



SEM 0560
Fabricação Mecânica por Usinagem

Professor:
Alessandro Roger Rodrigues
Renato Goulart Jasinevicius



Processos de Fabricação por Usinagem

Aula Processo: Torneamento

- ✓ Definições
- ✓ Tornos e partes componentes dos tornos
- ✓ Máquinas para produção
- *O Processo e as Operações de Torneamento*
- *Sequências de operações*
- *Cinemática do Processo*
- *Geometria das Ferramentas de Torneamento*
- *Parâmetros de Corte*
- *Condição de operação*



O Processo e as Operações de Torneamento



Processo: Torneamento

Definições:

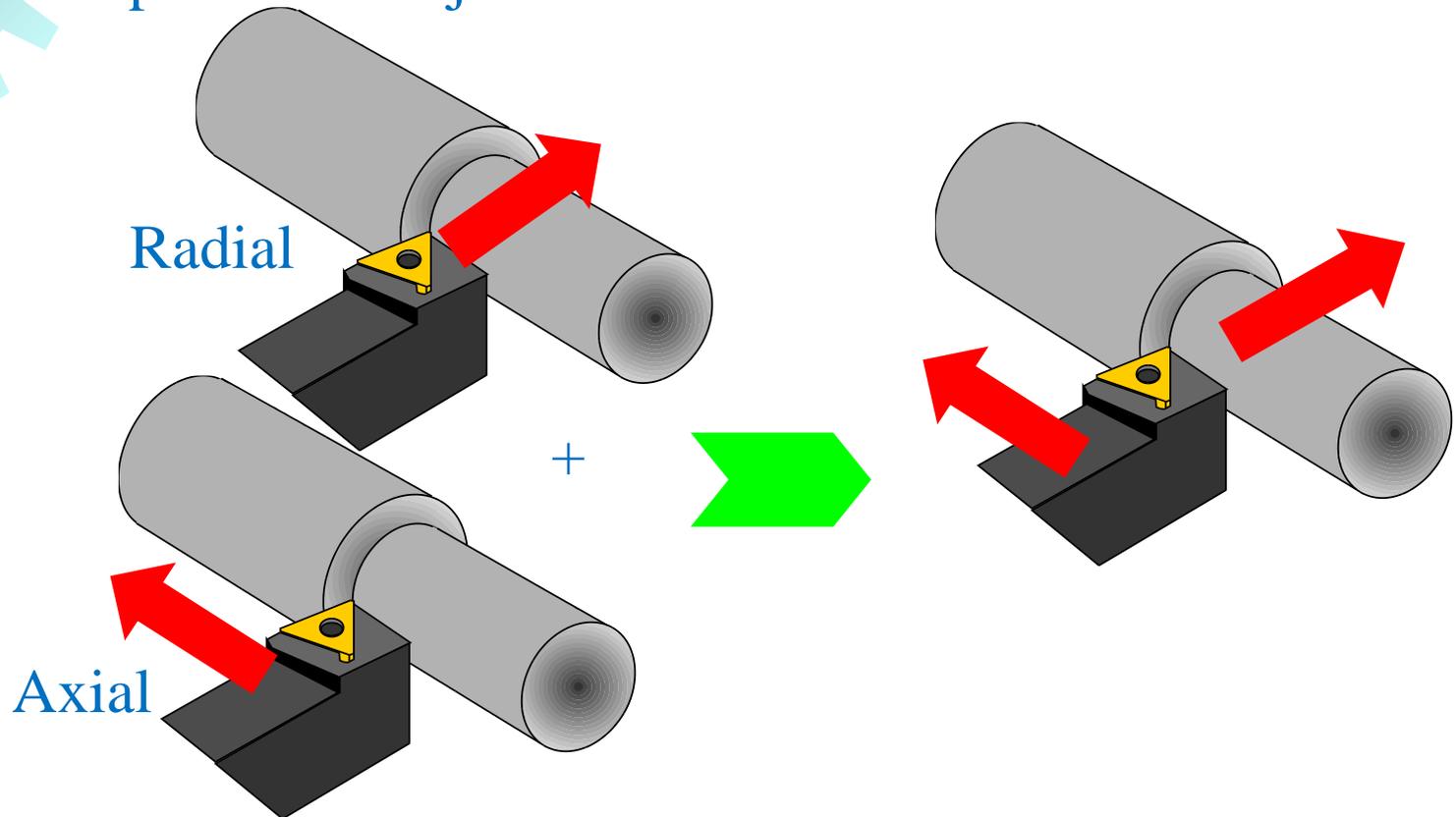
Torneamento pode ser definido como um processo mecânico de usinagem, destinado à obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes.

Torneamento é o processo de usinagem para superfícies cilíndricas externas e cônicas com uma ferramenta com geometria monocortante.

O processo usa uma máquina ferramenta denominada Torno.

Processo: Torneamento

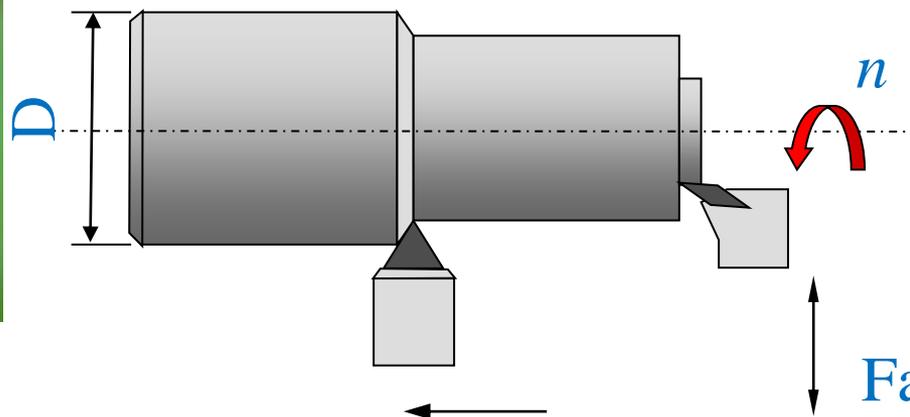
- A peça é rotacionada em um eixo (*spindle*) e a ferramenta é avançada radialmente, axialmente ou simultaneamente em ambas direções, para gerar a superfície desejada.



Processo: Torneamento

Mais especificamente a ferramenta é aplicada para geração de superfície cilíndricas externas orientada preferencialmente paralela ao eixo da peça.

A geração de superfícies orientadas preferencialmente perpendicular ao eixo da peça é denominado faceamento

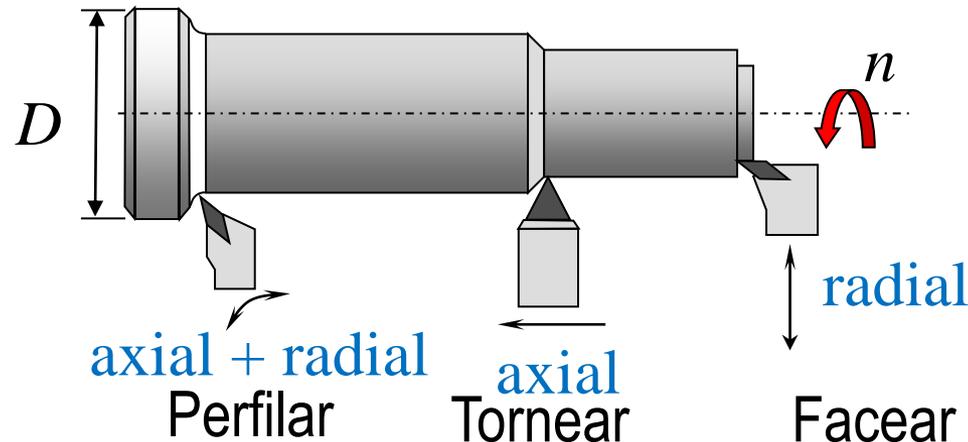


Tornear

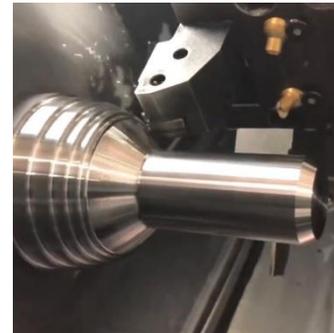
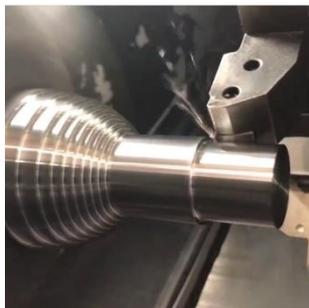
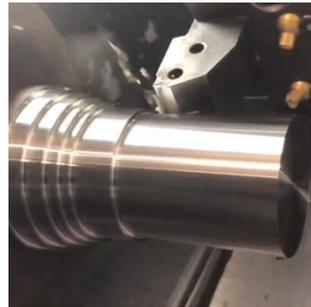
Facear

Processo: Torneamento

- No torneamento a direção do movimento de avanço é predominantemente axial (com relação ao eixo de rotação da máquina, o eixo árvore ou *spindle*).
- No faceamento, a direção do movimento de avanço é predominantemente radial.
- Superfícies chanfradas ou perfiladas exigem os dois modos de avanço simultaneamente, denominado de perfilamento.



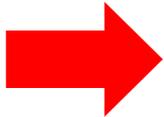
Processo: Torneamento



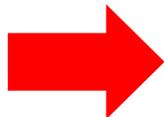
1



2

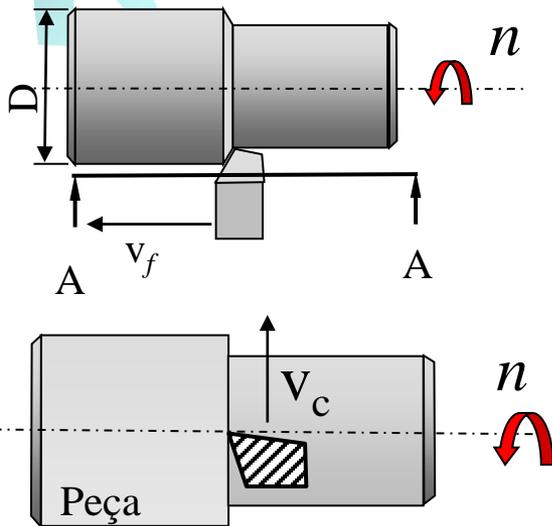


3



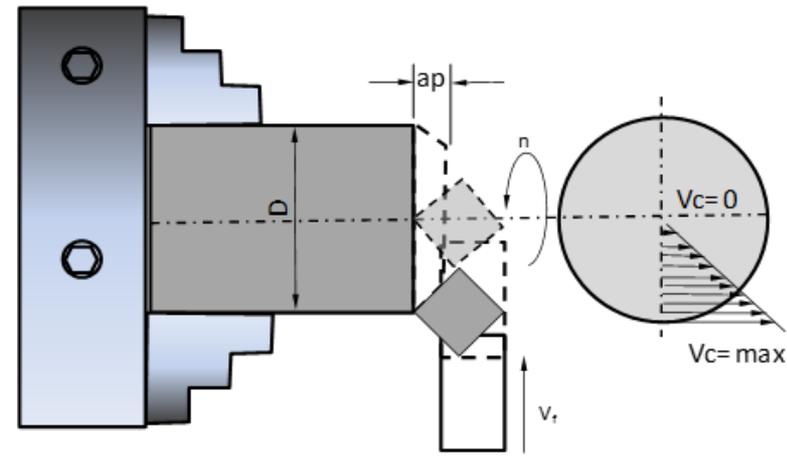
Operações de torneamento

- Ferramenta monocortante;
- Ferramenta fixa em suporte e peça rotaciona;
- Velocidade de corte constante na operação cilíndrica e variável na operação de faceamento



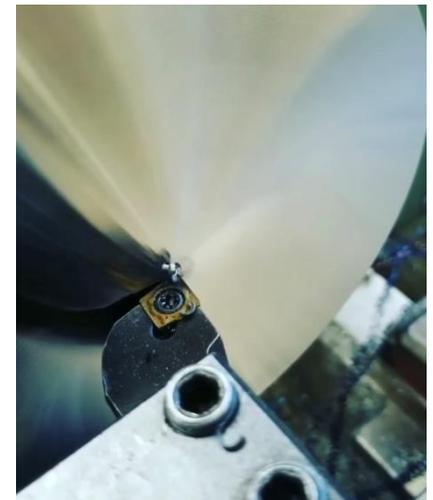
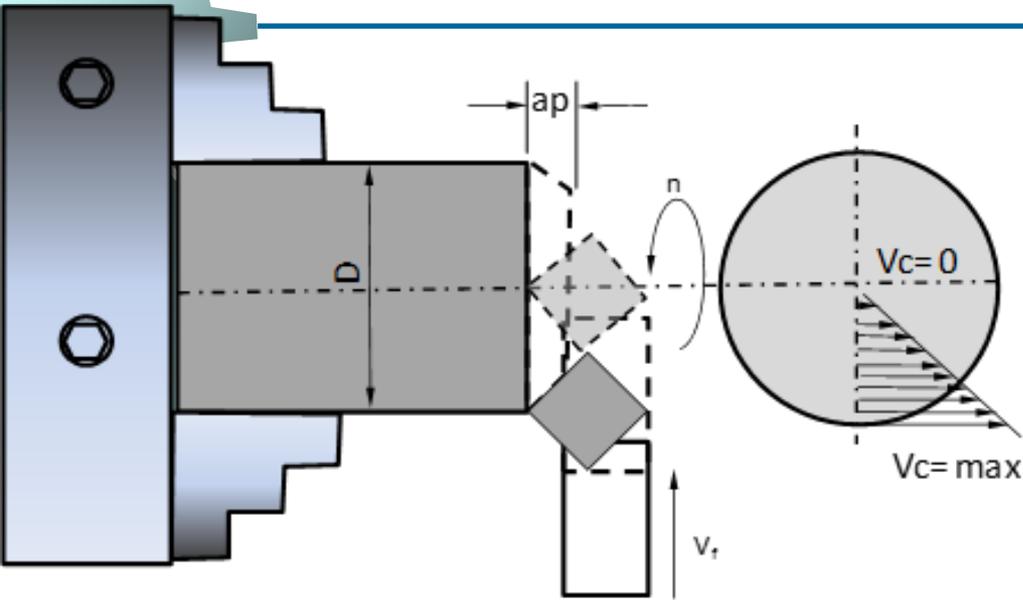
Torneamento Cilíndrico
 v_c constante

Exemplo

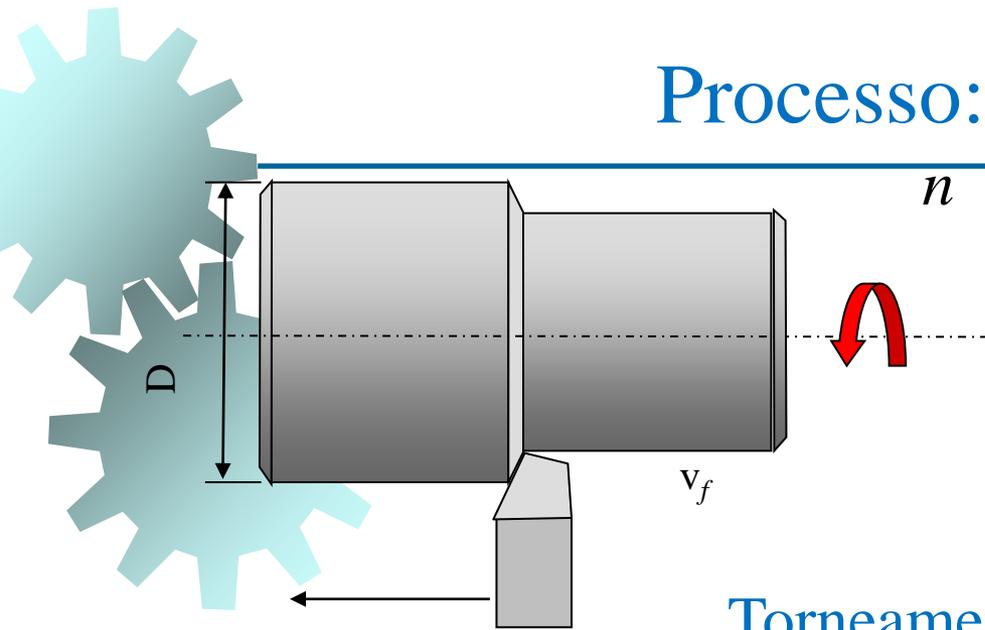


Faceamento v_c variável

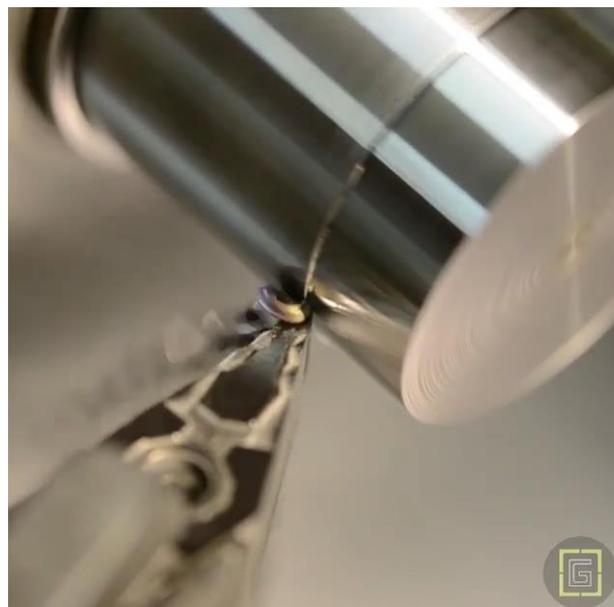
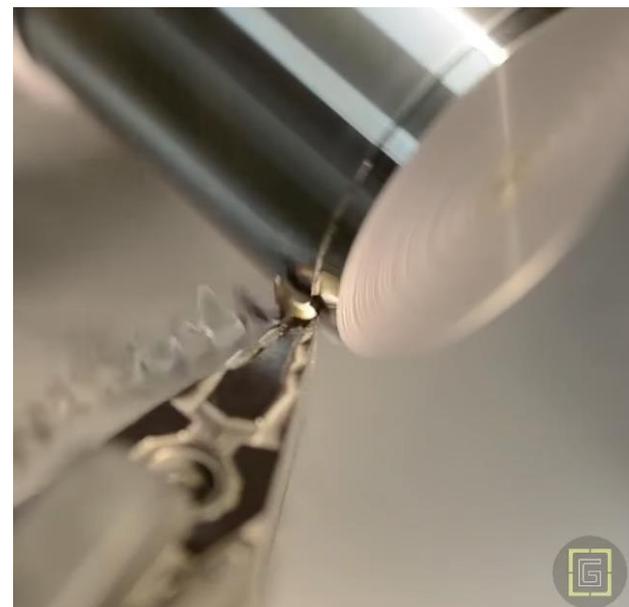
Processo: Torneamento



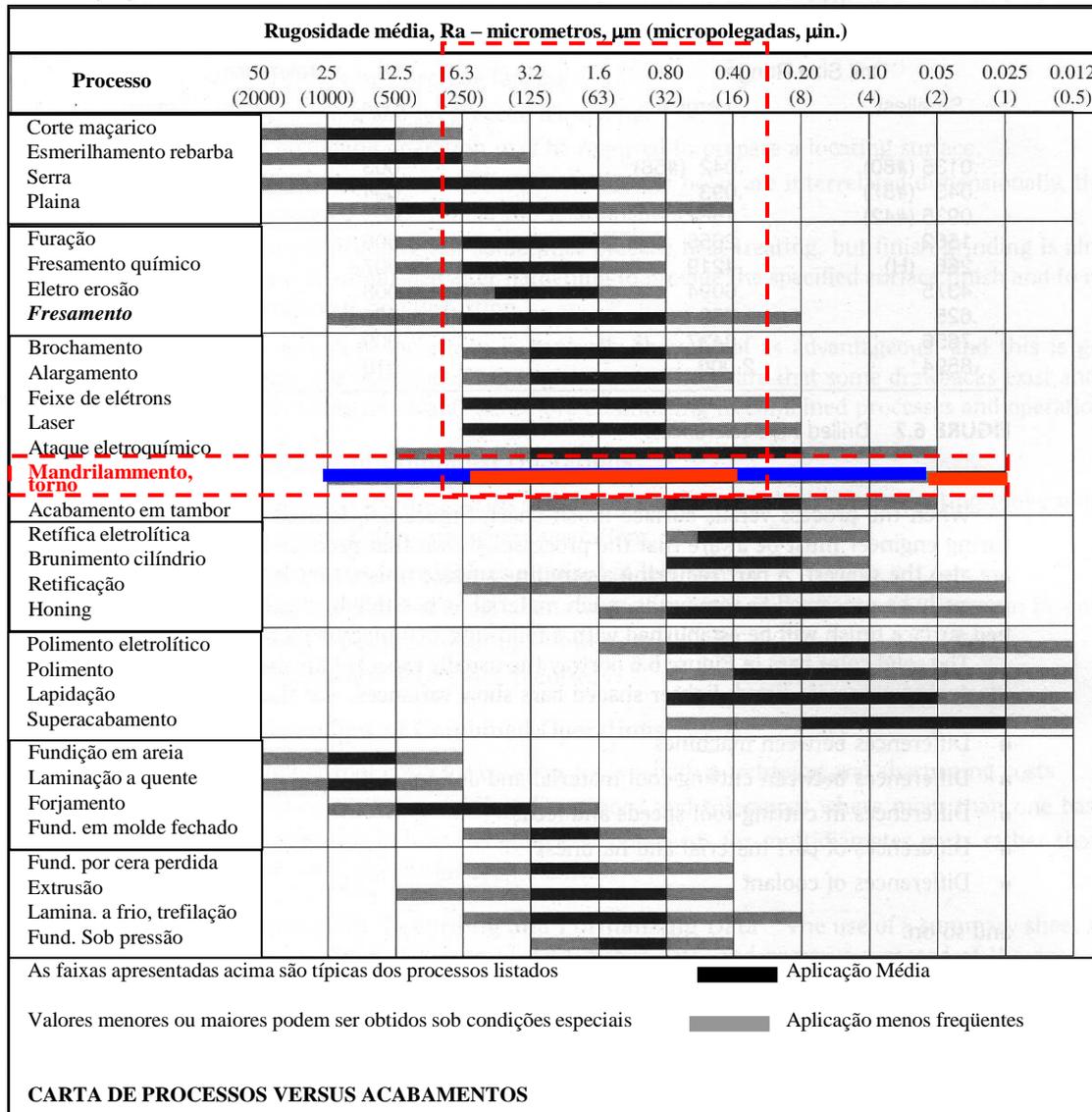
Processo: Torneamento



Torneamento Cilíndrico v_c constante



Acabamento no Processo de Torneamento



Rugosidade Ra (μm)	Gradação de Rugosidade
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Tolerâncias Processo de Torneamento



Diâmetro < 25,4 : 13 – 25 μm (IT6-IT7)

25,4 < Diâmetro < 50,8 : 50 μm (IT8-IT9)

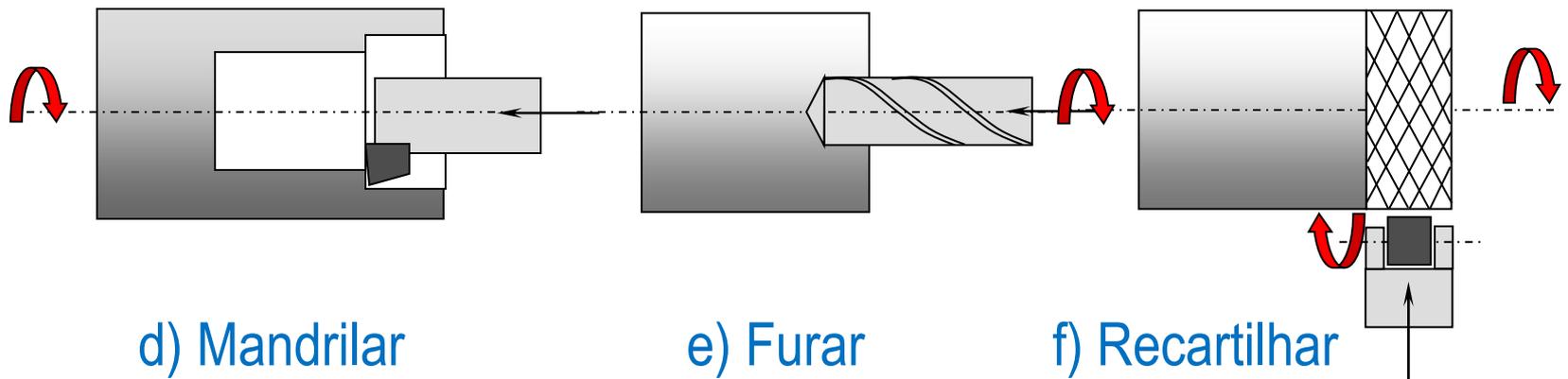
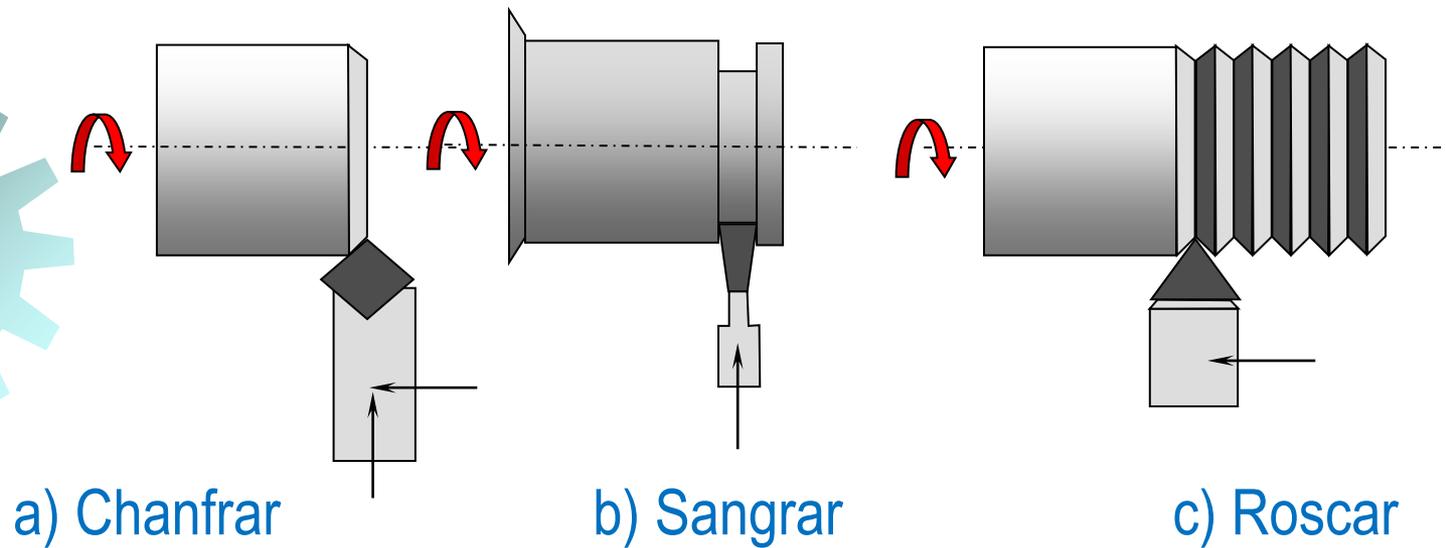
Diâmetro > 50,8 : 75 – 125 μm (IT10)

Tolerâncias de furação
geralmente expressas como
intervalos (por exemplo :
+0.127/-0,0254).

\pm Tolerâncias

	0,013 mm	0,025 mm	0,050 mm	0,075 mm	0,125 mm	0,250 mm	1,250 mm
Torneamento, mandrilamento							
Diâmetro < 25,4 mm	[Red bar]						
25,4 < Diâmetro < 50,8 mm			[Red bar]				
Diâmetro > 50,8 mm				[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]	
Furação							
Diâmetro < 0,254 mm			[Red bar]				
2,54 \leq Diâmetro < 6,35 mm				[Red bar]			
6,35 \leq Diâmetro < 12,7 mm					[Red bar]		
12,7 \leq Diâmetro \leq 25,4 mm						[Red bar]	
Diâmetro > 25,4 mm							[Red bar]
Alargamento							
Diâmetro < 12,7 mm		[Red bar]					
12,7 \leq Diâmetro \leq 25,4 mm		[Red bar]	[Red bar]				
Diâmetro > 25,4 mm			[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]		
Fresamento							
Periférico		[Red bar]	[Red bar]				
Face		[Red bar]	[Red bar]				
Topo ou Frontal			[Red bar]	[Red bar]			
Chavetamento		[Red bar]	[Red bar]				
Aplainamento			[Red bar]	[Red bar]	[Red bar]		
Brochamento	[Red bar]	[Red bar]					
Serrar						[Red bar]	[Red bar]

Operações realizadas no Torneamento

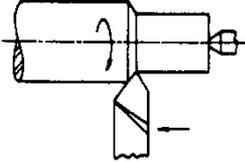
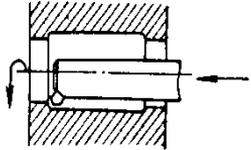
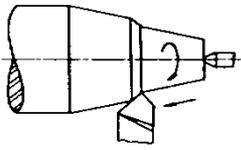
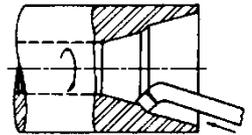
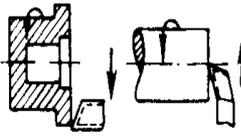
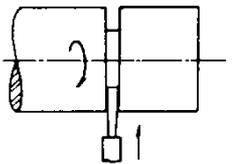
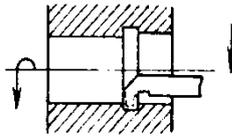
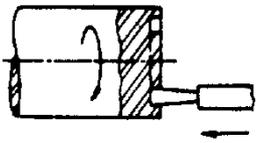


Ferramentas para Torneamento

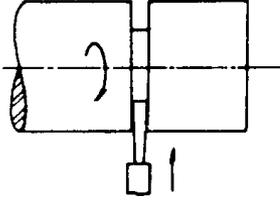
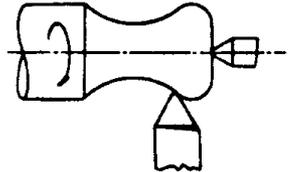
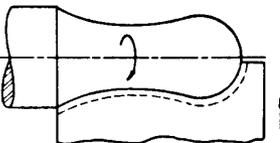
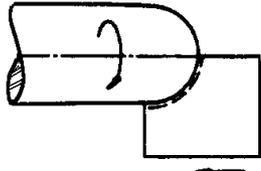
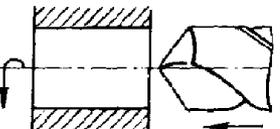
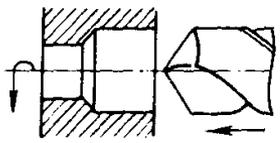
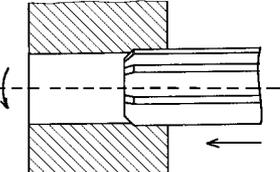
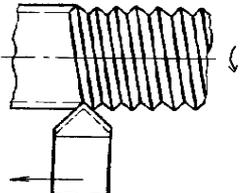


Operações de Torneamento

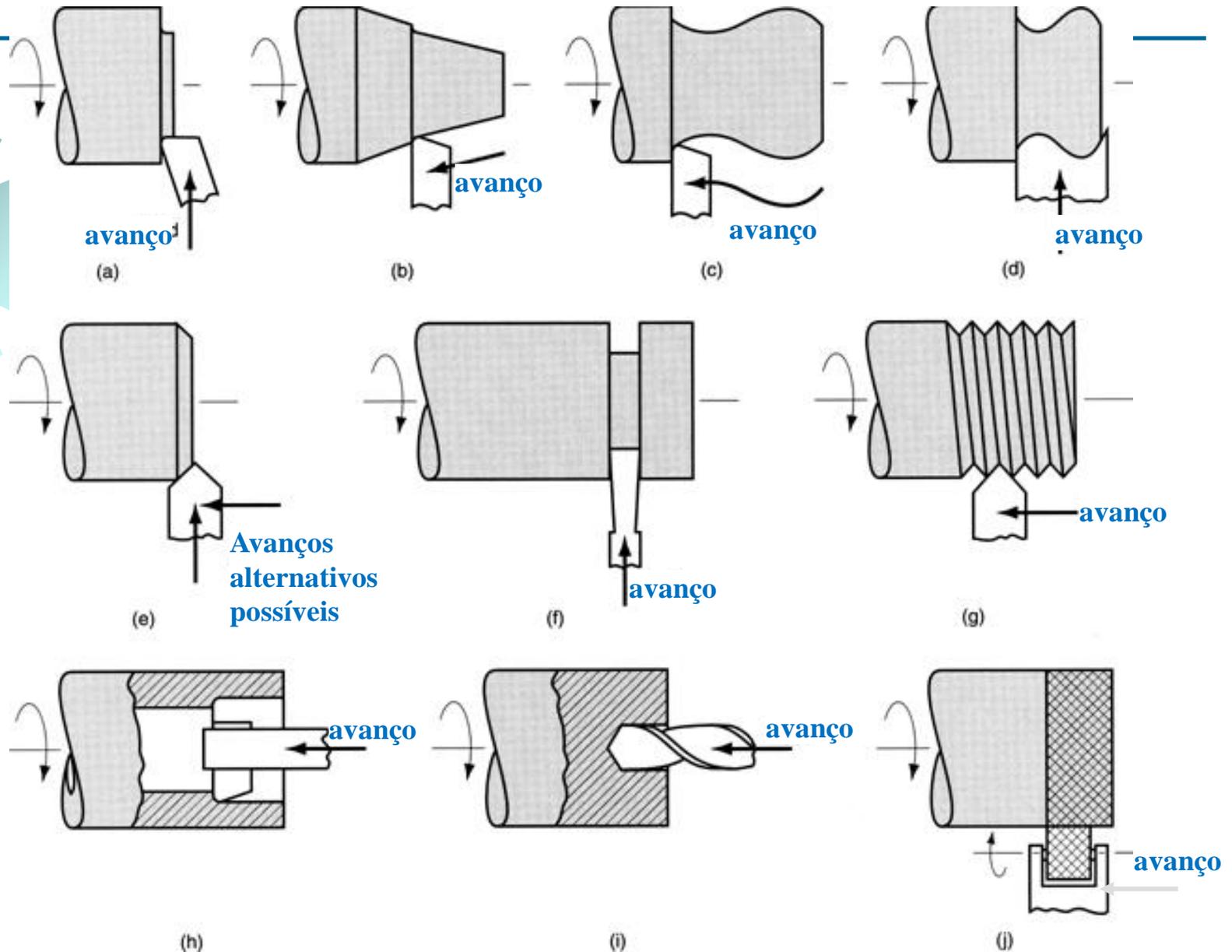


Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema	Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema
a - Torneamento Cilíndrico Externo com ferramenta reta		b - Torneamento Cilíndrico Interno ou Mandrilamento com um bit fixado em uma barra	
c - Torneamento Cônico Externo com ferramenta reta		d - Torneamento Cônico Interno com barra de mandrilar	
e - Torneamento de Faceamento com peça presa na placa ou entre centros		f - Sangramento Radial Externo com ferramenta de sangramento externo	
g - Sangramento Radial Interno com ferramenta de sangramento interno		h - Sangramento Axial com ferramenta de sangramento axial	

Operações de Torneamento

Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema	Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema
i - Corte com uma ferramenta Bedame		j - Torneamento Curvilíneo ou Perfilamento radial com ferramenta reta de ponta arredondada	
k - Perfilamento Radial com ferramenta de forma		m - Perfilamento Axial com ferramenta de forma	
n - Furação com broca helicoidal		o - Alargamento de um furo com broca helicoidal	
p - Alargamento de um furo com alargador		q - Roscamento Externo com ferramenta de roscar de ponta única	

Componente do Avanço em Operações de Torneamento





SEQUÊNCIAS DE OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO



TORNEAMENTO CILÍNDRICO EXTERNO

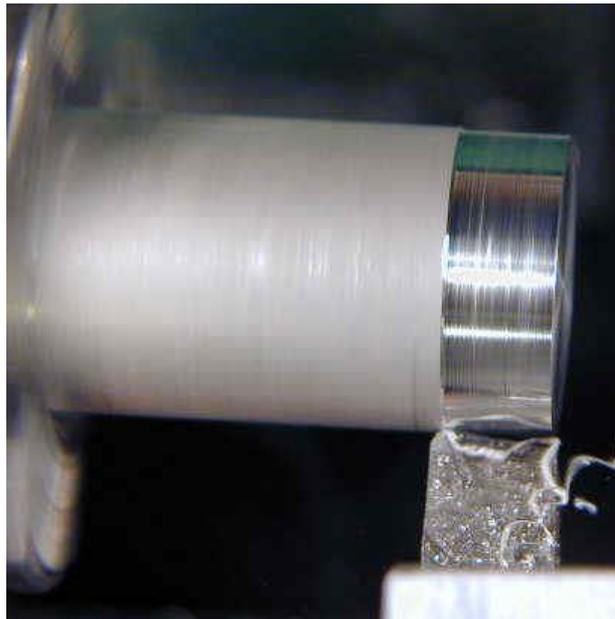
Fixação da peça



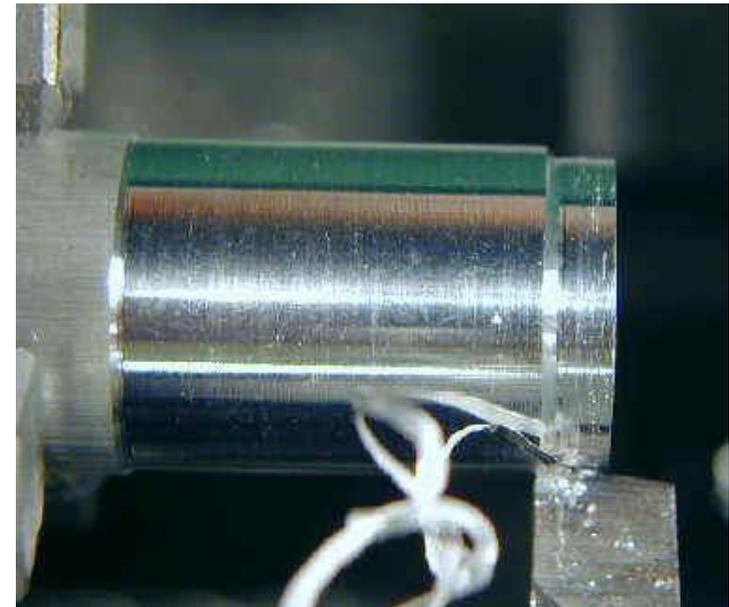
Ajuste da Ferramenta



Primeiro Passe



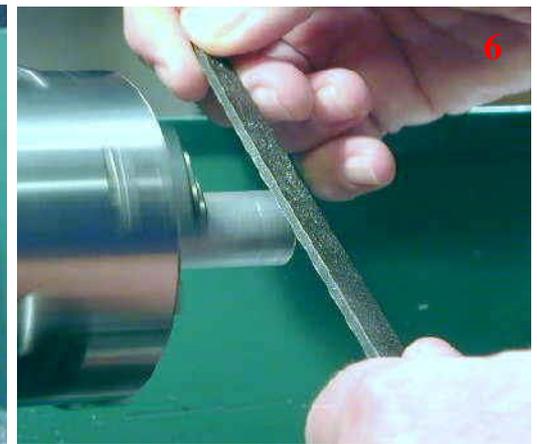
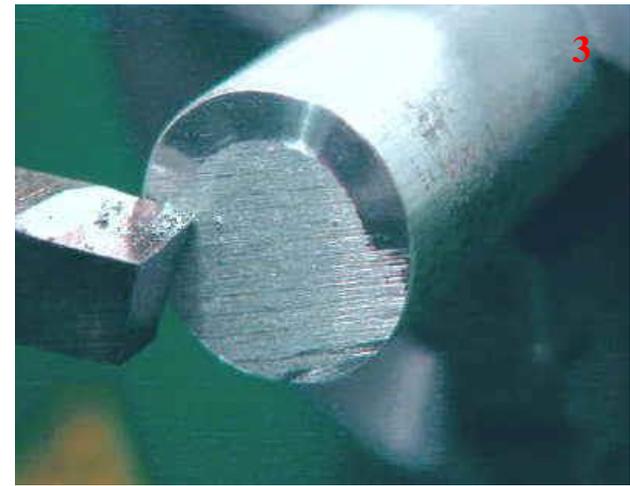
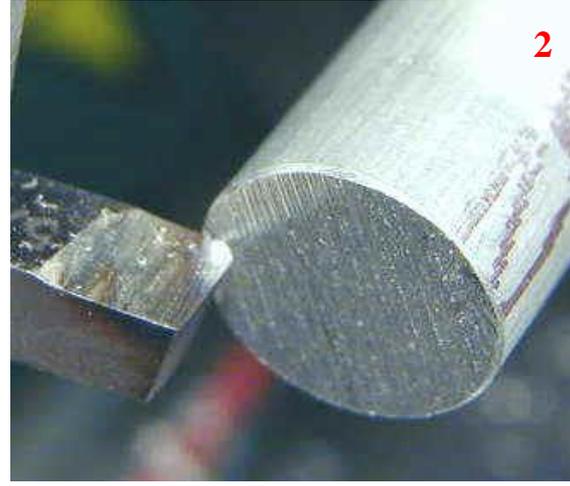
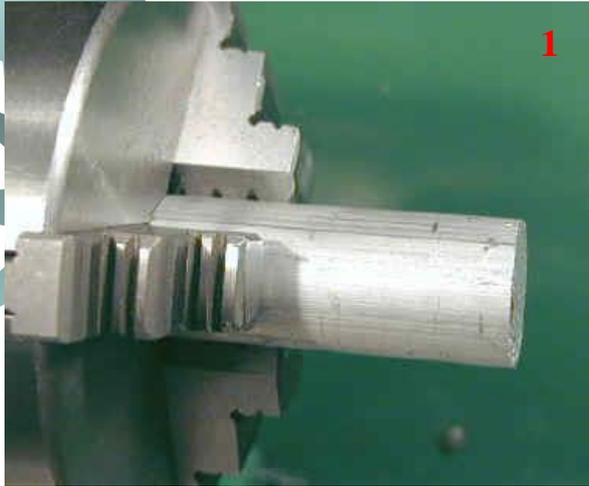
Segundo Passe

