio de um **sistema de referência**. O sistema de referência é um conjunto de planos padronizados segundo normas internacionais.

Nos planos, são tomadas medidas angulares para determinar a posição das superfícies nas ferramentas em relação à peça-obra.

**Observação** - Para melhor aproveitamento deste curso, é importante recordar algumas noções básicas de **medidas angulares**, certamente já estudadas por você.

Os planos do sistema de referência são:

- plano de referência;
- plano de corte;
- plano de medida.

Mas, qual é a diferença entre as superfícies das ferramentas e os planos do sistema de referência?

A superfície é algo **concreto** que pode ser visto e tocado; já plano é algo **abstrato**, apenas concebido mentalmente, imaginado ou abstraído.

Outro aspecto a considerar nos planos é o **traço**. Traços são linhas imaginárias.

Representam o plano observado de topo.



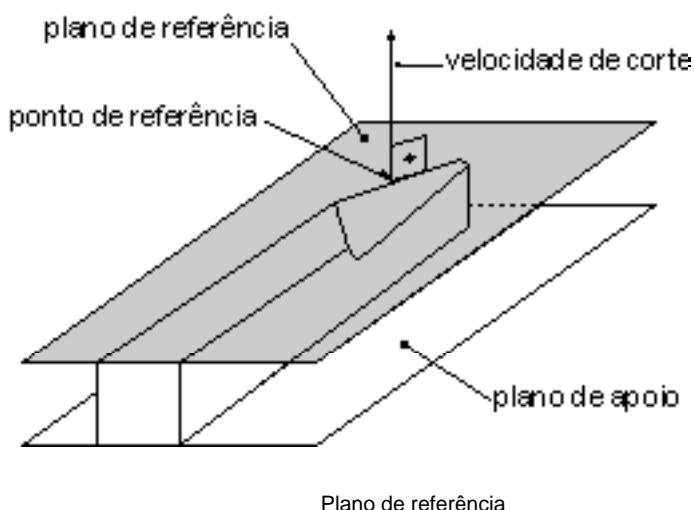
Olhando de topo para um plano qualquer, podemos perceber a “espessura” deste plano, chamada de **traço do plano**.

Na usinagem, é importante identificar os traços dos diferentes planos, pois as medidas angulares são feitas a partir desses traços.

## Plano de referência

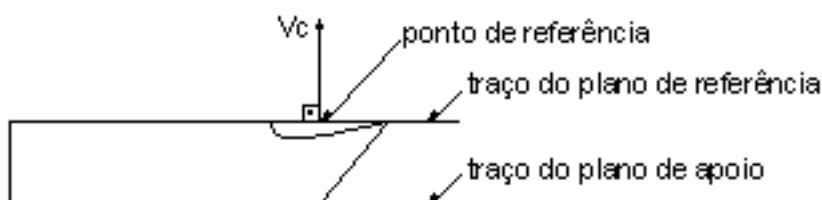
O plano de referência é paralelo à base ou apoio da ferramenta de corte. Passa por um ponto de referência qualquer da aresta principal de corte, sendo perpendicular à velocidade de corte.

A ferramenta de corte mostrada na figura a seguir apresenta a indicação do plano de referência.



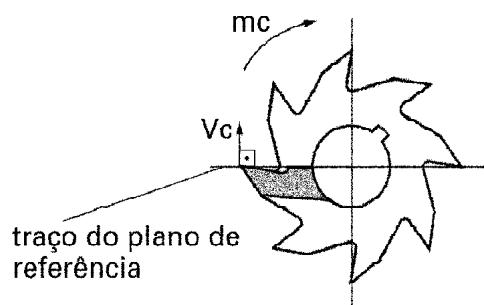
Plano de referência

**Traço do plano de referência** é a linha imaginária perpendicular à velocidade de corte, conforme mostra a figura a seguir.



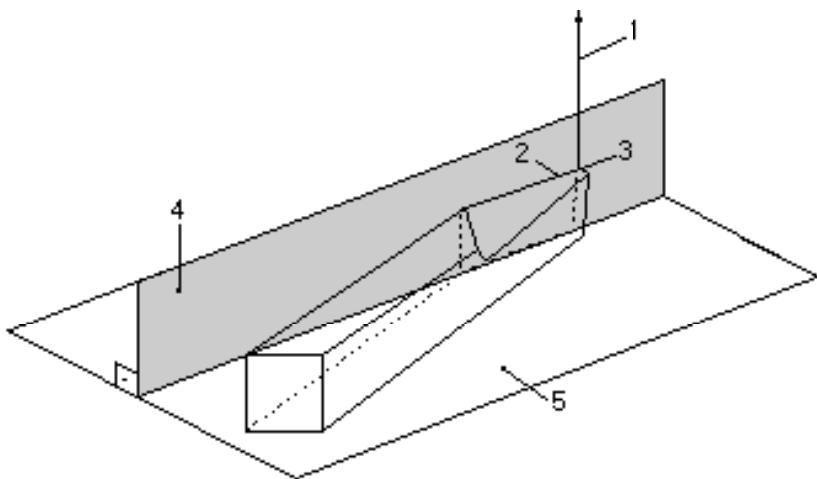
Traços - plano de apoio e plano de referência

Nas ferramentas rotativas, fresas e brocas, por exemplo, o plano de referência passa pelo centro da ferramenta.



# Plano de corte

Como podemos observar na figura a seguir, o plano de corte é perpendicular ao plano de referência e contém a aresta de corte principal.

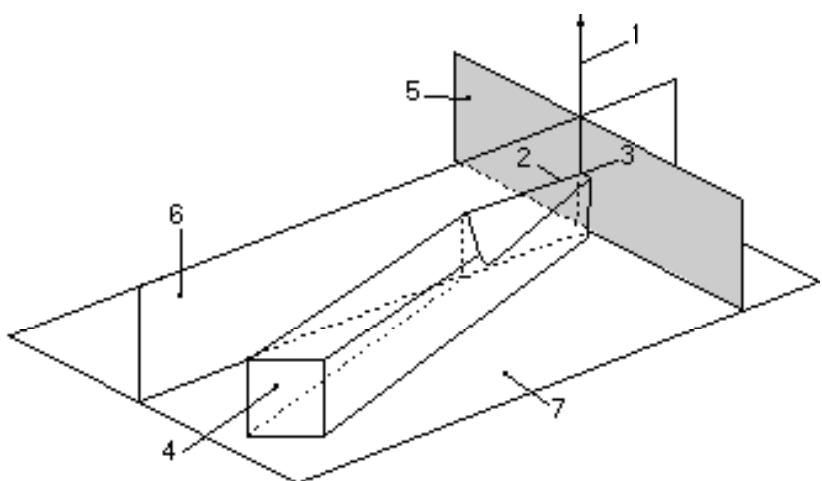


Onde:

- 1 direção de corte
- 2 aresta principal de corte
- 3 ponto de referência na ponta da ferramenta
- 4 plano de corte
- 5 plano de apoio (em geral, paralelo ao plano de referência)

# Plano de medida

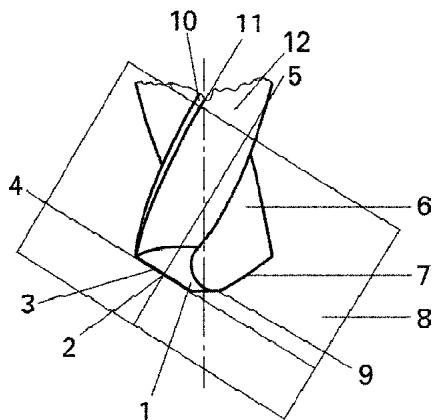
A figura a seguir apresenta o plano de medida, que é perpendicular ao plano de referência e de corte, passando por um ponto de referência qualquer.



Onde:

- 1 direção de corte
- 2 aresta principal de corte
- 3 ponto de referência na ponta da ferramenta
- 4 ferramenta de barra
- 5 plano de medida
- 6 plano de corte
- 7 plano de apoio (em geral, paralelo ao plano de referência)

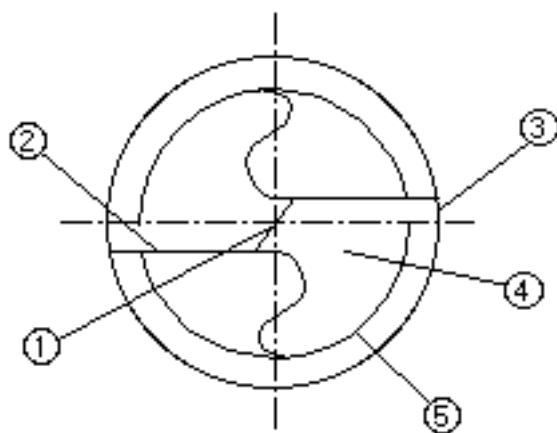
Observe, agora, na figura a seguir exemplo de broca de duas facas de corte, indicando os planos de referência, corte e medida.



Onde:

- 1 superfície de folga principal
- 2 ponto de referência
- 3 aresta principal de corte
- 4 traço do plano de corte
- 5 traço do plano de medida
- 6 superfície de saída
- 7 aresta principal de corte
- 8 plano de referência
- 9 aresta transversal de corte
- 10 faixa guia
- 11 aresta lateral de corte
- 12 superfície lateral de folga

Observe, ainda, na figura a seguir exemplo de broca de duas facas cortantes vista de topo.



Onde:

- 1 aresta transversal
- 2 aresta principal de corte
- 3 estria ou chanfro ou guia da broca
- 4 superfície principal de folga
- 5 superfície lateral de folga

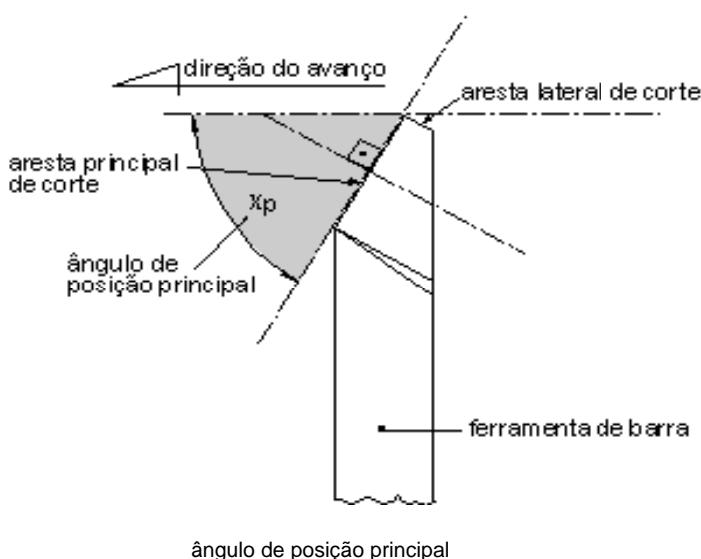
# Ângulos do sistema de referência

Como você viu, a localização correta das superfícies das ferramentas é feita por meio de ângulos medidos ou tomados em cada plano do sistema de referência.

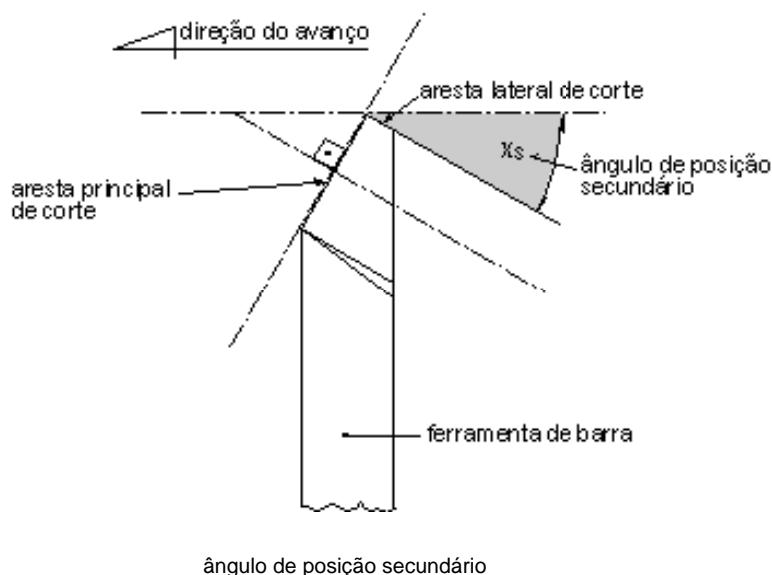
**Ângulos no plano de referência** são ângulos localizados entre as arestas principal e secundária de corte e a direção do movimento de avanço. Basta olhar em sentido perpendicular ao plano de referência para localizar esses ângulos que são os seguintes:

- ângulo de posição principal
- ângulo de posição secundário
- ângulo de ponta.

