



SEM-0534

Processos de Fabricação Mecânica

Aula 2

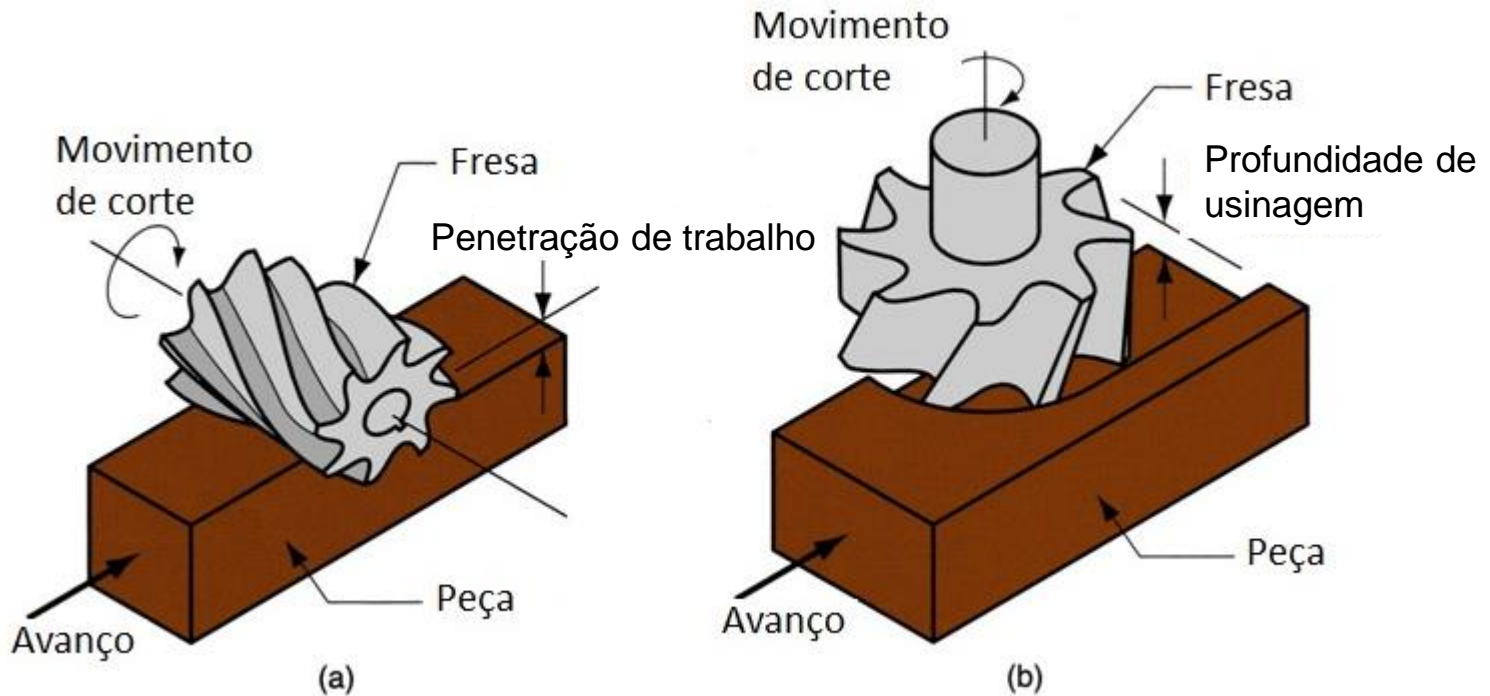
Professor

Alessandro Roger Rodrigues

Tipos de Corte no Fresamento

(a) Fresamento Tangencial

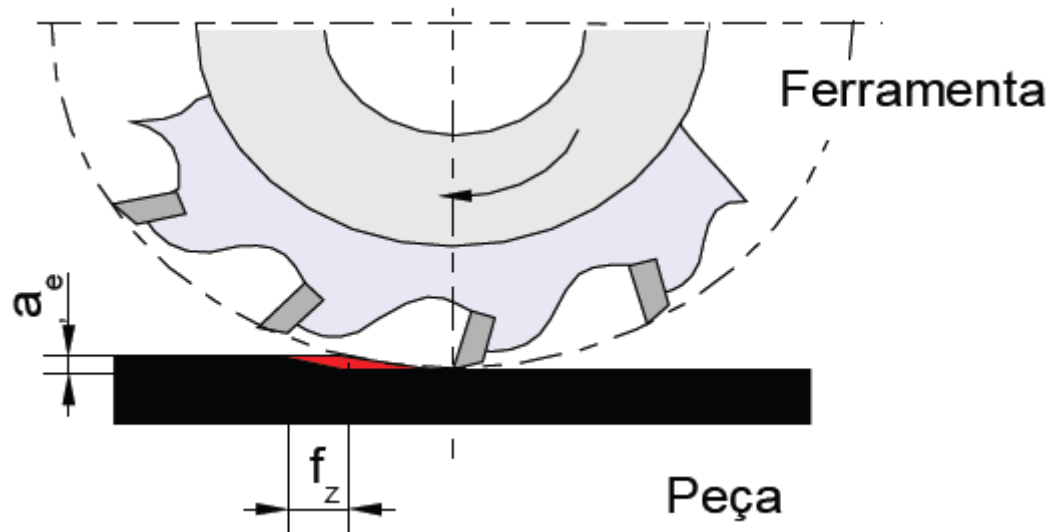
(b) Fresamento Frontal



Tipos de Corte no Fresamento

O eixo da fresa está disposto paralelamente à superfície da peça .