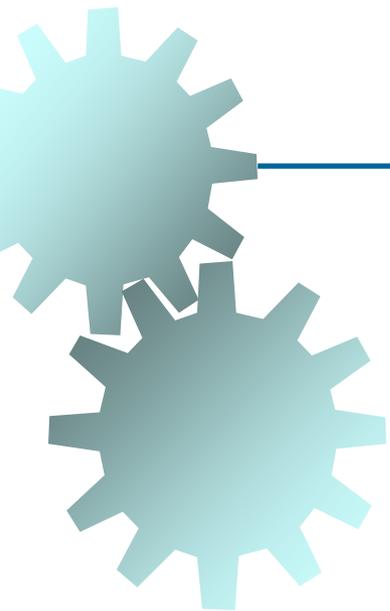




TORNEAMENTO DE FACEAMENTO

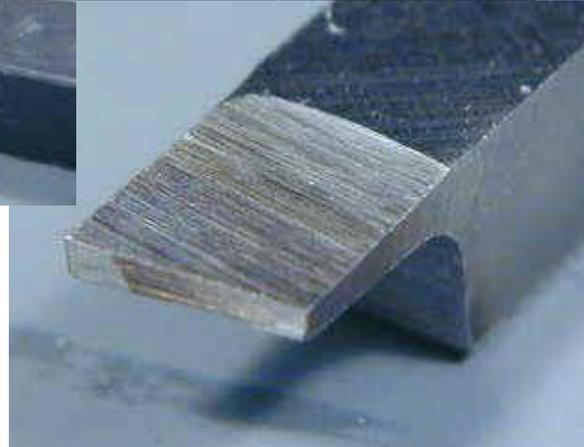
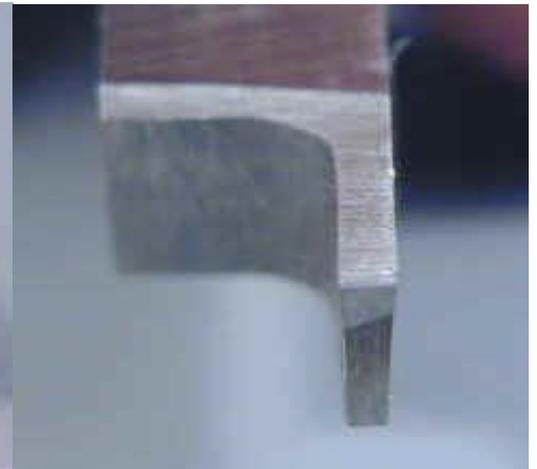
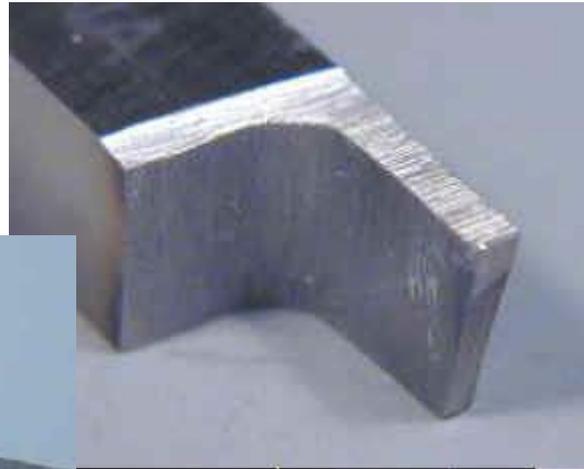
Seqüência de uma Operação de Faceamento

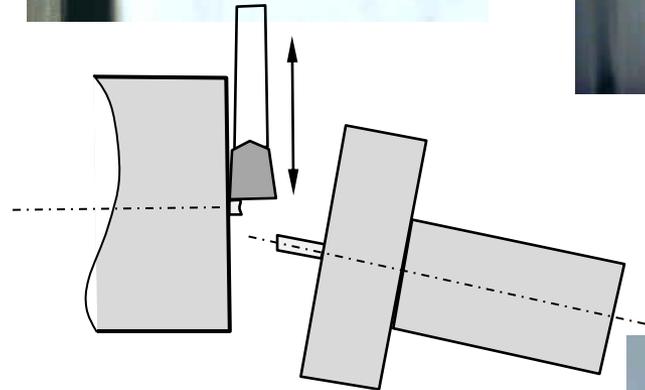
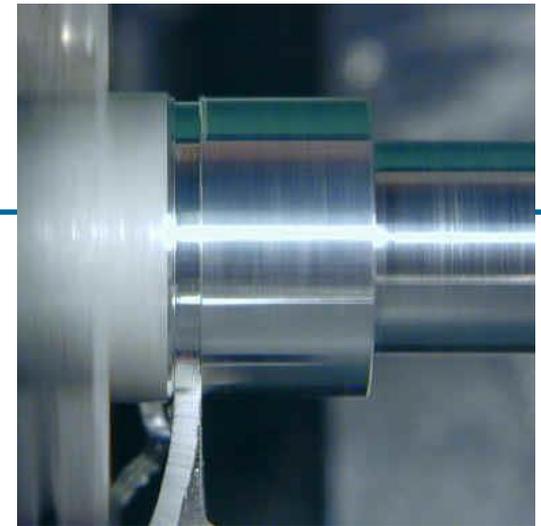
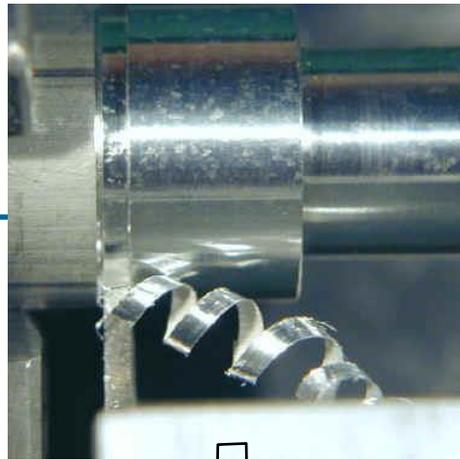
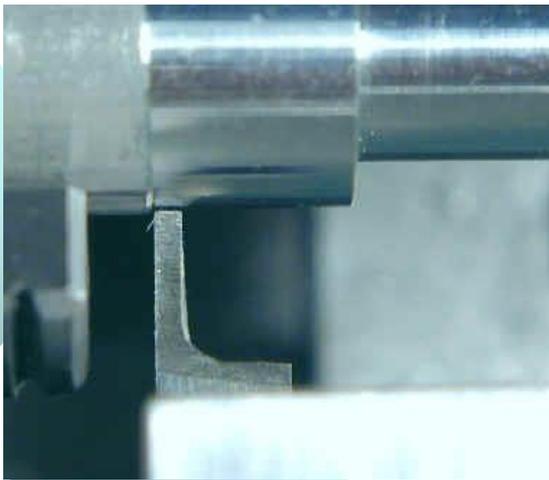




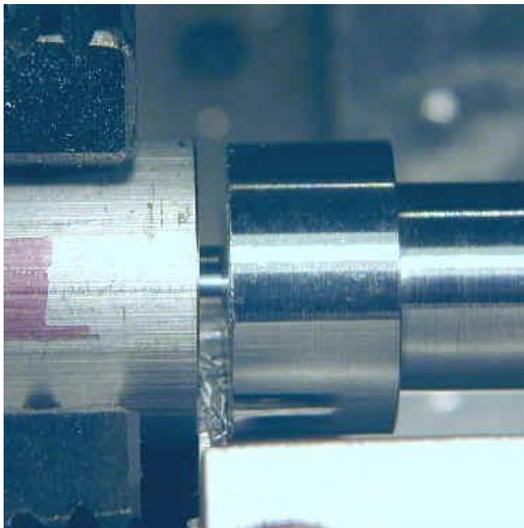
TORNEAMENTO DE CORTE E SANGRAMENTO

Operação de Corte e Sangramento





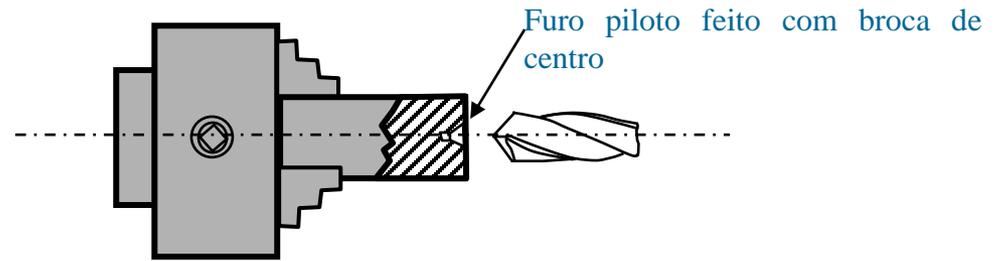
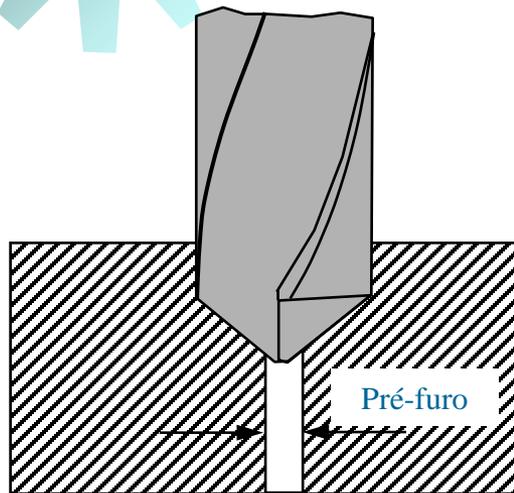
Seqüência de Corte



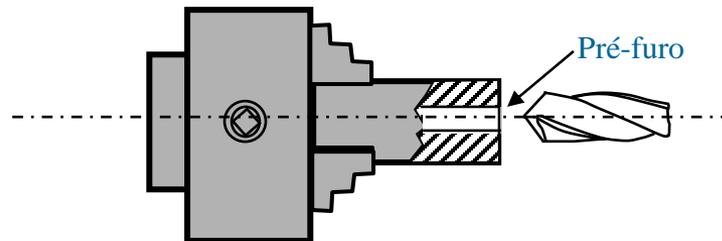


OPERAÇÃO DE FURAÇÃO

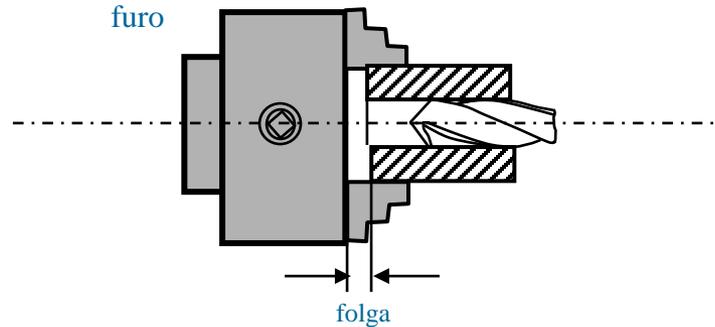
Furo de centro – furo piloto – pré-furo



A broca irá realizar um furo centralizado se primeiro for feito um furo piloto com a broca de centro



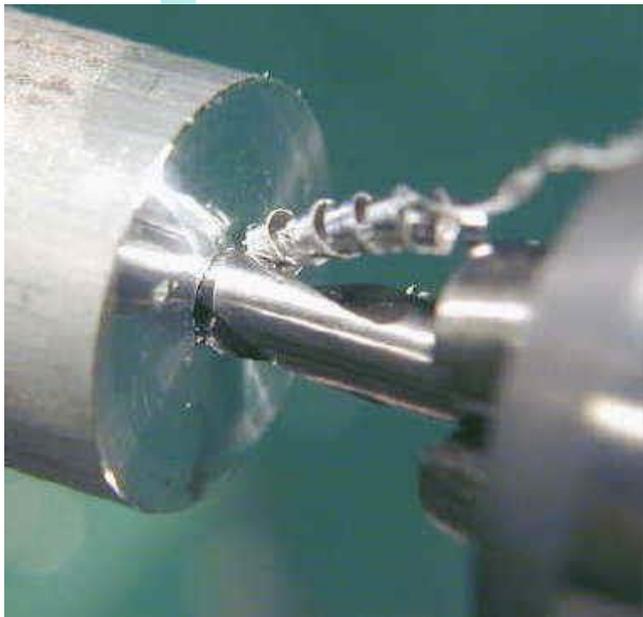
Furos maiores que 12,5 mm necessitam de um pré-furo



Deve existir uma folga suficiente entre a peça e a placa para permitir que a broca atravesse a peça sem danificar a placa



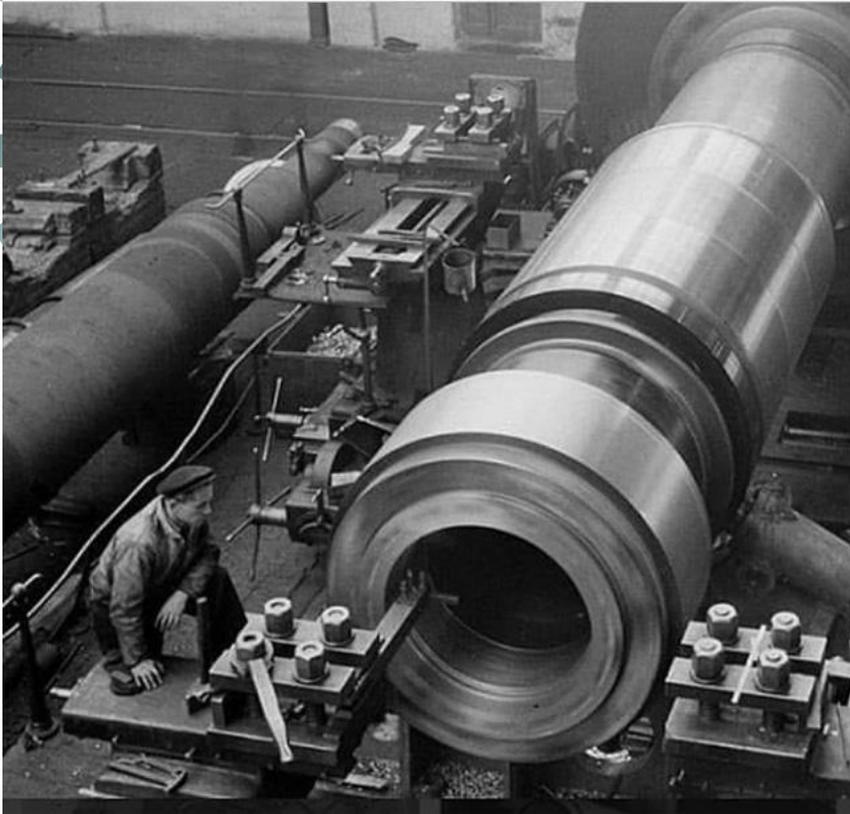
Seqüência de Furação





OPERAÇÃO DE MANDRILHAMENTO NO TORNO

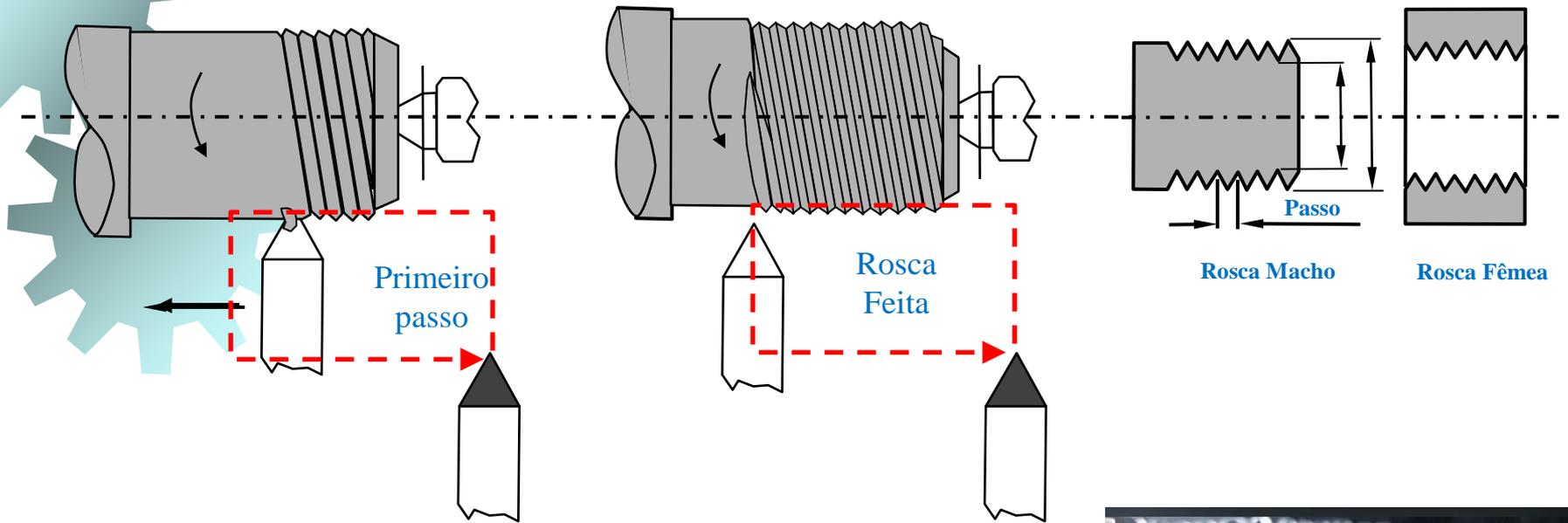
MANDRILHAMENTO NO TORNO





Operação de Roscamento

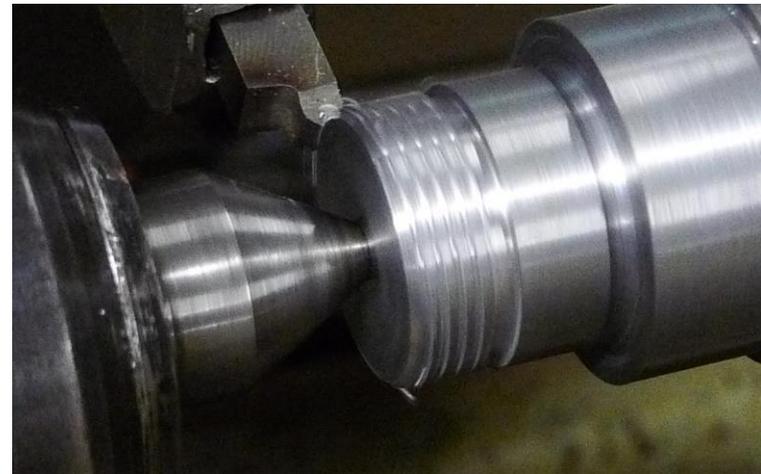
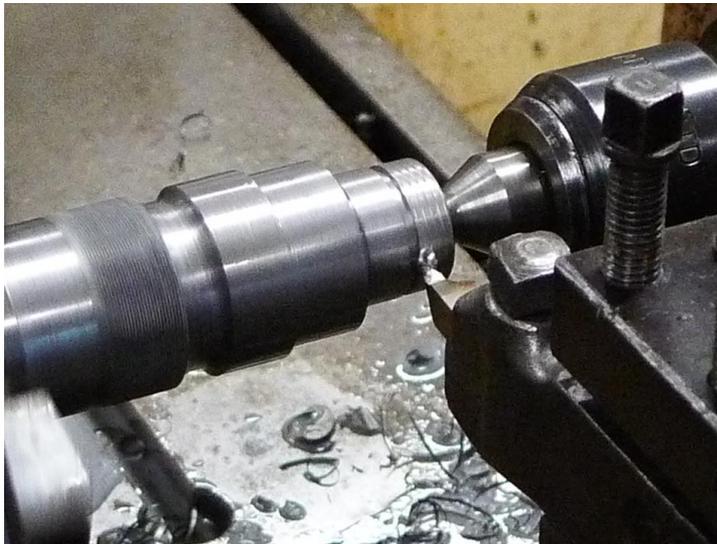
Operação de Roscamento



Operação de Roscamento



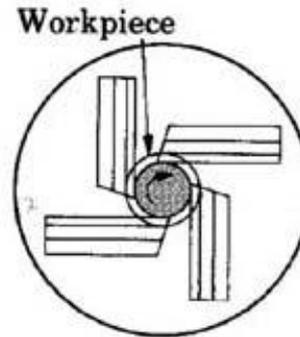
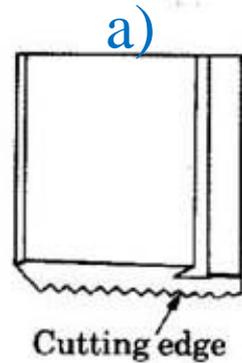
Operação de Roscamento



Operação de Roscamento



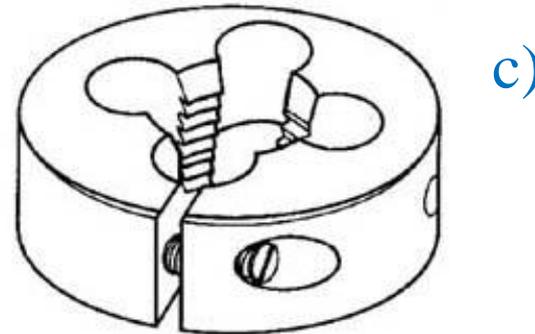
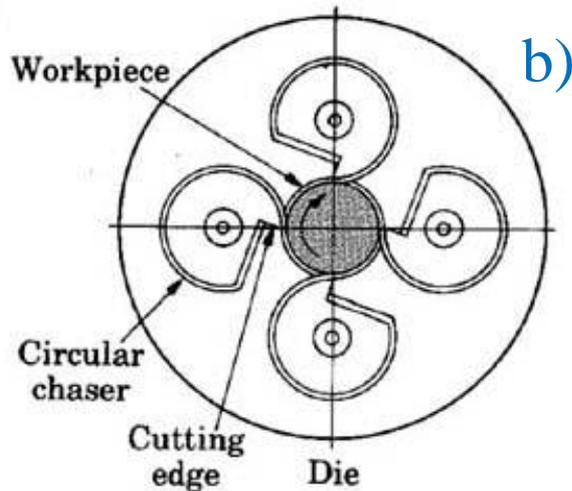
Operação de Roscamento



a) Pente reto de abrir rosca

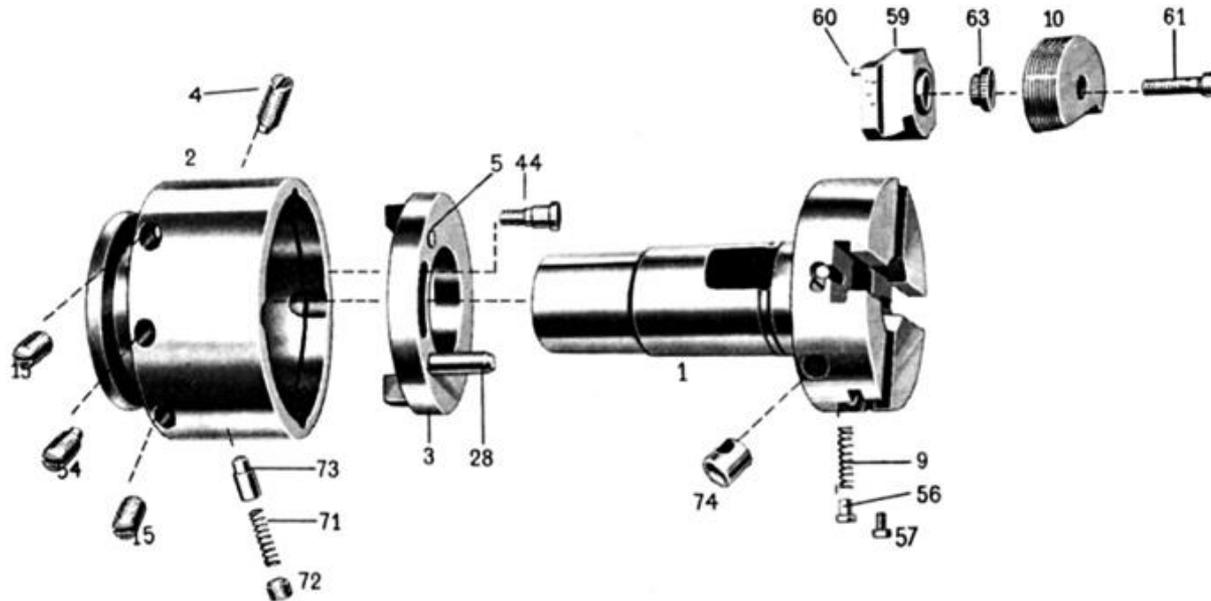
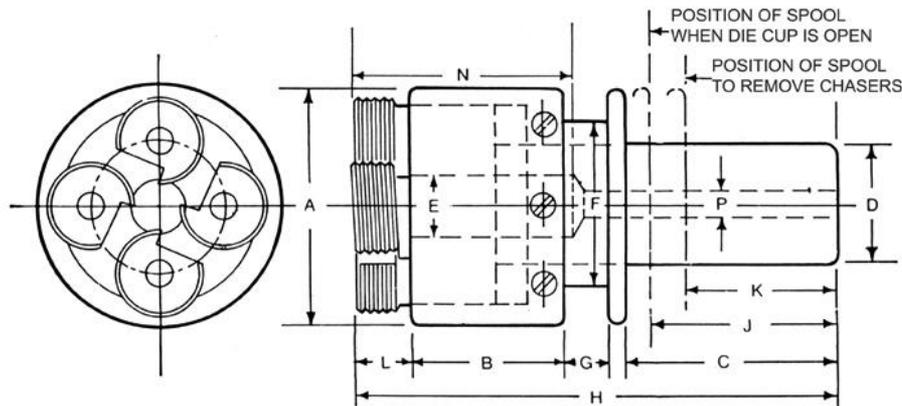
b) Pente circular de abrir rosca

c) Cossinete



Operação de Roscamento

b) Pente circular de abrir rosca



Operação de Roscamento

c) Cossinete

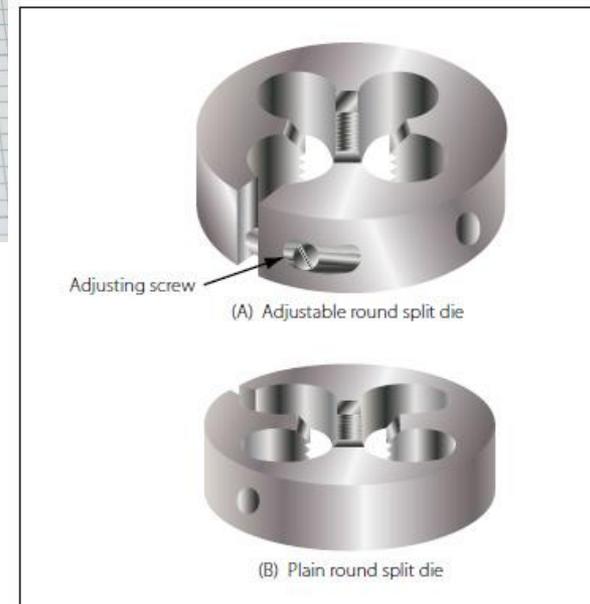
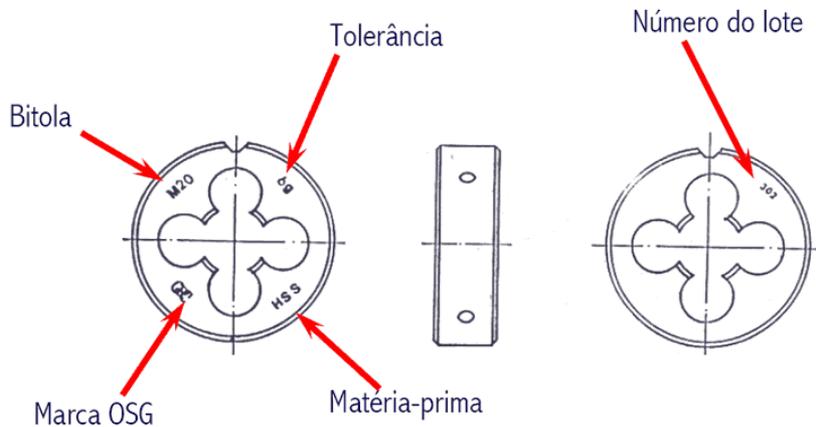
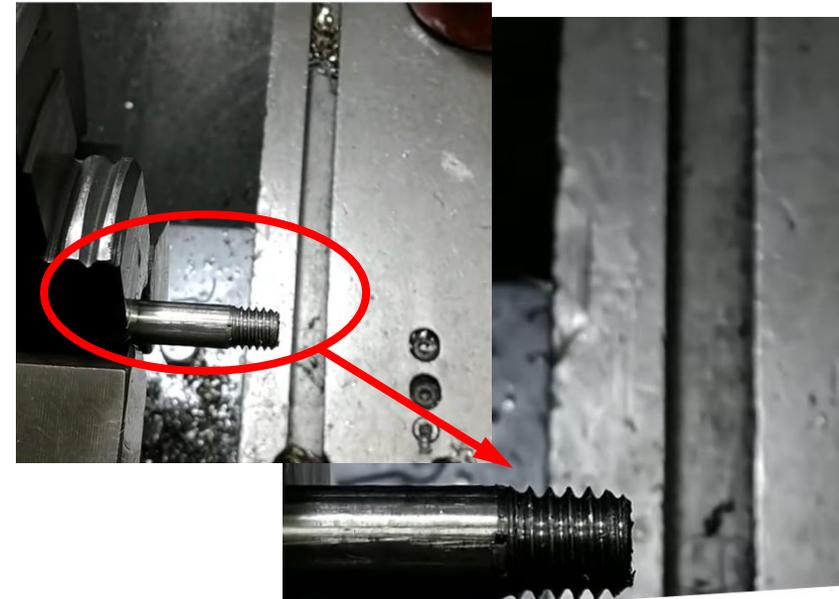
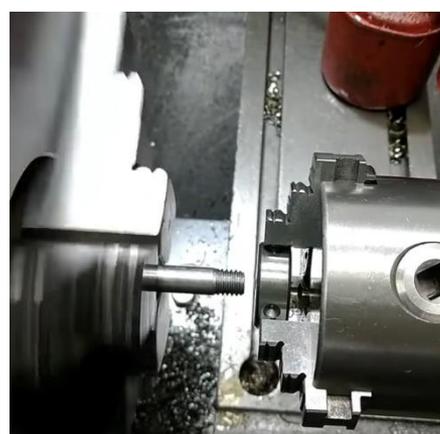
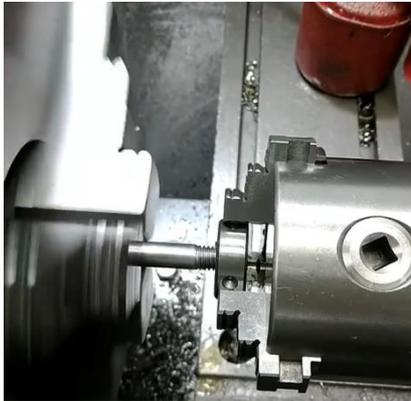
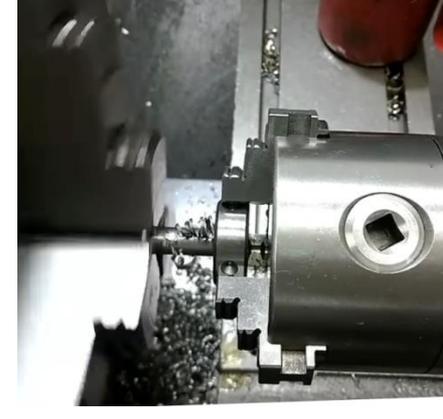
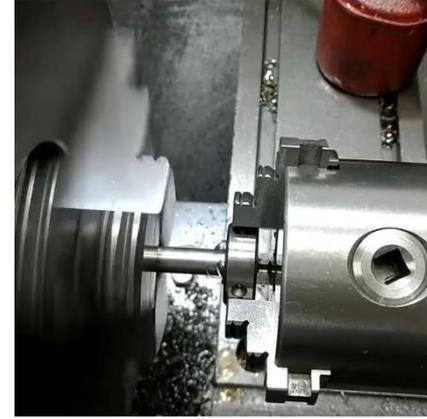
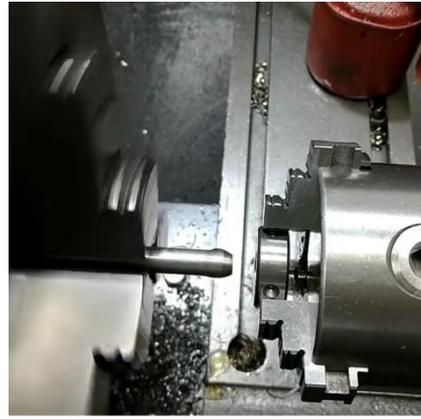


Figure 9-26. Types of dies.

Operação de Roscamento

Rosca externa em torno com cossinete





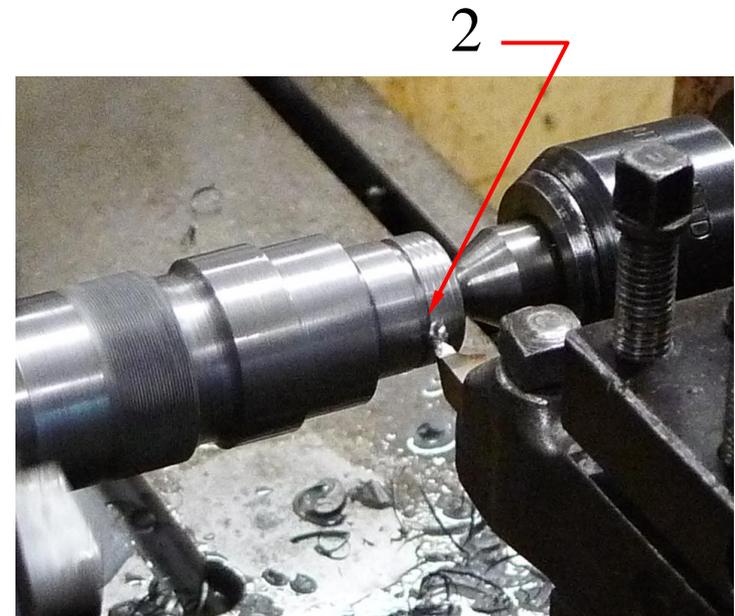
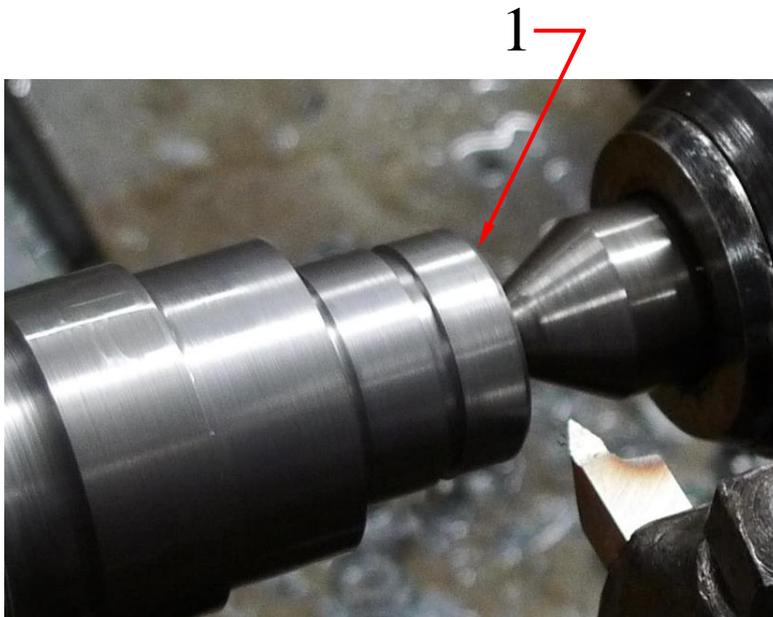
Operação de Roscamento

Considerações de projeto:

1. Chanfrar as extremidades da parte roscada para reduzir rebarbas.
2. Fazer saída de ferramenta para o comprimento da rosca.
3. Use ferramentas padrão para fazer as roscas
4. Não interromper seções roscadas com canais, furos, etc.
5. As paredes das peças devem ser espessas o suficiente para suportar as forças de corte e de fixação.
6. Projete a peça para que se possa completar as operações de corte com um *único set-up*.

Considerações de projeto:

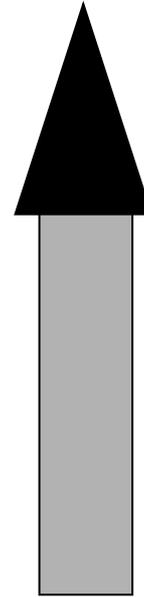
- 1) Chamfrar as extremidades da parte roscada para reduzir rebarbas.
- 2) Fazer saída de ferramenta para o comprimento da rosca.



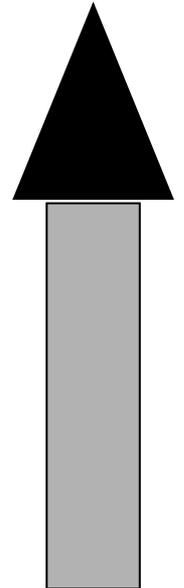
Considerações de projeto:

3. Use ferramentas padrão para fazer as roscas

Escantilhão



$\varepsilon = 55^\circ$
(Whitworth)



$\varepsilon = 60^\circ$
(Métrica)

4. Não interromper seções roscadas com canais, furos, etc.

Figura 1 apresenta o rasgo de chaveta na extremidade de um eixo

No caso apresentado na Figura 2, o rasgo de chaveta foi cortado após a fabricação da rosca

Figura 1



Figura 2





OPERAÇÃO DE RECARTILHAMENTO

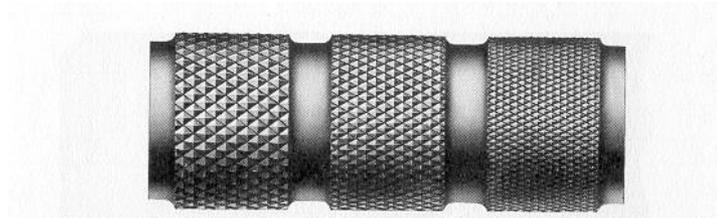


OPERAÇÃO DE RECARTELAJAMENTO

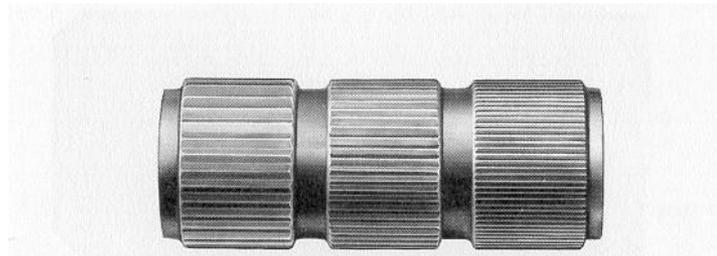
- Usado para criar padrão de textura rugosas em superfícies cilíndricas
- Feitas em peças onde há necessidade de atrito maior (manopla ,etc.)