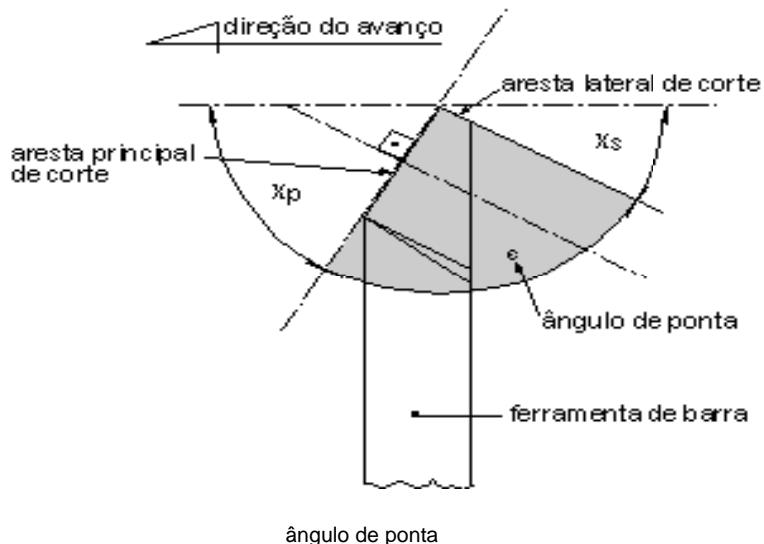
O **ângulo de posição principal** é formado entre a aresta **principal** de corte e a direção do movimento de avanço. Devido à sua localização, também é conhecido por ângulo de posição principal do fio de corte. É indicado nos manuais, catálogos e documentos técnicos pelas letras **p**. A letra **p** é de origem grega e se pronuncia **qui**.



O **ângulo de posição secundário** é formado entre a aresta **secundária** de corte e a direção do movimento de avanço. Devido à sua localização, também é conhecido por ângulo de posição secundária contra o fio de corte. É indicado pelas letras **s** nos manuais, catálogos e documentos técnicos.



O **ângulo de ponta** é formado entre as arestas principal e secundária de corte. Nos manuais e documentos técnicos, o ângulo de ponta é indicado pela letra  $\epsilon$ , que é de origem grega e se pronuncia **épsilon**.



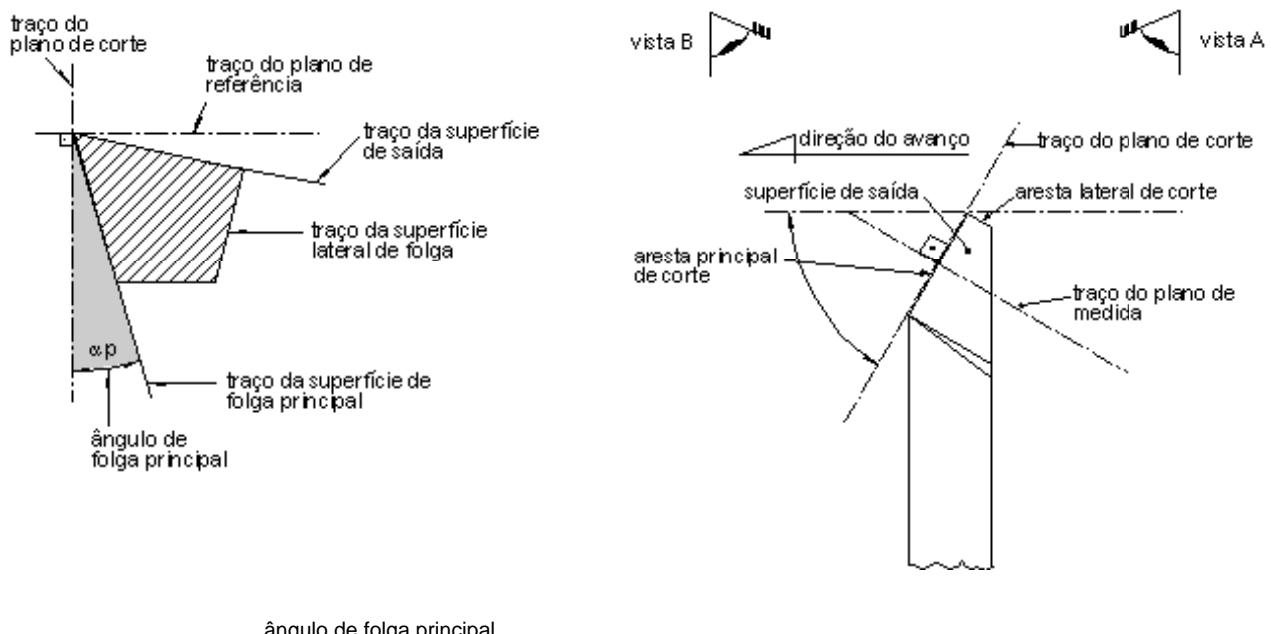
ângulo de ponta

**Ângulos no plano de medida** são ângulos tomados a partir de um corte ou secção da ferramenta em sentido perpendicular à aresta principal de corte e à superfície em que a ferramenta se apóia.

Os ângulos localizados no plano de medida são:

- ângulo de folga principal;
- ângulo de cunha;
- ângulo de saída.

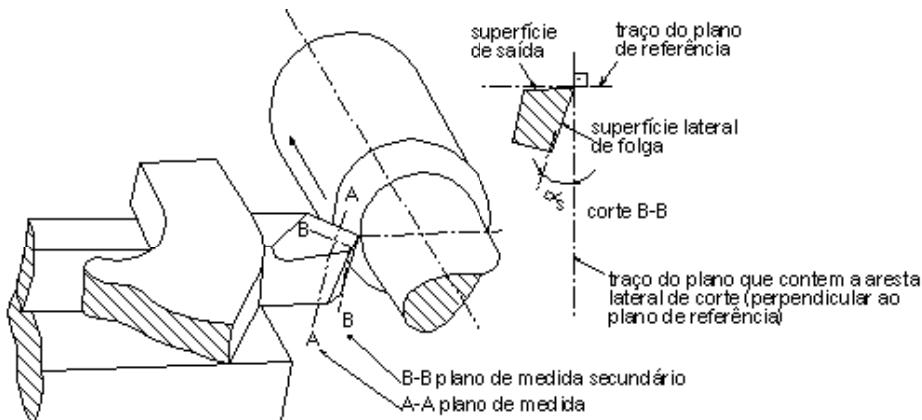
O **ângulo de folga principal** também chamado **ângulo de incidência principal**, é o ângulo formado entre o plano de corte e a superfície principal de folga. Nos manuais e documentos técnicos, o ângulo de folga principal é designado pelas letras  $p$ . A letra  $p$  é de origem grega e se pronuncia **alfa**.



ângulo de folga principal

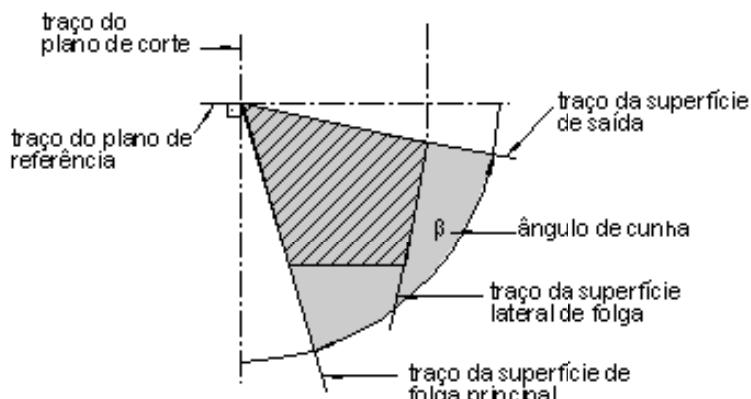
O **ângulo de folga secundário** é tomado a partir de um corte ou secção da ferramenta em sentido perpendicular à aresta lateral de corte e perpendicular ao plano

de referência. Nos manuais, catálogos e documentos técnicos, o ângulo de folga secundário é designado pelas letras  $\gamma$ .



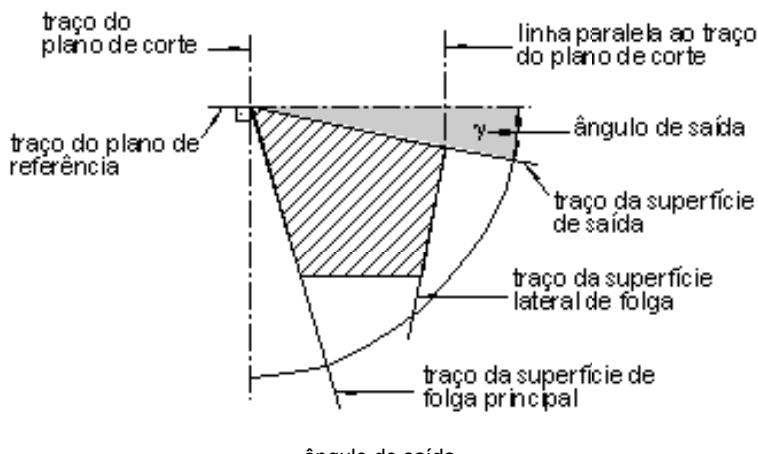
ângulo de folga secundário

O **ângulo de cunha** corresponde à cunha cortante. É formado entre as superfícies de folga principal e de saída. Nos manuais, catálogos e documentos técnicos, o ângulo de cunha é designado pela letra  $\beta$ . A letra  $\beta$  é de origem grega e se pronuncia **beta**.



ângulo de cunha

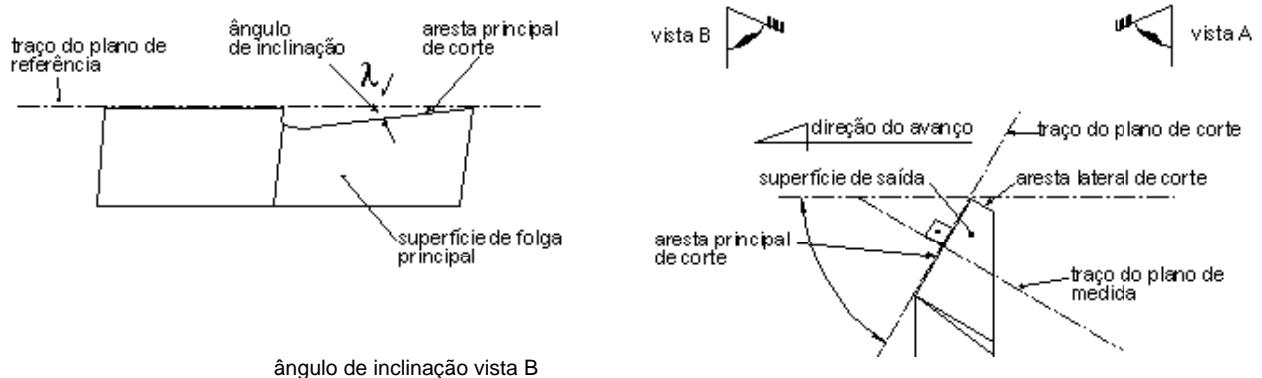
O **ângulo de saída** é o ângulo formado entre o plano de referência e a superfície de saída. Nos manuais e documentos técnicos, o ângulo de saída é designado pela letra  $\gamma$ . A letra  $\gamma$  é de origem grega e se pronuncia **gamma**.