OPERAÇÃO DE RECARTEILHAMENTO

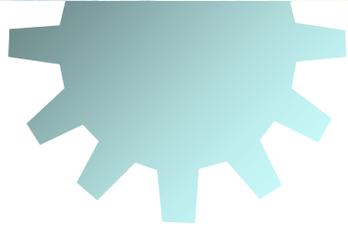
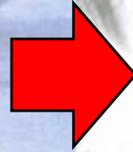
- Tipos:
- Recartilhamento Angular
 - cria um padrão de ranhuras piramidal
- Recartilhamento linear
 - cria um padrão de ranhuras longitudinais retas



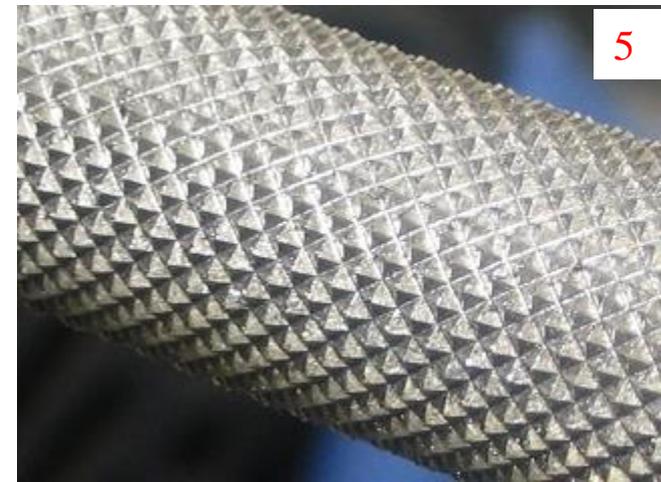
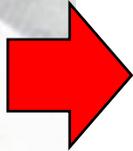
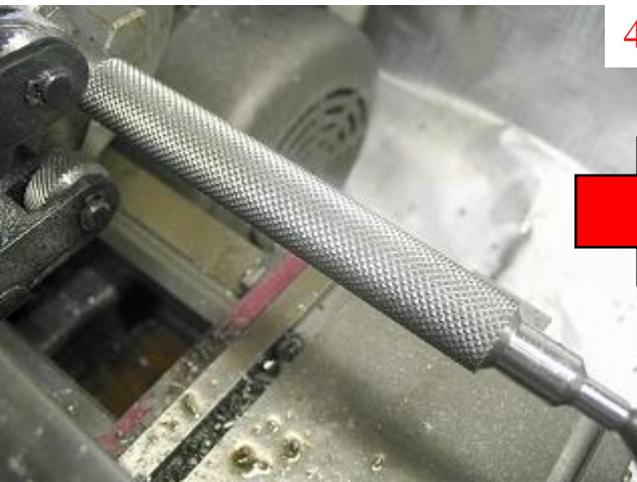
Padrões de recartilhamento cruzados grande, médio e fino



Padrões de recartilhamento paralelos com passo grande, médio e fino



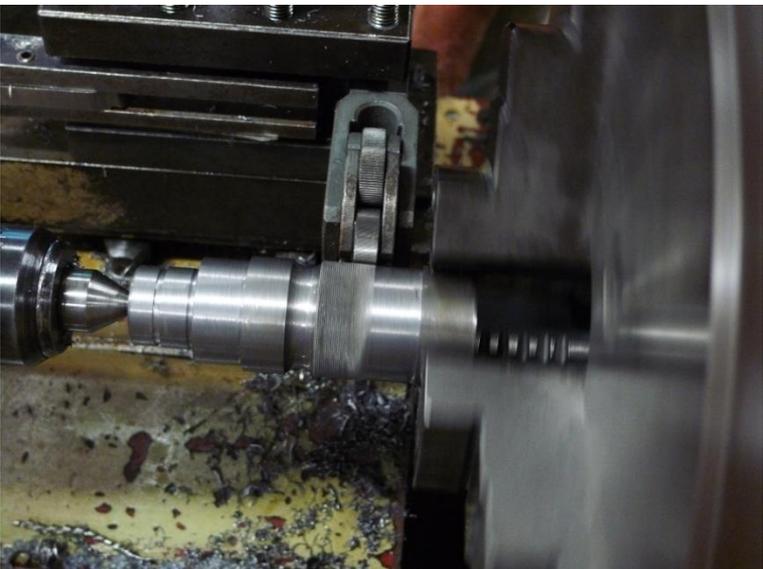
Operação de Recartilhamento



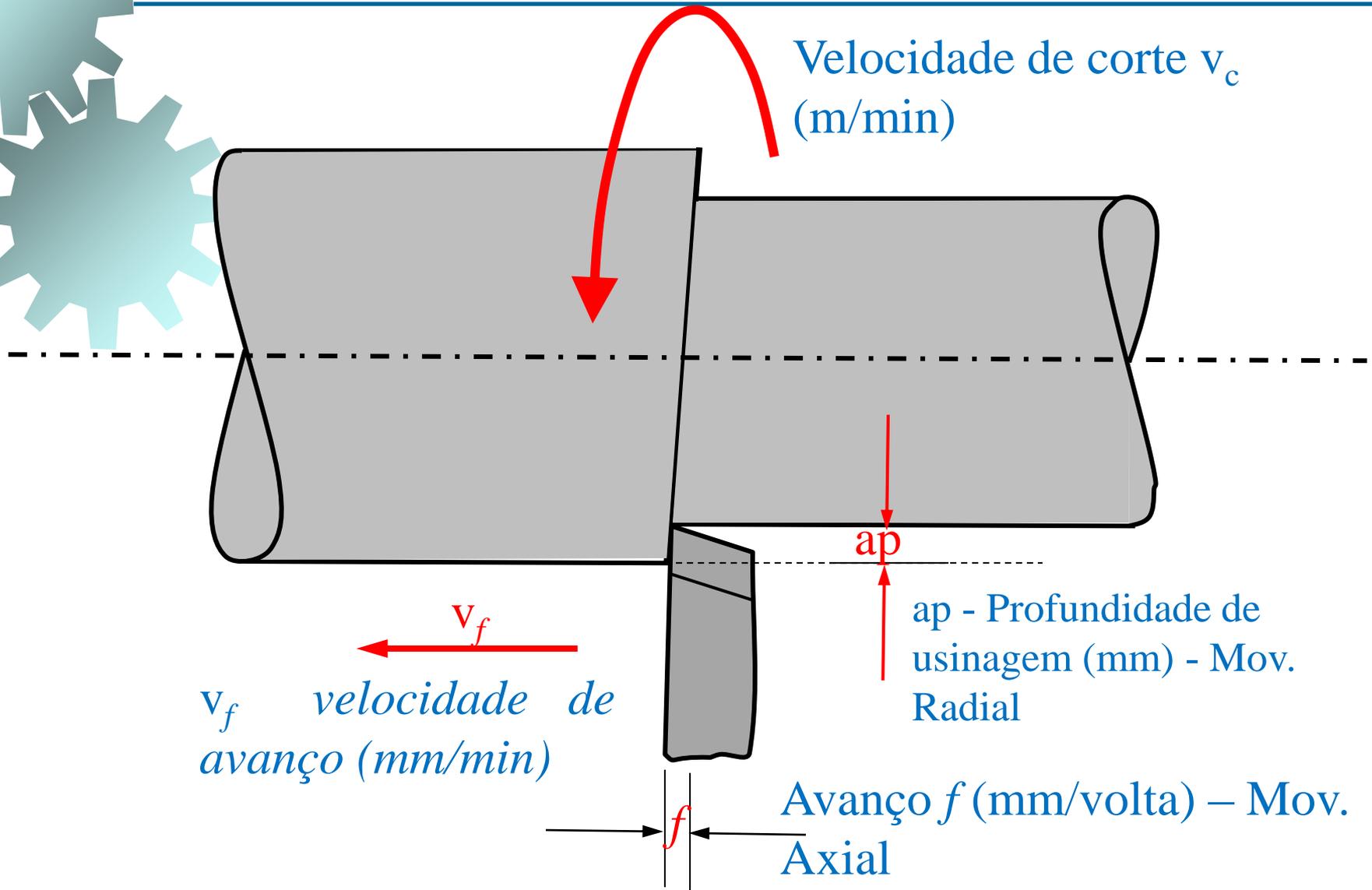
Operação de recartilamento



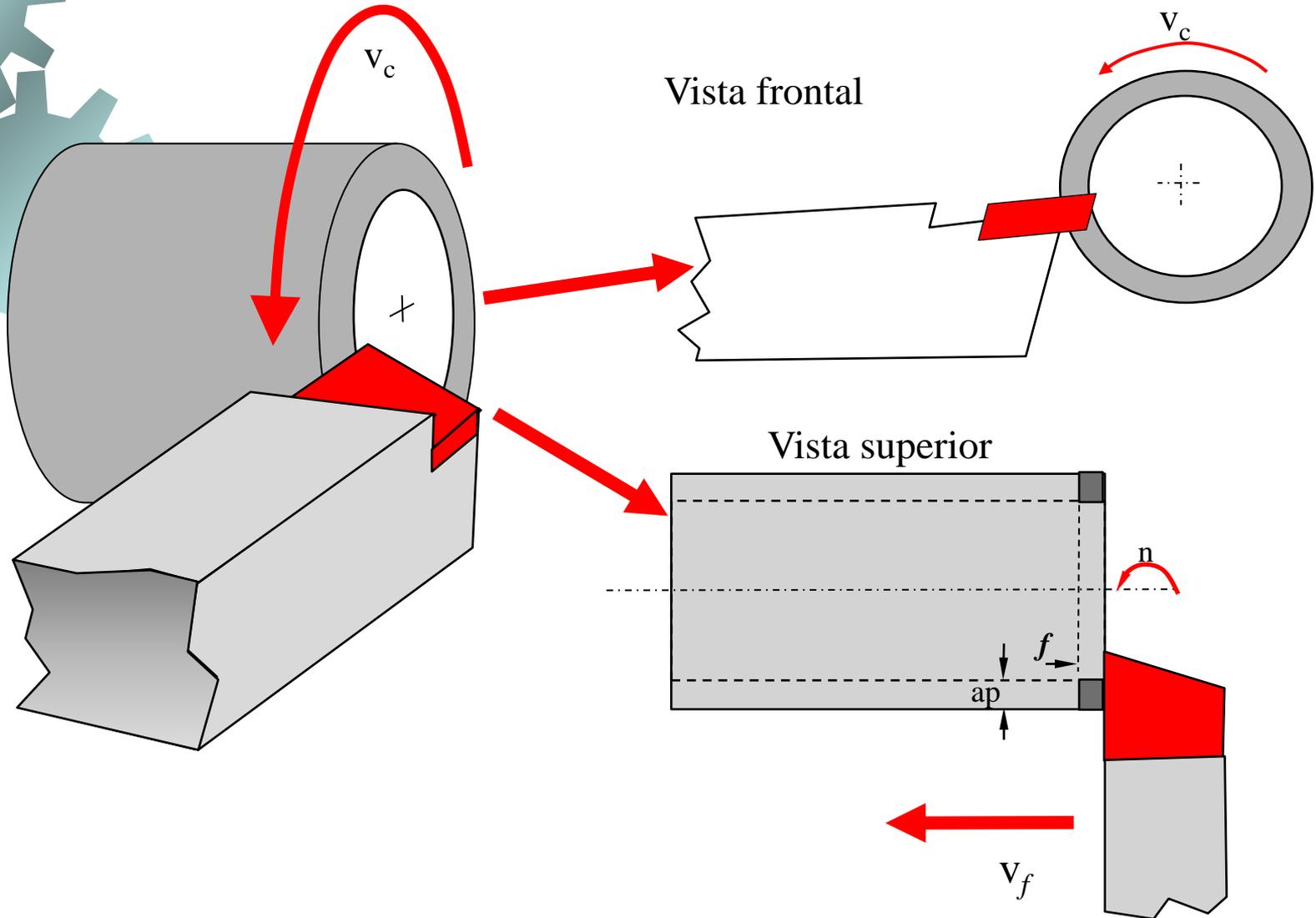
Operação de recartilhamento seqüência



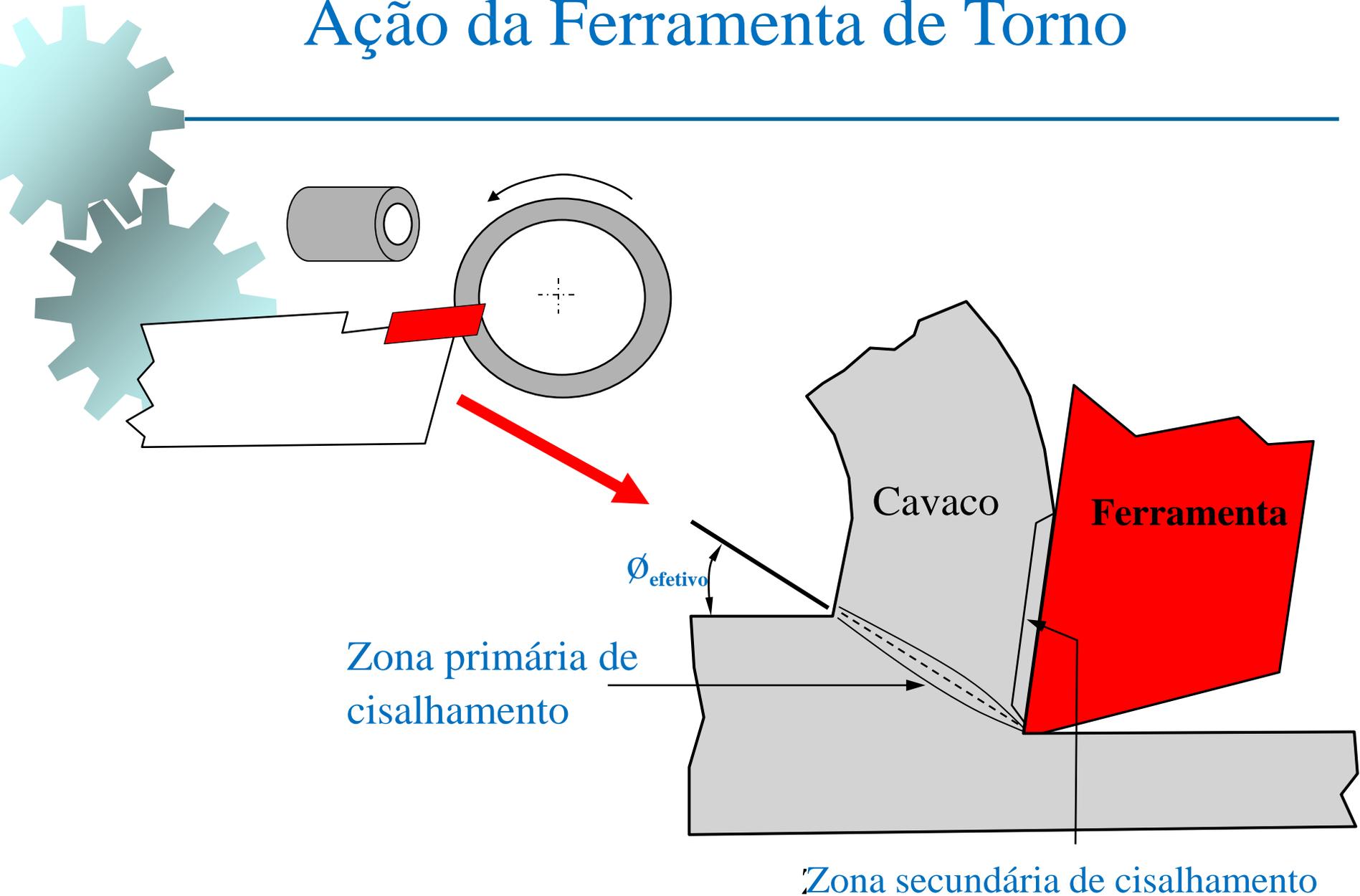
Ação da Ferramenta de Torno



Ação da Ferramenta de Torno



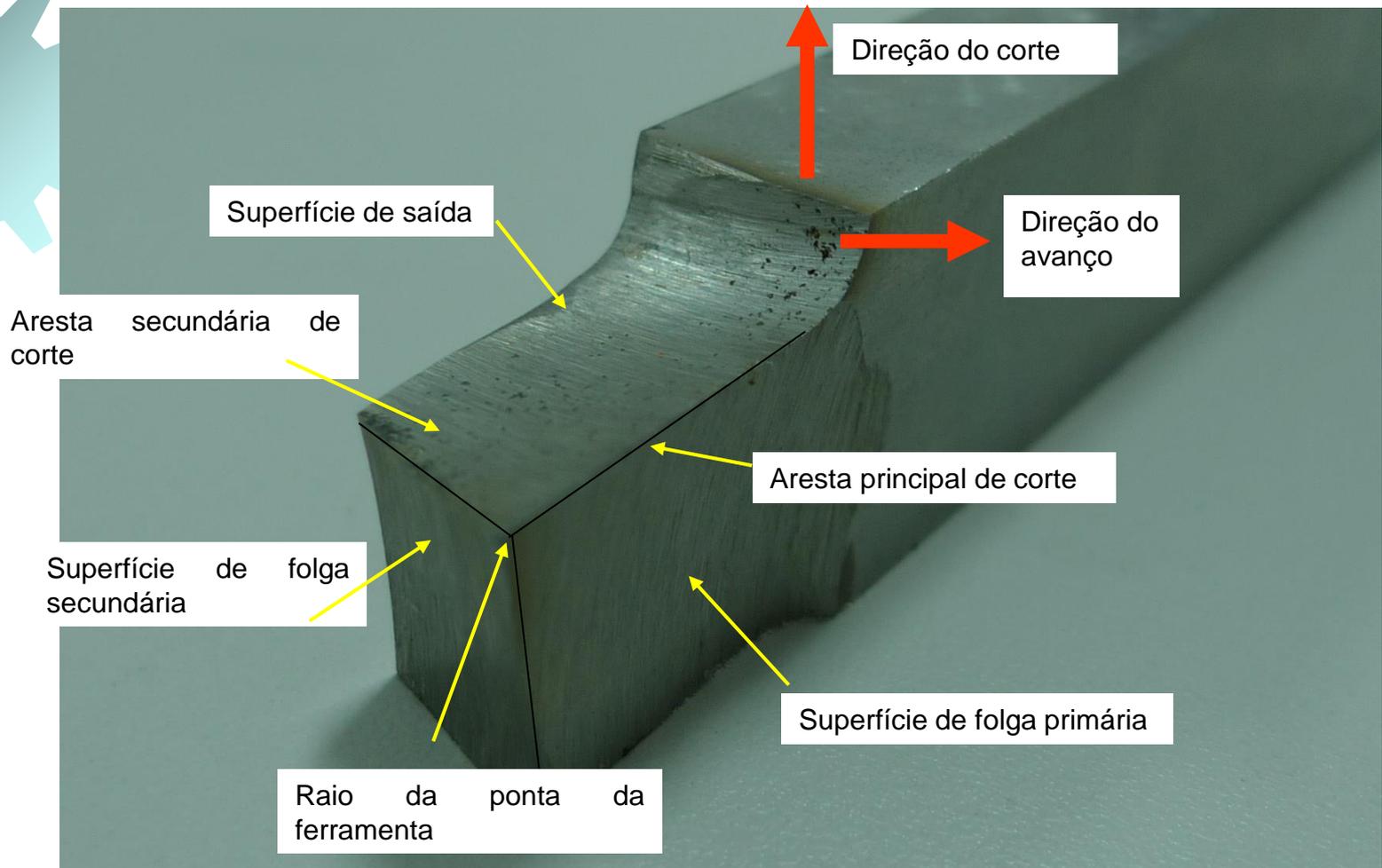
Ação da Ferramenta de Torno





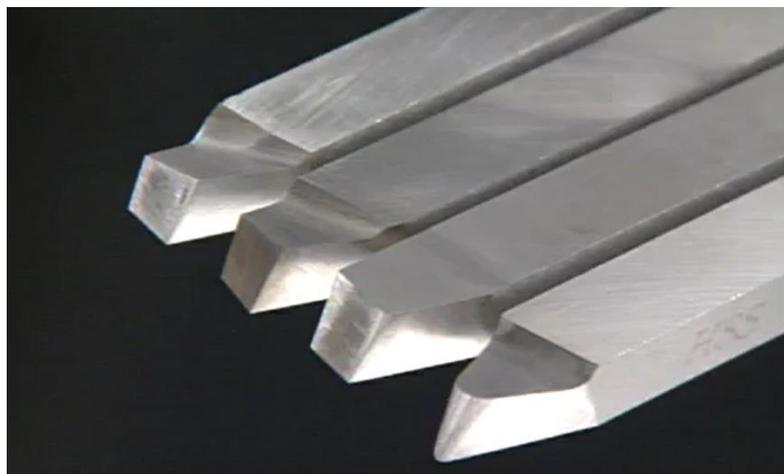
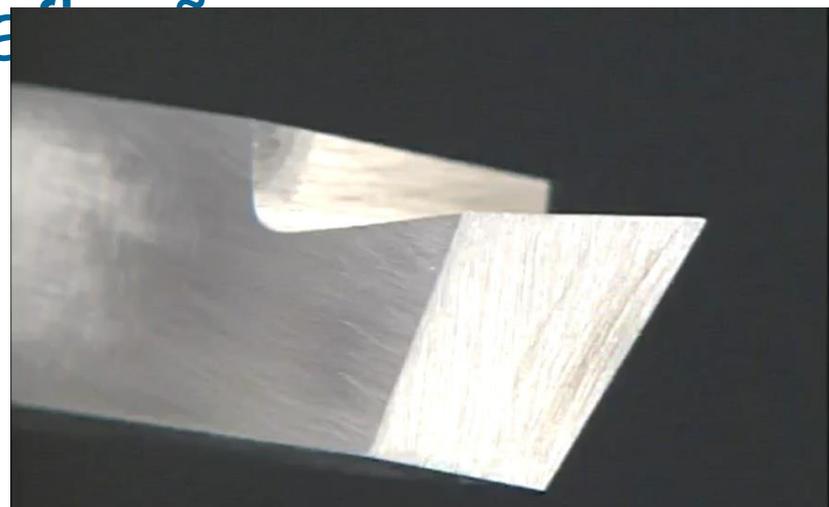
Influência da Geometria no Mecanismo de Corte

Geometria da Cunha cortante

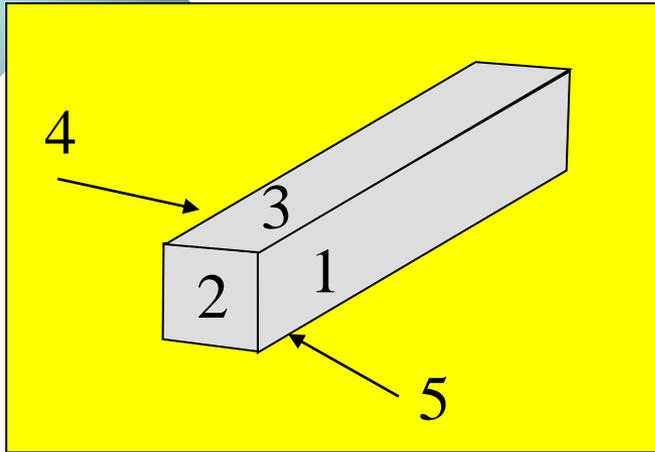


Construção dos ângulos da Ferramenta

Bits de Aço rápido: diferentes

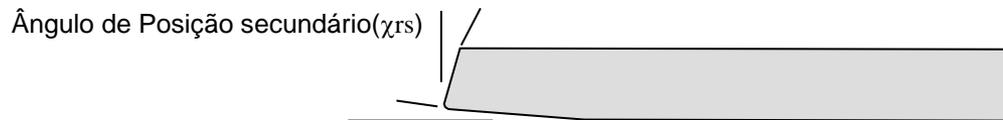


Construção dos ângulos da Ferramenta



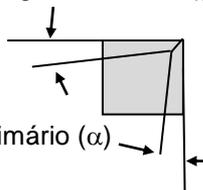
Somente as faces no. 1, 2 e 3 que são trabalhadas

Material	Ângulo posição primário (χ_r)	Ângulo posição primário (χ_s)	Ângulo de saída (γ)	Ângulo Inclinação (χ_r)
Alumínio	12°	8°	16°	35°
Latão	10°	8°	5° → -4°	0°
Bronze	10°	8°	5° → -4°	0°
FoFo	10°	8°	16°	5°
Cobre	12°	10°	20°	16°
Aço	12°	8°	16°	8° → 15°
Aço ferramenta	10°	8°	12°	8°
Aço inox	10°	8°	15° → 20°	8°



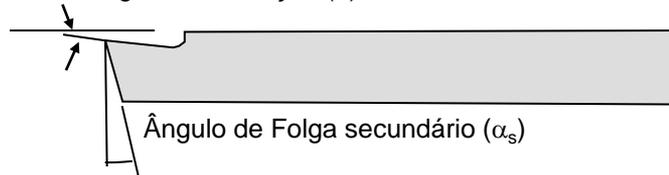
Ângulo de Posição primário (χ_r)

Ângulo de Saída (γ)



Ângulo de Folga primário (α)

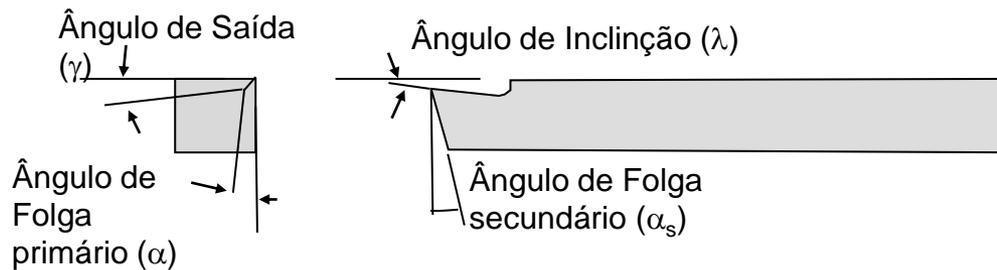
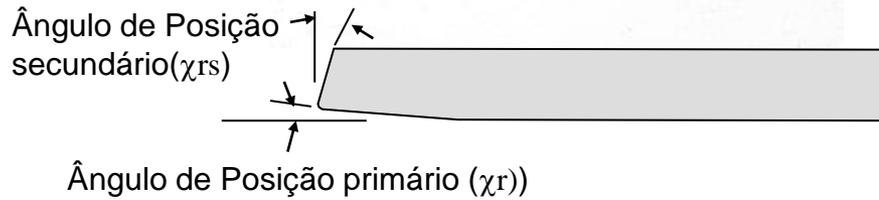
Ângulo de Inclinação (λ)



Ângulo de Folga secundário (α_s)

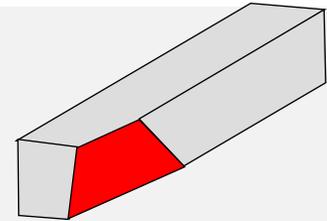


Construção dos ângulos da Ferramenta

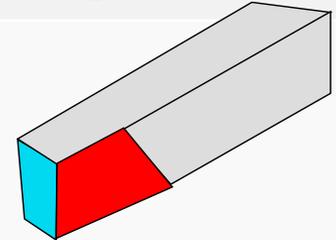


Sequencia de afiação

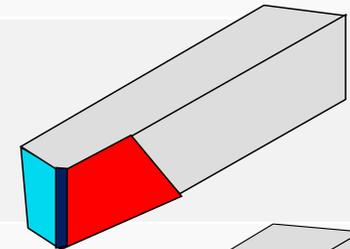
Ângulo de posição primário (χ_r) e de folga primário (α)



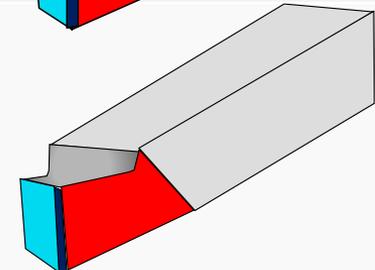
Ângulo de posição secundário (χ_{rs}) e de folga secundário (α)



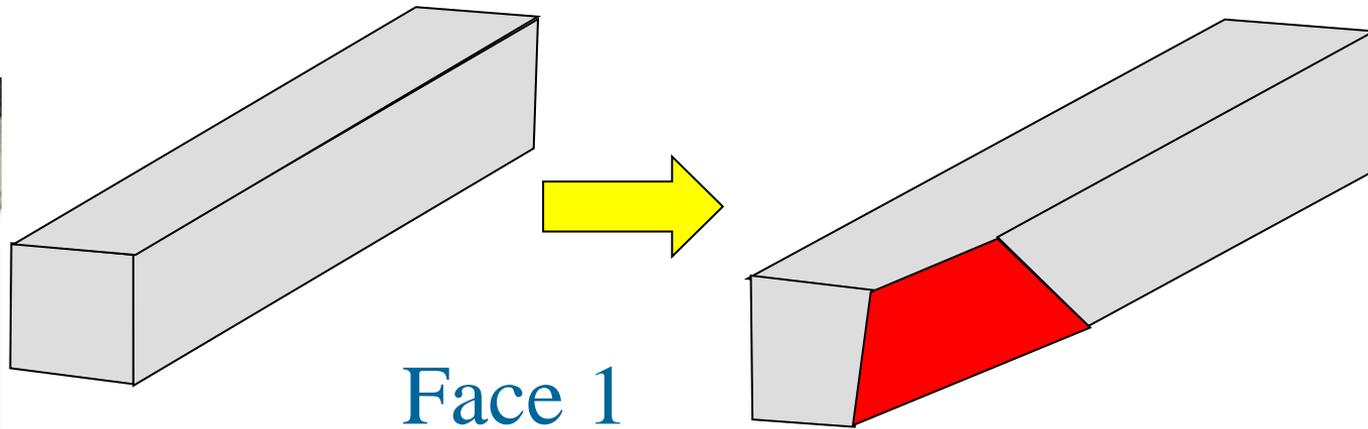
Raio de ponta



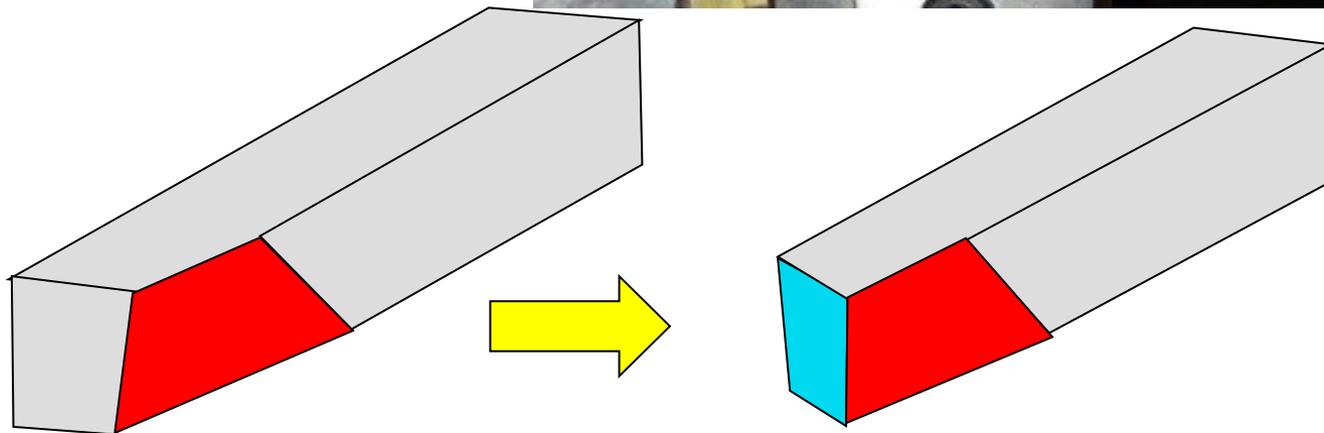
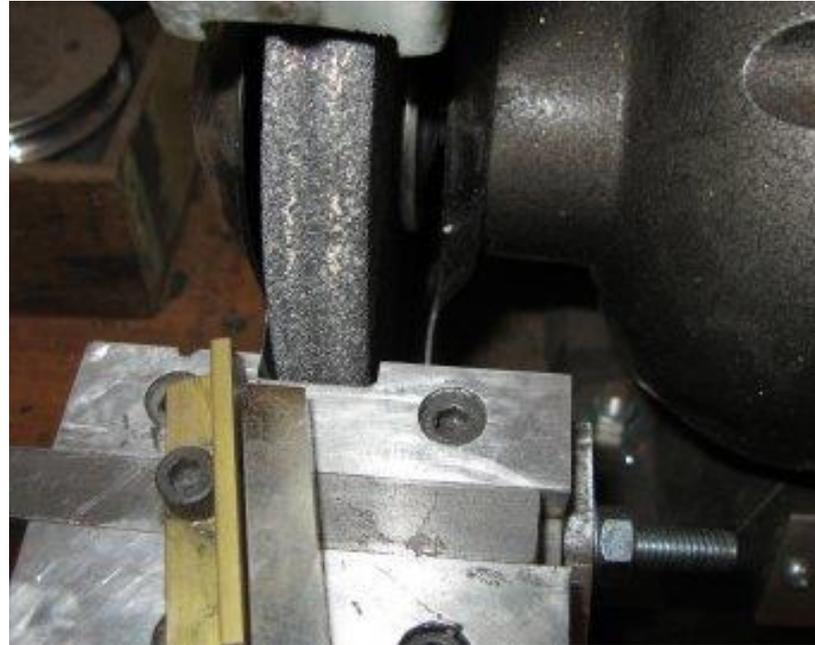
Ângulos de saída (γ) e de inclinação (λ)



Construção dos ângulos da Ferramenta

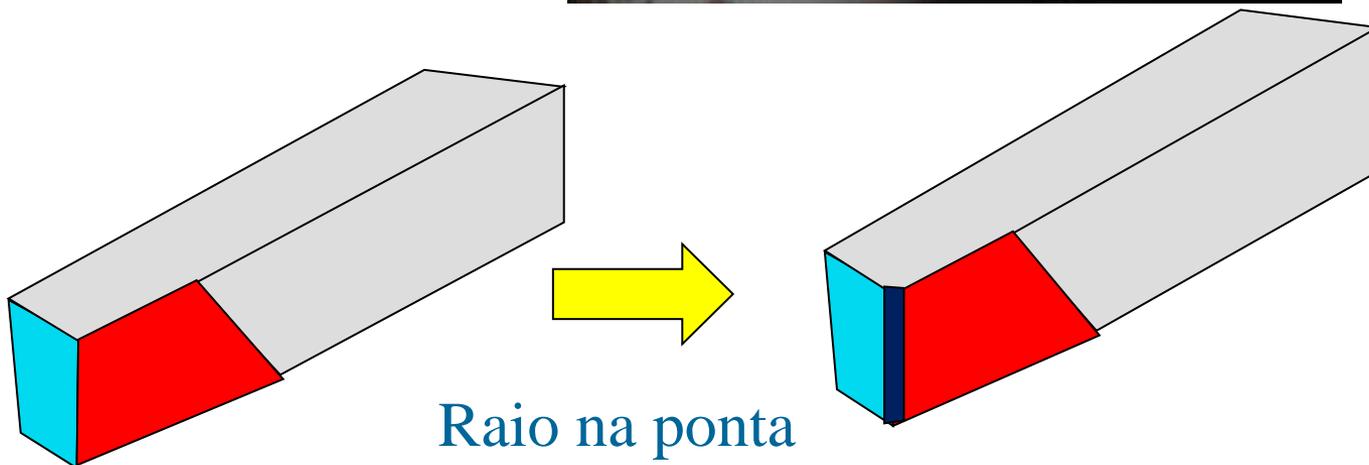


Construção dos ângulos da Ferramenta



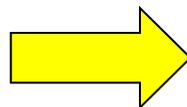
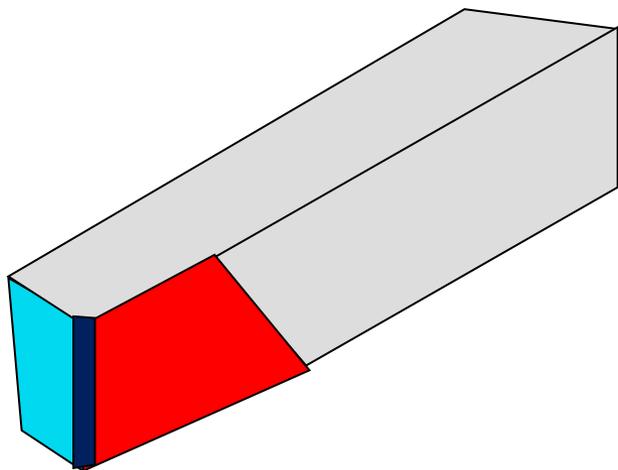
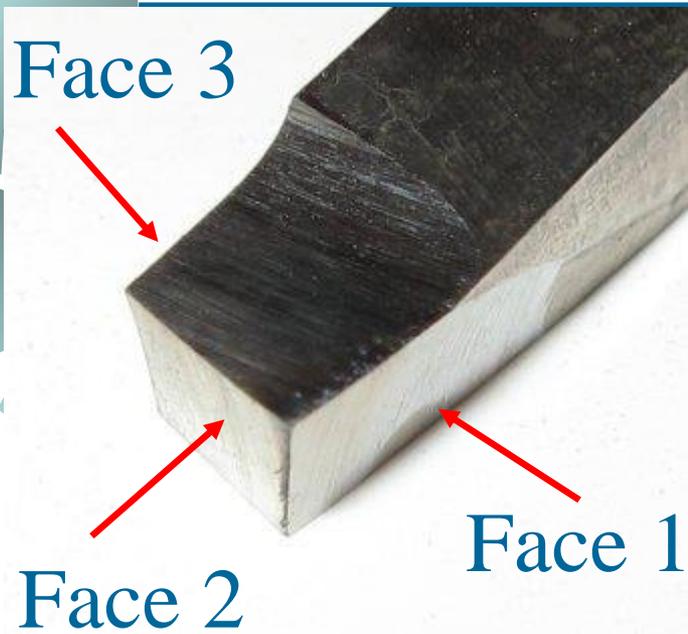
Face 2