ângulo de saída

A soma dos ângulos de folga principal ( $\alpha_p$ ), de cunha ( $\beta$ ) e de saída ( $\gamma$ ) é sempre igual a  $90^\circ$ , ou seja:  $\alpha_p + \beta + \gamma = 90^\circ$

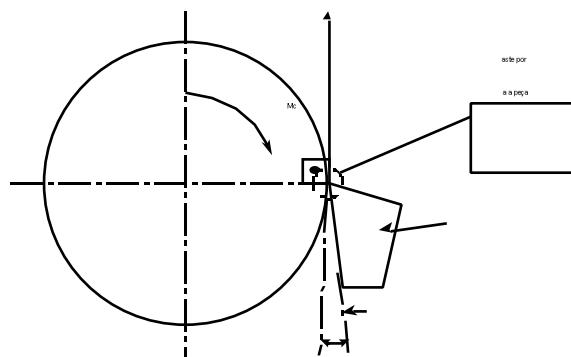
**Ângulo no plano de corte** é o ângulo formado entre a aresta de corte principal e o plano de referência. Indica a declividade ou inclinação da aresta principal de corte. Nos manuais e documentos técnicos, o ângulo de inclinação é indicado pela letra  $\lambda$ . A letra é de origem grega e se pronuncia **lambda**.



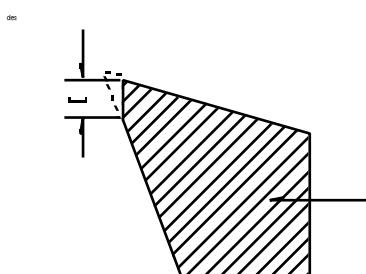
## Função dos ângulos na usinagem

Os ângulos tomados nos planos do sistema de referência interferem no desempenho das ferramentas de corte, ou seja, no corte executado na peça-obra.

**Função do ângulo de folga** - Os ângulos de folga ( $\gamma$ ) influem na vida útil da ferramenta, pois a sua finalidade é evitar o atrito entre a peça e a superfície de folga da ferramenta, que provoca o desgaste lateral da ferramenta. É o que mostra a figura a seguir.



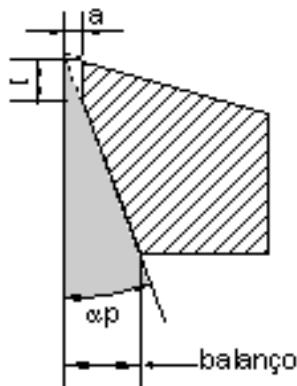
Quando o ângulo de folga ( $\gamma$ ) é pequeno ( $0,5^\circ$ , por exemplo), a superfície da ferramenta em contato com a peça sofre um aumento e, em consequência, ocorre um desgaste lateral na ferramenta.



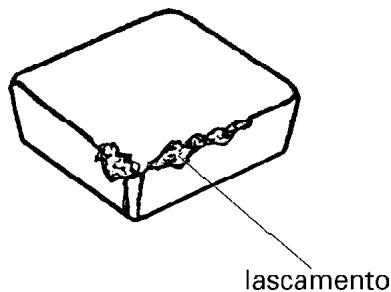
Para um pequeno desgaste “a” o desgaste lateral I é muito maior. Isso não ocorre quando o ângulo de folga ( $\gamma$ ) apresenta valor mais elevado ( $6^\circ$ , por exemplo). Entretanto,

pode ocorrer o lascamento ou a quebra da ferramenta, pois a superfície de apoio diminui e o balanço da ferramenta aumenta.

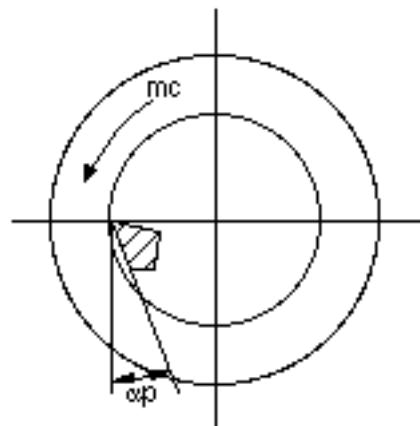
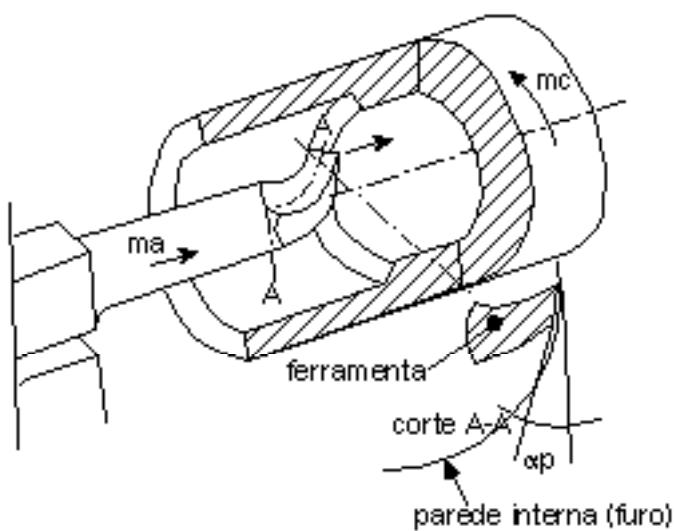
desgaste lateral = I



Veja o exemplo de ferramenta que sofreu lascamento.



**Observação** - Se o valor do ângulo de folga ( $\alpha_p$ ) não for suficientemente elevado, a parte inferior da ferramenta tocará o diâmetro do furo da peça no torneamento interno.

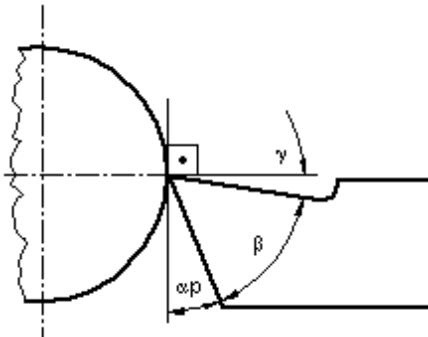


A localização correta da ponta da ferramenta interfere nos ângulos tomados no plano de medida. Dependendo da operação de usinagem, a ponta da ferramenta poderá coincidir com o centro de rotação da peça ou ficar acima ou abaixo desse centro.

No **torneamento**, por exemplo, utilizando o faceamento ou seccionamento por

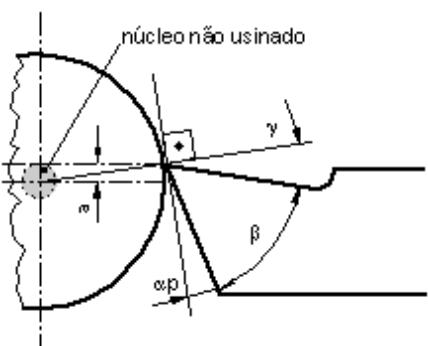
sangramento, a montagem da ponta da ferramenta deve **coincidir com o centro de rotação da peça** para não alterar as medidas dos ângulos.

Montagem da ponta da ferramenta coincidindo com o centro de rotação da peça.



Se a ponta da ferramenta estiver localizada **acima do centro de rotação da peça**, ocorre uma redução no ângulo de folga principal ( $p$ ), provocando, com isso, o desgaste mais rápido da ferramenta.

À medida que o diâmetro da peça diminui, o atrito entre a superfície de folga e o sobremetal aumenta, impedindo que o núcleo da peça seja usinado.

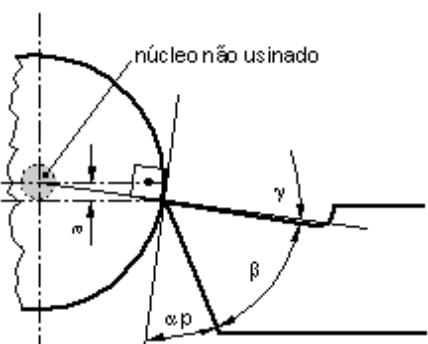


Neste caso, como podemos notar na figura anterior, a ferramenta deixa de tocar a peça pela aresta corte, passando a tocá-la pela superfície de folga principal.

No cilindramento de desbaste, é usual a montagem da ponta da ferramenta acima do centro de rotação da peça, observando até 1% do diâmetro a ser usinado. Este procedimento evita a **remontagem** da peça, evitando que a peça se sobreponha sobre a ferramenta, provocando vibrações e até a ruptura da ferramenta.

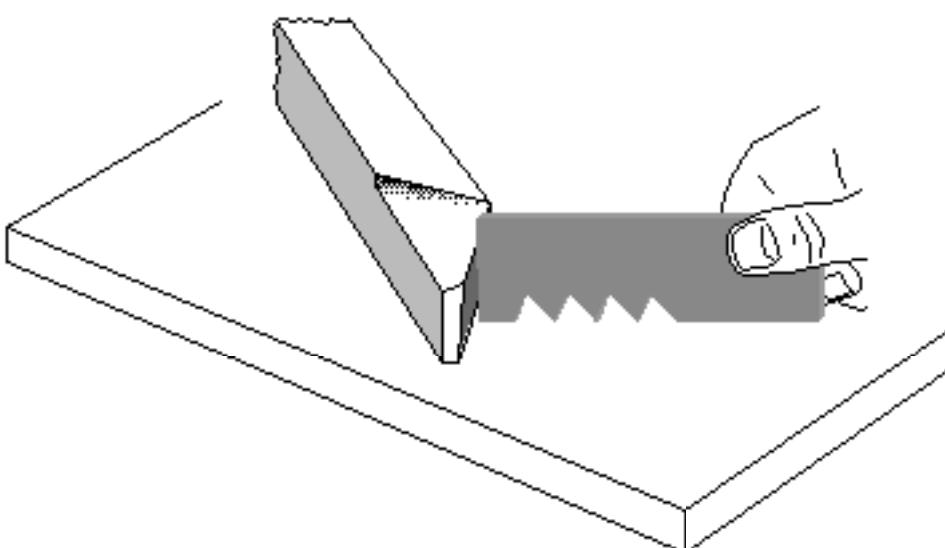
Por isso, nas peças com eixos esbeltos, isto é, com pequenos diâmetros e grande comprimento, a ponta da ferramenta deve estar acima do centro de rotação, observando até 1% do diâmetro a ser usinado.

Se a ponta da ferramenta está **abaixo do centro de rotação da peça**, o ângulo de folga principal ( $p$ ) aumenta à medida que o diâmetro da peça diminui. Isto provoca o **implante** da peça, isto é, a peça se sobrepõe à ferramenta, gerando vibrações e eventual ruptura da ferramenta. No faceamento, restará uma parte central sem ser usinada. Veja o exemplo na figura a seguir.

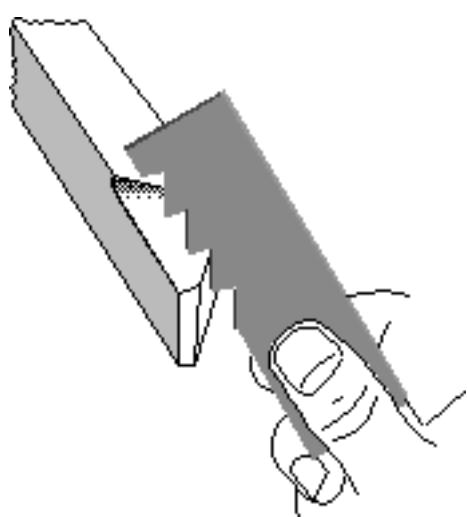


O quadro a seguir apresenta os valores recomendados para os ângulos de folga

Ângulo de folga	Valor	Material a usinar
principal ( p)	5°	ferro fundido, aço, ferrosos, em geral
principal ( p)	10°	alumínio, plástico e não-metálicos
secundário ( s)	-0,5° do valor do ângulo principal utilizado no material usinado	



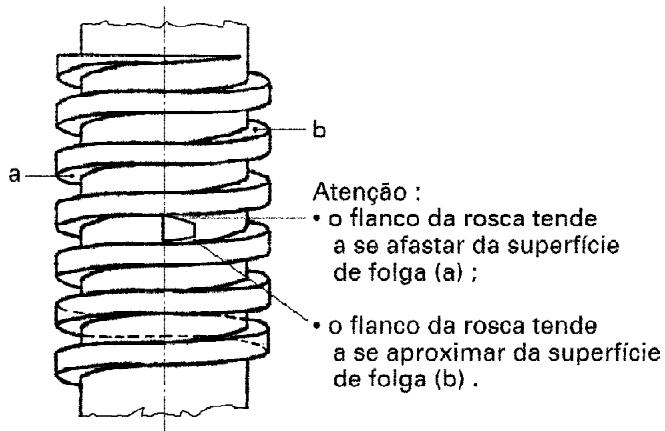
verificação da existência do ângulo de folga principal ( p)



medição do ângulo de cunha ( )  
perpendicular à aresta principal de corte

No torneamento de hélices, como roscas, por exemplo, devemos acrescentar ao

ângulo de folga principal ( $\alpha_p$ ) o valor do ângulo da hélice.