Construção dos ângulos da Ferramenta

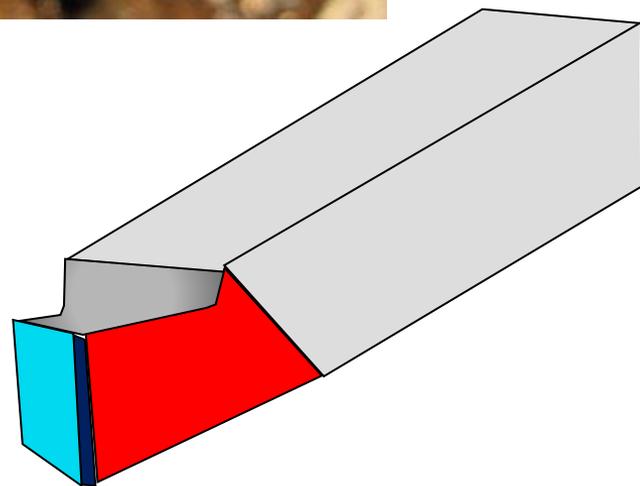


Raio na ponta

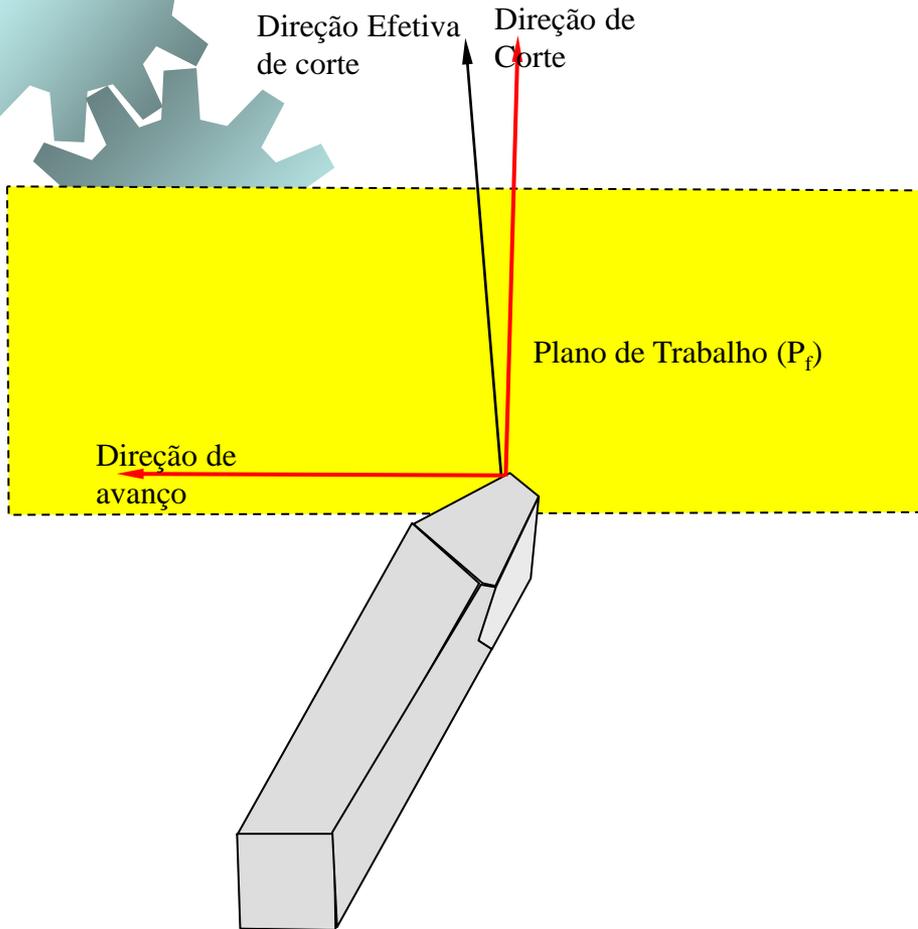
Construção dos ângulos da Ferramenta



Face 3



Sistema de Referência de Ferramenta

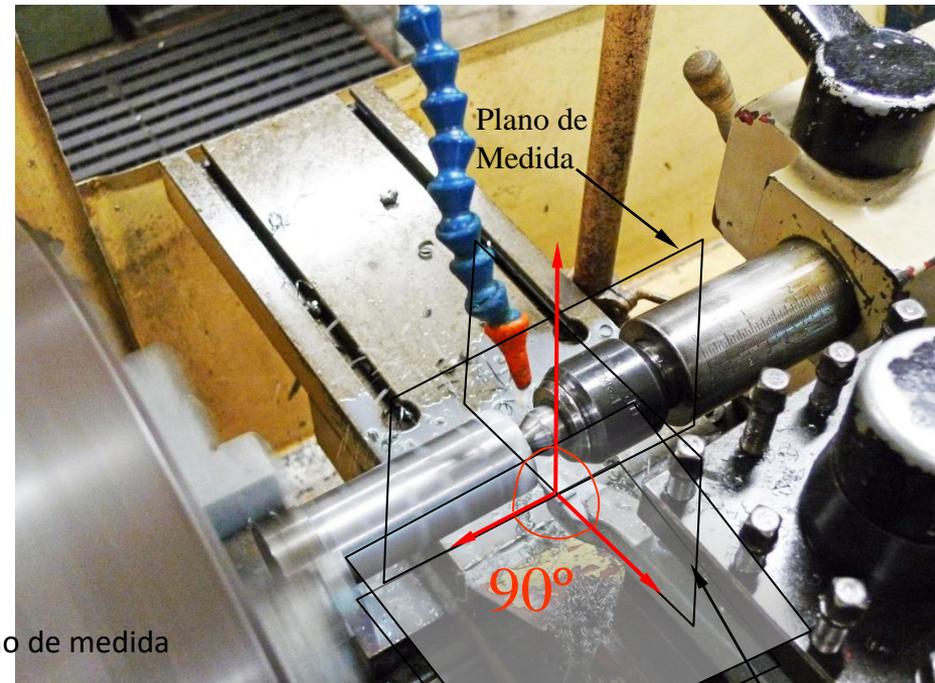
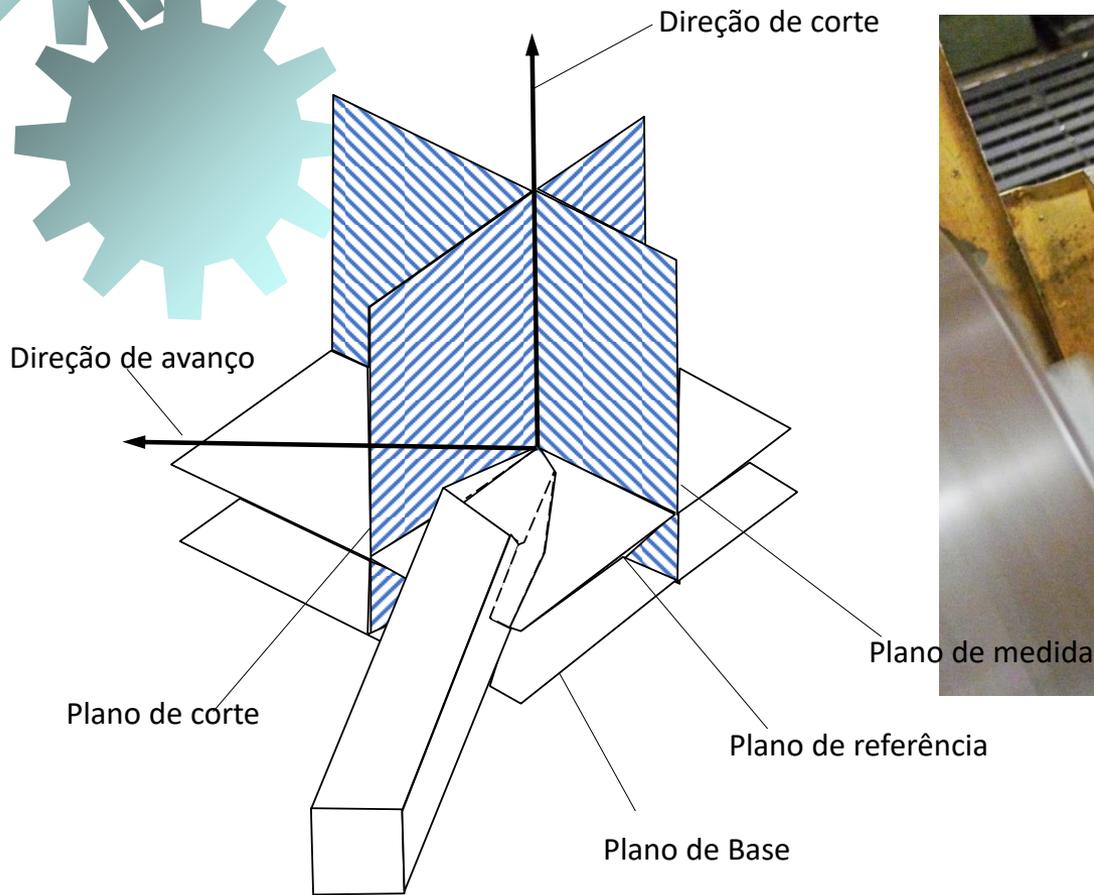


Sistema Efetivo de referência de uma ferramenta de torno



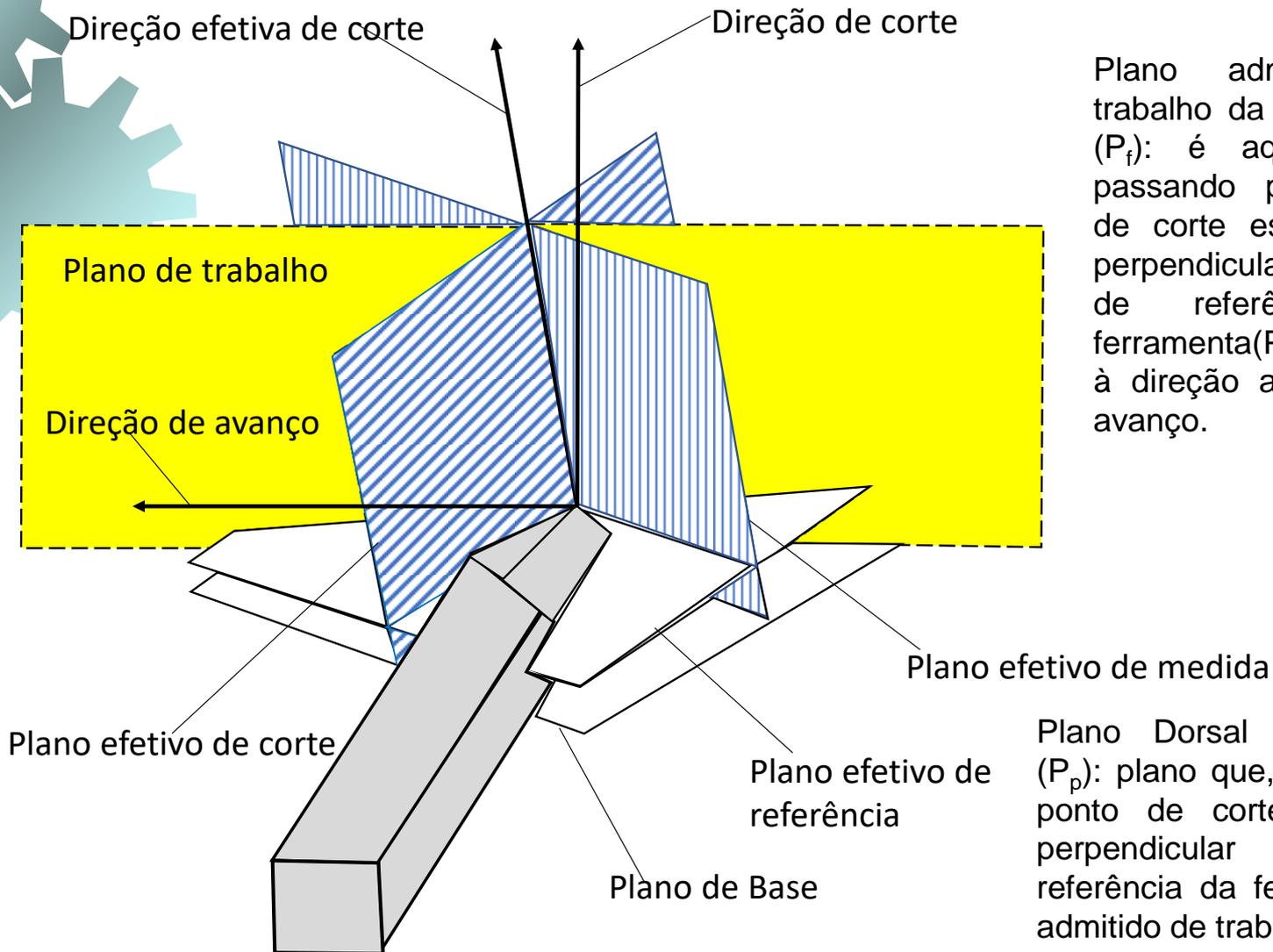
Plano admitido de trabalho da ferramenta (P_f): é aquele que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular ao plano de referência da ferramenta (P_r), paralelo à direção admitida de avanço.

Sistema de Referência de Ferramenta



Sistema de referência de uma ferramenta de torno

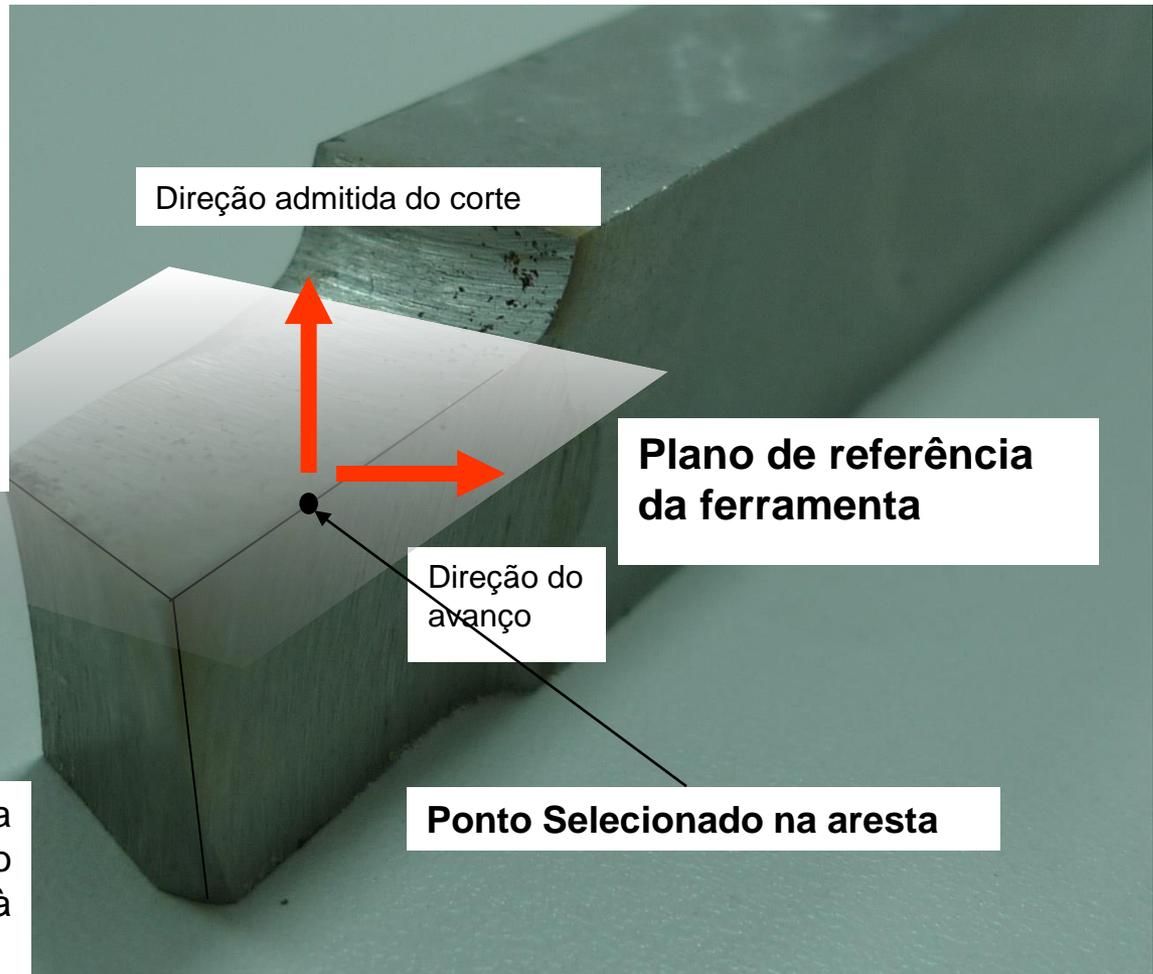
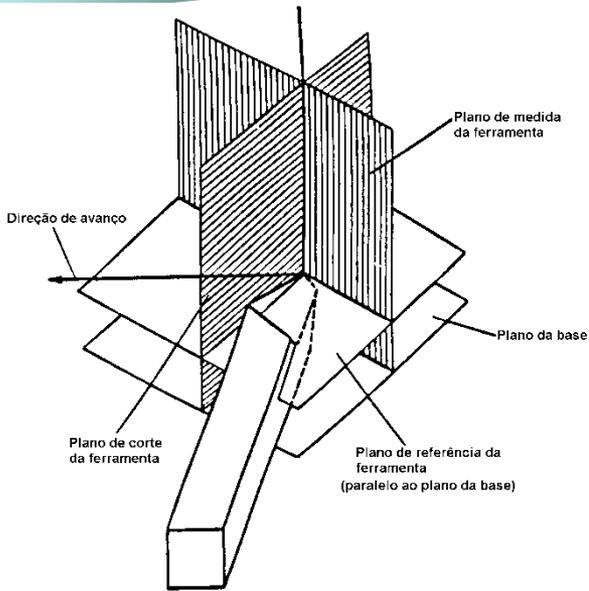
Sistema de Referência de Ferramenta



Plano admitido de trabalho da ferramenta (P_f): é aquele que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular ao plano de referência da ferramenta (P_r), paralelo à direção admitida de avanço.

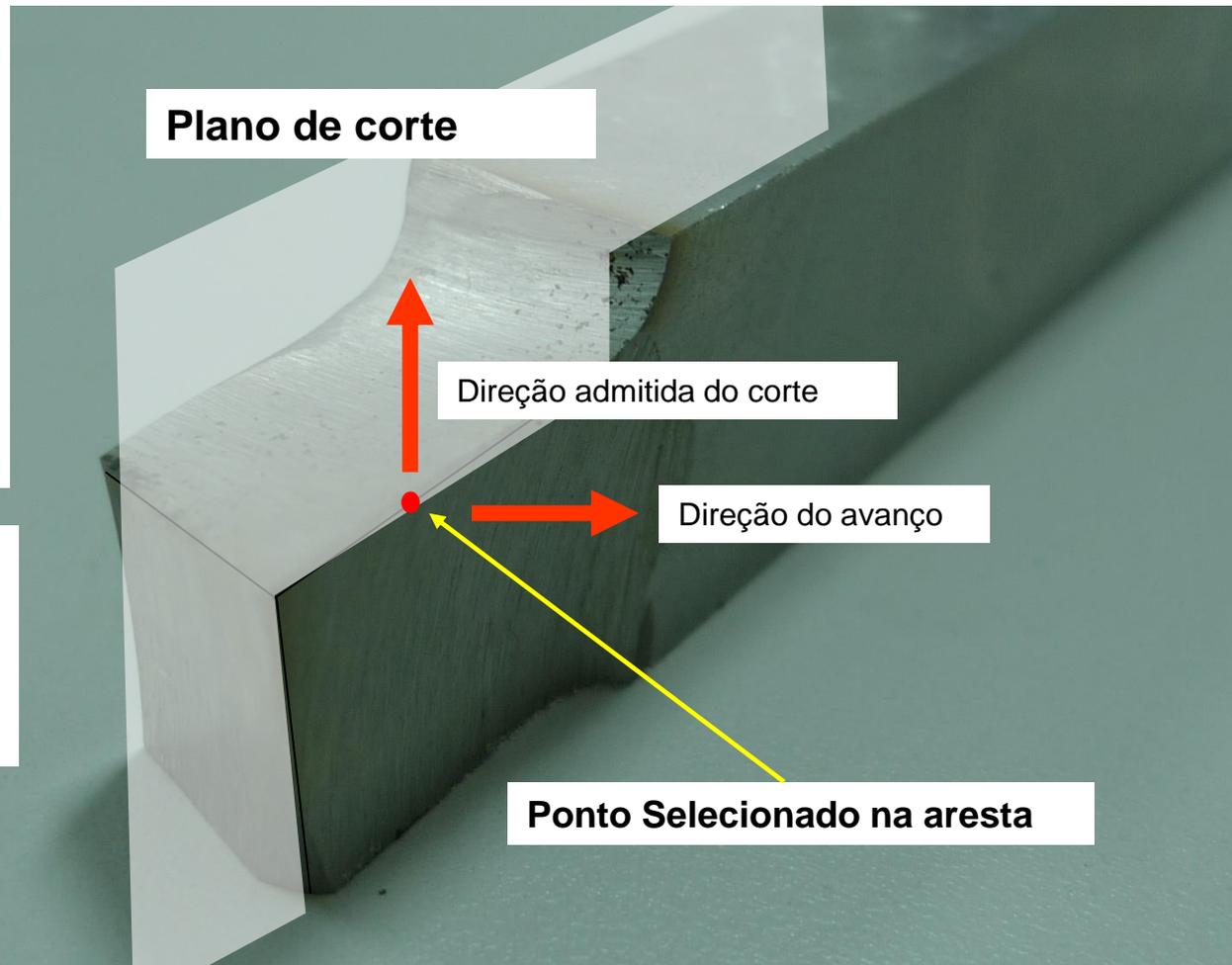
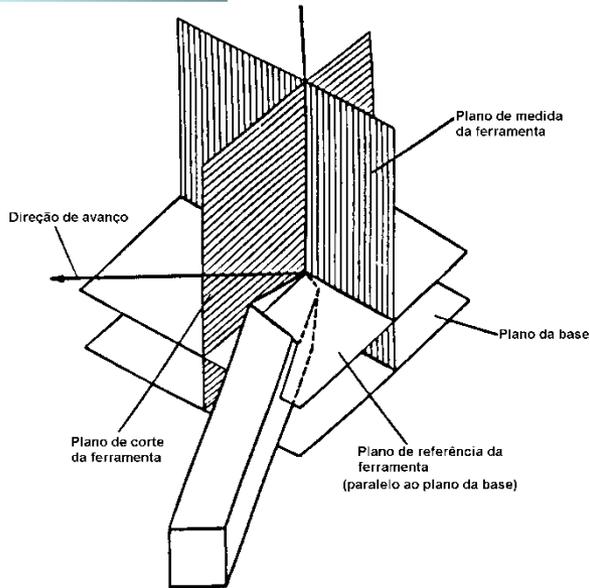
Plano Dorsal da ferramenta (P_p): plano que, passando pelo ponto de corte escolhido, é perpendicular ao plano de referência da ferramenta (P_r), e admitido de trabalho.

Sistema de Referência de Ferramenta



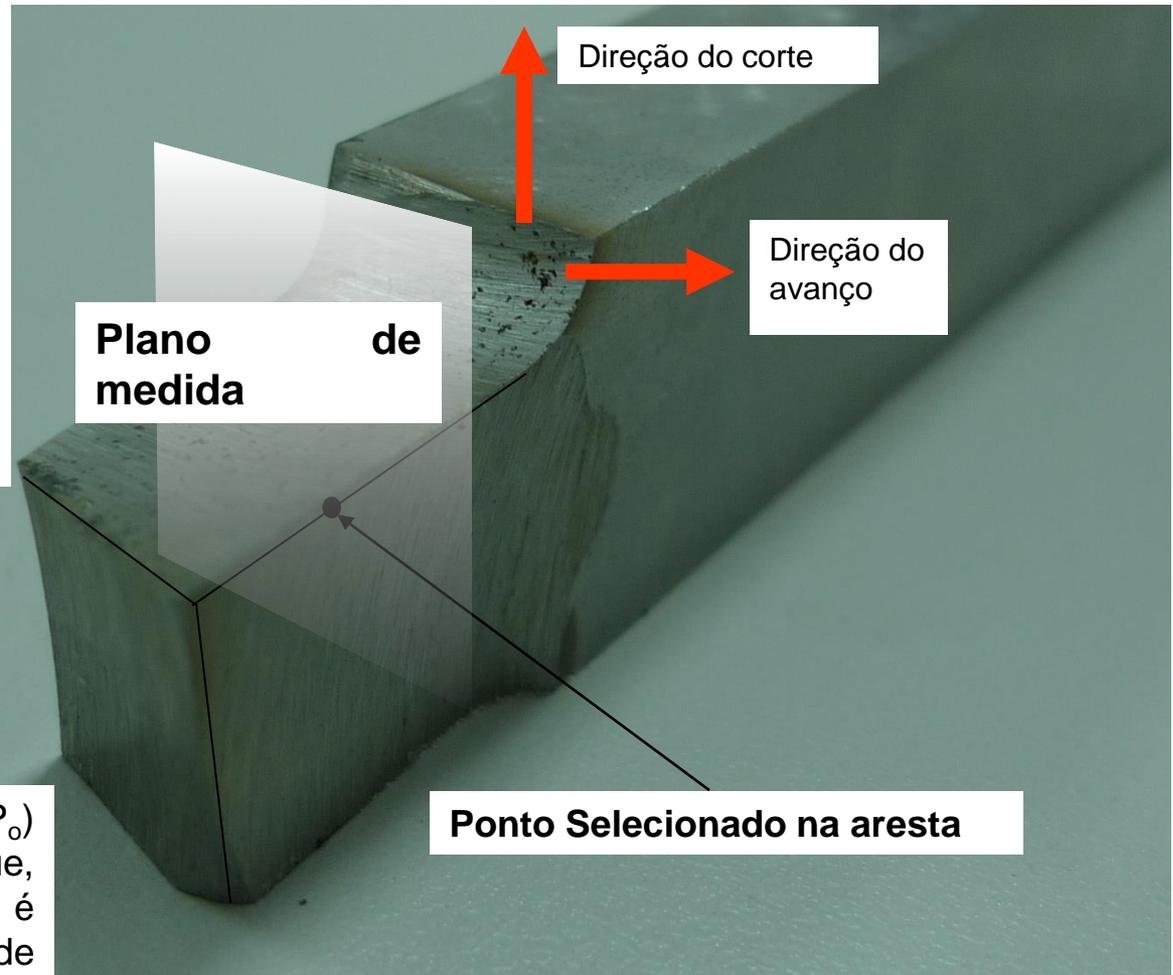
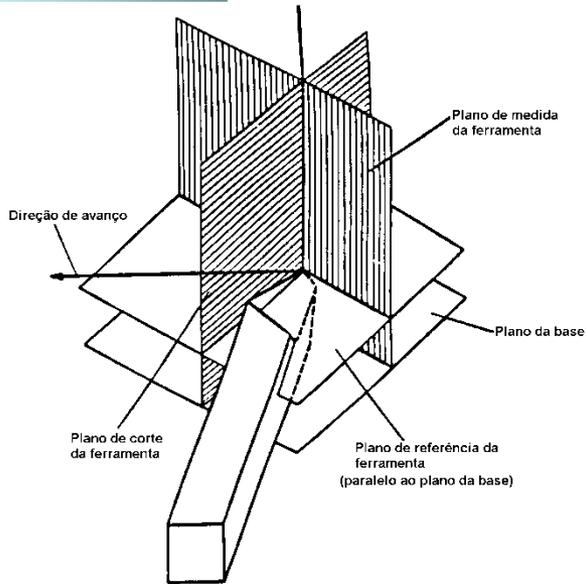
Plano de referência da ferramenta (P_r): é o plano que, passando pelo ponto escolhido, é perpendicular à direção admitida de corte

Sistema de Referência de Ferramenta



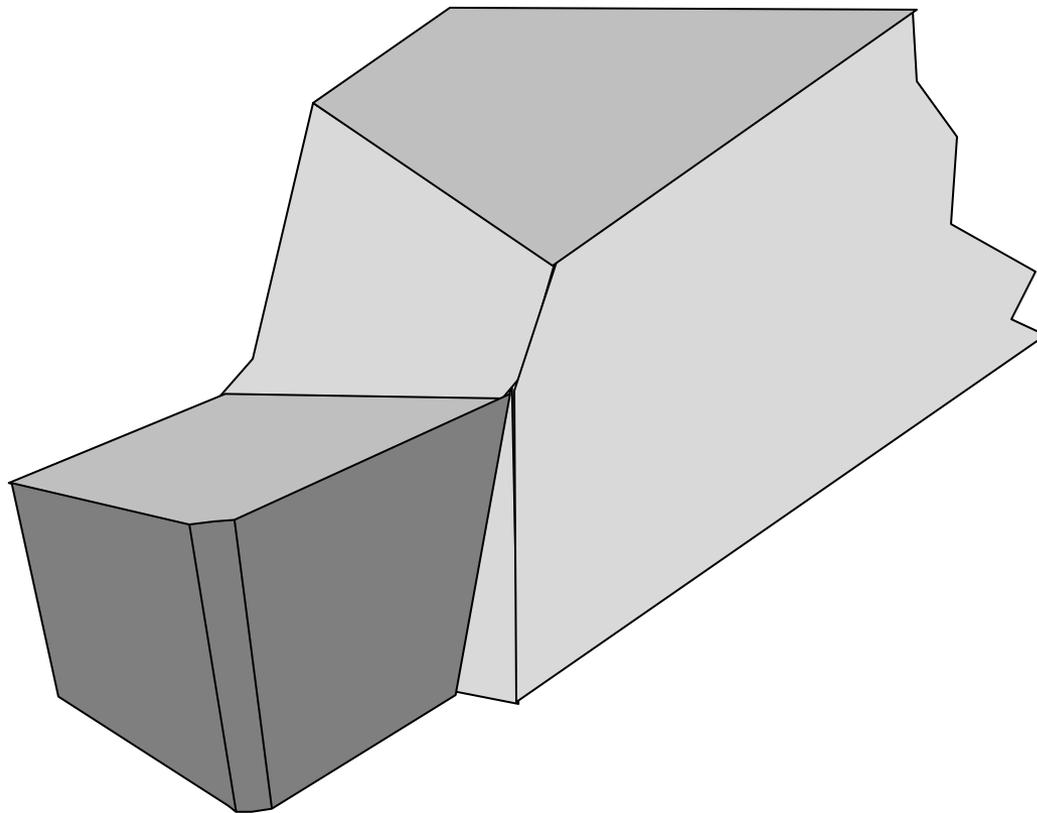
Plano de corte (P_s) da ferramenta: é o plano que, passando pelo ponto escolhido, é tangente ou contém a aresta de corte e é perpendicular ao plano de referência da ferramenta

Sistema de Referência de Ferramenta

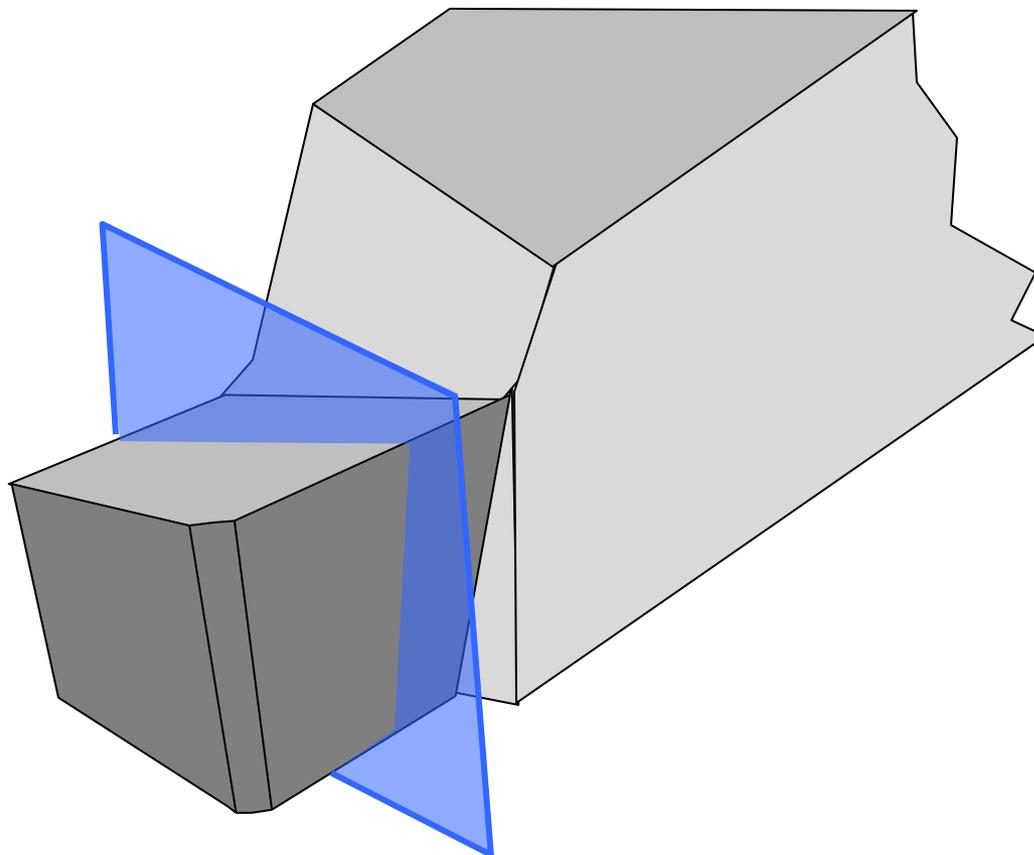


Plano de medida ou ortogonal (P_o) da ferramenta: é o plano que, passando pelo ponto escolhido, é perpendicular aos planos de referência e de corte da ferramenta

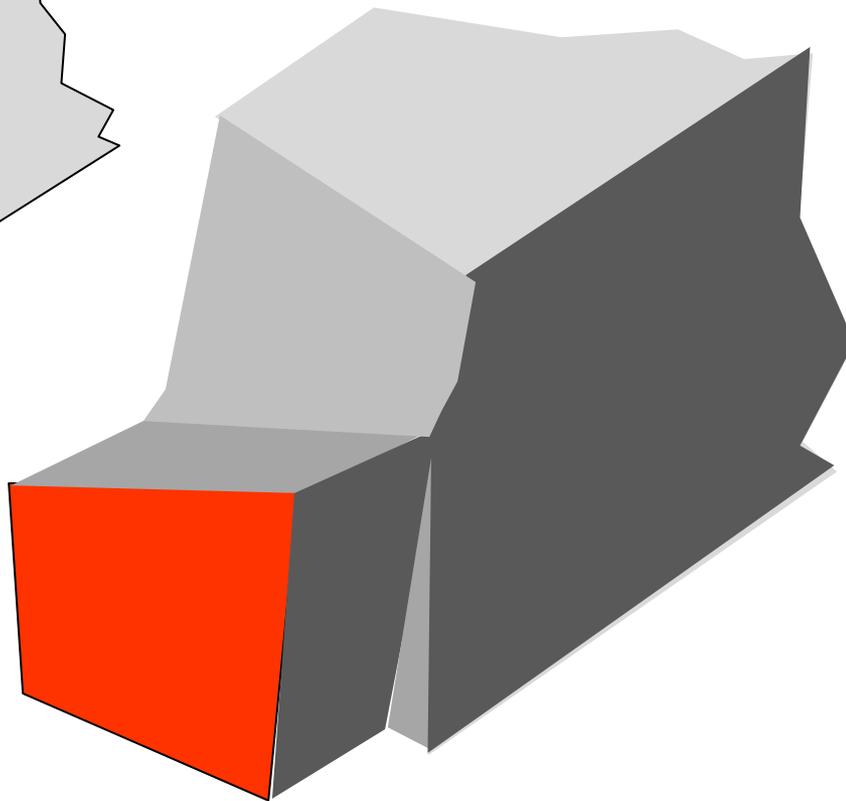
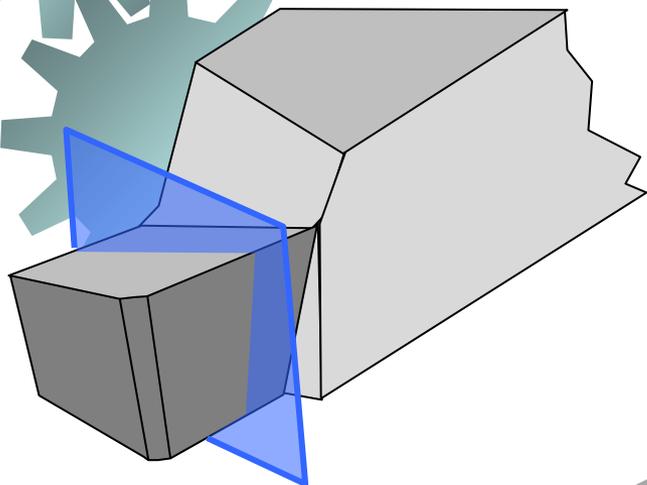
Sistema de Referência de Ferramenta



Sistema de Referência de Ferramenta



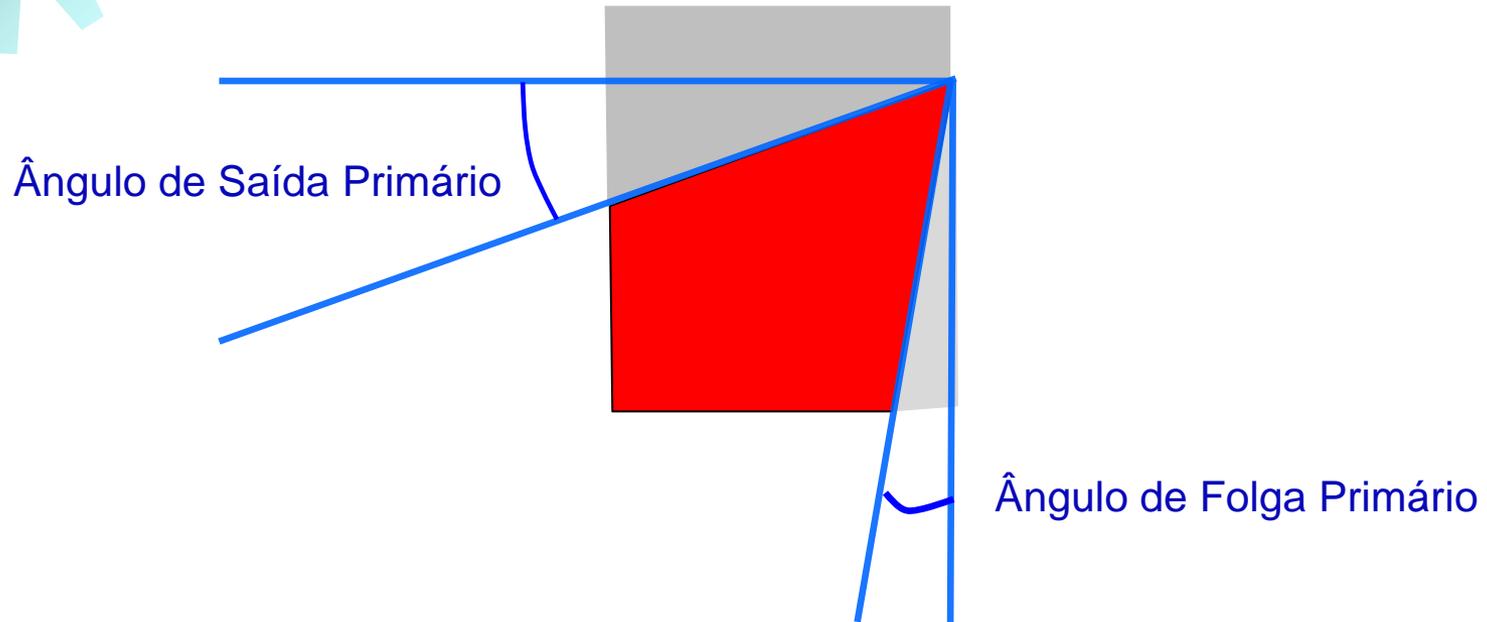
Sistema de Referência de Ferramenta



Sistema de Referência de Ferramenta

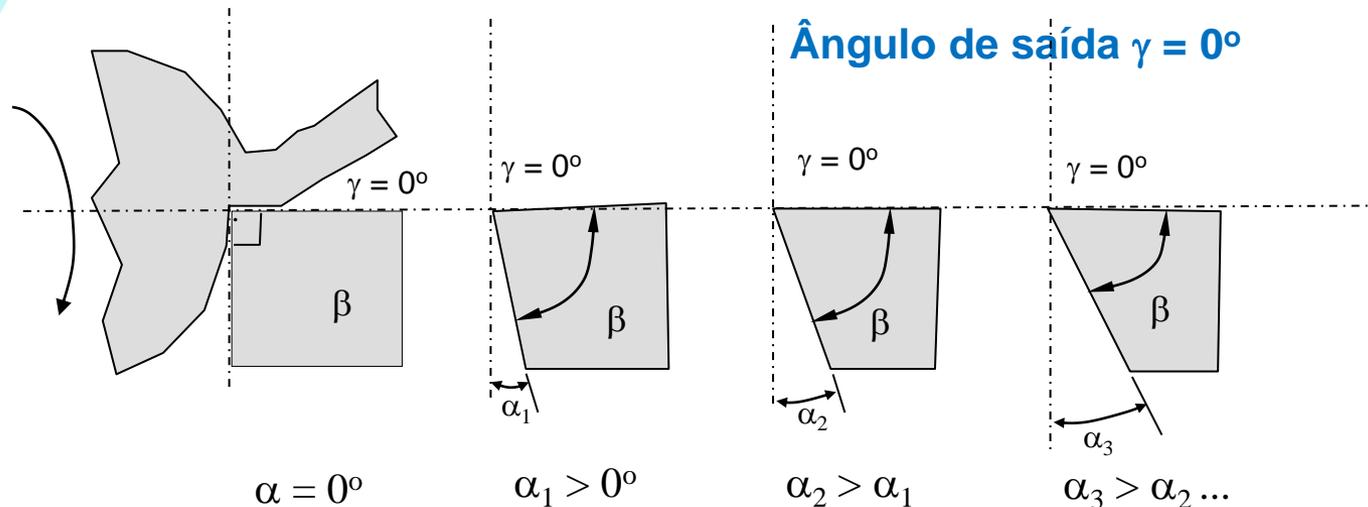
γ : Ângulo de Saída Primário

α : Ângulo de Folga Primário



Influência da Geometria

α – ângulo de folga, ele pode gerar maior ou menor atrito entre a superfície de folga e a superfície recém formada e pode melhorar a estabilidade da aresta. Geralmente varia de 2° a 12°



Menor atrito Superfície formada/ Superfície Folga

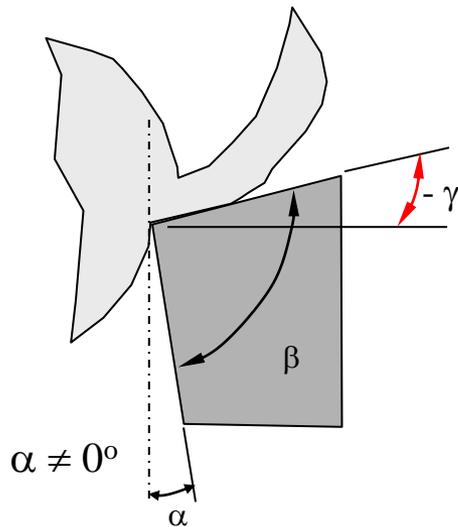
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Influência da Geometria