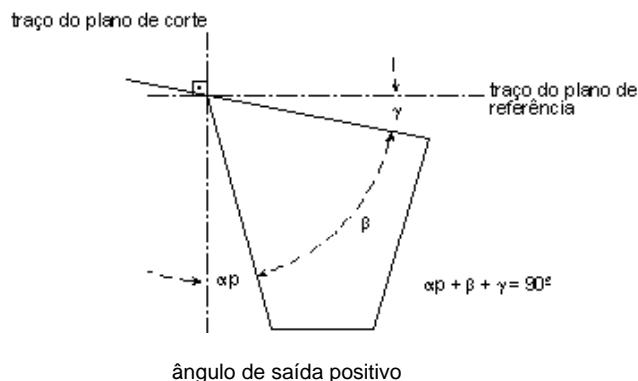


## Função do ângulo de saída

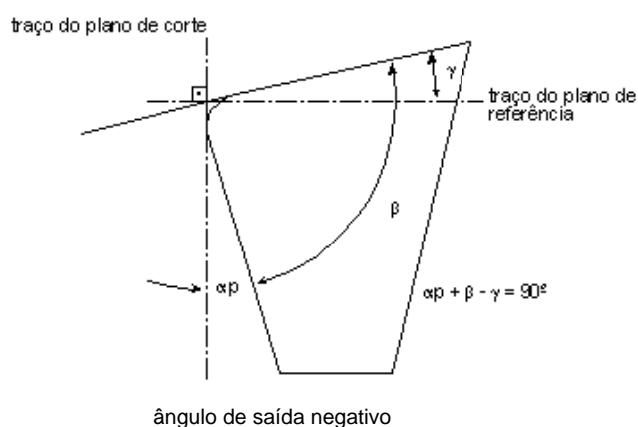
O ângulo de saída ( $\gamma$ ) influencia:

- a força de corte, isto é, o esforço para remover o cavaco;
- a freqüência da força de corte, ou seja, a vibração gerada pelo corte;
- o acabamento superficial da peça;
- a resistência da ferramenta.

O ângulo de saída ( $\gamma$ ) gera as ferramentas de corte positivas e negativas. As ferramentas são consideradas **positivas** quando o ângulo de saída ( $\gamma$ ) é positivo. Nesse caso, a soma dos valores dos ângulos de folga, de cunha e de saída, corresponde a  $90^\circ$ , ou seja:  $\alpha_p + \beta + \gamma = 90^\circ$ .



O ângulo de saída ( $\gamma$ ) positivo é utilizado na usinagem de peças que exigem pequena força de corte. São consideradas **negativas** as ferramentas que apresentam o ângulo de saída ( $\gamma$ ) negativo, isto é, a soma dos valores dos ângulos de folga e de cunha menos o valor do ângulo de saída ( $\gamma$ ) corresponde a  $90^\circ$ , ou seja:  $\alpha_p + \beta - \gamma = 90^\circ$ .



O ângulo de saída ( ) negativo é recomendável para o corte do tipo interrompido, pois aumenta o ângulo de cunha ( ) e a secção resistente da ferramenta.

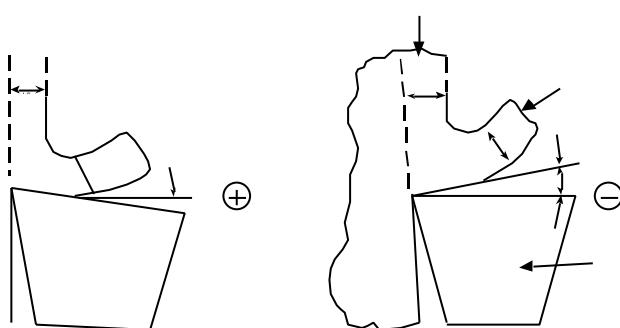
**Observação** - O corte do tipo interrompido provoca impactos cíclicos sobre a ferramenta. No fresamento, por exemplo, a ferramenta ora corta e ora não corta a peça.

Também na usinagem do ferro fundido, a ferramenta ora corta o componente mole (ferrita e perlita) e ora corta o componente duro (cementita).

A deformação que a ferramenta impõe ao sobremetal depende dos valores do ângulo de saída ( ). Assim, quanto mais negativo o valor do ângulo de saída ( ) tanto maior o grau de deformação do sobremetal. Conseqüentemente, a força de corte empregada para remover o cavaco deve ser maior.

Da mesma forma, quanto maior a deformação do sobremetal maior a probabilidade do cavaco formado ser pequeno. Portanto, não serão formados cavacos longos.

As figuras a seguir indicam as espessuras do cavaco ( $h_1$ ) e do sobremetal ( $h_2$ ) nas ferramentas positivas e negativas. Observe que a espessura do cavaco é menor na ferramenta positiva.



No ângulo de saída ( ) negativo, a força de corte aumenta cerca de 2,0% em cada grau que o ângulo é diminuído. O aumento da força de corte provoca um aumento da potência de corte. Parte dessa potência, é transformada em calor, aquecendo a peça, a ferramenta e o cavaco.

Por meio de experiências, constatou-se que a temperatura aumenta em torno de 9% a cada grau que o ângulo de saída ( ) é diminuído. Por exemplo, quando o ângulo de saída ( ) é igual a 5°, a força de corte é de 500kgf e a temperatura da ferramenta igual a 250°C e a ferramenta for reafiada com um ângulo de saída ( ) equivalente a 4°, a força de corte aumenta de 500kgf para 510 kgf e a temperatura de 250°C para 272,5°C.

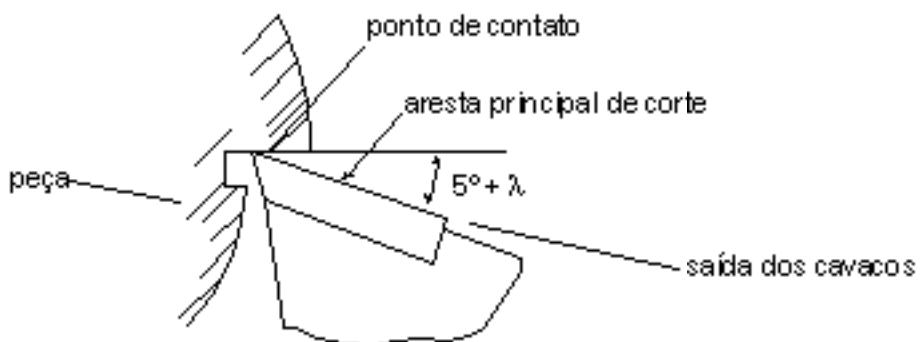
Comparando os ângulos de saída positivo e negativo, o ângulo positivo favorece o acabamento superficial da peça, permitindo que a peça apresente menor índice de aspereza.

A tabela, a seguir, indica os valores recomendados para os ângulos de saída segundo o material da peça, sua dureza (HB) e material da ferramenta.

Material a usinar	Dureza (HB)	ferramenta	
aço	250	aço rápido	20
		metal duro	10
	250	aço rápido	5
		metal duro	0
ferro fundido	200	aço rápido	15
		metal duro	10
	200	aço rápido	0
		metal duro	-10
não-ferrosos	-----	aço rápido	15
		metal duro	8
alumínio plásticos	-----	aço rápido	30
		metal duro	20

# Função do ângulo de inclinação

O ângulo de inclinação influencia na direção da saída dos cavacos e reforça a cunha cortante. O ângulo de inclinação pode ser positivo ou negativo. O valor dos ângulos de inclinação **positivo** é de  $5^\circ$ . O ângulo de inclinação positivo afasta os cavacos da peça. No início da usinagem, o ângulo de inclinação positivo, em relação à peça, situa a aresta de corte em sentido desfavorável.



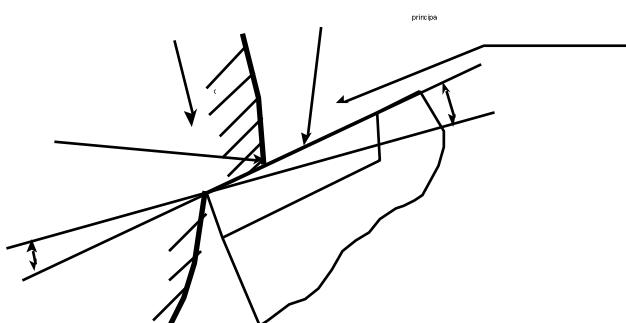
ângulo de inclinação positivo (sentido desfavorável à aresta de corte)

O início da usinagem ocorre na região onde a ferramenta apresenta menor resistência e pode ser lascada com maior facilidade.

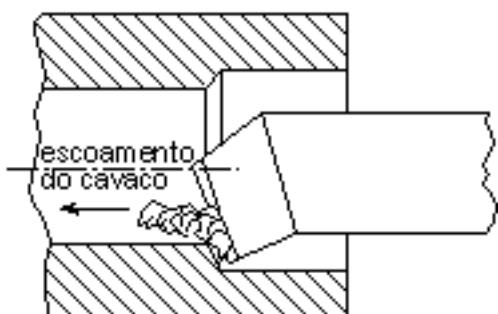
O ângulo de inclinação **negativo** apresenta um valor de  $5^\circ$ . Esse tipo de ângulo joga os cavacos contra a peça, podendo nela se enrolarem e, em consequência, danificá-la e prejudicar o seu acabamento superficial.

O contato da peça com a ferramenta ocorre, porém, numa região mais resistente em que a possibilidade da ferramenta quebrar é menor.

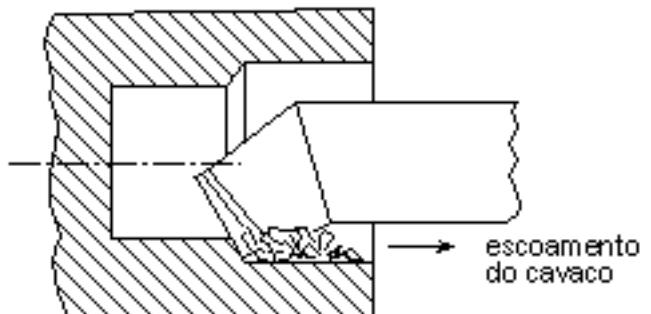
Observe nas figuras, a seguir exemplos de saída de cavacos de acordo com o ângulo de inclinação.



ângulo de inclinação negativo (sentido favorável à aresta de corte)



ângulo de inclinação positivo e de saída negativo

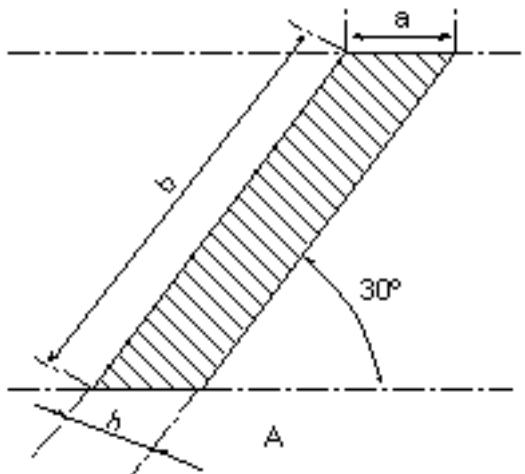


ângulo de inclinação negativo e de saída positivo

## Função do ângulo de posição principal

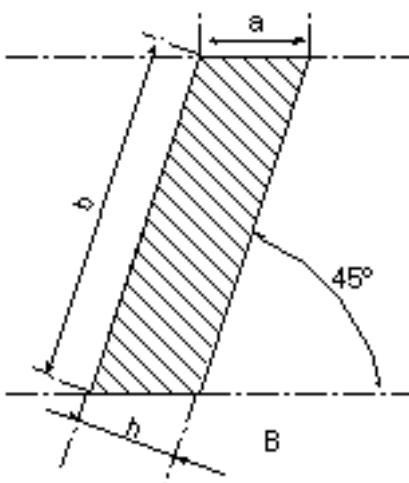
Os valores do ângulo de posição principal interferem tanto na espessura e no comprimento do corte quanto na força de corte e de penetração.

Veja nas figuras a seguir a espessura do corte e o comprimento de corte para um mesmo avanço, profundidade de corte e vários ângulos de posição principal.



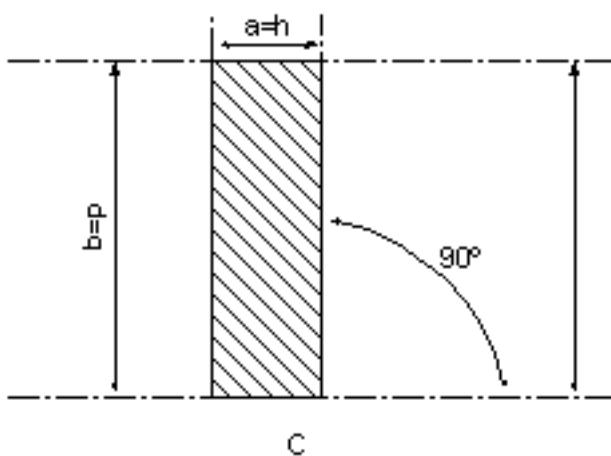
$$h = a \times \sin 30^\circ = 0,5a$$

$$b = \frac{p}{\sin 30^\circ} = 2p$$



$$h = a \times \sin 45^\circ = 0,7a$$

$$b = \frac{p}{\sin 45^\circ} = 1,5p$$



$$h = a \times \sin 90^\circ = a$$

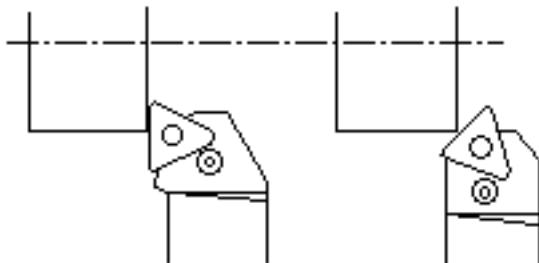
$$b = \frac{p}{\sin 90^\circ} = p$$

## Função do ângulo de posição e força de corte

Na usinagem, o ângulo de posição ( $p$ ) interfere na força de corte e distribui essa força sobre a aresta principal de corte. A força de corte é a força empregada para realizar

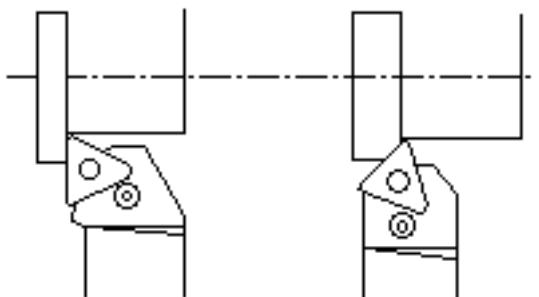
o movimento de corte. Mais à frente, você estudará, em detalhes, a força de corte.

Indicação da entrada da ferramenta na peça-obra.



Atenção: no início da usinagem  
 $p=45^\circ$  ataca a peça gradualmente  
 $p=90^\circ$  profundidade de corte total

Indicação da saída da ferramenta na peça-obra.



Atenção:  $p=45^\circ$  o corte termina suavemente  
 $p=90^\circ$  o corte termina bruscamente  
e forma um anel

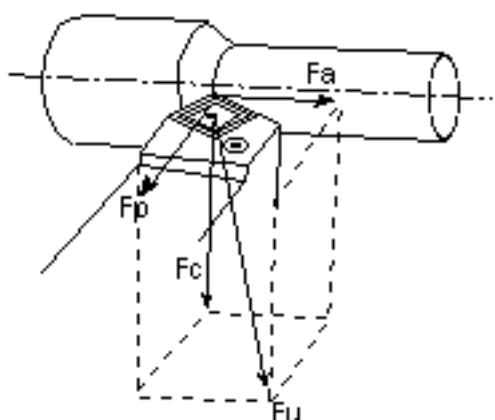
Como você pode observar, quando o ângulo de posição principal apresenta  $90^\circ$ , a aresta principal de corte inicia a remoção do sobremetal em toda a profundidade de corte.

Este procedimento pode quebrar a ferramenta no início da usinagem ou fazer com que o término da usinagem ocorra bruscamente, arrancando a parte final da peça e gerando um mau acabamento nesta região.

## Função do ângulo de posição e força de penetração

O ângulo de posição interfere na força de penetração ( $F_p$ ) devido à decomposição da força de avanço ( $F_a$ ) sobre a aresta de corte.

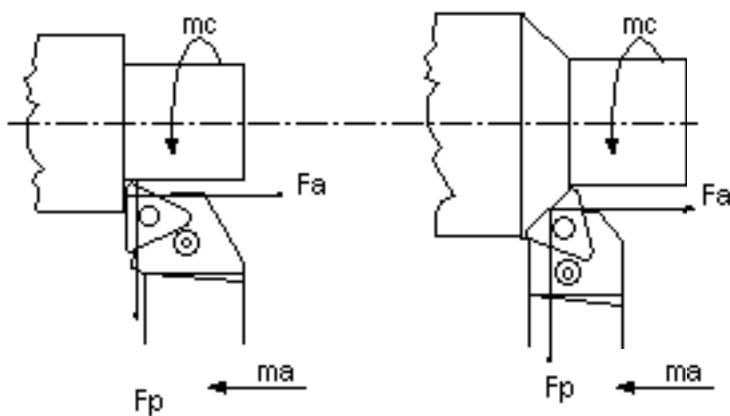
**Força de avanço** é a força necessária para gerar o movimento de avanço. Veja a indicação na figura a seguir. Força de penetração é a força perpendicular ao plano de trabalho e tende a afastar a ferramenta da região de corte.



Onde:

$F_c$  = força de corte  
 $F_a$  = força de avanço  
 $F_p$  = força de penetração  
 $F_u$  = força de usinagem

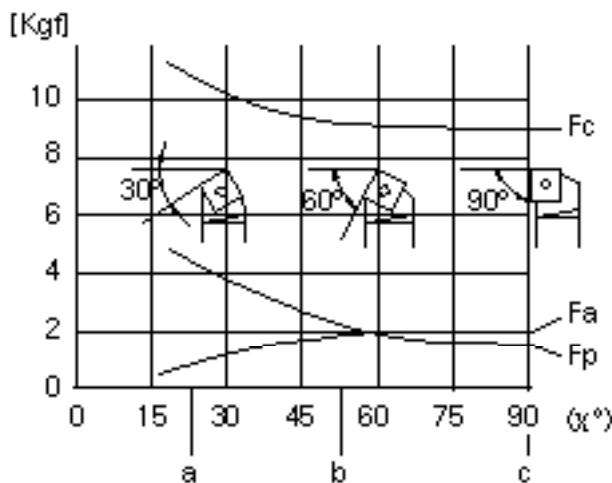
A força de penetração não deve flexionar a peça, fazendo com que esta deformação gere peças excessivamente ovalizadas. Este fato é minimizado com um ângulo de posição de 90°.



O quadro a seguir apresenta os valores recomendados para os ângulos de posição.

Tipo	Valor	Aplicação
principal	90° (grande)	peças instáveis (diâmetros pequenos) força de penetração mínima
principal	45° a 75° (médio)	operações normais de usinagem
principal	30° a 45° (pequeno)	peças estáveis (diâmetros grandes) e operações de acabamento
secundário	50°	não se deve utilizar valores menores, pois geram vibrações devido ao aumento da aresta lateral de corte.

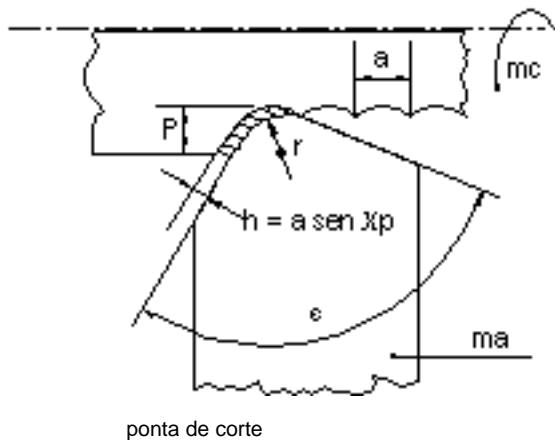
Utilizando as informações do quadro anterior, veja os casos a, b e c indicados a seguir em que foram mantidos o avanço e a profundidade de corte e apenas o ângulo de posição principal sofreu alteração.



Forças de Corte: quando houver corte interrompido usar  $\chi = 60^\circ$  a  $75^\circ$

A **ponta de ferramenta de corte**, também conhecida por **ponta de corte** tem por finalidade:

- gerar um bom acabamento superficial da peça-obra;
- diminuir a espessura de corte na região da ponta da ferramenta;
- evitar que a ponta da ferramenta seja quebrada.

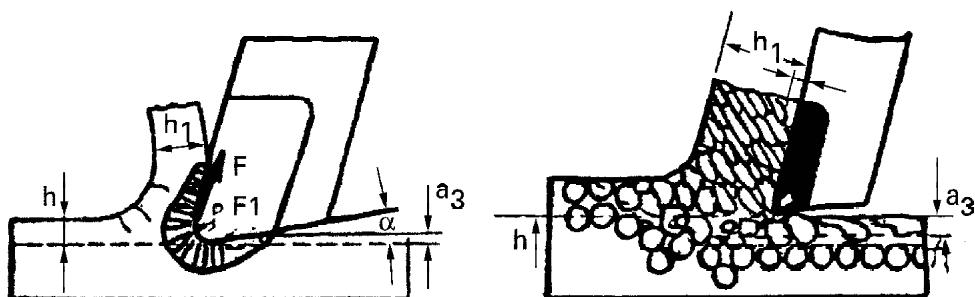


A ponta de corte depende do valor do ângulo de ponta ( $\beta$ ). Assim, quanto menor o valor dos ângulos de posição, tanto maior será o valor do ângulo de ponta ( $\beta$ ) e, em consequência, mais resistente será a ferramenta.

Assim, para obter uma ponta mais estável é preciso que o ângulo de ponta seja o maior possível. A ponta de corte mais estável garante melhor transferência de calor da aresta de corte para o corpo da ferramenta.

**Tensões e deformações residuais** - O chanfro da ponta de corte e o raio ( $R$ ) são dois fatores importantes a considerar no acabamento superficial. O chanfro ou o raio une as arestas principal e lateral de corte e reduz a parte final do cavaco. Em consequência, as tensões e as deformações residuais sobre a peça são diminuídas.

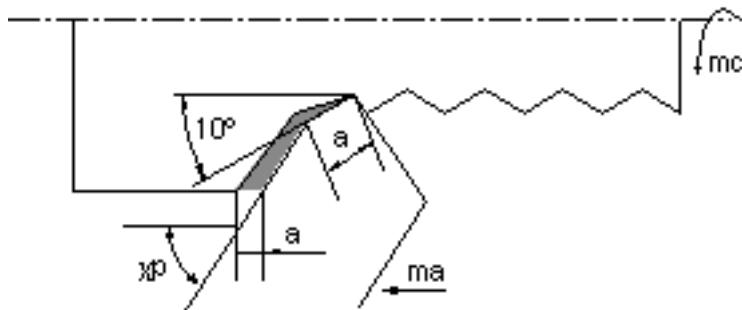
As tensões chegam a atingir cerca de  $60\text{kgf/mm}^2$  numa camada  $a_3$ , com até 20% da espessura de corte ( $h_1$ ). Além disso, às tensões serão acrescidas as tensões internas da peça, podendo atingir valores próximos à sua ruptura. O tratamento térmico (recozimento) realizado antes do passe de acabamento alivia essas tensões.



tensões residuais e deformações residuais numa peça usinada.