γ – ângulo de saída, afeta a formação do cavaco, diminuindo ou aumentando o atrito do cavaco com a superfície de saída, resultando em mudança no ângulo do plano de cisalhamento. Isso implica em redução ou aumento nas forças de corte. Geralmente varia de -10° a 20°

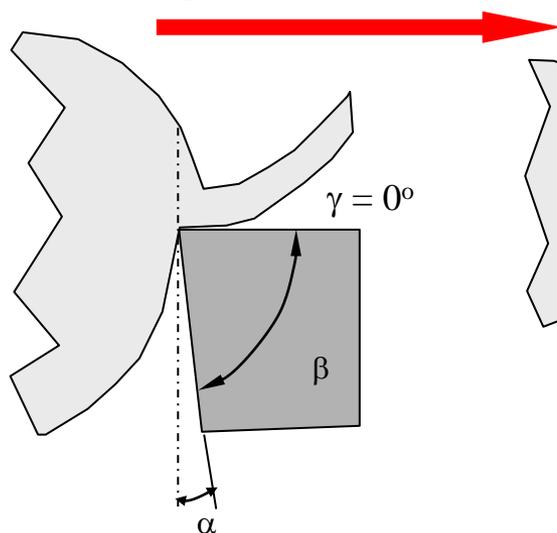
Menor atrito Cavaco/Superfície Saída

$\gamma = \text{negativo}$

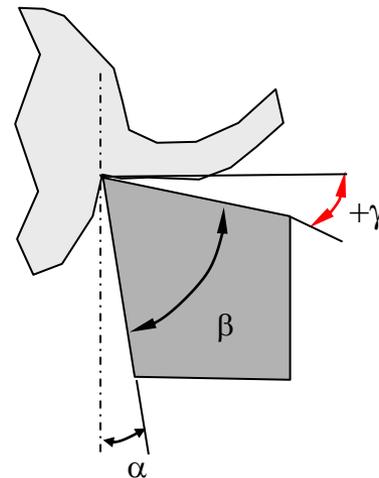


$\alpha = \text{constante}$

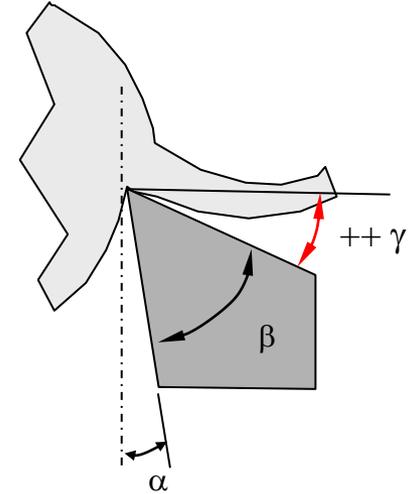
$\gamma_1 = 0^\circ$



$+\gamma_1$

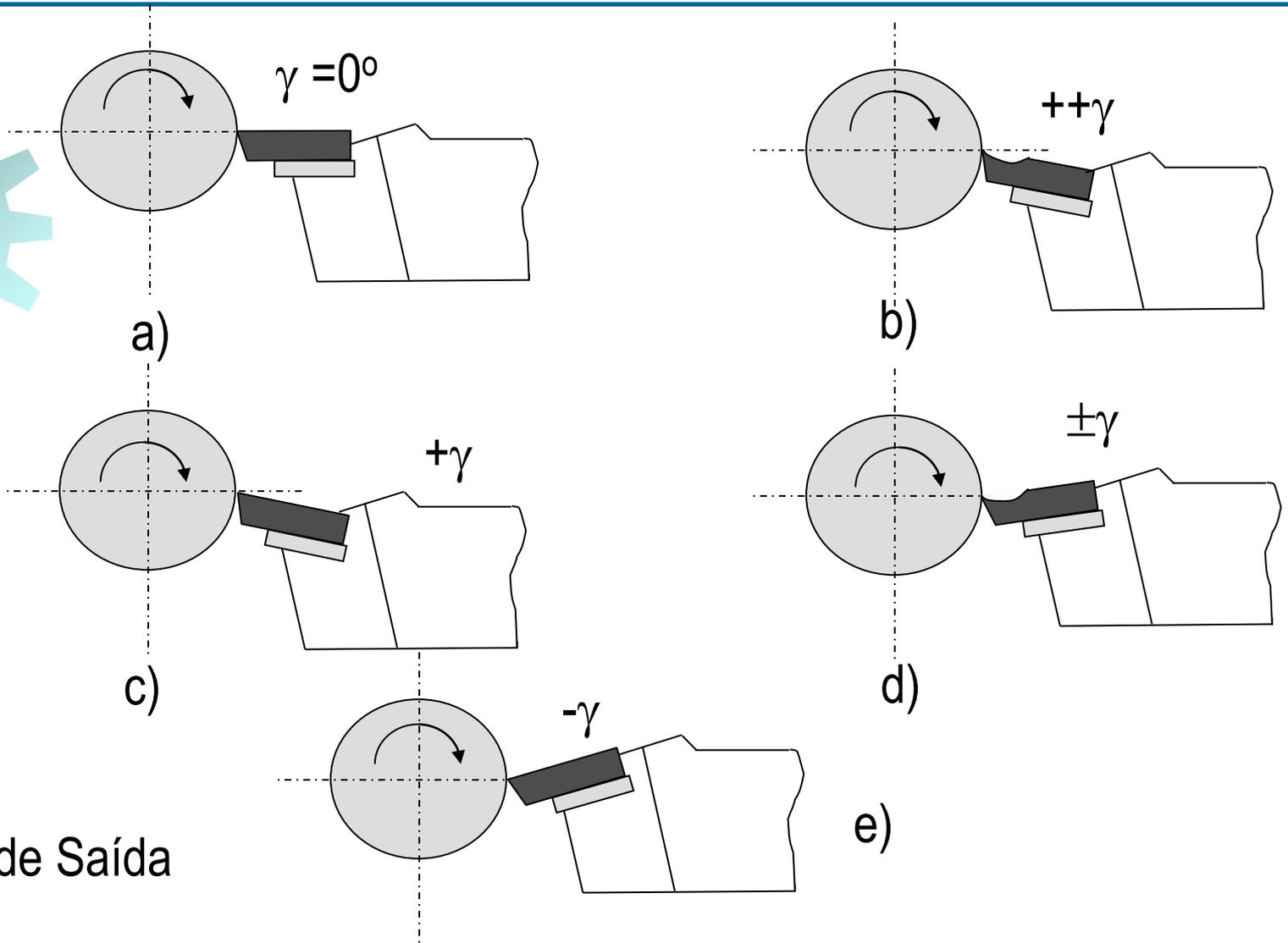


$++\gamma_1$



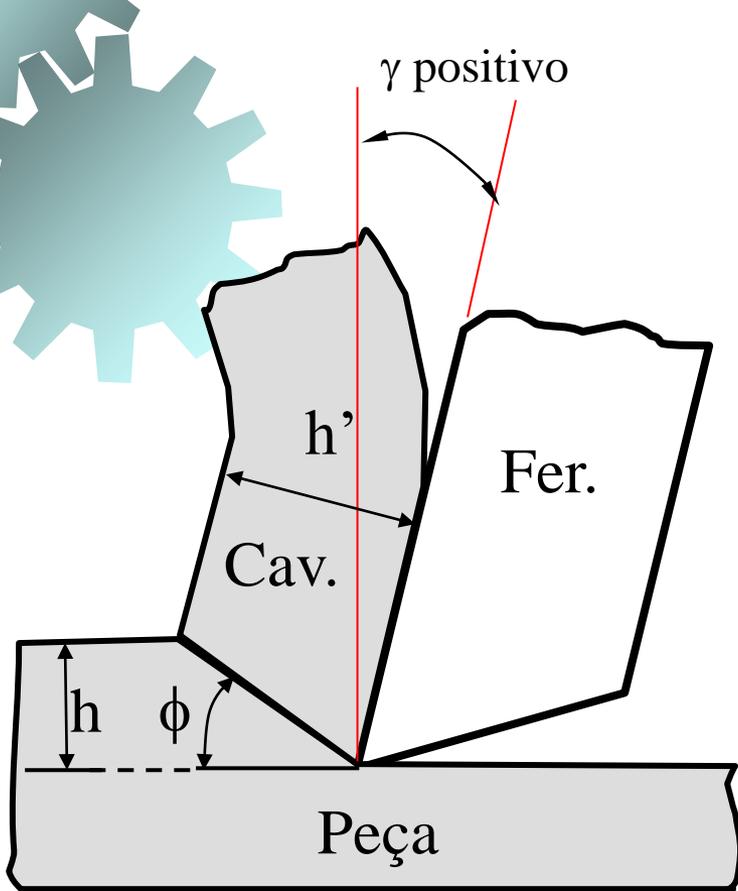
$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Influência do ângulo de saída

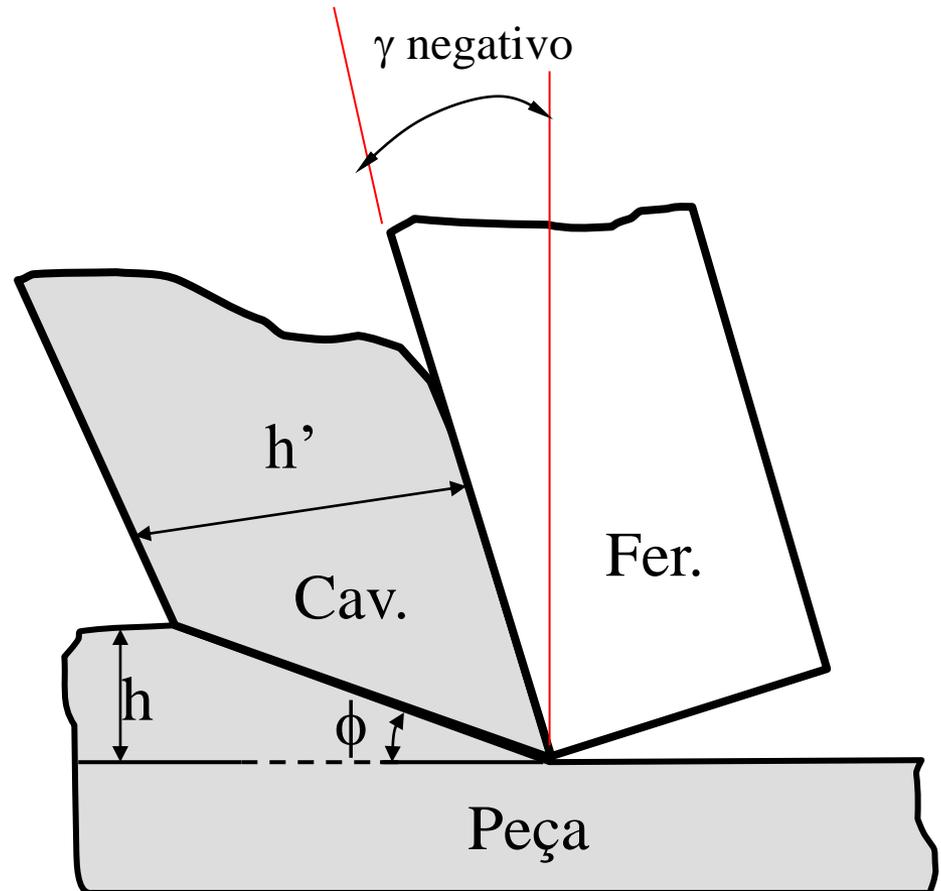


Ângulo de Saída

Influência do Ângulo de Saída



Recalque

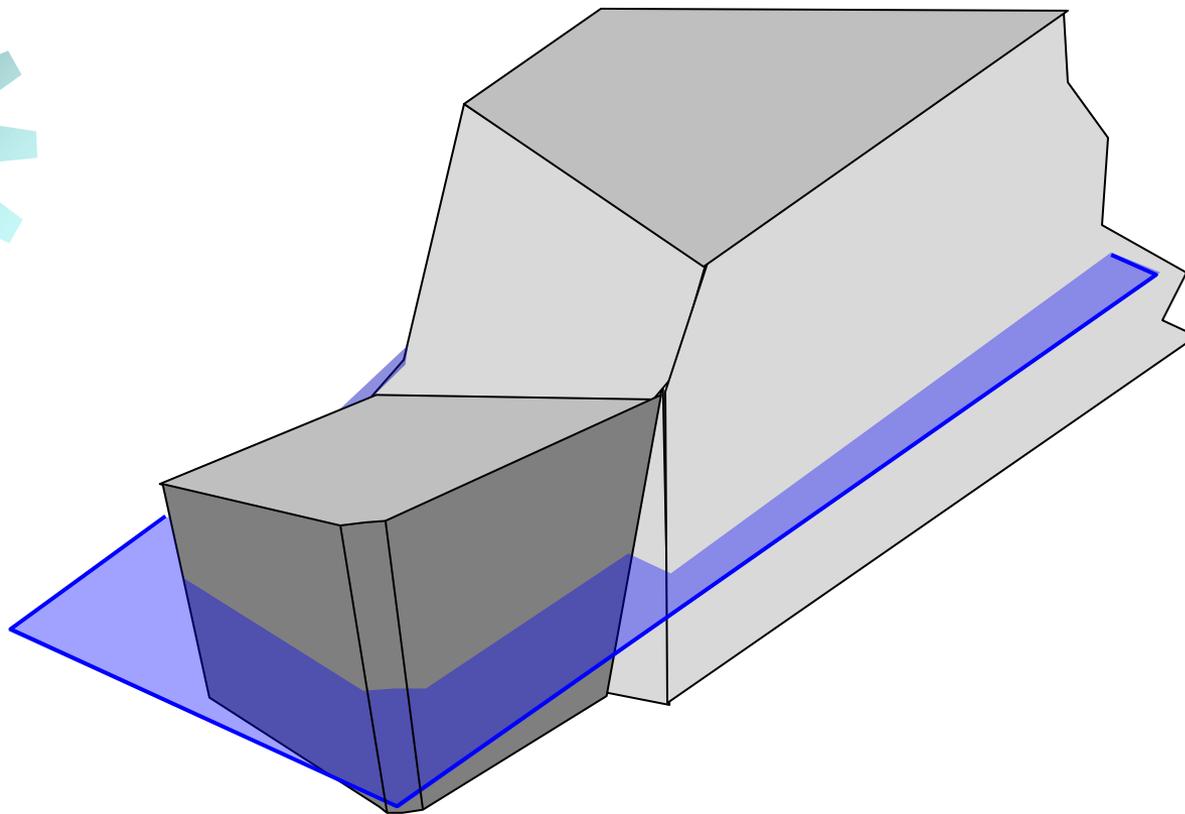


$$Rc = \frac{h'}{h}$$

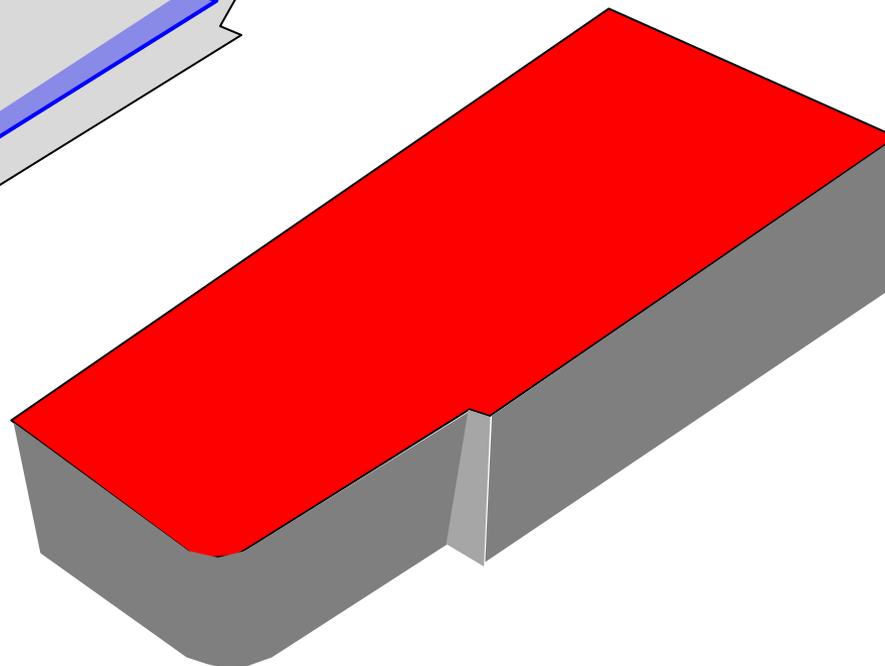
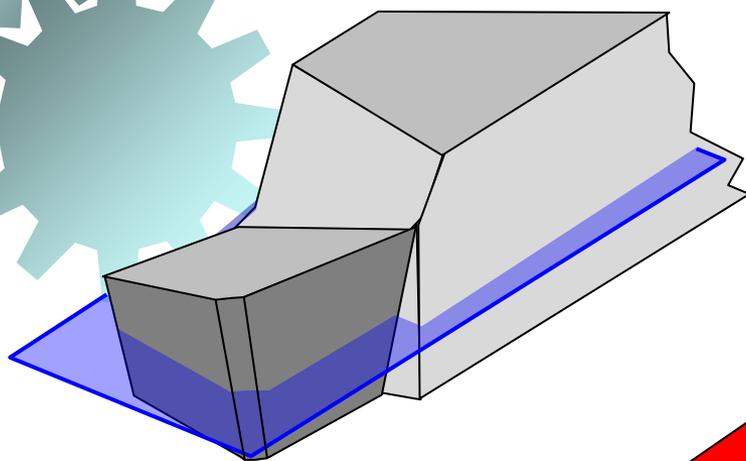
Influência do ângulo de saída



Sistema de Referência de Ferramenta



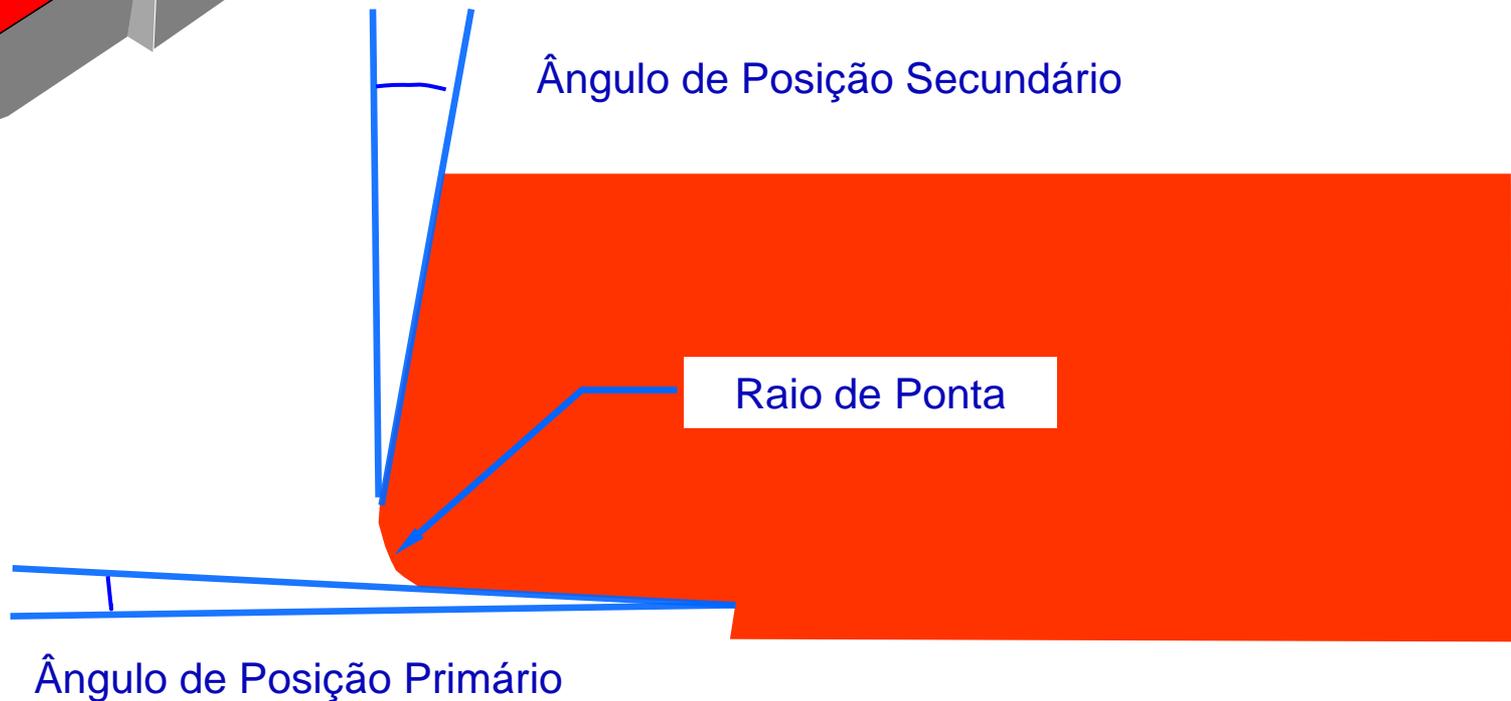
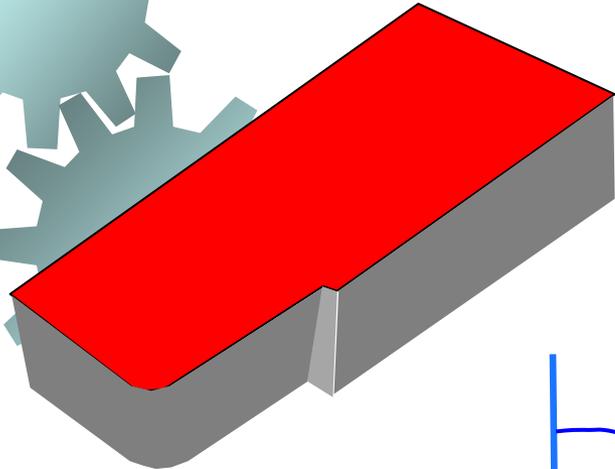
Sistema de Referência de Ferramenta



Sistema de Referência de Ferramenta

χ : Ângulo de Posição Primário

χ_s : Ângulo de Posição Secundário



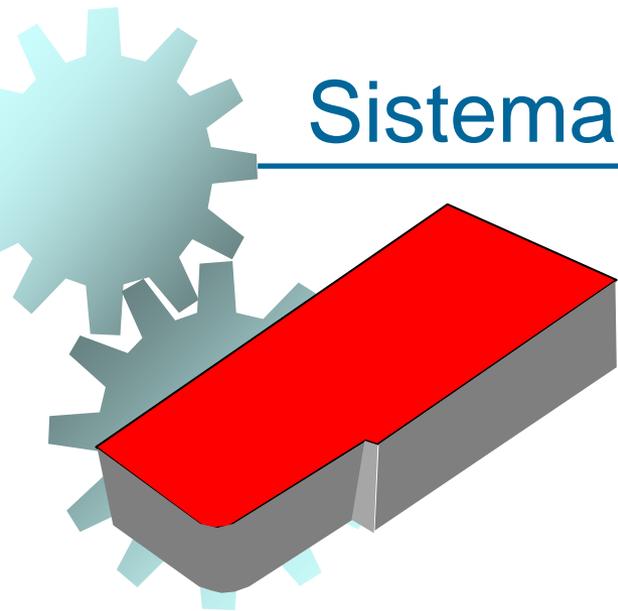
Sistema de Referência de Ferramenta

ϵ : Ângulo de Ponta

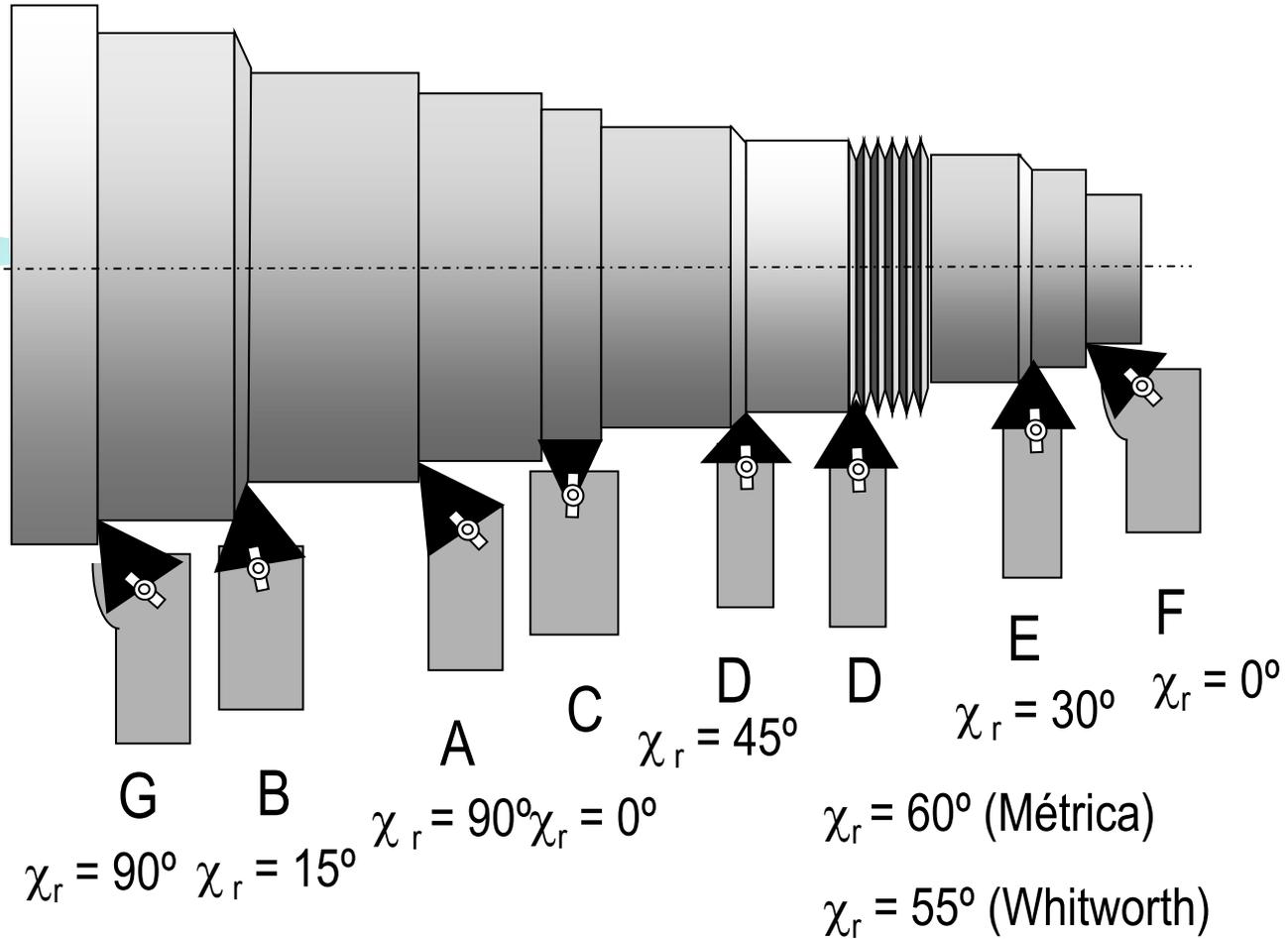
Aresta Secundária

Ângulo de Ponta

Aresta Principal

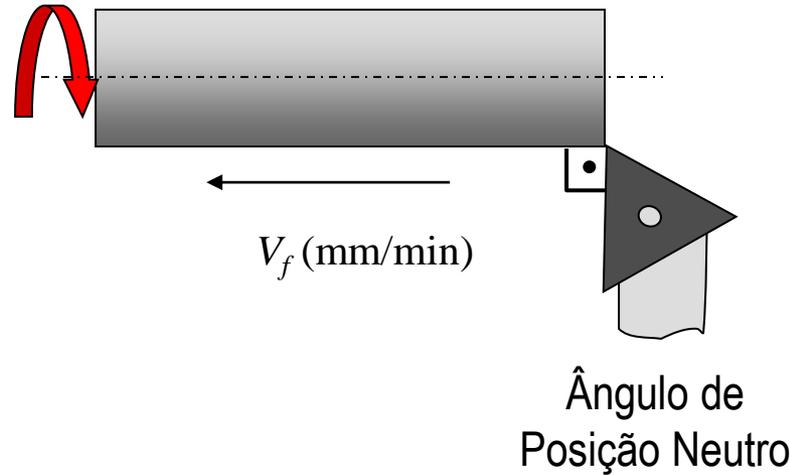


Influência da Geometria



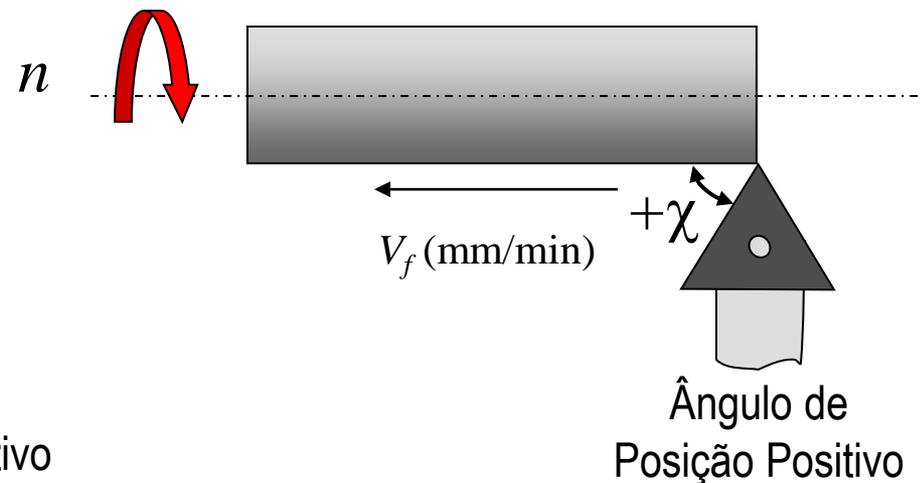
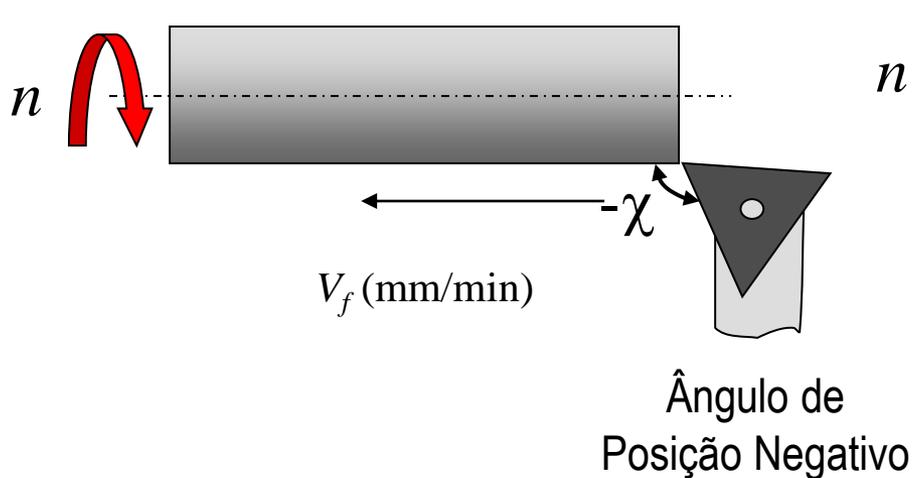
Ferramentas de torno com haste reta e haste deslocada e diferentes ângulos de Posição

Influência do ângulo de Posição (χ_r)



Velocidade de avanço:

$$V_f = f \cdot n$$

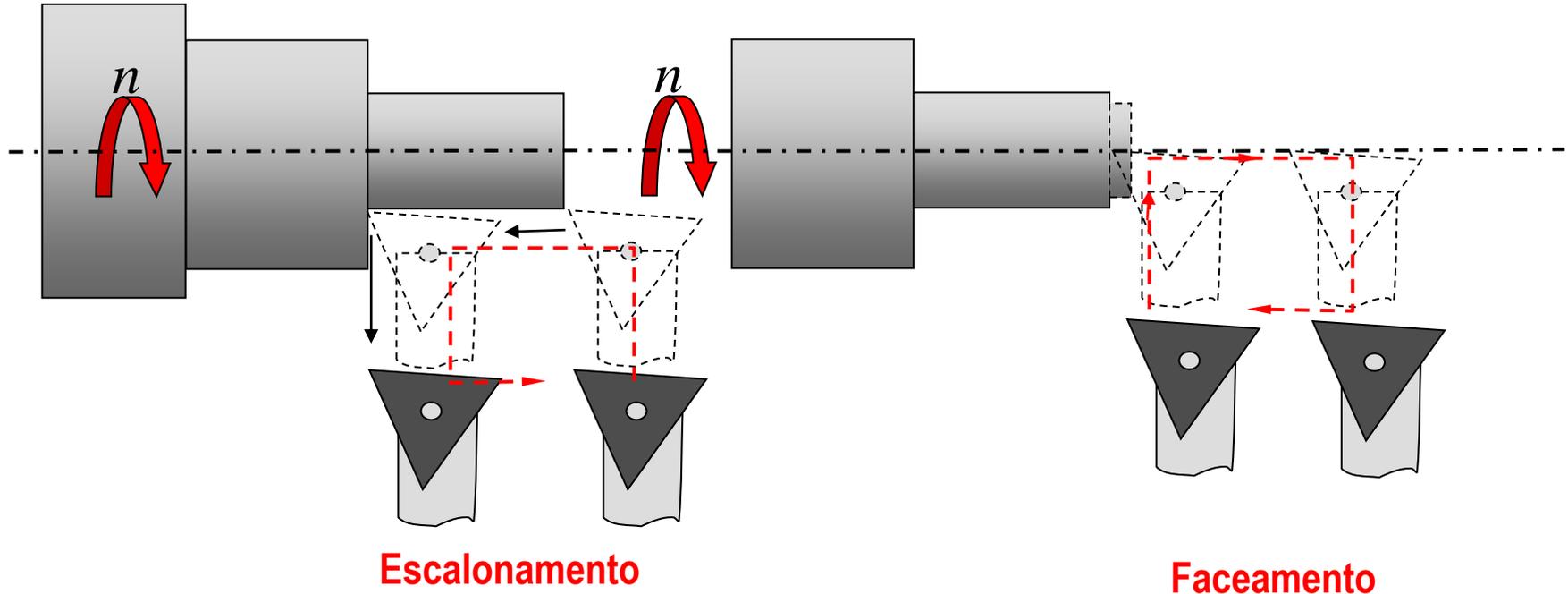


Influência do ângulo de Posição (χ_r)

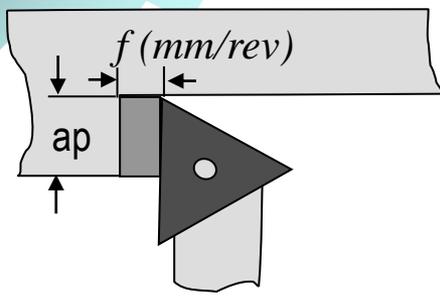
Ângulo de Posição Negativo

χ_r negativo adequado para usinagem com **escalonamento ou canto, faceamento**.