Se o raio é pequeno, a distribuição da força de corte gera uma pressão de corte grande sobre a peça. Se o raio é grande, a distribuição da força de corte se dá numa área maior e, consequentemente, a pressão de corte diminui e a ponta da ferramenta é preservada. Um raio induz as vibrações que são provocadas pelo aumento do comprimento da aresta lateral de corte e da espessura irregular dos cavacos. Quando o raio de ponta é grande, a força de corte aumenta em até 20% devido ao dobramento do cavaco. O dobramento do cavaco ocorre não apenas sobre a aresta principal de corte, mas também sobre a aresta lateral de corte.

O chanfro, em relação ao raio, tem a vantagem de não induzir a vibrações e não aumentar a força de corte. Além disso, o chanfro incorpora as ferramentas de desbaste e acabamento possibilitando um melhor acabamento superficial.



Os valores recomendados para o raio na ponta de corte dependem do tipo de material empregado nas ferramentas. Assim, o aço rápido deve apresentar:

$$r = 4 \times a \text{ ou } r = \frac{ad}{4}$$

Onde:

**r** = raio

**a** = avanço (m/m volta)

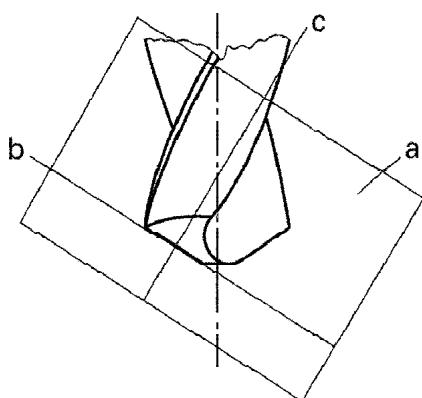
**ad** = avanço por dente para fresas ( $\frac{\text{mm}}{\text{volta} \times \text{dente}}$ )

Já o metal duro deve conter a metade dos valores que são empregados para os aços rápidos.

*Resolva agora os exercícios a seguir, para verificar se você entendeu o conteúdo tratado neste capítulo. Boa sorte!*

## Exercícios

- 32** Escreva nas linhas pontilhadas os nomes corretos dos planos indicados pelas letras **a**, **b** e **c** na figura, a seguir:

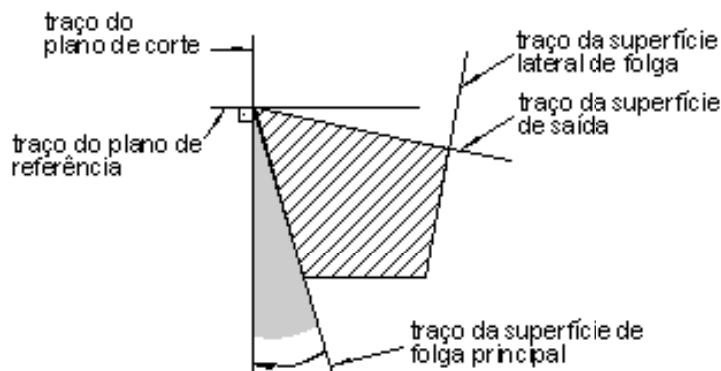


Resposta: Plano **a** - .....

Plano **b** - .....

Plano **c** - .....

33 Observe a figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O ângulo indicado na figura, em destaque, denomina-se:

- a ( ) ângulo de folga principal
- b ( ) ângulo de ponta
- c ( ) ângulo de cunha
- d ( ) ângulo de posição secundária

34 Observe a figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O ângulo indicado na figura, em destaque, denomina-se:

- a ( ) ângulo de folga principal
- b ( ) ângulo de ponta
- c ( ) ângulo de cunha
- d ( ) ângulo de posição secundária

35 Observe a figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O ângulo indicado na figura, em destaque, denomina-se:

- a ( ) ângulo de cunha
- b ( ) ângulo de ponta
- c ( ) ângulo de saída
- d ( ) ângulo de inclinação

**36** Assinale com um (x) a alternativa correta.

Os ângulos de folga têm a finalidade de:

- a ( ) gerar a cunha cortante
- b ( ) evitar o atrito entre a ferramenta e a peça
- c ( ) alterar a espessura do sobremetal a ser removido
- d ( ) distribuir a força de corte na entrada e saída da ferramenta

**37** Assinale com um (x) a alternativa correta.

Quando o ângulo de folga principal é pequeno e ocorre um pequeno desgaste da ferramenta:

- a ( ) a superfície em contato com a peça, aumenta rapidamente
- b ( ) a superfície de folga da ferramenta diminui
- c ( ) o núcleo da peça não se apresenta usinado
- d ( ) o desgaste da ferramenta é pequeno

**38** Assinale com um (x) a alternativa correta.

O ângulo de saída negativo é utilizado:

- a ( ) quando ocorrem impactos sucessivos sobre a ferramenta de corte
- b ( ) nas máquinas de pequena potência, pois a força de corte é menor
- c ( ) para diminuir a força de corte empregada na remoção do cavaco
- d ( ) nas máquinas de grande potência, pois a força de corte é menor

**39** Assinale com um (x) a alternativa correta.

As principais características do raio de ponta são:

- a ( ) ampliar a espessura de corte
- b ( ) ampliar o comprimento do cavaco
- c ( ) gerar o acabamento superficial da peça e preservar a ponta da ferramenta
- d ( ) ampliar a secção de corte

*Confira, agora, suas respostas na página 90. Se todas elas estiverem corretas, parabéns! Estude o capítulo, a seguir.*

*Volte ao texto, se você encontrou alguma dificuldade. Se mesmo assim, as dúvidas continuarem solicite a colaboração de seu monitor.*

# Materiais para ferramentas de corte

O mineralogista Mohs, ao estudar os minerais, estabeleceu uma escala de dureza para diferentes tipos de materiais. A escala de dureza pesquisada por Mohs foi obtida a partir do princípio “quem risca quem”, isto é, o material mais duro risca o mais macio.

## Classificação dos materiais quanto à dureza

Mohs classificou os dez tipos de materiais a seguir em uma ordem crescente de dureza:

- 1 talco
- 2 gipsita
- 3 calcita
- 4 fluorita
- 5 apatita
- 6 feldespato
- 7 quartzo
- 8 topázio
- 9 corindon
- 10 diamante

As ferramentas de corte podem ser constituídas de vários tipos de materiais, bastando para isso que risquem o material a ser usinado: quanto mais próxima da dureza da peça a executar, tanto mais rapidamente ocorrerá a perda da durabilidade ou do fio de corte da ferramenta.

Por esta razão, é recomendável que o material da ferramenta apresente, no mínimo, 30 HRC de dureza superior a peça a ser usinada. Pois, durante a usinagem a temperatura da ferramenta aumenta e, com isso, ocorre a diminuição de sua dureza.

**Observação - HRC** é uma abreviação de **Hardness Rockwell C** que é um dos métodos utilizados para determinar a **dureza** dos materiais. A letra **C** indica a escala usada.

É preciso, por isso, utilizar ferramentas que, mesmo perdendo a dureza devido à temperatura elevada, apresentam valores de dureza maiores que os da peça usinada.

A escolha dos materiais da ferramenta deve considerar:

- a dureza do material a ser usinado e, principalmente, se o valor ultrapassa a 300HB, pois acima desse valor a peça se aproxima da dureza de muitos materiais para ferramenta;
- os parâmetros de corte a serem adotados, isto é, a velocidade de corte, o avanço e a profundidade;
- as dimensões e a qualidade superficial a serem obtidas;
- a durabilidade esperada da ferramenta ou o tempo de vida entre reafiações.

**Atenção - HB** é a abreviação do método **Hardness Brinell**, também utilizado para determinar a **dureza** dos materiais,

Além das condições indicadas, o material empregado nas ferramentas de corte deve apresentar as seguintes propriedades:

- resistência ao atrito;
- resistência a pressões;
- resistência ao calor.

Da combinação destas propriedades depende o aumento da capacidade de corte da ferramenta, isto é, maior velocidade, maior secção de corte e maior durabilidade.

# Tipos de materiais

Os principais materiais que apresentam resistência ao atrito, às pressões e ao calor são:

- aço-ferramenta;
- aço rápido;
- carboneto duro sinterizado;
- ligas fundidas;
- produtos cerâmicos;
- diamante;
- abrasivos.

A seguir, você vai conhecer as principais características de cada um desses materiais empregados na fabricação das ferramentas de corte.

**Aço-ferramenta** - É chamado também de **aço ao carbono temperado**. Trata-se de ligas de ferro cujo teor de carbono vai de 0,8 a 1,5%. Além do carbono, o aço-ferramenta admite até 0,3% de manganês (Mn), 3% de silício (Si), 0,25% de fósforo (P) e, ainda, o cromo (Cr).

Há dois grupos de aços-ferramentas:

- **aços de baixo teor de liga** - designados pela norma alemã DIN; por exemplo, o aço 100 W2.
- **aços com alta liga** - designados também pela norma DIN, como é o caso do aço 60 WCR7.

Os aços-ferramentas atingem aproximadamente 55HRC de dureza, mantendo este valor até 250°C. Quando submetidos a 450°C, diminui a dureza e passa a apresentar 45HRC.

Em geral, a velocidade de corte utilizada para usinrar com os diversos tipos de aço-ferramenta se situa entre 5m/min e 10 m/min.

Em relação a outros tipos de aço, como é o caso do aço ao tungstênio temperado, o aço-ferramenta custa 1/3 menos, sendo, portanto, mais econômico.

**Aço rápido** - É o aço ao tungstênio temperado. O aço rápido é também indicado pelas letras HSS, retiradas da expressão *Hight Speed Steel* que, em inglês, significa **aço de alta velocidade**.

Apresenta uma constituição semelhante à do aço ao carbono temperado e se diferencia do aço-ferramenta por conter alto teor de tungstênio (W), em torno de 20%, ou alto teor de molibdênio (Mo), cerca de 10%. Apresenta ainda outros elementos de liga: cromo (Cr), vanádio (Va) e cobalto (Co).

A velocidade de corte do aço rápido é de 20 m/min, ou seja, um valor maior que o das ferramentas de aço ao carbono temperado, que varia de 5m/min a 10m/min.

À temperatura de 500°C, os aços rápidos mantêm a sua dureza a 60HRC. Em geral, o aço rápido é apresentado em bits, isto é em pedaços quadrados ou retangulares. A resistência ao calor dos bits melhora sensivelmente com adição de 5% a 10% de cobalto (Co).

As ferramentas de aço rápido com cobalto são utilizadas com velocidade de corte até 40 m/min. Existem dois grandes grupos de aço rápido:

- aço rápido ao tungstênio;
- aço rápido ao molibdênio.

## Características da composição das ligas de tungstênio e molibdênio


**Carbonetos duros sinterizados** - O carboneto duro sintetizado ou **metal duro** foi desenvolvido na Alemanha, a partir de 1928. É conhecido por *Widia*, palavra que tem origem na expressão alemã *Wie-diamant* e significa **como diamante**.

Trata-se de uma mistura de pós metálicos obtida a partir dos carbonetos de tungstênio (W), de titânio (Ti) e de cobalto (Co), sinterizados a 1400°C, sob a forma de pastilhas.

O carboneto duro é obtido por sinterização. Na metalurgia do pó, a sinterização é o processo em que as peças são obtidas pela compactação de pós metálicos e posterior sinterização em fornos contínuos.

A ferramenta de metal duro apresenta 80HRC de dureza, a frio; e 70HRC a 600°C, a quente, ou seja, a sua dureza pouco diminui com o aumento da temperatura. O carboneto trabalha o aço com velocidade de corte em torno de 150 m/min. A aplicação do metal duro é classificada pela norma ISO conforme indica a tabela a seguir.