Deve ser evitado: forças de corte tendem a “puxar” o inserto fora do assento, levando a erros de dimensionais



Influência do ângulo de Posição



$\chi: 90^\circ$

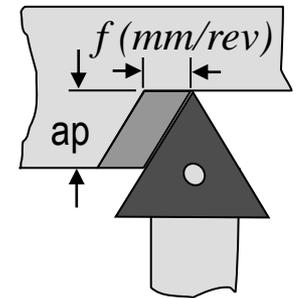
$$h = f$$

$$b = ap$$

Ângulo de Posição

χ

Espessura do cavaco

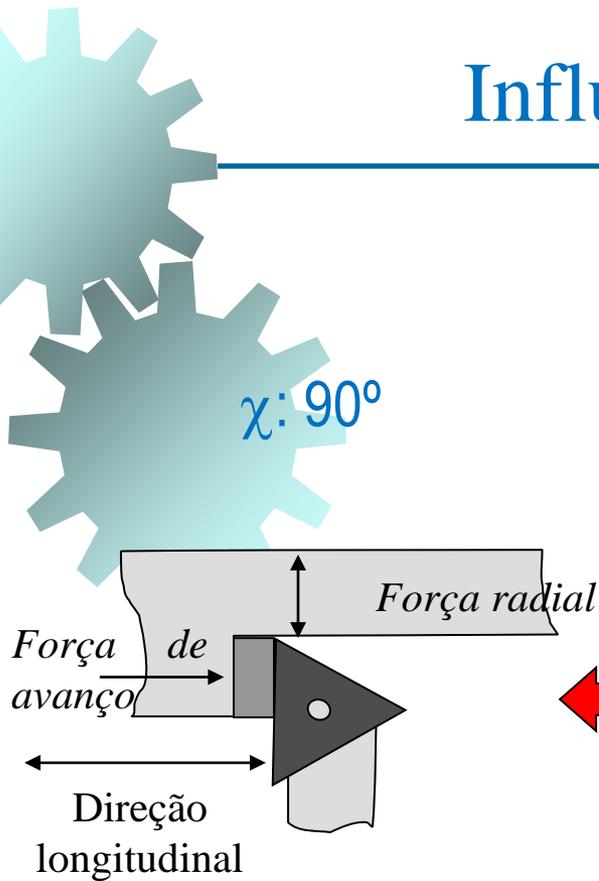


$\chi: 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$

$$h = f \cdot \text{sen}\chi$$

$$b = \frac{ap}{\text{sen}\chi}$$

Influência do ângulo de Posição

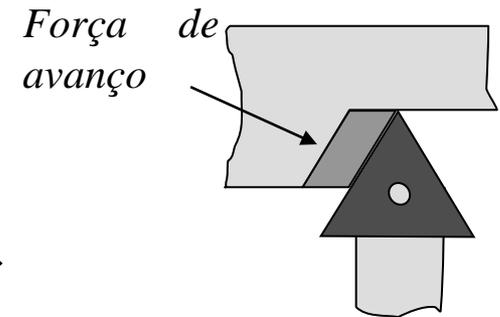


Ângulo de Posição

X

Força de Corte

$\chi: 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$



- Distribui as forças ao longo da aresta.
- Quanto maior χ , maior pode ser f .
- Desgaste menor para $\chi < 90^\circ$.
- Quanto menor χ , maior chance de "chatter"
- χ negativo adequado escalonado, canto, faceamento

$$F_c = K_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$$

$$h = f \cdot \text{sen} \chi$$

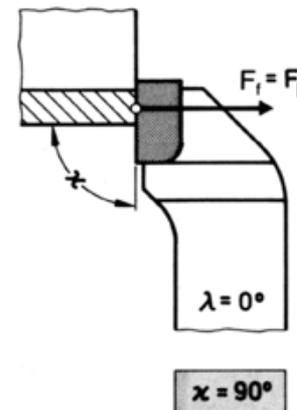
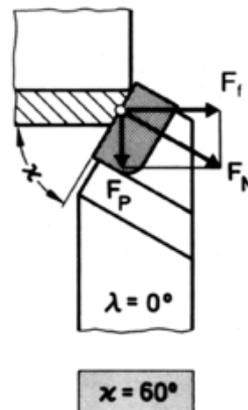
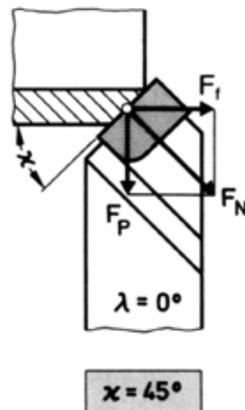
$$b = \frac{ap}{\text{sen} \chi}$$

Influência do ângulo de Posição

Aço 1045: $k_{s1} = 205 \text{ kgf/mm}^2$, $1-z = 0,899$

($a_p = 2,5 \text{ mm}$, $f = 0,5 \text{ mm/rev}$)

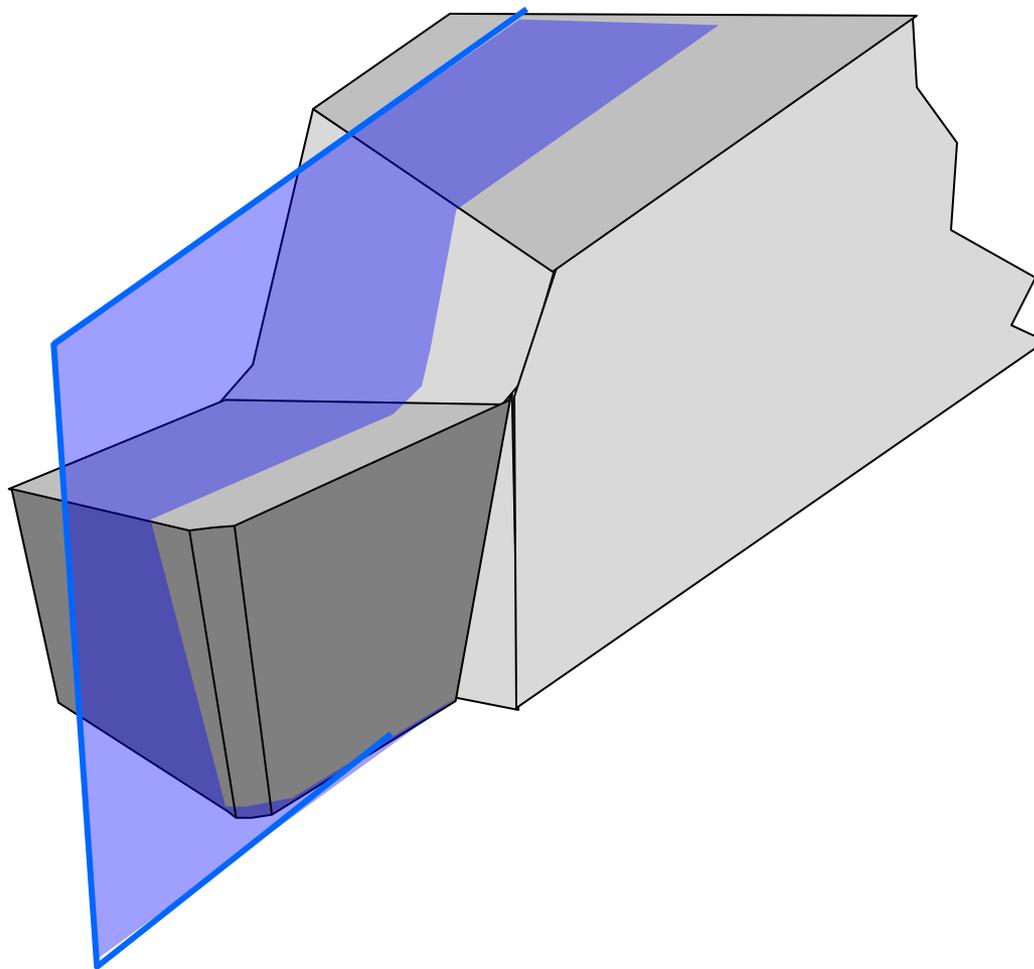
Ângulo de posição χ	seno (χ)	h (mm)	h^{1-z}	b (mm)	Área de corte (mm ²)	F_c (N)
10	0,174	0,087	0,111	14,368	1,25	3280
15	0,259	0,129	0,159	9,652	1,25	3150
30	0,500	0,250	0,288	5,000	1,25	2941
45	0,707	0,354	0,393	3,536	1,25	2841
90	1,000	0,500	0,536	2,500	1,25	2748



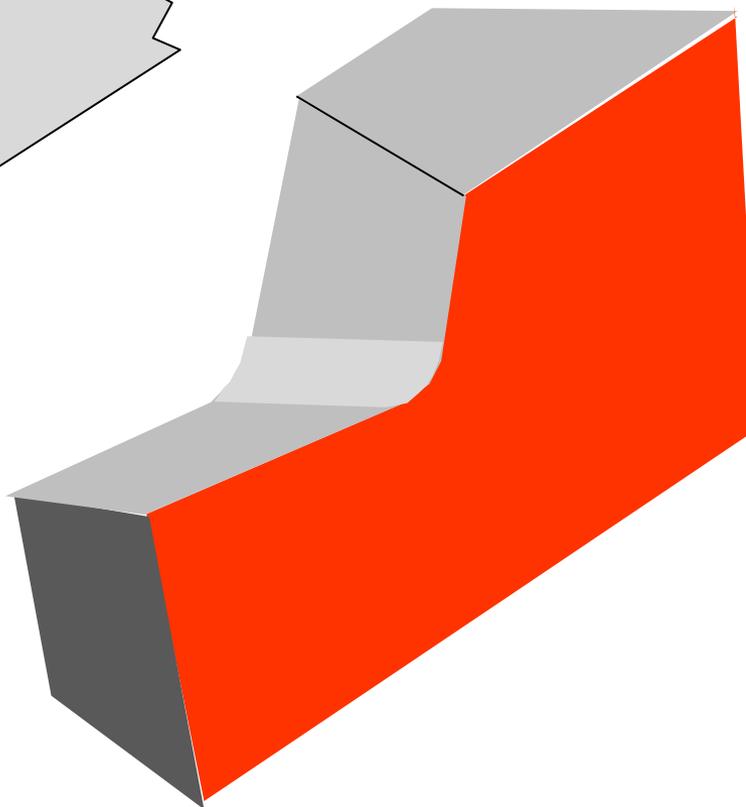
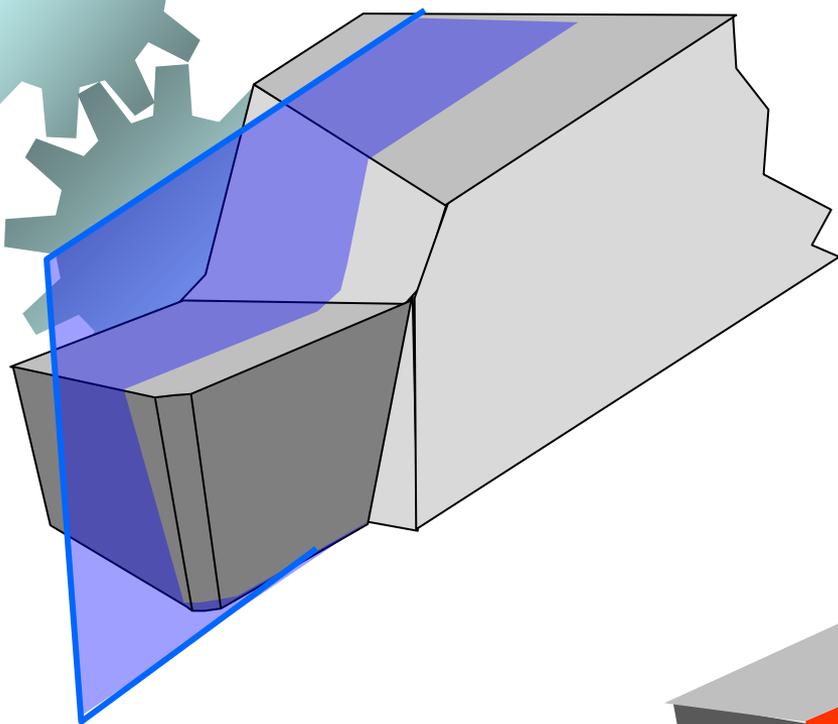
$$h = f \cdot \text{sen} \chi$$

$$b = \frac{ap}{\text{sen} \chi}$$

Sistema de Referência de Ferramenta



Sistema de Referência de Ferramenta

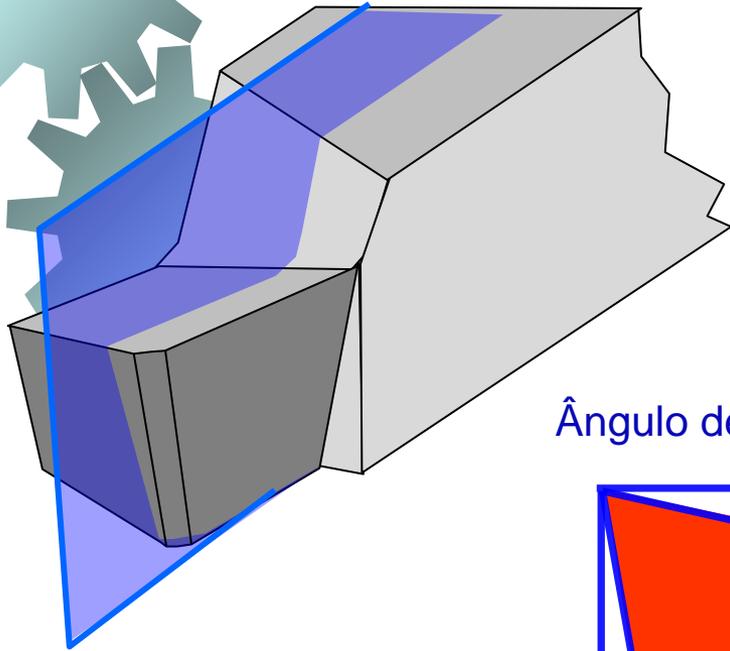


Sistema de Referência de Ferramenta

λ : Ângulo de Inclinação

β : ângulo de Cunha

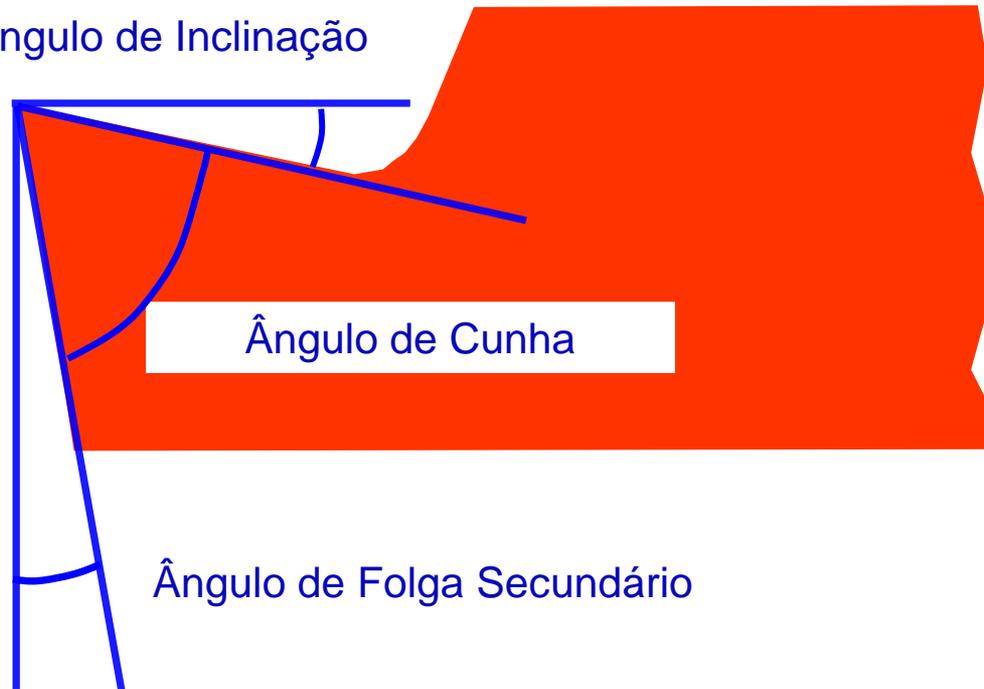
α : Ângulo de Folga Secundário



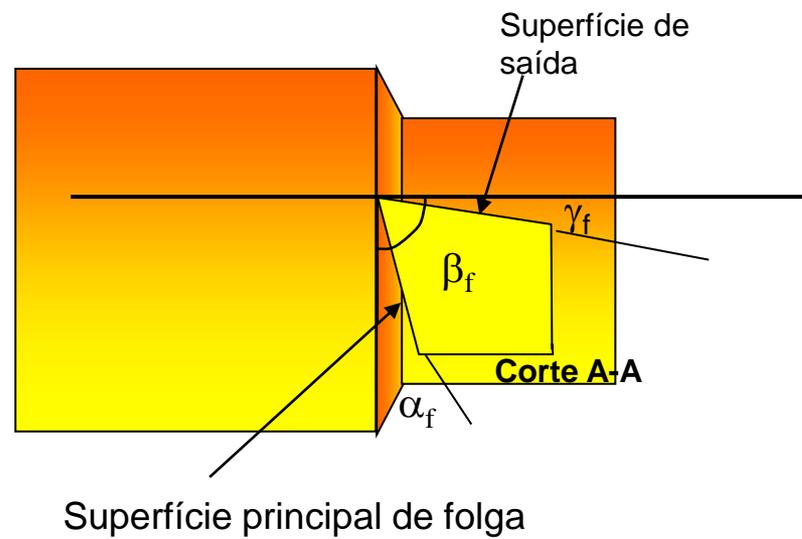
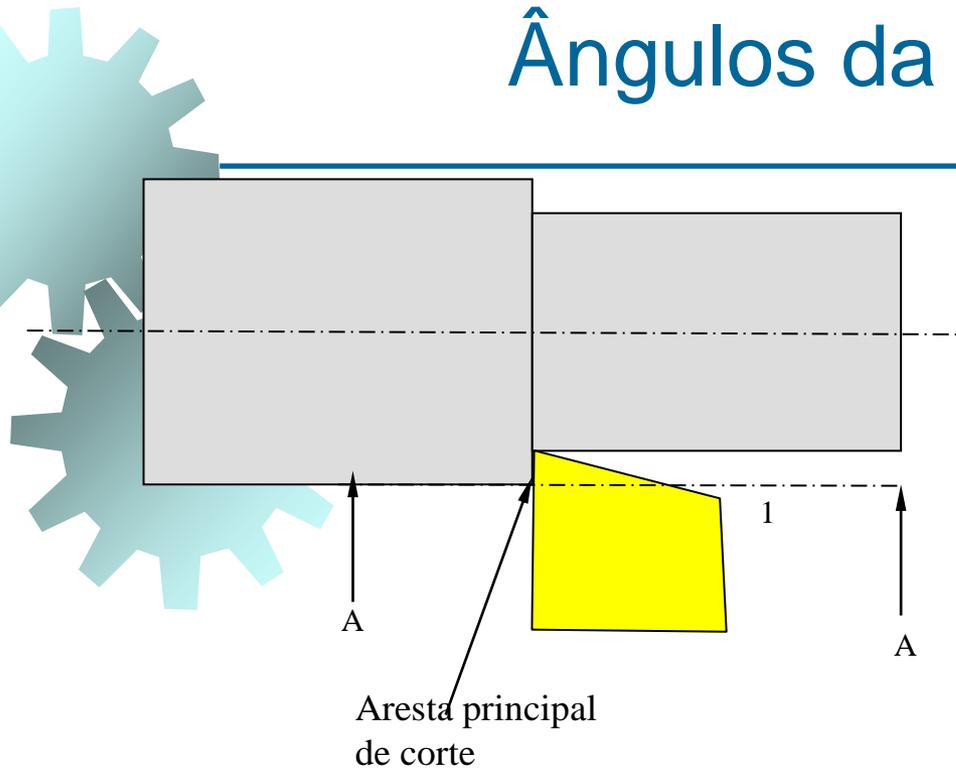
Ângulo de Inclinação

Ângulo de Cunha

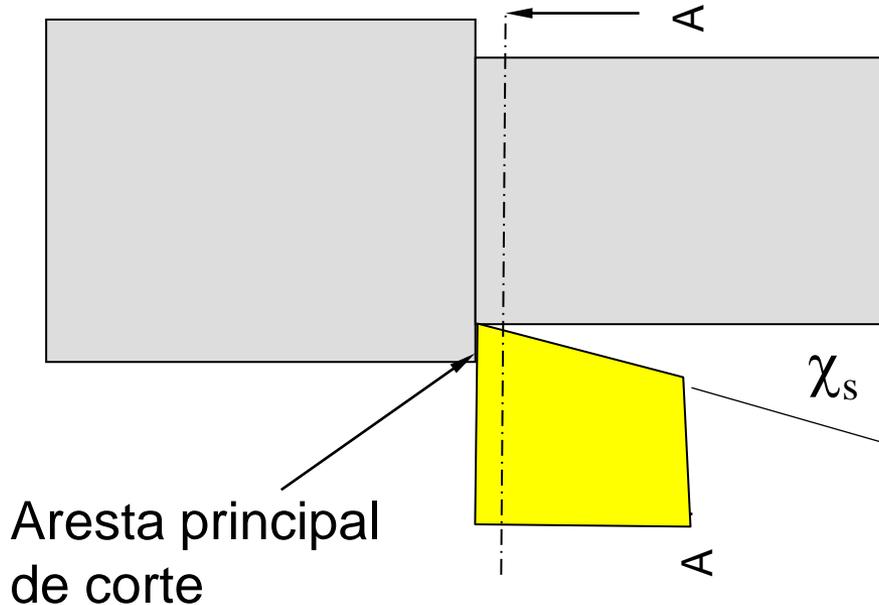
Ângulo de Folga Secundário



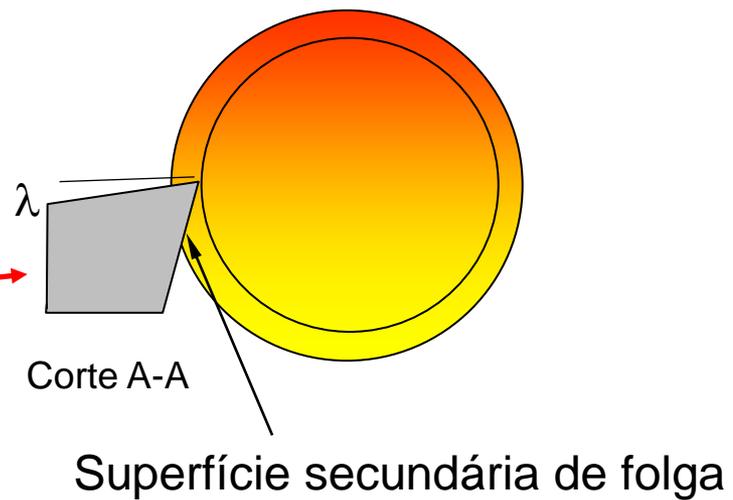
Ângulos da Ferramenta



Ângulos da Ferramenta



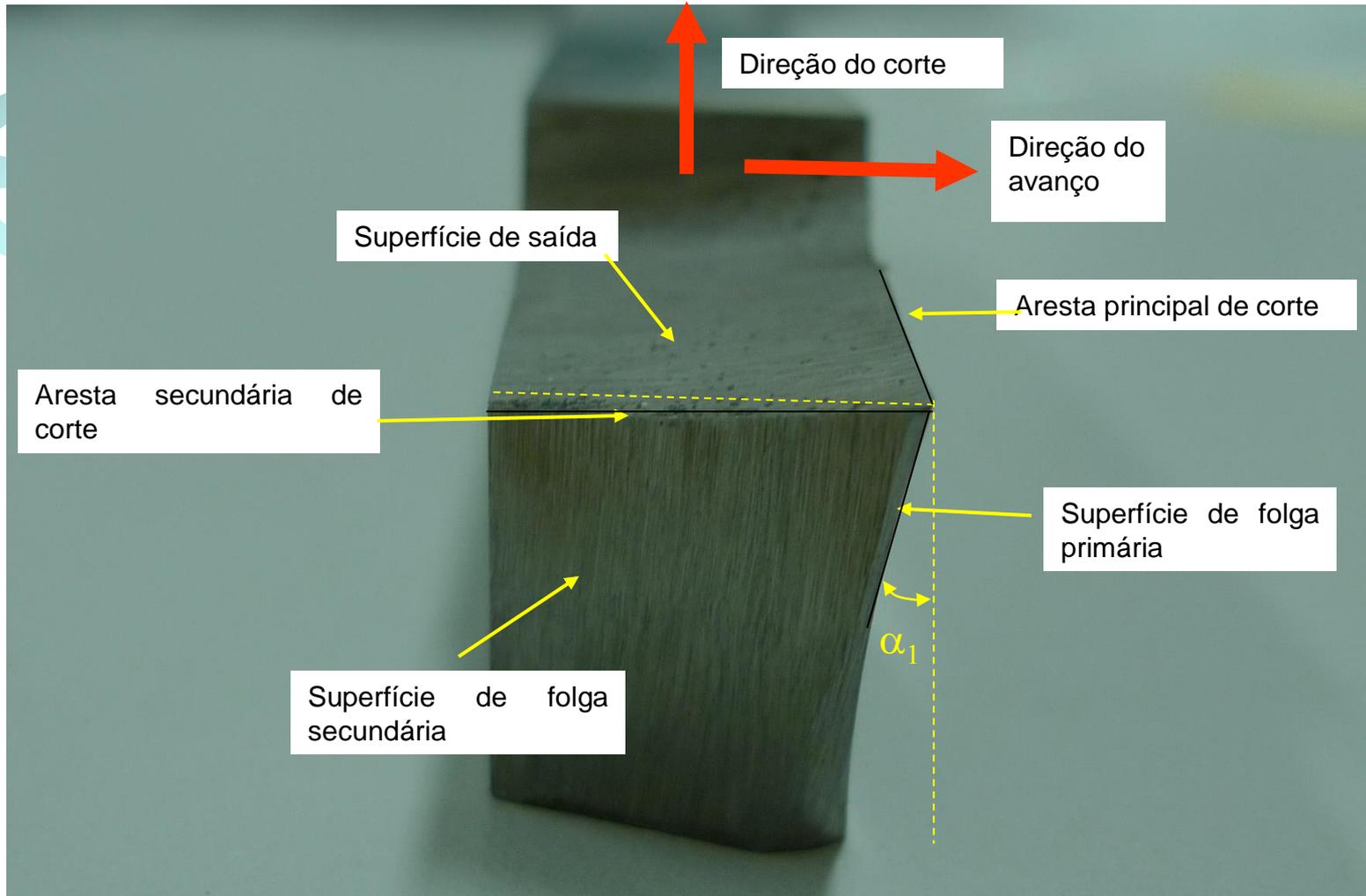
Aresta principal de corte



Corte A-A

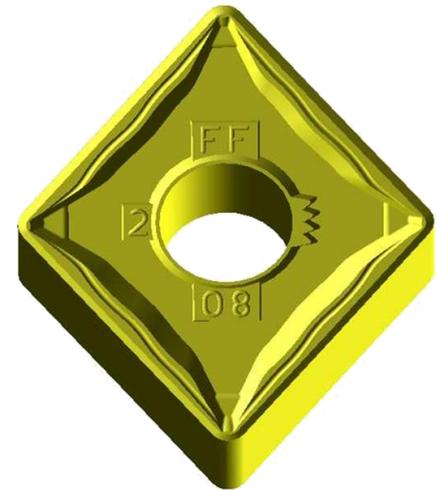
Superfície secundária de folga

Ângulos e Planos vistos na Ferramenta



Pastilhas de Metal Duro

- Excelente resistência, permitindo usinar com altas velocidades.
- Diversas formas e geometrias padronizadas
- Diversas classes de M.D. para materiais e condições diferentes de usinagem
- Baixo custo de reposição
- Dispensa re-afiação



Classes

P

M

K

N

S

H

Aço

Aço
Inoxidável

Ferro
Fundido

Não
Ferroso

Ligas
Resistentes
Temperaturas

Materiais
Endurecidos

01

10

15

20

25

30

50

01

10

15

20

25

30

50

01

50

01

50

01

50

01

50

Dureza

Tenacidade

Tenacidade





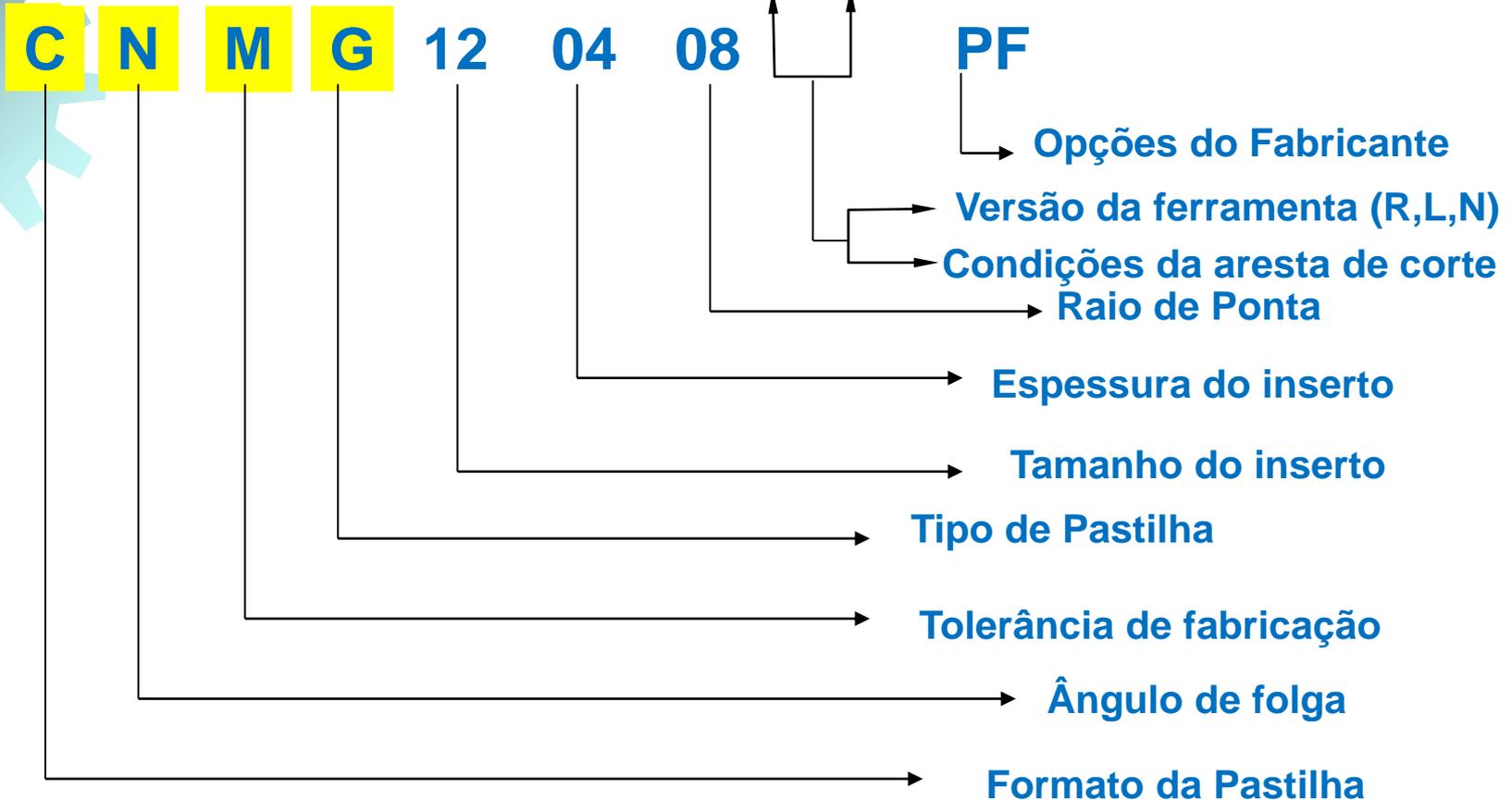
Como identificar os Insertos(Pastilhas)?

Existem NORMAS Internacionais :

- **ISO - Internacional**
- **ANSI - Americana**

Codificação ISO - Insertos

C	N	M	G	12	04	08	-			-	PF
1	2	3	4	5	6	7		8	9		12



C N M G **12 04 08** -

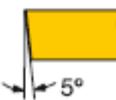
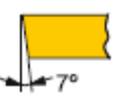
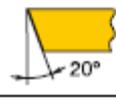
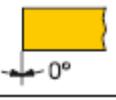
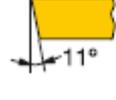
8	9

 -

PF
12

1 2 3 4 5 6 7 8 9 12

1 Formato da pastilha	
C 	D 
K 	R 
S 	T 
V 	W 

2 Ângulo de folga da pastilha	
B 	C 
E 	N 
P 	O Descrição específica

3 Tolerâncias, métrica		
Classe S	IC / W1	
G ±0.13	±0.025	
M ±0.13	±0.05 - ±0.15 ¹⁾	
U ±0.13	±0.08 - ±0.25 ¹⁾	
E ±0.025	±0.025	
¹⁾ Varia de acordo com o tamanho do IC. Veja abaixo.		
Circulo inscrito IC mm	Classe de tolerância M U	
3.97		
5.0		
5.56		
6.0	±0.05	±0.08
6.35		
8.0		
9.525		
10.0		
12.0	±0.08	±0.13
12.7		
15.875		
16.0	±0.10	±0.18
19.05		
20.0		
25.0	±0.13	±0.25
25.4		
31.75	±0.15	±0.25
32.0		

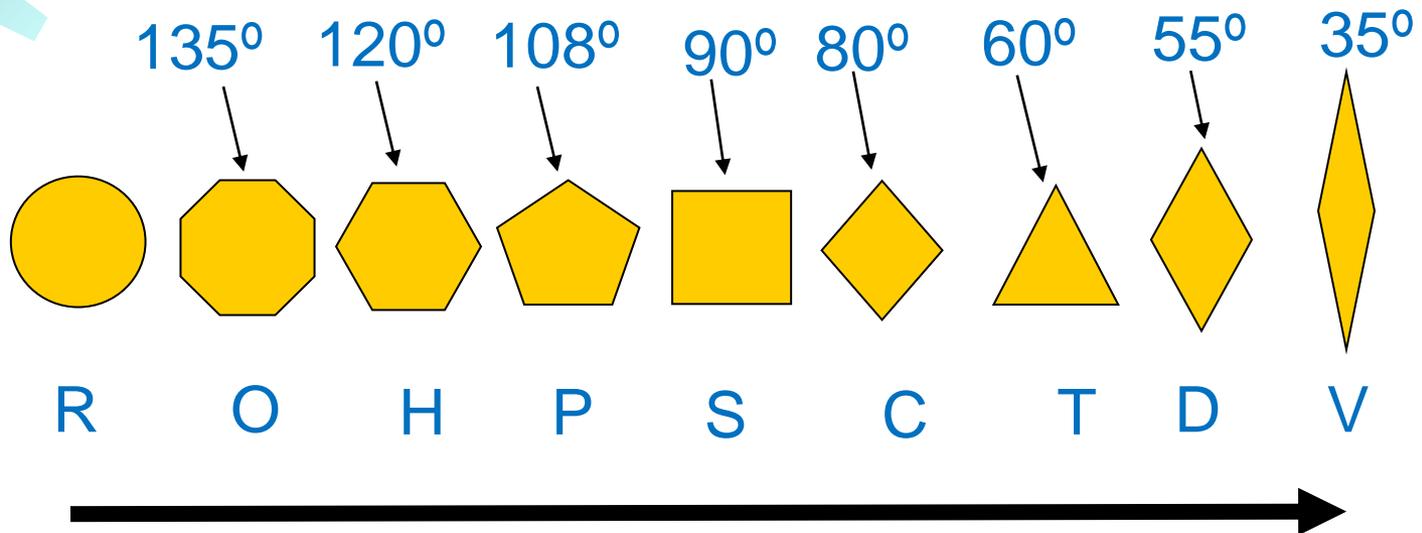
Para pastilhas positivas IC é valido para um canto vivo. Veja as condições da aresta de corte F. (Figura 8).

4 Tipo de pastilha	
A 	Q 
G 	R 
M 	T 
N 	W 
P 	X 
	Desenho especial

Formato dos Insertos

Insertos de Metal Duro

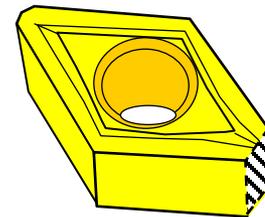
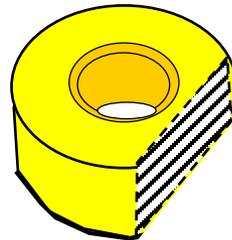
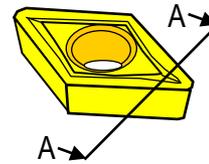
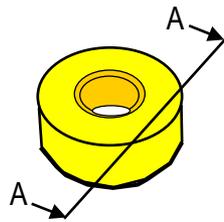
Aumenta a resistência



Aumento da chance de lascas e/ou quebrar

Formato dos Insertos

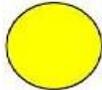
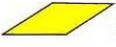
Insertos de Metal Duro



A-A

A-A

Aumento da chance de lascas e/ou quebrar

Fatores que afetam a escolha	R	100	90	80	80	60	55	35
								
Desbaste pesado	●	●	●	⊗	⊗	⊗		
Desbaste leve e semi-acabamento		⊗	⊗	●	●	●	●	
Acabamento				⊗	⊗	●	●	●
Torneamento e faceamento				●	⊗	⊗	●	●
Perfilamento				⊗	⊗	⊗	●	●
Versatilidade operacional	⊗			●	⊗	⊗	●	⊗
Potência limitada				⊗	⊗	●	●	●
Tendência a vibração					⊗	●	●	●
Materiais Endurecidos	●	●	●					
Corte Interrompidos	●	●	●	⊗	⊗	⊗		



Melhor recomendação

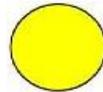


Aceitável

Formato do Inserto

Fatores que afetam a escolha

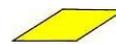
R



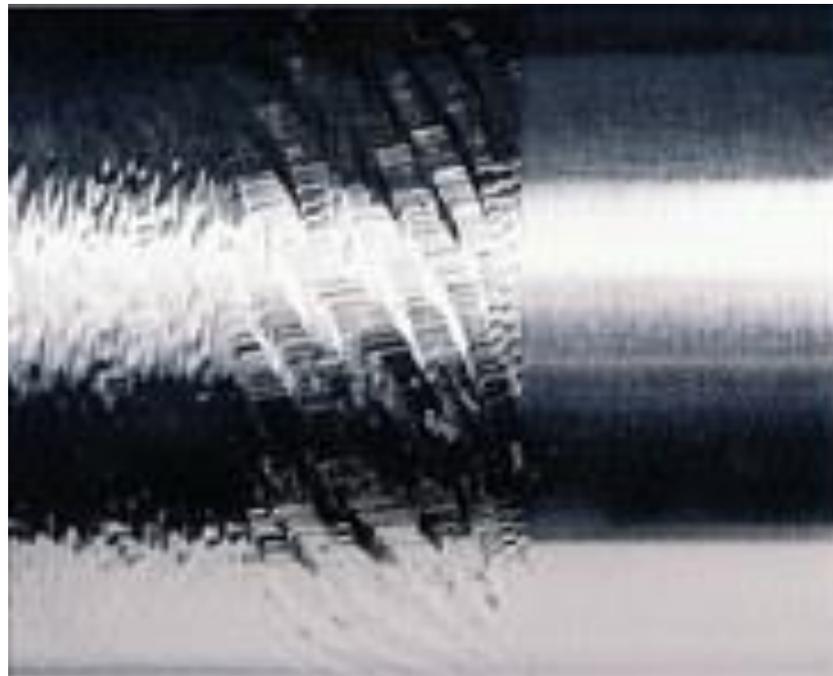
Vibração

35

0



Melhor recomendação

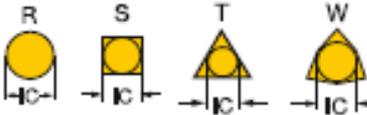


C N M G 12 04 08

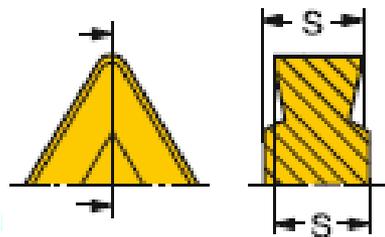
1 2 3 4 5 6 7

		-	PF
8	9		

5 Tamanho da pastilha

	Comprimento da aresta de corte, métrica									
	IC mm	IC em	C	D	R	S	T	V	W	K
<p>O círculo inscrito é indicado em 1/8".</p> <p>*) Para formato de pastilha K (KNMX, KNUX) só é indicado o comprimento teórico da aresta de corte.</p>	3.18	1/8"					05			
	3.97	5/32"					06		02	
	5.0				05					
	5.56	7/32"			09					
	6.0			06						
	6.35	1/4"	06	07			11	11	04	
	8.0				08					
	9.525	3/8"	09	11	09	09	16	16	06	16 ¹⁾
	10.0	10.0			10					
	12.0				12					
	12.7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
	13			13				13		
	15.875	5/8"	16		15	15	27			
	16.0				16					
	19.0	3/4"	19		19	19	33			
	20.0				20					
	25.0				25 ¹⁾					
	25.4	1"	25		25 ²⁾	25				
	31.75	1/4"			31					
	32				32					

6 Espessura da pastilha, S mm, pol.



Métrica		Polegadas
01	S = 1.59	1 S = .0625
T1	S = 1.98	(1.2) S = .075
02	S = 2.38	(1.5) S = 3/32
03	S = 3.18	2 S = 1/8
T3	S = 3.97	(2.5) S = 5/32
04	S = 4.76	3 S = 3/16
05	S = 5.56	4 S = 1/4
06	S = 6.35	5 S = 5/16
07	S = 7.94	6 S = 3/8
09	S = 9.52	6.3 S = .394
10	S = 10.00	7.6 S = .475
12	S = 12.00	

7 Raio de ponta, RE mm, pol.

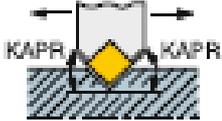


Métrica:	Polegadas:	Dimensão real:
		polegadas
00 = 0	00	Redonda
01 = 0.1	03	.004
02 = 0.2	0	.008
04 = 0.4	1 = 1/64	.0156
05 = 0.5		
08 = 0.8	2 = 1/32	.0312
10 = 1.0		
12 = 1.2	3 = 3/64	.047
15 = 1.5		
16 = 1.6	4 = 1/16	.0625
24 = 2.4	6 = 3/32	.094
32 = 3.2	8 = 1/8	.125

8 Condições da aresta de corte

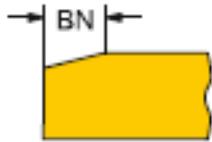
F		Aresta de corte viva
A		Aresta de corte com tratamento ER (ANSI)
E		Aresta de corte com tratamento ER
T		Fase negativa
K		Fases duplas negativas
S		Fase negativa e aresta de corte com tratamento ER

9 Versão da ferramenta

R		Avanço
L		Avanço
N		Avanço

C N M G 12 04 08 - - PF
1 2 3 4 5 6 7 8 9 12

10 Largura do chanfro, métrica, polegadas



Métrica:

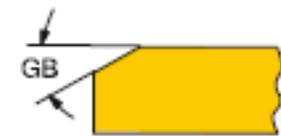
010	BN = 0.10
025	BN = 0.25
070	BN = 0.70
150	BN = 1.50
200	BN = 2.00

Polegadas:

03	BN = .003
08	BN = .008
30	BN = .030
60	BN = .060
80	BN = .080

Para mais informações, consulte a chave de código à página I16

11 Ângulo do chanfro



15	GB = 15°
20	GB = 20°

12 Opções do fabricante

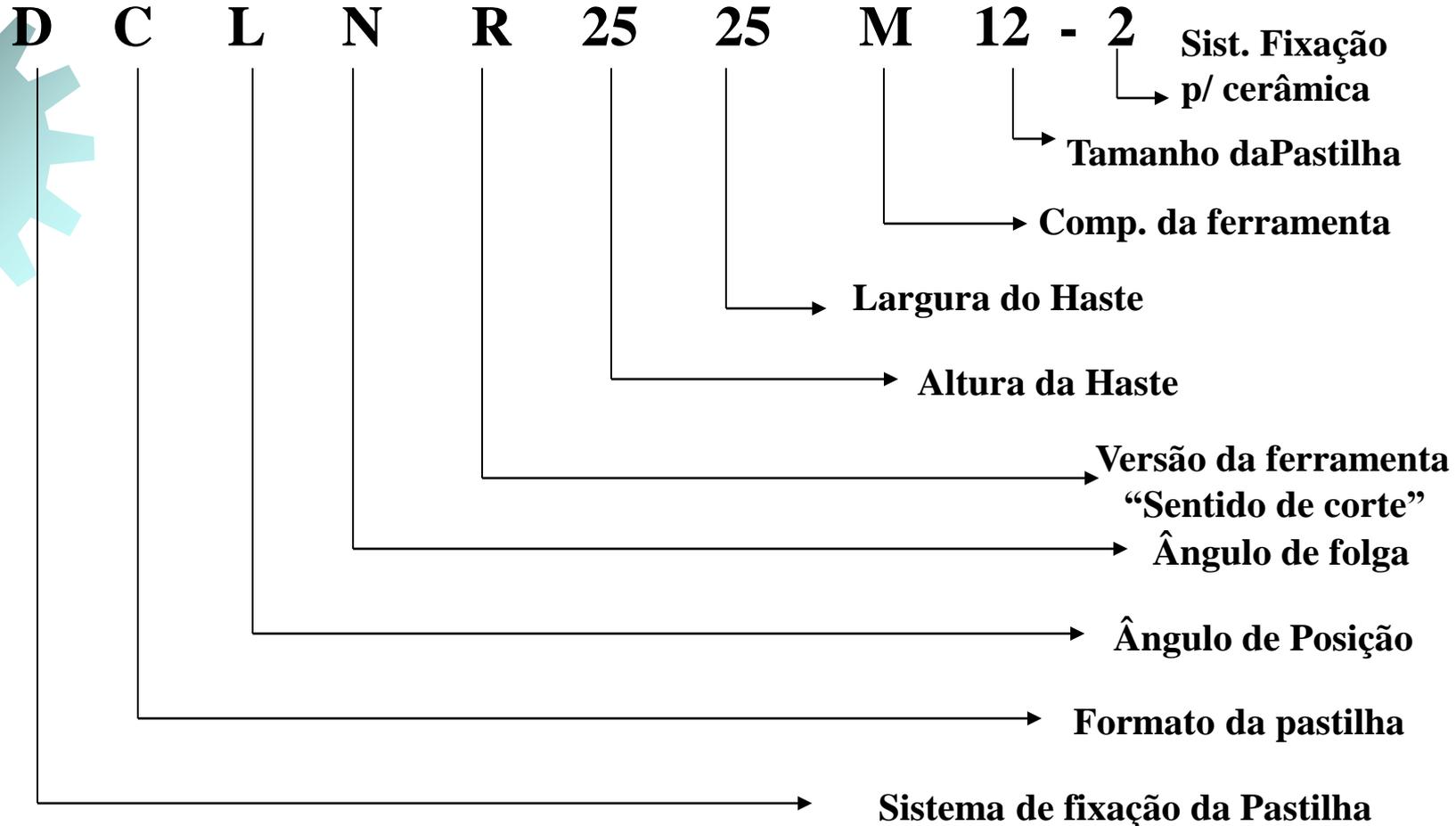
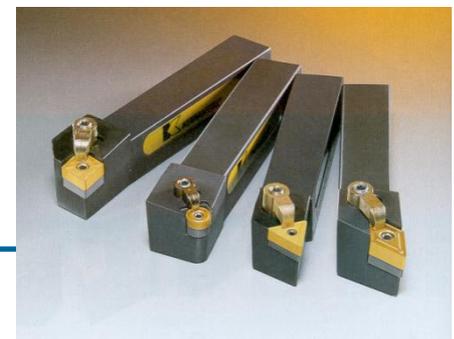
O código ISO consiste de nove símbolos incluindo 8 e 9 que são usados apenas quando necessário. Além disso, o fabricante pode acrescentar mais três símbolos, por exemplo.