#### GRUPOS DE APLICAÇÃO

		MATERIAIS	PROCESSOS DE USINAGEM	OBSERVAÇÕES	TENACIDADE →	RESISTÊNCIA AO DESGASTE →
<b>P</b> AÇO FERRO FUNDIDO MALEÁVEL DE CAVACOS LONGOS	01	Aço e aço fundido	Acabamento em tornos com alta velocidade e pequeno avanço.	Boa precisão e qualidade de superfície em trabalhos isentos de vibrações.  Classe indicada para trabalhos em condições menos favoráveis.  Classe indicada para trabalhos em condições desfavoráveis. Possibilidade de grandes ângulos de saída.  Classe indicada para trabalhos em condições extremamente desfavoráveis.	TENACIDADE →	RESISTÊNCIA AO DESGASTE →
	10	Aço e aço fundido	Tornear, roscar, copiar, fresar com alta velocidade, pequenos e médios avanços.			
	20	Aço e ferro fundido de cavacos longos	Tornear, copiar, fresar com velocidades e avanços médios, aplinar com avanços pequenos.			
	30	Aço e ferro fundido de cavacos longos	Tornear, fresar, aplinar com velocidades médias e baixas; médios e grandes avanços.			
	40	Aço e ferro fundido com inclusões de areia e apreciáveis falhas de fundição.	Tornear, fresar, aplinar, com velocidades baixas, grandes avanços. Uso indicado para tornos automáticos			
	50	Aço e aço fundida com baixa resistência, grandes inclusões de areia e falhas de fundição.	Tornear, fresar, aplinar, com velocidades baixas, grandes avanços. Uso indicado para tornos automáticos.			
<b>M</b> AÇO AÇO FUNDIDO AÇO MANGANÉS, FERRO FUNDIDO LIGADO, AÇOS AUSTENÍTICOS FERRO FUNDIDO MALEÁVEL AÇO DE CORTE LIVRE	10	Aço e aço fundido, aço ao manganês, ferro fundido cinzento, ligado, maleável e modular.	Tornear com velocidades médias e altas e com avanços pequenos.		TENACIDADE →	RESISTÊNCIA AO DESGASTE →
	20	Aço, aço fundido, austenítico, aço manganês, ferro fundido cinzento, ligado, maleável e nodular.	Tornear e fresar com velocidades e avanços médios.			
	30	Aço, aço fundido, austenítico, ferro fundido, ligas resistentes a altas temperaturas.	Tornear, fresar e aplinar, com velocidades médias e avanços médios e grandes.			
	40	Aços de baixa resistência, aço de corte fácil, metais não ferrosos.	Tornear, formar e cortar com dedames, especialmente para tornos automáticos.			
<b>K</b> FERRO FUNDIDO FERRO FUNDIDO COQUELHADO, FERRO FUNDIDO MALEÁVEL DE CAVACOS CURTOS AÇO TEMPERADO, METAIS NÃO FERROSOS, PLÁSTICOS.	01	Aço temperado com dureza $\leq$ 60, ferro fundido, cogulado de alta dureza, alumínio silício, plásticos altamente abrasivos, materiais cerâmicos e não-ferrosos.	Acabar em tornos, fresadoras e mandrilhadoras, Rasqueamento.	Para trabalhos que exigem metal duro de elevada tenacidade.  Trabalhos em condições desfavoráveis. Possibilidade de grandes ângulos de saída.  Trabalhos em condições desfavoráveis. Possibilidade de grandes ângulos de saída.	TENACIDADE →	RESISTÊNCIA AO DESGASTE →
	10	Aço temperado, ferro fundido, ligado, coquelhado, com dureza HB $\geq$ 220 Kgl/mm <sup>2</sup> , ferro fundido de cavacos curtos, ligas de cobre e alumínio, plásticos, ebonite, vidro, porcelana, pedra e concreto.	Tornear, furar, rebaixar e fresar. Rasquear, alargar e brochar.			
	20	Ferro fundido com dureza HB $\leq$ 220 Kgl/mm <sup>2</sup> , cobre, latão, alumínio, ligas não-ferrosas, compensados e aglomerados de madeira, pedra e concreto.	Tornear, aplinar, fresar e furar. Rebaixar, alargar e brochar.			
	30	Ferro fundido de baixa dureza, madeira compensada.	Tornar, aplinar e fresar.			
	40	Metais não-ferrosos, madeiras moles e duras em estado natural.	Tornear e aplinar.			

Observando a tabela anterior, verificamos, por exemplo, que uma pastilha P30 de metal duro é adequada à usinagem dos aços que formam cavacos longos. Segundo as normas ISO, as pastilhas de metal duro P30 são indicadas para os processos de tornear, fresar e aplinar que empregam velocidades de corte médias e baixas bem como médios e grandes avanços.

**Ligas fundidas** - As ligas fundidas chamadas “stellites” são bastante utilizadas na fabricação de ferramentas de corte. Esta liga é constituída por 17% de tungstênio (W), 33% de cromo (Cr), 44% de cobalto (Co) e 3% de ferro (Fe).

As ligas fundidas apresentam 58 HR de dureza e trabalham os aços numa velocidade de corte de 100 m/min.

**Produtos cerâmicos** - Os produtos cerâmicos são constituídos por: 90% de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e 10% de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). O produto cerâmico é sinterizado sob a forma de pastilhas a 1800°C e atinge cerca de 80 HRC de dureza.

O produto cerâmico trabalha o aço numa velocidade de corte de 300m/min.

Devido a sua grande fragilidade e sensibilidade a choques e vibrações, o material cerâmico é recomendado para a usinagem de fundidos e metais duros.

**Diamante** - O diamante é constituído de puro carbono (C) e apresenta uma estrutura cristalina. É considerado o material mais duro que se conhece apesar de sua pouca tenacidade.

Por suas características, a aplicação do diamante se restringe a usinagem de materiais não-metálicos e não-ferrosos. Embora sua combustão se inicie a 830°C, a temperatura de fusão do diamante é bastante alta, ou seja, 3700°C.

São inúmeras as vantagens do trabalho com diamante, entre elas, permitir:

- alta resistência a desgaste;
- melhor acabamento superficial da peça;
- altas velocidades de corte.

Na indústria mecânica, o diamante é muito usado na afiação e no acabamento de ferramentas de metal duro principalmente.

O diamante é soldado ou fixado mecanicamente no suporte da ferramenta. Quando utilizado na afiação das ferramentas, é empregado em forma aglomerada e, em geral, ligado ao bronze.

**Abrasivos** - São materiais naturais ou elaborados quimicamente em forma de grãos unidos através de um aglomerante. O aglomerante é um material que atua como elemento-liga e retém os grãos abrasivos.

Um tipo de ferramenta abrasiva é o **rebolo vitrificado**. Resulta da combinação dos grãos abrasivos de óxido de alumínio ou de carboneto de silício com o óxido de silício, que é um aglomerante.

O **nitreto cúbico de boro** é outro abrasivo muito usado na indústria. No comércio é conhecido por **borazon**. Em 1971, o borazon foi lançado no mercado pela *General Electric USA* com o nome de Borazon CBN 11.

O nitreto cúbico de boro ou borazon é menos duro que o diamante, porém, mais resistente às temperaturas elevadas, em torno de 1400°C.

O borazon foi empregado sobretudo nos Estados Unidos para afiar e retificar aços rápidos especiais. Atualmente é empregado com maior freqüência na retificação do aço temperado, aço rápido com 60HRC e aço ao cromo em indústrias européias e de outras partes do mundo.

Nas tabelas 1 e 2, a seguir, é possível comparar algumas características importantes dos materiais usados na usinagem de ferramentas de corte e sua interferência no processo de usinagem.

Tabela 1

	AÇO RÁPIDO	METAL DURO	CERÂMICO	DIAMANTADO
Densidade	(1)	1,6	0,45	0,4
Valor de 1 ferramenta	(1)	05	10	150
Alguns coeficientes numéricos de características comparadas com as do aço rápido, que se tornam como unidade (1)				
Velocidade de corte	(1)	06	10	10
Limite térmico	(1)	1,35	02	03
Secção de corte	(1)	0,5	0,2	0,1

Tabela 2

CARACTERÍSTICAS	AÇO AO CARBONO	AÇO RÁPIDO	STELLITA	METAL DURO	CERÂMICO	DIAMANTADO
Data da invenção	antes de 1800	1895	1907	1928	1955	antes de 1800
Densidade	7,8	8,5	—	14	3,8	3,4
Dureza a frio (HRC)	55	62	58	80	82	100
Temperatura	280	550	680	800	900	900
Produção	laminada	laminada	fundida	sinterizada	sinterizada	natural
Produção comercial	barra	barra	barra	insérto	insérto	grãos
Tratamentos	(T) 850°C (R) 500°C	(T) 300°C (R) 500°C	—	—	—	—
Ferramenta monobloco	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Ferramenta Soldada	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Ferramenta fixa mecanicamente	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Onde:

T = temperado

R = revestimento

Você terminou o estudo da unidade 2. Resolva, agora, os exercícios a seguir para verificar se você entendeu o conteúdo estudado, neste capítulo. Boa sorte!

## Exercícios

40 Assinale com um (x) a alternativa correta

Os principais materiais utilizados na fabricação das ferramentas de corte são:

- a ( ) ferro fundido, alumínio e bronze.
- b ( ) aço ao carbono temperado, diamante e abrasivos.
- c ( ) ferro fundido, alumínio e abrasivos.
- d ( ) aços ao carbono temperado, diamante e alumínio.

**41** Assinale com um (x) a alternativa correta

A velocidade de corte (Vc) empregada na usinagem com ferramentas fabricadas de aço rápido em geral é de:

- a ( ) 2 m/min
- b ( ) 5 m/min
- c ( ) 10 m/min
- d ( ) 20 m/min

**42** Assinale com um (x) a alternativa correta

O aço rápido é conhecido por:

- a ( ) bits
- b ( ) metal duro
- c ( ) ligas de ferro de baixo carbono
- d ( ) ligas fundidas

**43** Assinale com um (x) a alternativa correta

Bits com 10% de cobalto permitem às ferramentas de corte:

- a ( ) diminuir a velocidade de corte
- b ( ) aumentar a velocidade de corte
- c ( ) diminuir a resistência ao calor
- d ( ) diminuir a capacidade de corte

**44** Assinale com um (x) a alternativa correta

O metal duro é constituído por:

- a ( ) um aço de alta liga
- b ( ) uma liga fundida
- c ( ) um produto sinterizado
- d ( ) uma cerâmica

**45** Assinale com um (x) a alternativa correta

Uma pastilha de metal duro K20 é recomendada para usinar:

- a ( ) aço ABNT 1010
- b ( ) ferro fundido cinzento
- c ( ) aço inoxidável
- d ( ) aço ABNT 1045

*Confira, agora, suas respostas na página 90. Se você acertou todas as questões, muito bem! Faça a Verificação a seguir.*

*Se você errou algum exercício, volte ao texto e tente resolvê-lo novamente. Se mesmo assim, as dúvidas continuarem, solicite a colaboração de seu monitor.*

# Respostas dos exercícios

**1c** (x)

**2** b (x)

**3** 572,95rpm

**4** 30 mm ou 30mm/min  
min

**5** 314,16m/min.

**6** 0,075 ou 0,075/volta × faca  
volta × faca

**7** 2mm e 0,05mm/curso × dente

**8** 20,37 mm ou 20,37mm/min  
min

**9** 5,02min

**10** d (x)

**11** c (x)

**12** b (x)

**13** b (x)

**14** superfície lateral de folga ou secundária de folga

**15** superfície de saída

**16** superfície principal de folga ou de incidência

**17** c (x)

**18** d (x)

**19** aresta principal de corte

**20** aresta lateral ou secundária de corte

**21** b (x)

**22** c (x)

**23** a (x)

**24** 4mm

**25** 5mm

**26** 3mm

**27** 10mm

**28** 0,75mm

**29** 8mm

**30** 5mm

**31** a)  $p = 2\text{mm}$

b)  $h = 0,14\text{mm}$

c)  $e = 4\text{mm}$

d)  $a_d = \frac{0,2\text{mm}}{\text{volta} \times \text{dente}}$  ou  $0,2\text{mm/volta} \times \text{dente}$

e) secção de corte ( $s$ ) =  $0,40\text{mm}^2$

f) secção de corte total =  $4,8\text{mm}^2$

**32** Plano a - plano de referência

Plano b - plano de corte

Plano c - plano de medida

**33** a (x)

**34** d (x)

**35** b (x)

**36** b (x)

**37** a (x)

**38** a (x)

**39** c (x)

**40** b (x)

**41** d (x)

**42** a (x)

**43** b (x)

**44** c (x)

**45** b (x)

Você chegou ao final da unidade 2. Muito bem! Verifique, agora, se já sabe todos os assuntos tratados nesta unidade ou se ainda ficou alguma dúvida.