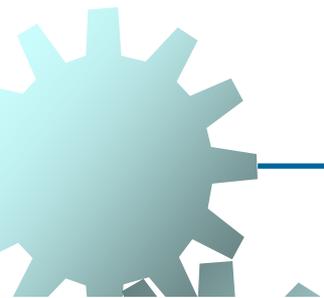
- WF = Wiper – acabamento
- WMX = Wiper, usinagem média
- PF = ISO P – acabamento
- PR = ISO P – desbaste

Codificação ISO Porta-ferramenta Externo

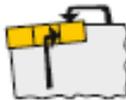
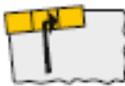
Ferramenta convencional, métrica

D	C	L	N	R	25	25	M	12	-	2
2	3	4	5	6	7	8	10	11		13





D	C	L	N	R	25	25	M	12	-	2
2	3	4	5	6	7	8	10	11		13

2 Sistema de fixação				
C  Fixação por grampo	D  Fixação Rígida (RC)	M, W  Fixação pino e grampo	P  Fixação por alavanca	S  Fixação por parafuso

3 Formato da pastilha	
C  80°	D  55°
K  55°	R 
S 	T 
V  35°	W  80°

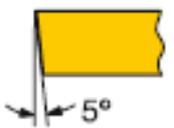
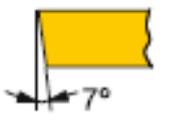
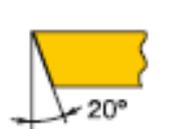
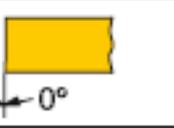
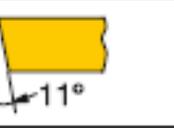
D	C	L	N	R	25	25	M	12	-	2
2	3	4	5	6	7	8	10	11		13

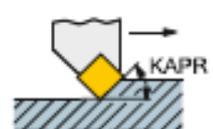
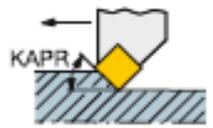
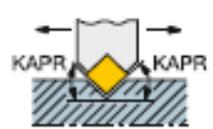
4 Tipo de suporte ângulo de posição (ângulo de ataque)

A 90° (0°) 	B 75° (15°) 	D 45° (45°) 	E 60° (30°) 	F 91° (-1°) 	G 91° (-1°) 	H 107.5° (-17.5°) 
J 93° (-3°) 	K 75° (15°) 	L 95° (-5°) 	M 50° (40°) 	N 62.5° (27.5°) 	Q 107.5° (-17.5°) 	R 75° (15°) 
S 45° (45°) 	T 60° (30°) 	U 93° (-3°) 	V 72.5° (17.5°) 	Y(X) 85° (5°) 	Y(Z) 85° (5°) 	P 62.5° (27.5°) 

D	C	L	N	R	25	25	M	12	-	2
2	3	4	5	6	7	8	10	11		13



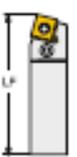
5 Ângulo de folga da pastilha	
B 	C 
D 	E 
N 	P 
O	Descrição específica

6 Versão da ferramenta	
R	
L	
N	

7 & 8 Tamanho da haste (B, largura e H, altura) métrico	
7	<p>Altura da haste * Inteiros devem ser precedidos por 0, ex.: H = 8 mm indicado por 08</p> 
8	<p>Largura da haste * Inteiros devem ser precedidos por 0, ex.: B = 8 mm indicado por 08</p> 

D	C	L	N	R	25	25	M	12	-	2
2	3	4	5	6	7	8	10	11		12

10 Comprimento da ferramenta convencional, métrica



A = 32 mm	N = 150 mm
B = 40 mm	P = 170 mm
C = 50 mm	Q = 180 mm
D = 60 mm	R = 200 mm
E = 70 mm	S = 250 mm
G = 80 mm	T = 300 mm
H = 100 mm	U = 350 mm
J = 110 mm	V = 400 mm
K = 125 mm	W = 400 mm
L = 140 mm	
M = 150 mm	X = Especial

12 Opções do fabricante

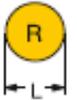
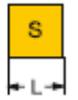
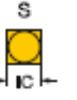
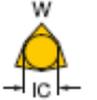
Quando for necessário um símbolo suplementar, de no máximo 3 letras, pode ser acrescentado ao código ISO, separado por um traço, p. ex. W para desenho por cunha.

13 Sistema de fixação para cerâmica

-2 = Suportes CoroTurn® RC para pastilhas com furo

-4 = Suportes CoroTurn® RC para pastilhas sem furo

11 Tamanho da pastilha

Métric	Comprimento da aresta de corte	Polegadas	O círculo inscrito é indicado em 1/8".
			O comprimento da aresta de corte é indicada em mm.
			O comprimento da aresta de corte é indicada em mm.
			
			
			
			1.2 = 5/32
			1.5 = 3/16
			1.8 = 7/32
			2 = 1/4
			2.5 = 5/8
			3 = 3/8
			4 = 1/2
			5 = 5/8
			6 = 3/4
			8 = 1
			10 = 1 1/4

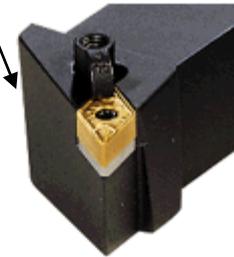
Ferramentas para torneamento



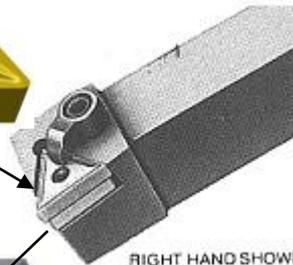
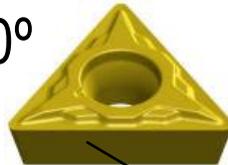
90°



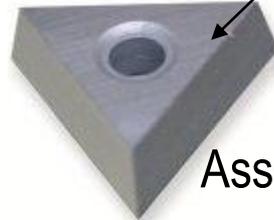
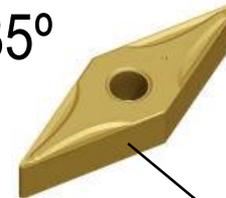
55°



60°



35°

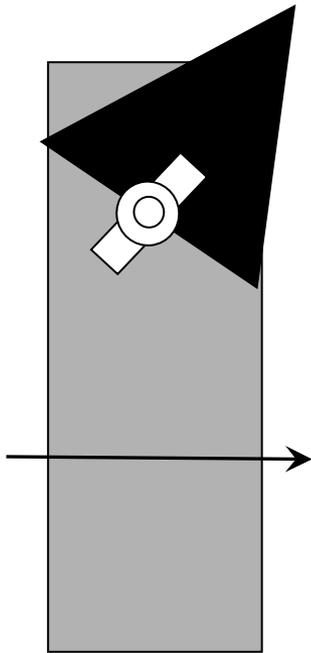


Assento para inserto de MD

Ferramentas para torneamento

Ferramentas de torno

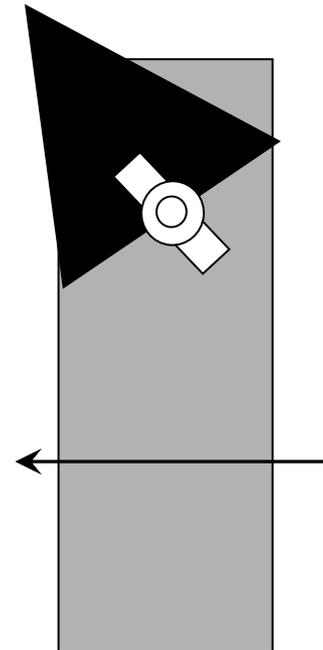
Ferramenta esquerda



Corta da esquerda para
direita



Ferramenta direita



Corta da direita para
esquerda

Ferramentas para Torno



Tornear e Chanfrar



Facear 75°



Rosquear 55°



Mandrilar e facear
90°



Recartilhar



Porta matriz para
cossinete

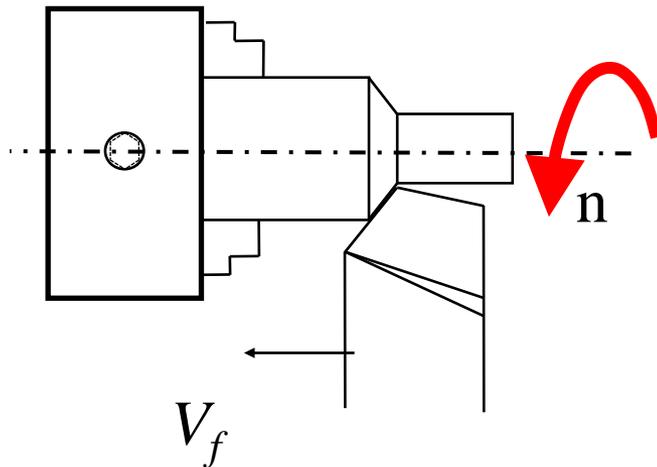
<http://tool.wttool.com/>

Parâmetros de Corte

Existem dois movimentos de corte:

- o movimento primário de corte
- movimento de avanço.

Em um torno, o movimento primário de corte é rotativo e é transmitido à peça através do eixo árvore. A peça é presa na placa do torno que por sua vez está fixada ao eixo árvore.



$$V_f = f \cdot n$$

Onde:

V_f é velocidade de avanço (mm/min);

f é o avanço (mm/rev)

n é a rotação do eixo árvore (rev/min)



Parâmetros de Corte

- Velocidade de Corte (v_c)
- Avanço (f)
- Profundidade de usinagem (a_p)

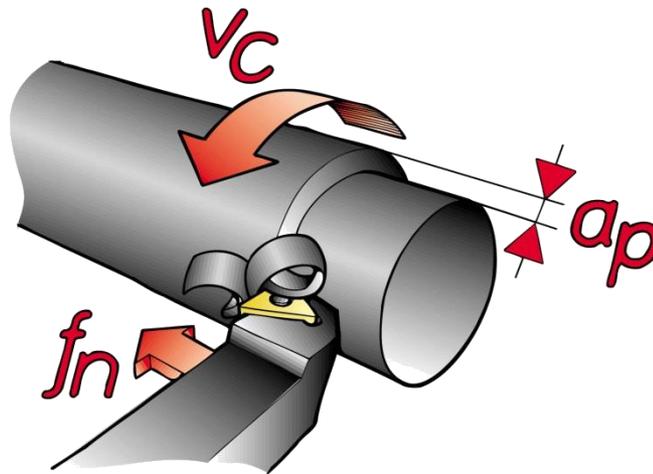
Parâmetros de Corte

Notação

V_c : Velocidade de Corte (m/min)

f : Avanço (mm/rev)

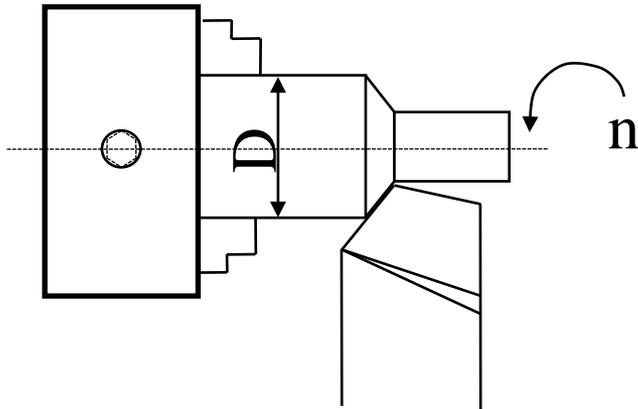
a_p : Profundidade de usinagem (mm)



Definição de Velocidade de Corte (v_c)

Em torneamento, é a velocidade tangencial da peça, medido em metros por minutos (m/min).

“É a velocidade com que a peça passa pela Ferramenta (Torneamento)”



$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

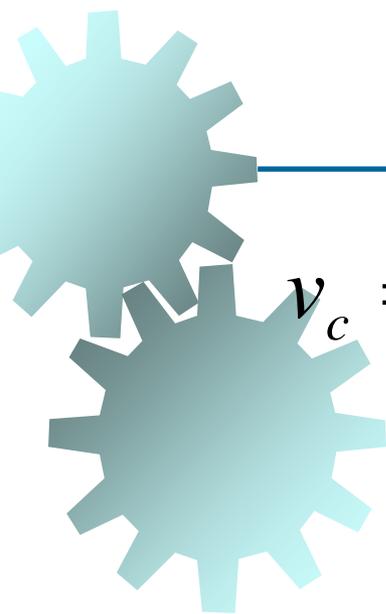
Onde:

v_c é velocidade de corte (m/min);

D é o diâmetro inicial da peça (mm)

n é a rotação do eixo árvore (rev/min)

Fórmula para determinar a v_c


$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

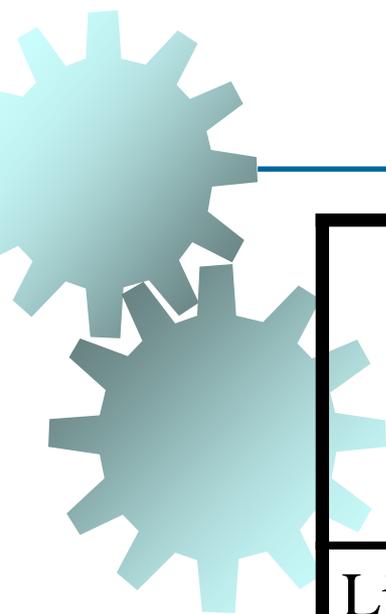
**exemplo: Peça com \varnothing 200,0 mm
360 rpm**

$$Vc = \frac{rpm \times diâmetro \times \pi}{1000} = \frac{rpm \times diâmetro}{318}$$

$$Vc = \frac{360 \times 200,0 \times 3,1416}{1000} = \frac{360 \times 200,0}{318}$$

$$Vc = 226 \text{ m/min}$$

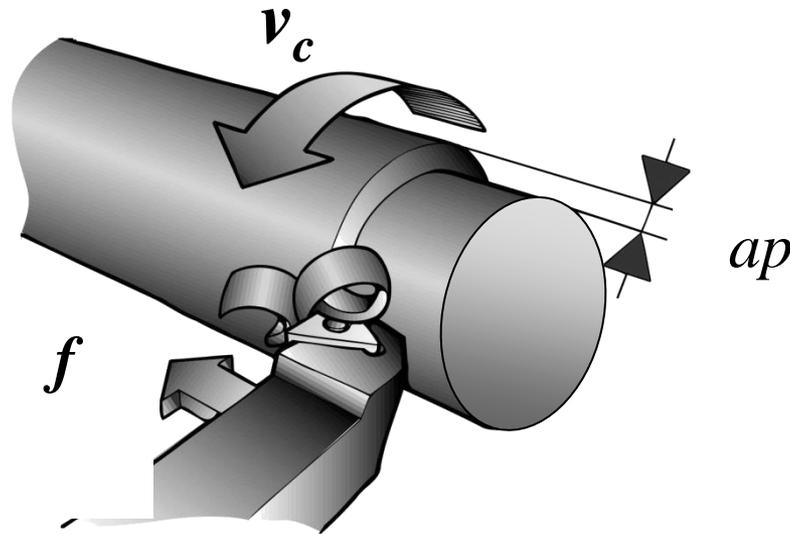
$$rpm = \frac{Vc \times 1000}{diâmetro \times \pi} = \frac{Vc \times 318}{diâmetro}$$



Velocidades de Corte Recomendadas (aproximadas)

Material da Peça	Velocidade de Corte (m/min)	
	Aço Rápido	Metal Duro
Ligas de Alumínio	180-240	300-420
Ligas de Magnésio	240	600
Ligas de Cobre	30-120	60-300
Aços	30-60	60-180
Aços Inoxidáveis	10-30	60-120
Ligas de Titânio	10-60	30-120
Ferro Fundido	10-30	30-120
Termoplásticos	90-120	120-180

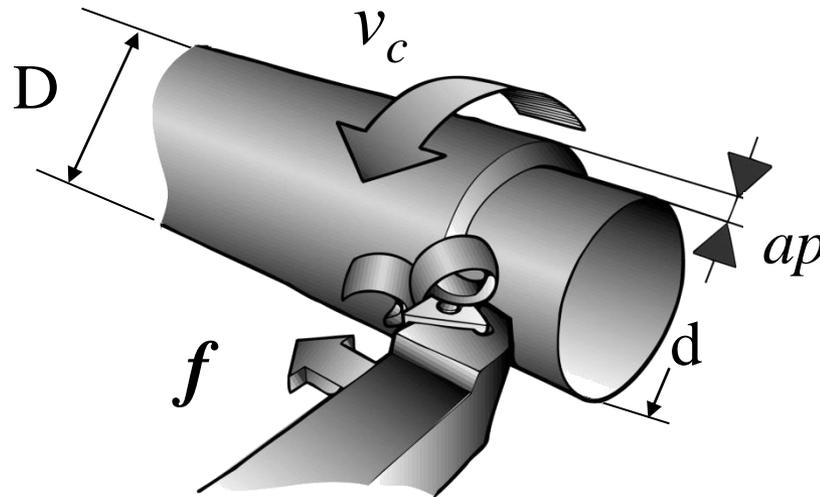
Definição de Avanço (f)



A quantidade relativa de movimento da ferramenta na peça em cada revolução, ciclo ou unidade de tempo. Normalmente medido em milímetros por rotação (mm/rot.).

Definição de Profundidade de usinagem

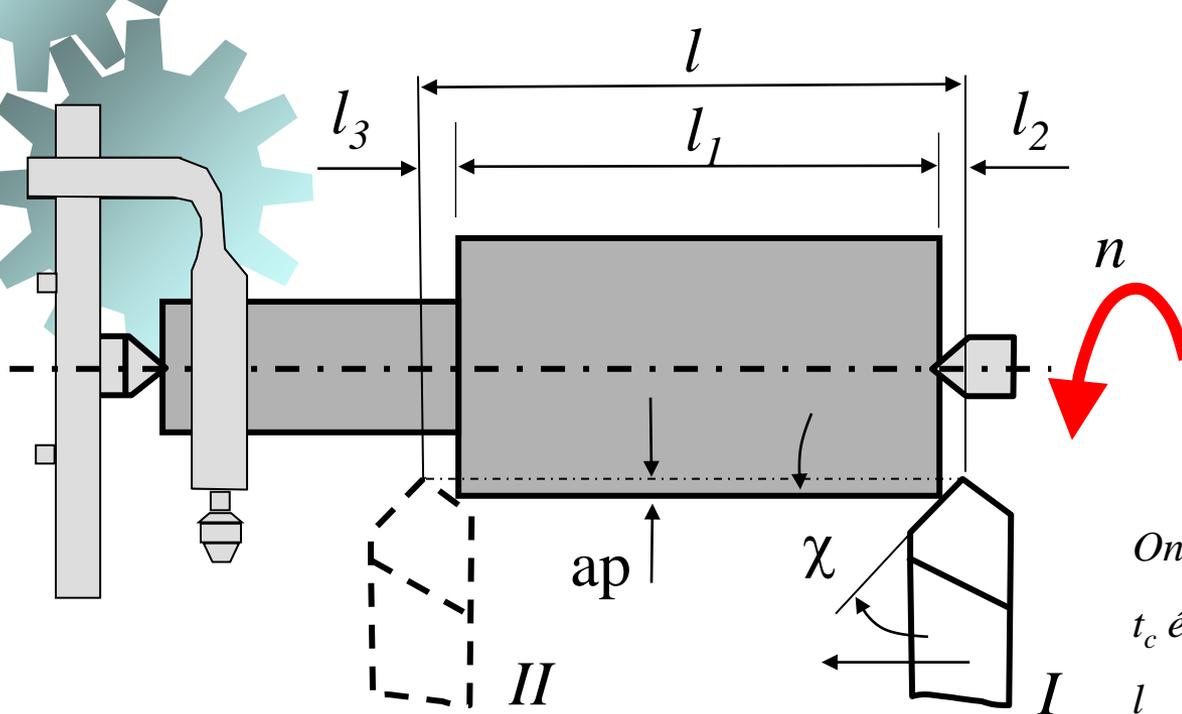
(a_p)



$$a_p = \frac{D - d}{2}$$

A distância entre o fundo do corte e a superfície da peça, medido perpendicularmente à superfície da peça em milímetros.

Cálculo do Tempo de Usinagem



$$t_c = \frac{l}{v_f}$$

$$l = l_1 + l_2 + l_3$$

$$v_f = f \times n$$

Onde:

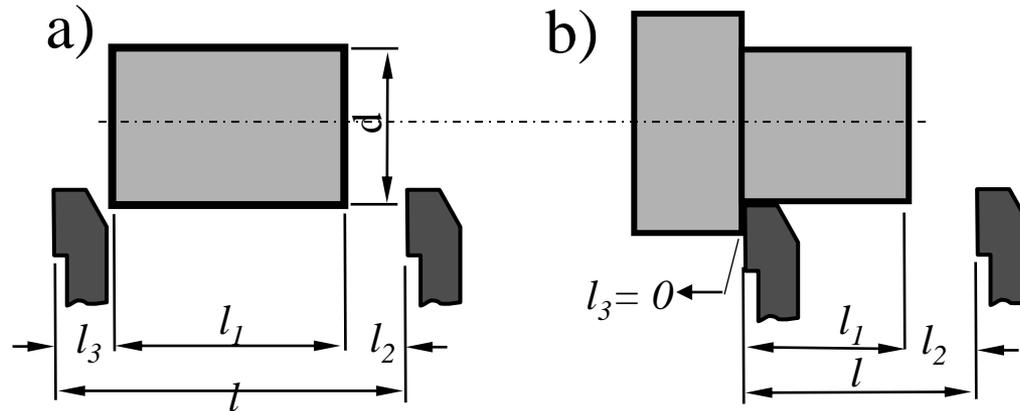
t_c é o tempo de corte

l é a distância percorrida pela ferramenta (mm) contando uma distância antes de iniciar o corte e após o corte;

f é o avanço (mm/rev)

n é a rotação do eixo árvore (rev/min)

Cálculo do Tempo de Usinagem



Para efeito de cálculo, nesta disciplina, consideraremos que:

a) $l_2 = l_3 = 2$ mm entre pontos

b) $l_2 = 2$ e $l_3 = 0$ com escalonamento

Exemplo

Torneamento externo no comprimento de 100mm, diâmetro de 45mm, com $v_c=180\text{m/min}$ e $f=0,3\text{mm/rev}$.

Solução:

$$l = l_1 + l_2 + l_3 = 100 + 2 + 2 = 104\text{mm}$$

$$v_f = f \times n \quad \text{e} \quad n = (1000 \times v_c) / (\pi D) = 1273 \text{ rpm}$$

$$v_f = 0,3 \times 1273 = 382 \text{ mm/min}$$

$$t_c = 104/382 = 0,27 \text{ min}$$

Obs.: para efeito de vida de ferramenta considera-se apenas o comprimento efetivo de corte (l_1)



Condições de operação

As condições de operação controlam 3 *variáveis* importante no corte dos metais:

1. Taxa de remoção de material
2. Vida da ferramenta e
3. Acabamento

Condições de operação

Cada uma dessas variáveis pode ser estimada através das seguintes fórmulas:

1. $Q = v_c \times a_p \times f$ (mm³/min) – Taxa de remoção
2. $v_c \times T^y = C$ – Vida da Ferramenta
3. $R_{teórica} = f^2 / 8R_p$ - Acabamento da peça

Onde:

v_c é a velocidade de corte (mm/min),

f é o avanço (mm/rev);

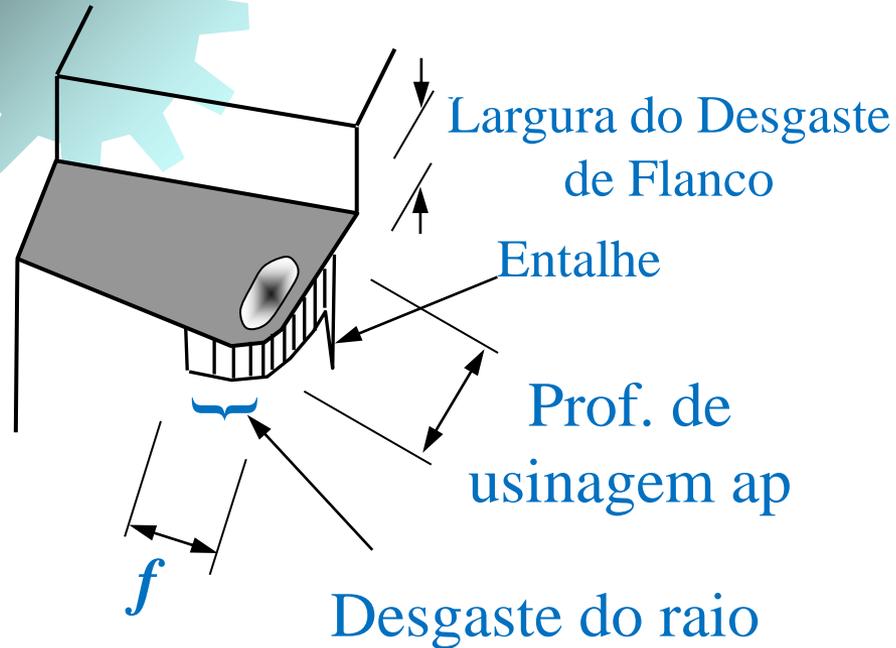
a_p é a prof. de usinagem (mm),

T é a vida da ferramenta (min),

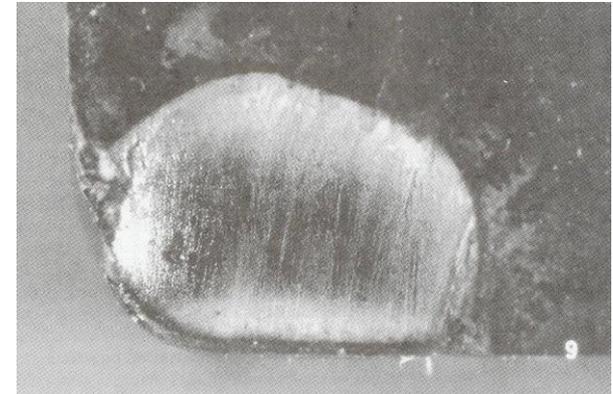
C é a velocidade de corte para uma vida de 1 min (m/min).

Condições de operação

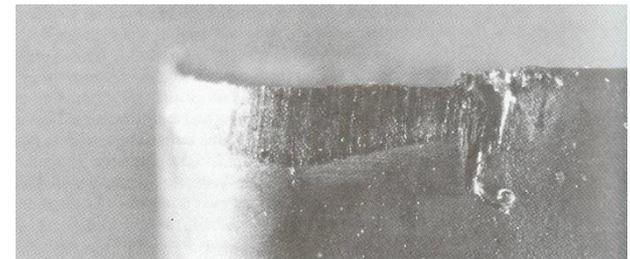
Estimativa de Vida de ferramenta



Desgaste de Cratera



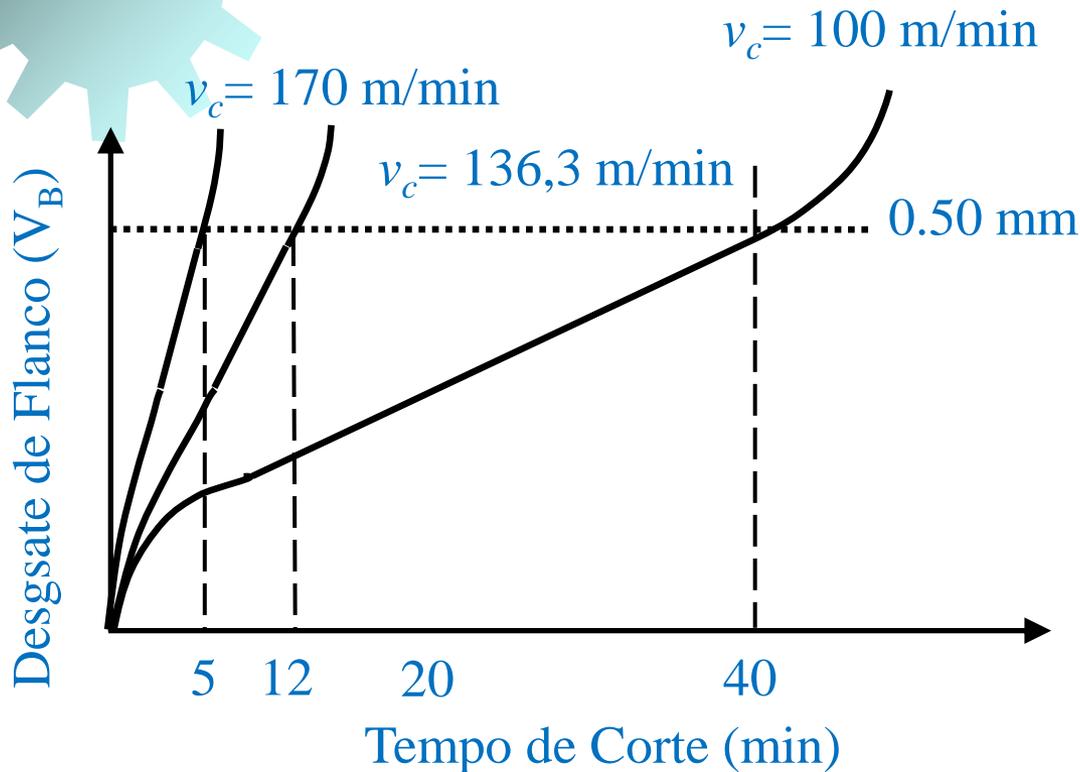
Desgaste de flanco



Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta

Critério de Desgaste – Flanco $V_B = 0,5\text{mm}$ $v = 100\text{ m/min}$



$$v_c \times T^y = C$$

$v_c = \text{velocidade}$

$T = \text{tempo}$

ou

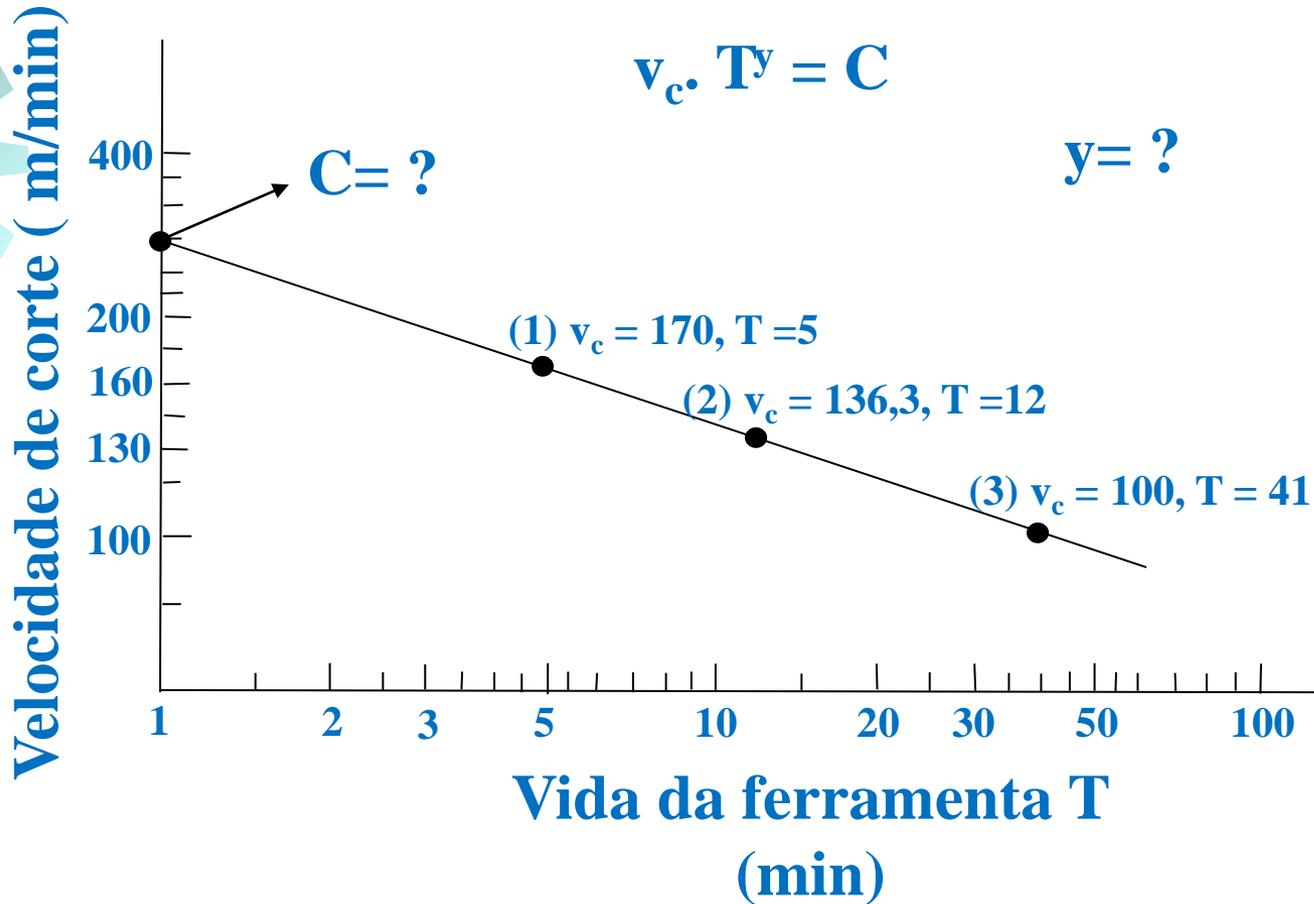
$$T \times v_c^x = K$$

onde

$$y = \frac{1}{x}$$

Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta





Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta

Para Determinar o valor de C e y no gráfico anterior, selecione dois dos três pontos da curva e resolva a equação simultaneamente

Solução:

Escolha os dois pontos extremos: $v_c = 170 \text{ m/min}$, $T = 5 \text{ min}$, e $v_c = 100 \text{ m/min}$, $T = 41 \text{ min}$, temos que:

$$170(5)^y = C \quad 100(41)^y = C \quad \Rightarrow \quad 170(5)^y = 100(41)^y$$

$$\ln(170) + y(\ln 5) = \ln(100) + y(\ln 41) \Rightarrow 0.5306 = 2.1041y$$

$$y = 0.5306 / 2.1041 = 0.25217 \quad \Rightarrow \quad C = 170(5)^{0.25217} = 255 \text{ m/min}$$



Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta

Como determinar o valor de K e x a partir dos dados de y e C ?

Solução: Sabemos que $v_c \times T^y = C$ e $y = 1/x$, portanto se elevarmos toda a equação a $1/y$ teremos:

$$v_c^{1/y} \times T^{y/y} = C^{1/y}, \text{ mas } x = 1/y.$$

Sendo assim teremos

$$v_c^x \times T = C^x.$$

Dado que $T \times v_c^x = K$, pode se concluir que:

$$K = C^x$$

Em estudos de usinabilidade utiliza-se V_{60} ao invés de C .