Para isso, faça os exercícios da página seguinte, resolvendo todas as questões com bastante atenção.

# Verificação

- 1 Leia e responda a questão a seguir.

Qual o avanço por dente a ser utilizado em um macho com M30 x 2,5mm, 4 facas e 50mm de comprimento para executar uma rosca numa placa de 40mm de espessura, utilizando uma velocidade de corte de 3m/min e sabendo que o pré-furo é de 27,5mm?

Resposta:.....

- 2 Considerando novamente a situação descrita na questão 1, calcular a velocidade de avanço.

Resposta:.....

- 3 Considerando ainda a situação descrita na questão 1, calcular o tempo de corte, desprezando a ponta do macho.

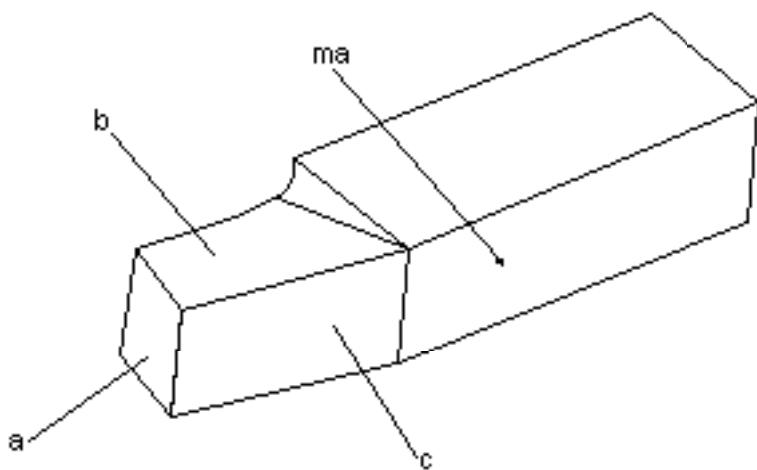
Resposta:.....

- 4 Assinale com um (x) a alternativa correta

As superfícies que compõem a ferramenta de barra são:

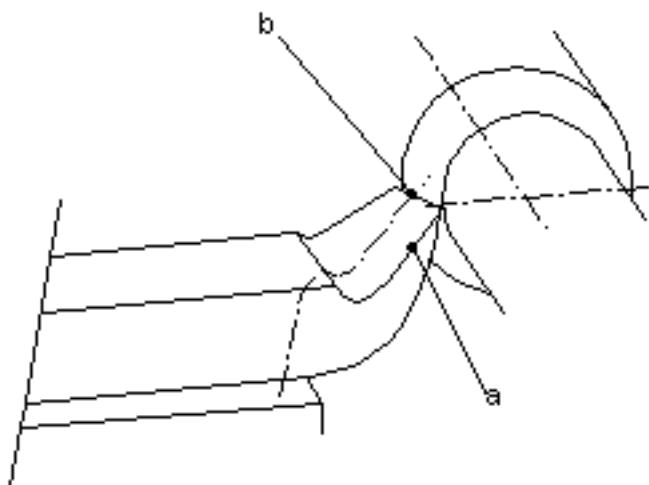
- a ( ) de folga, principal e lateral de corte
- b ( ) de saída, principal e de incidência
- c ( ) de saída e lateral de corte
- d ( ) de saída, principal e lateral de folga

- 5 Escreva nas linhas pontilhadas abaixo os nomes corretos das superfícies **a**, **b** e **c** indicadas na figura, a seguir.



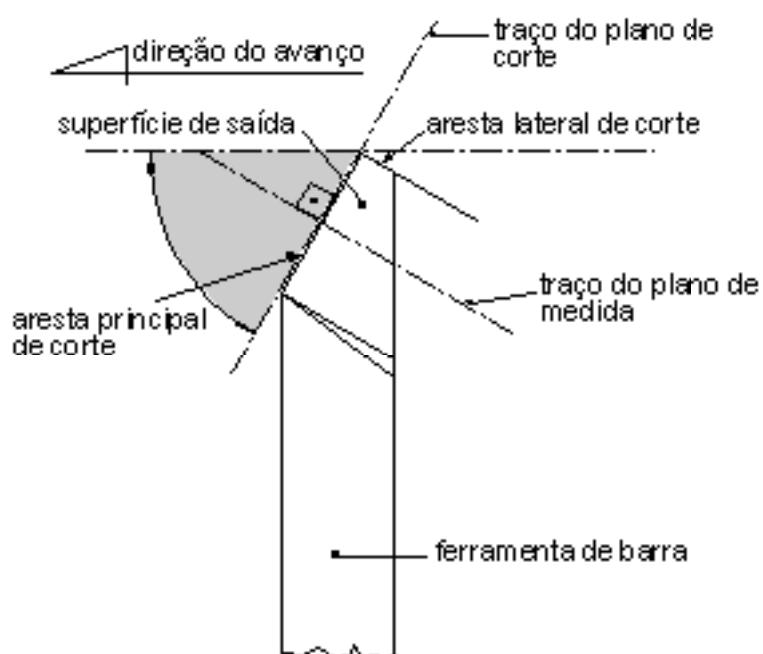
Resposta: a) .....  
b) .....  
c) .....

- 6** Escreva nas linhas pontilhadas abaixo os nomes corretos das arestas de corte **a** e **b**, indicadas na figura a seguir.



Resposta: a) .....  
b) .....

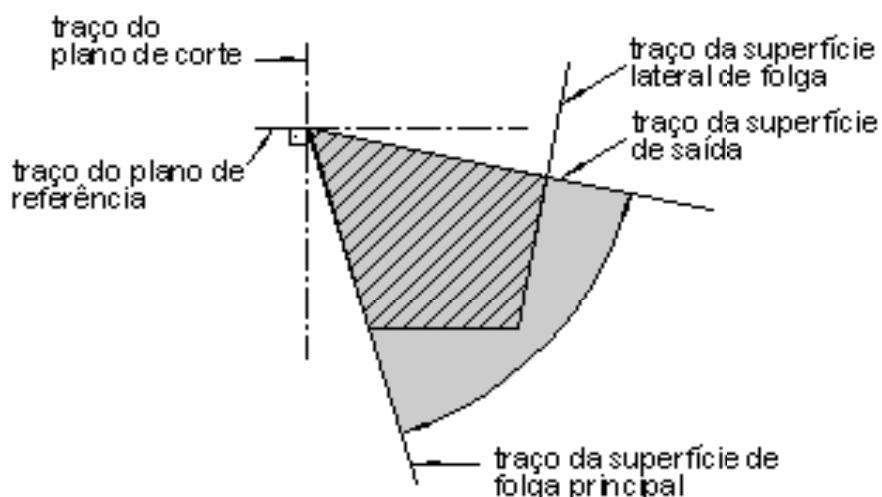
- 7** Observe a figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O ângulo indicado na figura, em destaque, denomina-se:

- a ( ) ângulo de posição principal
- b ( ) ângulo de ponta
- c ( ) ângulo de cunha
- d ( ) ângulo de posição secundária

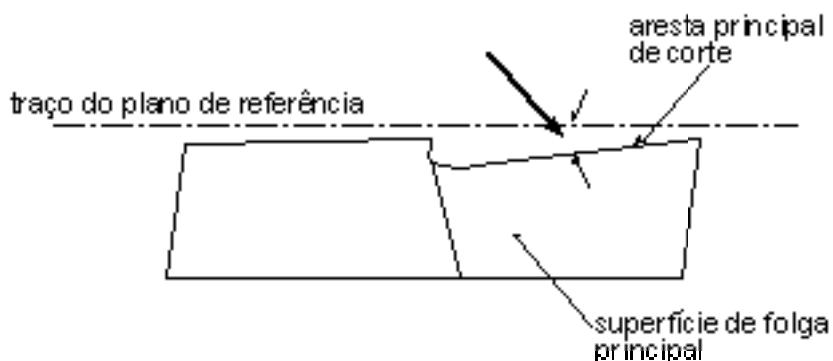
**8** Observe a figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O ângulo indicado na figura, em destaque, denomina-se:

- a ( ) ângulo de folga ou de incidência principal
- b ( ) ângulo de saída
- c ( ) ângulo de cunha
- d ( ) ângulo de posição secundária

**9** Observe a figura a seguir e assinale com um (x) a alternativa correta.



O ângulo indicado na figura, em destaque, é medido no plano de corte e denomina-se:

- a ( ) ângulo de folga ou de incidência principal
- b ( ) ângulo de saída
- c ( ) ângulo de cunha
- d ( ) ângulo de inclinação

**10** Assinale com um (x) a alternativa correta.

Os principais materiais utilizados na fabricação das ferramentas de corte são:

- a ( ) ferro fundido, alumínio e bronze.
- b ( ) aço ao carbono temperado, diamante e abrasivos.
- c ( ) ferro fundido, alumínio e abrasivos.
- d ( ) aço ao carbono temperado, diamante e alumínio.

*Confira, agora, as suas respostas na página 94.*

# Respostas da verificação

Número do exercício	Resposta certa	Se você errou, leia de novo as páginas de números :
1	0,625mm / volta x dente	9 e 10
2	79,6 mm / min.	10 e 11
3	0,88 mm / min.	11,12 e 13
4	d (x)	16
5	a) superfície lateral de folga ou superfície secundária de folga b) superfície de saída c) superfície principal de folga ou superfície de incidência	16
6	a) aresta lateral de corte b) aresta principal de corte	17 e 18
7	a (x)	33
8	c (x)	34
9	d (x)	35
10	b (x)	50 e 52

*Se você constatou algum erro, releia as páginas indicadas ou entre em contato com seu monitor. Se acertou tudo, parabéns! Passe para a unidade 3.*

## **Referências bibliográficas**

ARSHINOV, A. e ALEKSEEV. *Metal cutting theory and cutting tool design.* 4. ed.  
Moscou, Mir Publishers, 1978.

BLANPAIN, E. *Herramientas de corte.* Barcelona, Editorial Gustavo Gili S/A, 1962.

BOOTHROYD, G. *Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta.,*  
México, McGraw-Hill Latino-American, 1978.

CHEVALIER, A. e OSACAR, G. *Tecnología de las fabricaciones mecánicas.* Madrid,  
Index, 1978.

FERRARESI, D. *Fundamentos da usinagem dos metais.* 2. ed. São Paulo, Edgar  
Blucher, 1976.

FPCT. *Máquinas- herramientas/1.* Barcelona, Editorial Gustavo Gili S/A., 1974.

GARCÍA MATEOS, A. *Máquinas-herramientas para ingenieros.* Bilbao, Ediciones Uno,  
1971.

MARCONDES, F. C. *A historia do metal duro.* Brasil, Sandvik Coromant, 1990.

ROGNITZ, H. *Máquinas-herramientas.* Barcelona, Editorial Labor S/A., 1966.

STEMMER, C.E. *Ferramentas de corte I e II.* São Carlos, Editora da UFSC, 1987.

*Curso: Usinagem - Tecnologia do corte*

**46.80.71.897-6      Guia de estudo**

**46.80.71.899-1      Módulo 1      Processos mecânicos de usinagem**

*Unidade 1      Usinagem*

*Unidade 2      Ferramentas de corte*

**46.80.71.901-1      Teste do Módulo 1**

**46.80.71.903-5      Módulo 2      Teoria do corte**

*Unidade 3      Teoria da formação do cavaco*

*Unidade 4      Acabamento superficial*

*Unidade 5      Refrigeração de corte*

*Unidade 6      Esforços de corte*

**46.80.71.905-0      Teste do Módulo 2**

**46.80.71.907-4      Módulo 3      Velocidades de corte de máxima produção e de  
mínimo custo**

*Unidade 7      Produção horária*

*Unidade 8      Custos de produção*

**46.80.71.909-9      Teste do Módulo 3**

**46.80.71.911-7      Teste Final**