Tabela X.3 pg 466 (Ferraresi)

$$\bar{y} = 0.3 \text{ para MD}$$

$$\bar{y} = 0.15 \text{ para AR}$$

Condições de operação

Valores de y para formula de Taylor para diversos materiais de ferramenta ($v_c T^y = C$)

(valores aprox. em operações de torneamento $f = 0,25$ mm/ver e $a_p = 2,5$ mm. O Termo “Não aço” refere-se a Alumínio, latão e ferro fundido

Muitas vezes os valores recomendados para V_c referem-se a uma vida de 15 min.

$$v_8 = v_{15} \cdot 1,25$$

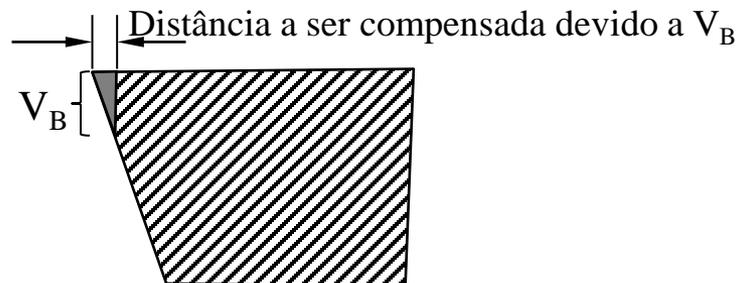
$$v_{30} = v_{15} \cdot 0,8$$

$$v_{60} = v_{15} \cdot 0,6$$

Material de Ferramenta/material da peça	y	C
Aços rápidos	0,2	120
Não ferrosos	0,1	70
Aços	0,1	70
Ligas fundidas	0,1	70
Não ferrosos	0,1	20
Aços	0,1	20
Metal duro Sem Cobertura	0,5	900
Não ferrosos	0,25	500
Aços	0,25	500
Metal duro com Cobertura	-	-
Não ferrosos	-	-
Aços	0,25	700
Cerâmica	-	-
Não ferrosos	-	-
Aços	0,6	3000
CERMET	-	-
Não ferrosos	-	-
Aços	0,25	600

Condições de operação

Processo	Valor de V_B (mm)
Torneamento de precisão	0,2
Torneamento de acabamento	0,3-0,4
Torneamento Desbaste	
Áreas de cavaco convencional	0,6-0,8
Áreas grandes de cavaco	1,0-1,5
Aplainamento de Acabamento	0,3-0,4
Aplainamento de Desbaste	0,6-0,8
Fresamento de Acabamento	0,3-0,4
Fresamento de Desbaste	0,6-0,8



Condições de operação

Determinação da vida da ferramenta em função do tipo de máquina

Máquinas de produção com Setup pequenos. Ex.: Máquinas CN	T= 15 a 30 min
Máquinas com tempos de setup intermediários Ex.: Torno revolver com controle por Cames	T= 60 min
Máquinas com tempo de Setup longos com processo atrelado e máquinas dedicadas como em linhas <i>transfer</i>	T= 240 min

A velocidade para cada uma destas vidas deve ser representada da seguinte forma:

$$T = 15 \text{ min} \quad V_{c15}$$

$$T = 60 \text{ min} \quad V_{c60}$$

$$T = 240 \text{ min} \quad V_{c240}$$

Condições de operação

Table 7.8 Cutting speeds v_c for steels at turning with cemented carbide for $T = 15$ min (v_{c15} values)

Material	Strength or hardness in N/mm ²	Cutting material	a_p in mm	Feed f in mm						Wear criterion	Transformation factors for		
				0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0		$T = 8$	$T = 30$	$T = 60$
S 185–S 275 JR C 15–C 22 mild- and case hardening steel	400—500	P 10	1	450	420	400	380	–	–	VB 0,2 K 0,3	1,25	0,80	0,60
			2	420	400	370	350	–	–				
			4	–	370	350	330	310	300				
		P 20	1	440	400	390	380	–	–	VB 0,4 K 0,3			
			2	380	350	330	310	290	–				
			4	350	330	310	290	270	250				
		P 30	1	–	–	–	–	–	–	VB 0,5 K 0,3			
			2	–	350	330	300	280	–				
			4	–	320	300	280	240	220				
E 295 C 35–C 45, Ck 35 mild steel and case hardening, heat-treated steel 16MnCr5 20MnCrS5 tool and heat-treated steel	500—800 1600—2000 HB	P 10	1	370	340	320	300	–	–	VB 0,2 K 0,3	1,20	0,80	0,65
			2	340	310	290	280	260	–				
			4	320	290	280	260	240	–				
		P 20	1	320	290	270	250	–	–	VB 0,4 K 0,3			
			2	290	270	250	230	210	–				
			4	280	250	230	210	190	180				
		P 30	1	–	–	–	–	–	–	VB 0,5 K 0,3			
			2	–	260	230	200	180	–				
			4	–	240	210	190	170	150				
E 335 Ck 45, Ckk 60 mild- and heat-treated steel 50CrV4 42CrMo4 50CrMo4 heat-treated steel	750—900 1000—1400	P 10	1	330	290	260	230	–	–	VB 0,2 K 0,3	1,15	0,85	0,70
			2	310	270	240	220	200	–				
			4	280	250	220	200	180	170				
		P 20	1	300	270	240	220	–	–	VB 0,4 K 0,3			
			2	270	240	220	200	180	–				
			4	250	220	200	180	160	140				
		P 30	1	–	–	–	–	–	–	VB 0,5 K 0,3			
			2	–	220	190	160	140	120				
			4	–	200	170	140	130	110				

Condições de operação

Table 7.9 Cutting speeds v_c for cast steel, grey cast iron and non-ferrous metals for turning for $T = 15$ min (v_{c15} values)

Material	Strength or hardness in N/mm ²	Cutting material	a_p in mm	Feed f in mm						Wear criterion	Transformation factors for		
				0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0		$T = 8$	$T = 30$	$T = 60$
GE 200–GE 240 cast steel	300–450	P 10	1	380	350	320	300	–	–	VB 0,3 K 0,3	1,20	0,80	0,65
			2	360	330	300	280	–	–				
			4	330	300	280	260	230	210				
		M 20	1	–	–	220	190	180	–	VB 0,3 K 0,3			
			2	–	–	210	180	150	130				
			4	–	–	200	170	140	120				
GJL 100–GJL 400 grey cast iron	1400–1800 HB	M 10	1	300	270	250	230	–	–	VB 0,4 K 0,3			
			2	280	250	230	210	190	–				
			4	270	250	230	210	200	180				
		K 10	1	230	200	180	160	–	–	VB 0,4 K 0,3			
			2	210	190	170	150	130	–				
			4	190	170	150	130	110	100				
GJL 100–GJL 400 grey cast iron	2000–2200 HB	K20	1	150	130	110	100	–	–	VB 0,6			
			2	140	120	100	90	80	–				
			4	130	110	100	90	80	70				
CuZn42–CuZn37 brass	800–1200 HB	K 10 K 20	1	600	550	500	–	–	–	VB 0,4 K 0,3			
			2	550	500	450	420	400	–				
			4	500	480	450	420	400	380				
Al alloy 9–13 % Si	600–1000 HB	SS	1	120	90	70	50	40	35	VB 0,4 K 0,3			
			2	100	80	60	40	30	30				
			4	–	–	–	–	–	–				
		K 10	1	550	500	480	450	–	–				
			2	500	480	460	420	380	340				
			4	–	–	400	370	340	300				

Condições de operação

Table 7.10 Cutting speeds for turning with ceramic tools
(excerpt from company documentation, Degussa, Frankfurt)

Material	Strength R_m (N/mm ²)	Feed f (mm)	Cutting speed v_c (m/min)	Type of machining
Mild steels: E 295–E 360 Tempering steels: C 35, CK 35, C 45, CK 45 a.o.	500 ... 800	0,3–0,5 0,1–0,3	300–100 500–200	roughing finishing
Tempering steels: C 60, CK 60, 40 Mn 4, 30 Mn 5, 37 MnSi 5, 34 Cr 4, 41 Cr 4, 25 CrMo 4, 34 CrMo 4, a.o.	800 ... 1000	0,2–0,4 0,1–0,3	250–100 400–200	roughing finishing
Tempering steels: 42 MnV, 42 CrMo 4, 50 CrMo 4, 36 CrNiMo 4, 34 CrNiMo 6 a.o.	1000 ... 1200	0,2–0,4 0,1–0,3	200–100 350–200	roughing finishing
Unalloyed cast steel GE 260 Alloyed cast steel G 20 Mn 5 G 24 MnMo 5 G 22 CrMo 5 a.o.	500 ... 600	0,3–0,6 0,1–0,3	300–100 500–200	roughing finishing

Condições de operação

Material	Hardness HRC	Feed f (mm)	Cutting speed v_c (m/min)	Type of machining
Hot forming tool steels, Die steels	45–55	0,05–0,2	150–50	Finish-turning
Cold work steels, ball bearing steels	55–60	0,05–0,15	80–30	Finish-turning
Cold work steels, High speed steels	60–65	0,05–0,1	50–20	Finish-turning

Table 7.10 Cutting speeds for turning with ceramic tools
(excerpt from company documentation, Degussa, Frankfurt)

Material	Brinell-hardness HB	Feed f (mm)	Cutting speed v_c (m/min)	Type of machining
GJL 100–GJL 250	1400 ... 2200	0,3–0,8 0,1–0,3	300–100 400–200	Roughing Finishing
GJL 300 Special cast iron 40 GG alloyed	2200 ... 3500	0,2–0,6 0,1–0,3	250–80 300–100	Roughing Finishing
Brass: Ms 63, (CuZn 37)	800	0,3–0,8 0,1–0,3	500–300 1000–400	Roughing Finishing
Aluminium alloys	600 ... 1200	0,3–0,8 0,1–0,3	1000–600 2000–800	Roughing Finishing

Condições de operação

Table 7.11 Cutting speeds for turning with diamond
(excerpt from company documentation, Winter & Sohn, Hamburg)

Material	f in mm	a_p in mm	v_c in m/min
Al alloy (9–13 % Si)	0,04	0,15	300–500
Al- extrusion special alloy 12 % Si–120 HB	0,25	0,4	200–500
Electrolyte copper	0,05–0,1	0,05–0,4	140–400
Brass	0,03–0,08	0,5–1,4	80–400
Plastics PTFE with 20% glass fibre	0,12–0,18	0,5–3,0	130–170

Condições de operação



Acabamento de Superfície através de torneamento

Valores de referência: 0,025 até 25 μm Ra

Valores comuns: 0,40 até 6,3 μm Ra (N5 a N9)

<i>Rugosidade Ra (μm)</i>	Gradação de Rugosidade
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1



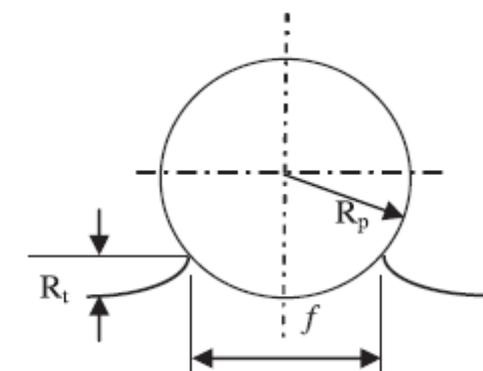
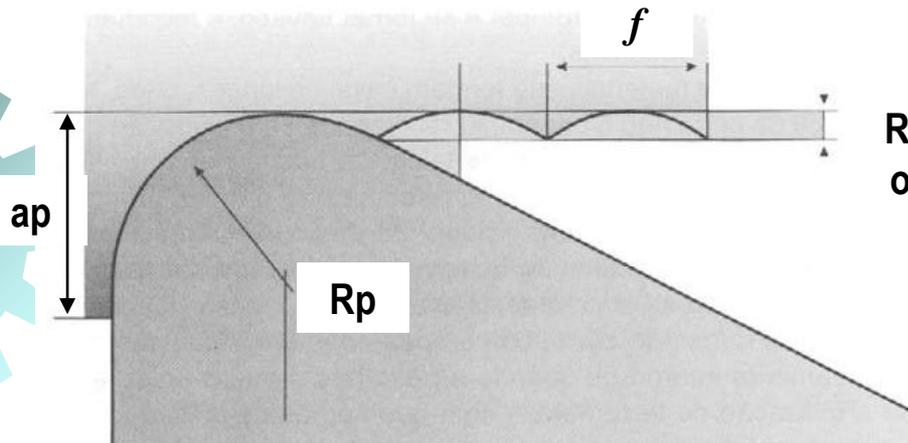
Condições de operação

Os valores de acabamento podem, teoricamente, ser calculados através da seguinte equação:

$$R_{\max} = \frac{f^2}{8 \cdot R_p}$$

onde f é o avanço (mm/rev) e R_p é o raio de ponta da ferramenta

Condições de operação



Usando Pitágoras

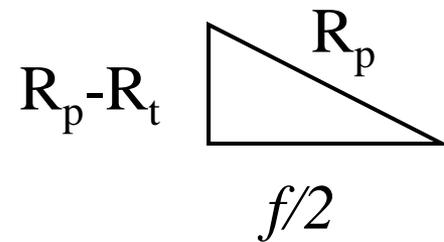
$$R_p^2 = (R_p - R_t)^2 + \frac{f^2}{4}$$

$$R_p^2 = R_p^2 - 2R_p R_t + R_t^2 + \frac{f^2}{4}$$

R_t^2 é muito pequeno

para $R_p \gg f$

$$R_t = \frac{f^2}{8R_p}$$



$$R_a = \frac{0,03125 \cdot f^2}{R_p}$$

Condições de operação

$$R_a = \frac{f^2}{18\sqrt{3} \cdot R_p}$$

$$R_a = \frac{0,03125 \cdot f^2}{R_p}$$

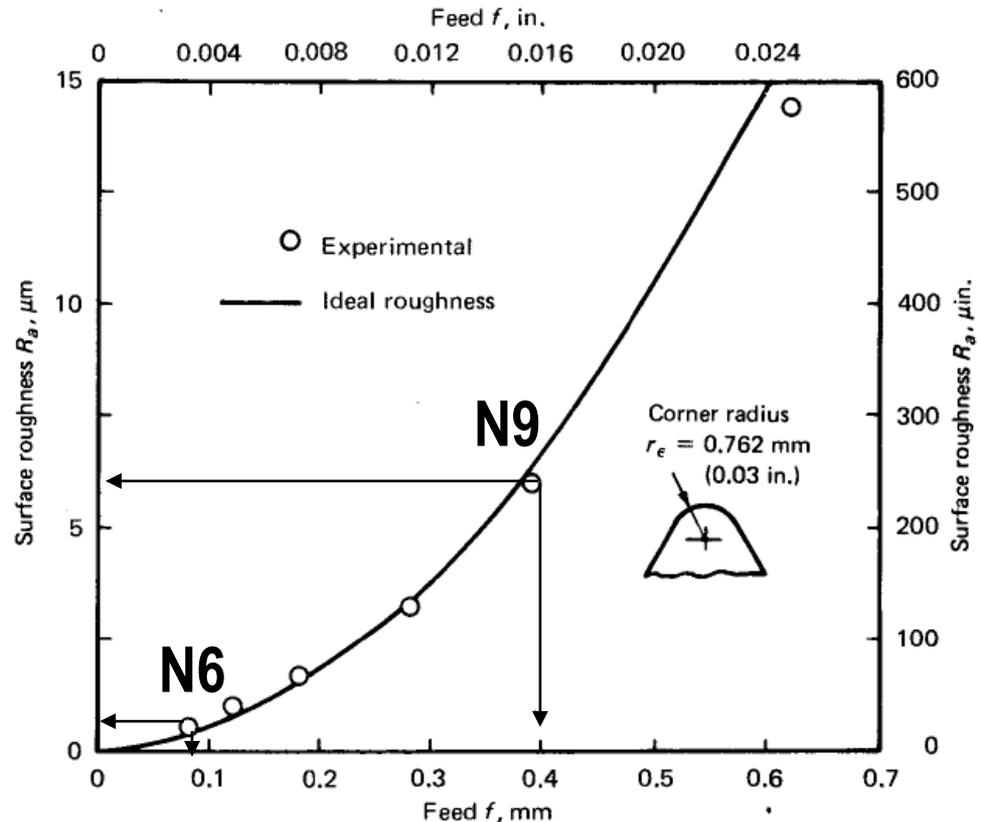


FIG. 5.8 Comparison of experimental results with an idealized model of surface roughness.



Exemplo

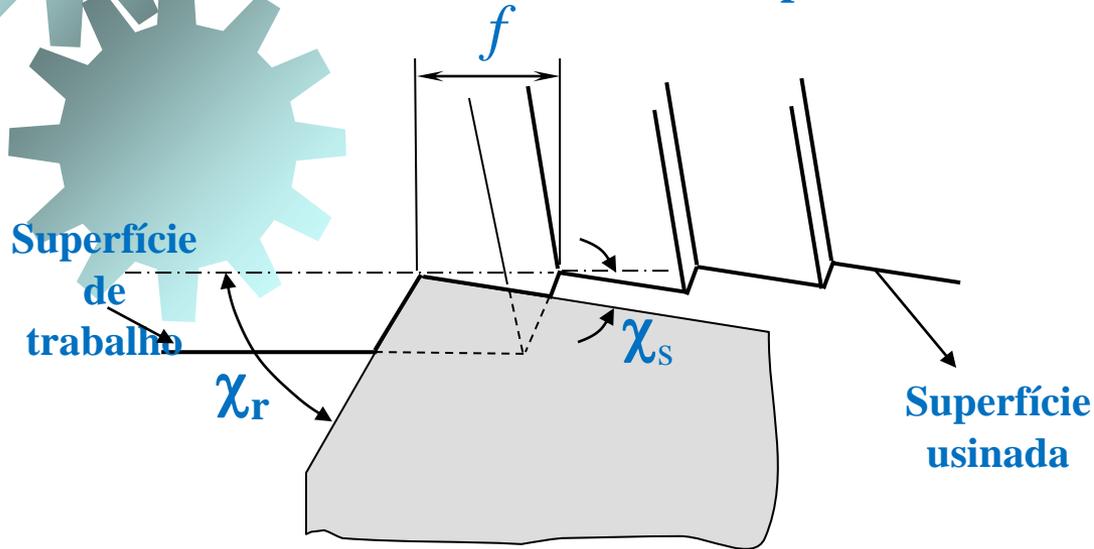
Em uma operação de torneamento em acabamento, usou-se uma ferramenta de Metal Duro com raio de ponta de 0,8mm, avanço de 0,2 mm/rev e prof. de usinagem de 0,1 mm. Estime qual a rugosidade R_a da superfície acabada.

$$R_a = \frac{0,03125 \times f^2}{R_p} = \frac{0,03125 \times (200 \mu m)^2}{800 \mu m} = 1,56 \mu m$$

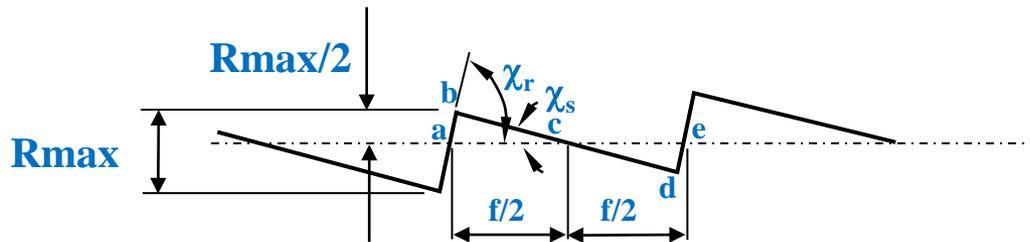
Ou N7

Condições de operação

Superfície ideal obtida com ferramenta com ponta seca



(a)



(b)

Assim, para esse exemplo, o valor da rugosidade R_a é dado por:

$$R_a = \frac{|abc| + |cde|}{f} \quad (1)$$

onde f é o avanço.

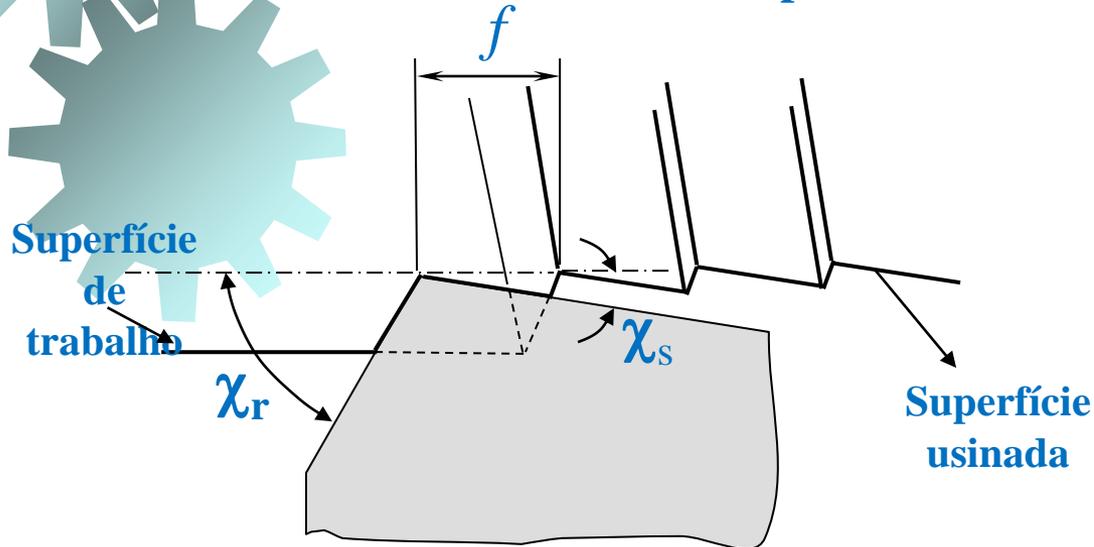
Dado que as áreas abc e cde sejam iguais, então

$$R_a = \frac{2}{f} |abc| = \frac{R_{\max}}{4} \quad (2)$$

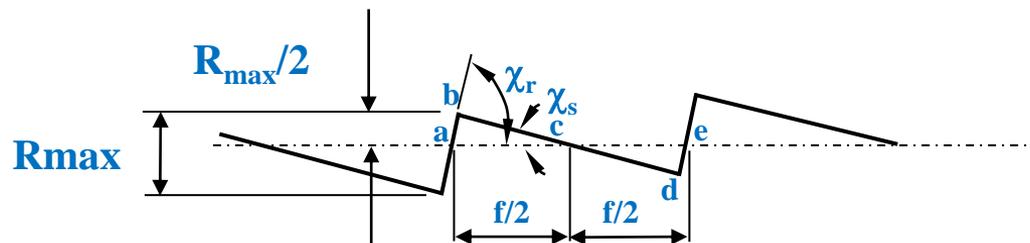
Onde $R_{\max}/2$ é a altura do triângulo abc .

Condições de operação

Superfície ideal obtida com ferramenta com ponta seca



(a)



(b)

É interessante observar que o valor da média aritmética da rugosidade para uma superfície, tendo triângulos como irregularidades, seja igual a $\frac{1}{4}$ da máxima altura das irregularidades.

Geometricamente,

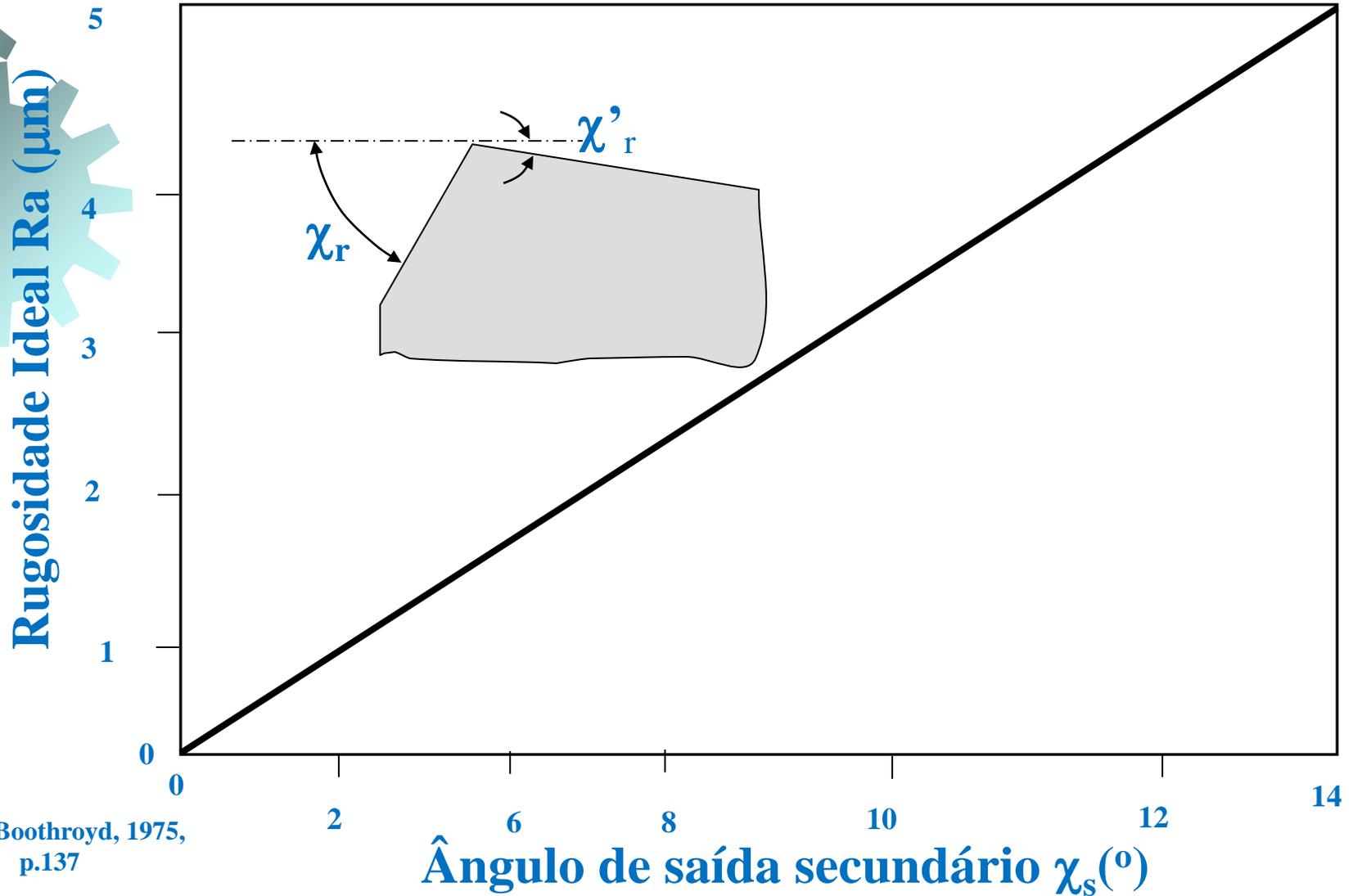
$$R_{max} = \frac{f}{\cot \chi_r + \cot \chi_s} \quad (3)$$

Substituindo a eq. (3) na eq. (2) tem-se:

$$R_a = \frac{f}{4(\cot \chi_r + \cot \chi_s)} \quad (4)$$

A eq. (4) mostra que o valor aritmético médio de tal superfície é diretamente proporcional ao avanço.

Condições de operação

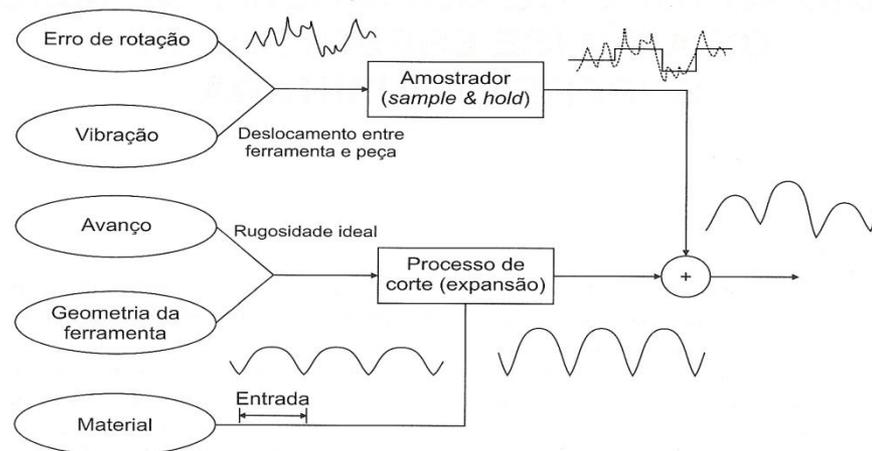


Fonte: Boothroyd, 1975,
p.137

Condições de operação

Outros fatores que podem contribuir para rugosidade da peça:

- 1) Ocorrência de vibração da Máquina
- 2) Imprecisão nos movimentos da maquinas (folgas)
- 3) Irregularidade do mecanismo de avanço
- 4) Defeitos na estrutura do material
- 5) Cavacos descontínuos na usinagem de materiais frágeis (duros)
- 6) imperfeições em materiais dúcteis usinados com baixas velocidades de corte
- 7) Danos causados pelo contato com cavaco.



Condições de operação

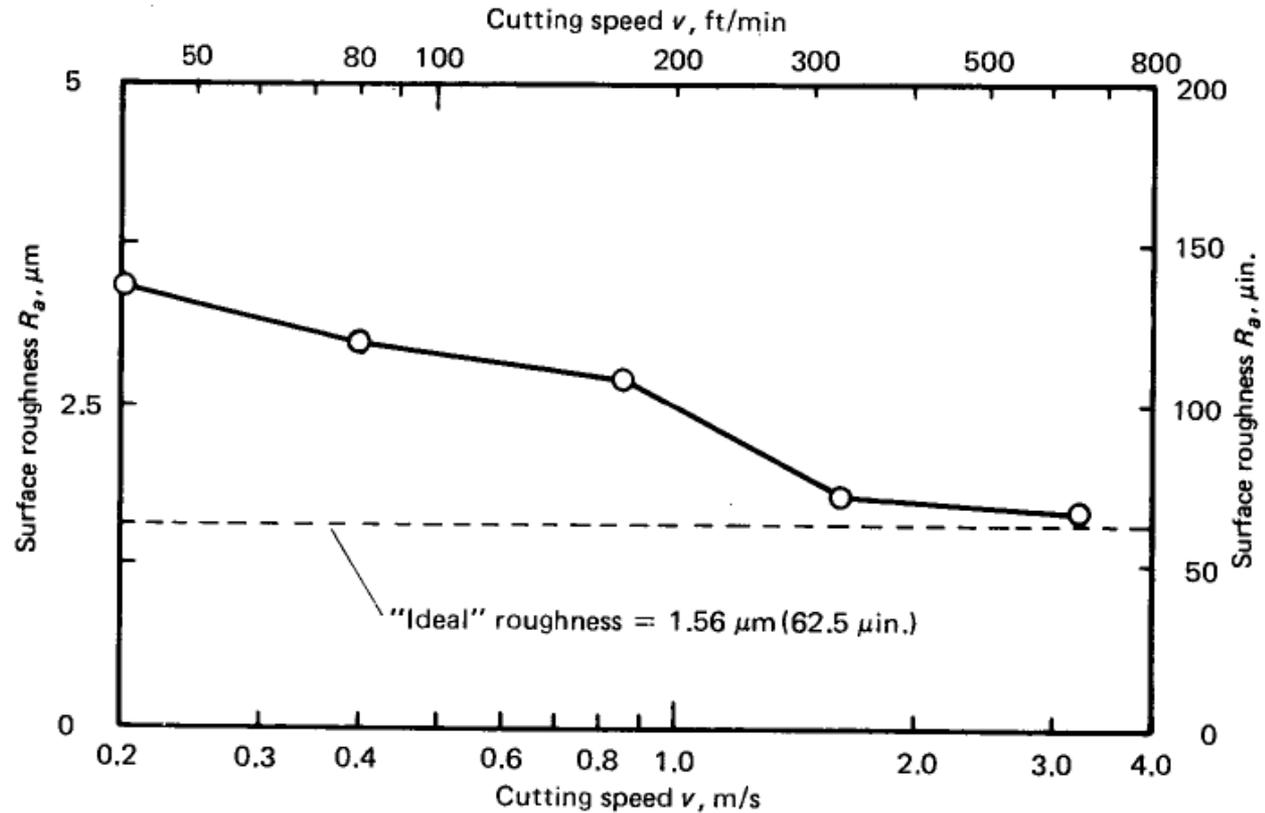


FIG. 5.9 Effect of cutting speed on the surface roughness of turned specimens of mild steel.

Condições de operação

Tabela 1 - Recomendações gerais para operações de torneamento

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Aço de baixo carbono	Carbeto sem cobertura	1,5 – 6,3	0,35	90	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	60 – 135
	Carbeto com cobertura de cerâmica	1,5 – 6,3	0,35	245 - 275	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	120 – 425
	Carbeto com tripla cobertura	1,5 – 6,3	0,35	185 - 200	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	90 - 245
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 6,3	0,35	105 - 150	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	60 – 230
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	1,5 – 6,3	0,25	395 – 440	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	365 – 550
	Cermet	1,5 – 6,3	0,30	215 - 290	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	105 – 455
Aços de Médio e alto carbono	Carbeto sem cobertura	1,2 – 4,0	0,30	75	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	45 – 120
	Carbeto com cobertura de cerâmica	1,2 – 4,0	0,30	185 – 230	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	120 – 410
	Carbeto com tripla cobertura	1,2 – 4,0	0,30	120 – 150	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	75 – 215
	Carbeto com cobertura de TiN	1,2 – 4,0	0,30	90 – 200	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	45 – 215
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	1,2 – 4,0	0,25	335	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	245 – 455
	Cermet	1,2 – 4,0	0,25	170 - 245	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	105 - 305

Condições de operação

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Ferro fundido cinzento	Carbeto sem cobertura	1,25 – 6,3	0,32	90	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	75 – 185
	Carbeto com cobertura de cerâmica	1,25 – 6,3	0,32	200	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	120 – 365
	Carbeto com cobertura de TiN	1,25 – 6,3	0,32	90 – 135	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	60 – 215
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	1,25 – 6,3	0,25	455 – 490	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	365 – 855
	Cerâmica SiN	1,25 – 6,3	0,32	730	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	200 – 990
Aço inoxidável austenítico	Carbeto com tripla cobertura	1,5 – 4,4	0,35	150	0,5 – 12,7	0,08 – 0,75	75 – 230
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 4,4	0,35	85 – 160	0,5 – 12,7	0,08 – 0,75	55 – 200
	Cermet	1,5 – 4,4	0,30	185 – 215	0,5 – 12,7	0,08 – 0,75	105 – 290
Ligas a base de Níquel	Carbeto sem cobertura	2,5	0,15	25 – 45	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	15 – 30
	Carbeto com cobertura de cerâmica	2,5	0,15	45	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	20 – 60
	Carbeto com cobertura de TiN	2,5	0,15	30 – 55	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	20 – 85
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	2,5	0,15	260	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	185 – 395
	Cerâmica SiN	2,5	0,15	215	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	90 – 215
	CBN policristalino	2,5	0,15	150	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	120 – 185
Ligas de Titânio	Carbeto sem cobertura	1,0 – 3,8	0,15	35 – 60	0,25 – 6,3	0,1 – 0,4	10 – 75
	Carbeto com cobertura de TiN	1,0 – 3,8	0,15	30 – 60	0,25 – 6,3	0,1 – 0,4	10 - 100

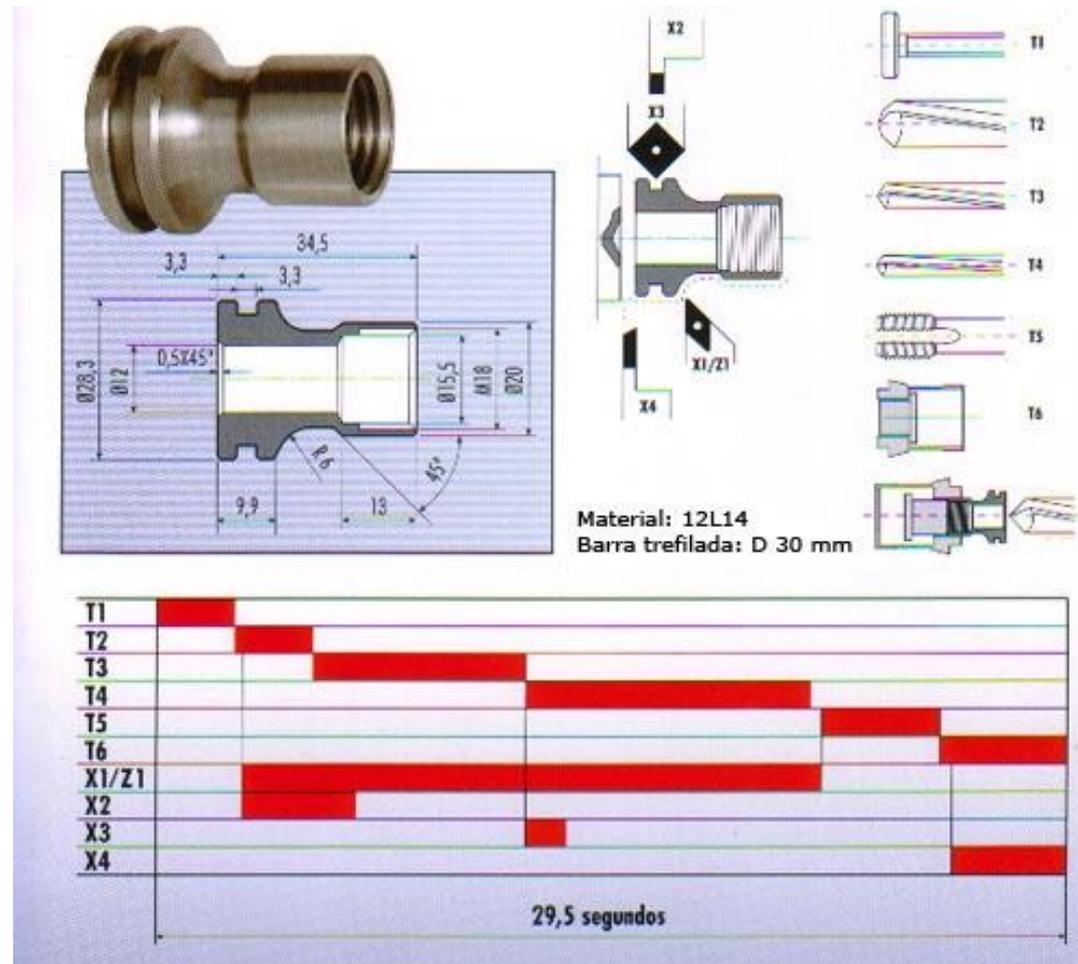
Condições de operação

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Ligas de Alumínio como recebido	Carbeto sem cobertura	1,5 – 5,0	0,45	490	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	200 - 670
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 5,0	0,45	550	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	60 - 915
	Cermet	1,5 – 5,0	0,45	490	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	215 - 795
	Diamante policristalino	1,5 – 5,0	0,45	760	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	305 - 3050
Silício	Diamante policristalino	1,5 – 5,0	0,45	530	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	365 - 915
Ligas de Cobre	Carbeto sem cobertura	1,5 – 5,0	0,25	260	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	105 - 535
	Carbeto coberto com cerâmica	1,5 – 5,0	0,25	365	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	215 - 670
	Carbeto com tripla cobertura	1,5 – 5,0	0,25	215	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	90 - 305
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 5,0	0,25	90 - 275	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	45 - 455
	Cermet	1,5 – 5,0	0,25	245 - 425	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	200 - 610
	Diamante policristalino	1,5 – 5,0	0,25	520	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	275 - 915
Ligas de Tungstênio	Carbeto sem cobertura	2,5	0,2	75	0,25 – 5,0	0,12 – 0,45	55 - 120
	Carbeto com cobertura de TiN	2,5	0,2	85	0,25 – 5,0	0,12 – 0,45	60 - 150

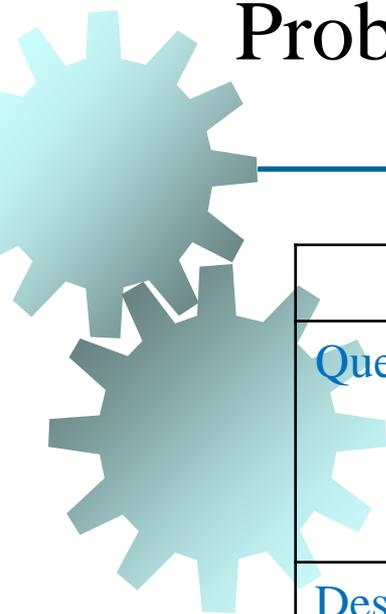
Condições de operação

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Termoplástico e termorígido	Carbeto com cobertura de TiN	1,2	0,12	170	0,12 – 5,0	0,08 – 0,35	90 – 230
	Diamante policristalino	1,2	0,12	395	0,12 – 5,0	0,08 – 0,35	150 - 730
Compósitos, reforçados com grafita	Carbeto com cobertura de TiN	1,9	0,2	200	0,12 – 6,3	0,12 – 1,5	105 - 290
	Diamante policristalino	1,9	0,2	760	0,12 – 6,3	0,12 – 1,5	550 - 1310

peça apresentada neste plano de trabalho é produzida em um **torno automático CNC de carros múltiplos** dotado de torre revólver estrela indexável de 6 posições. A peça de aço SAE 12L14 é usinada por completo em um tempo de ciclo de trabalho de **29,5 seg. por peça**. O gráfico indica as operações que são executadas de forma simultânea.



Problemas em Operações de Torneamento



Problema	Causas Possíveis
Quebra de ferramentas	O material da ferramenta não tem rigidez suficiente; ângulos da ferramenta inadequados; máquina ferramenta não tem rigidez adequada; mancais e componentes da máquina com desgaste excessivo; parâmetros de corte com valores muito elevados.
Desgaste excessivo da ferramenta	Parâmetros de corte com valores muito elevados; Material impróprio da ferramenta; Fluido de corte inadequado; ângulos inadequados da ferramenta.
Superfície acabada com rugosidade alta	Aresta postiça de corte na ferramenta; avanço muito alto; ângulo da ponta da ferramenta muito pequeno; ferramenta com desgaste acentuado; vibração ocorrendo no processo.
Variabilidade dimensional	Desgaste acentuado da ferramenta; falta de rigidez no sistema; elevação de temperatura excessiva.
Vibrações na ferramenta	Falta de rigidez; peça suportada inadequadamente; ferramenta com balanço excessivo.



Sugestões para Evitar Vibrações e Trepidações na Operação de Torneamento

- Minimize o balanço da ferramenta.
- Prenda a peça rigidamente.
- Escolha máquinas com alta rigidez e grande capacidade de amortecimento.
- Quando a ferramenta começa a vibrar e trepidar, modifique um ou mais dos parâmetros de processamento tais como a forma da ferramenta, a velocidade de corte, o avanço, a profundidade de corte e o fluido de corte.



Orientações de Projeto para Peças Torneadas

- Projetar peças que permitam uma fixação simples em dispositivos de fixação e posicionamento. Peças longas e esbeltas são difíceis de serem fixadas de modo a suportar as forças de fixação e usinagem.
- A especificação de tolerância e acabamento deve ser a mais aberta possível, respeitando os requisitos funcionais da peça.
- Cantos vivos, cones e grandes variações de dimensões na peça devem ser evitados.
- O *blanque*, de onde a peça será obtida, deve ter dimensões próximas das dimensões finais da peça de modo a evitar corte desnecessário de material e reduzir o tempo de usinagem.
- As peças devem ser projetadas de modo que as ferramentas possam percorrer a peça sem obstruções.
- As *features* ou características projetadas na peça devem ser tais que ferramentas comerciais (padronizadas) possam ser usadas.
- O material da peça deve ser selecionado com base em sua usinabilidade, respeitando os requisitos funcionais da peça.



Aulas de Laboratório: Recomendações

1. Óculos de segurança DEVEM ser usados o tempo todo
2. Sapatos fechados (couro preferencialmente) – **chinelo, sandálias sapatos abertos estão PROIBIDOS**
3. Não usar **roupas largas** no laboratório.
4. Não usar dispositivos que tirem a atenção: celulares, iPods, etc.
5. Conduta profissional, incluindo a linguagem.
6. Relatem qualquer fator de insegurança aos técnicos e/ou professores
7. Nunca se aproximem da pessoa que esteja operando um equipamento pelo lado “CEGO”
8. Identifique perigos associados a máquina antes das operações.
9. Se você quebrar ou danificar algo, reportem-se ao Professor responsável imediatamente.
10. Deixe organizado e limpo o local que você ocupou.
11. Cabelos longos devem ser usados permanentemente presos.