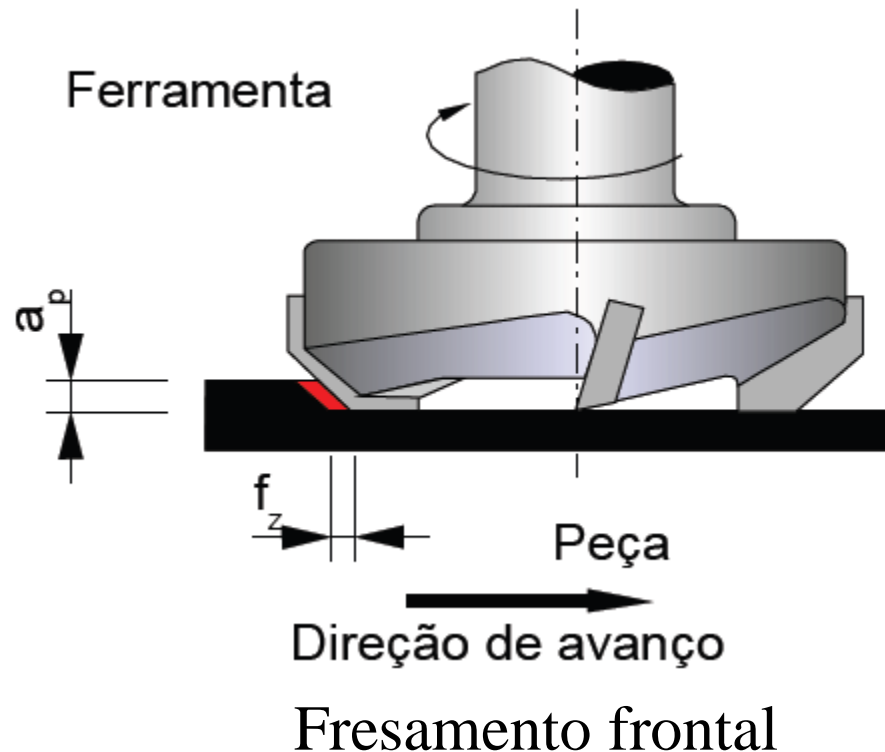
Arestas de corte colocadas na periferia da parte cilíndrica.



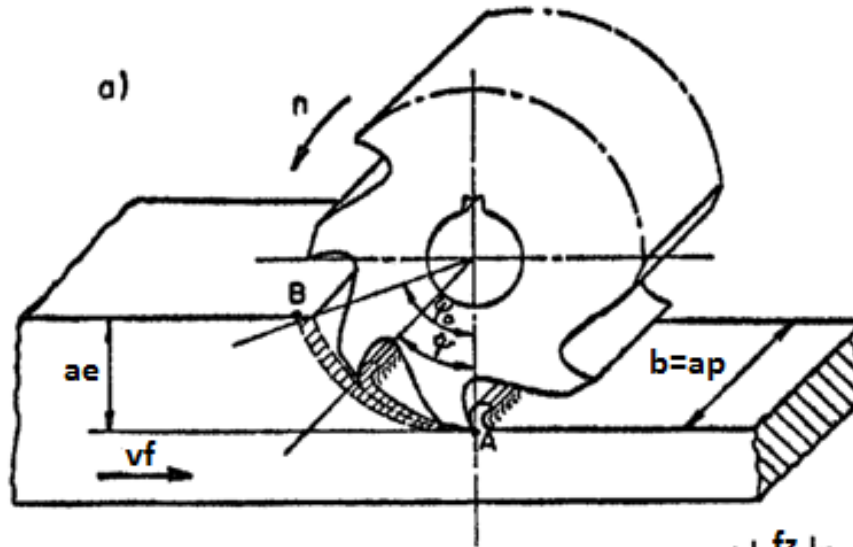
Fresamento tangencial

Tipos de Corte no Fresamento

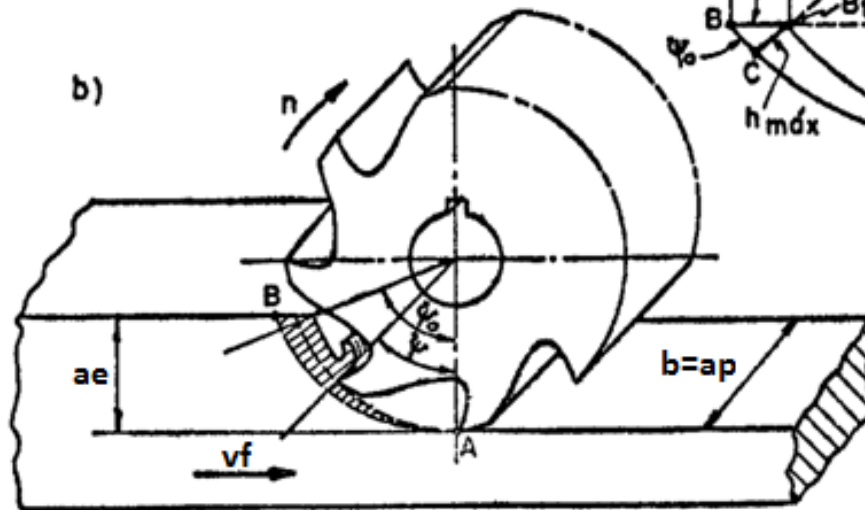
O eixo da fresa é perpendicular à superfície de trabalho.



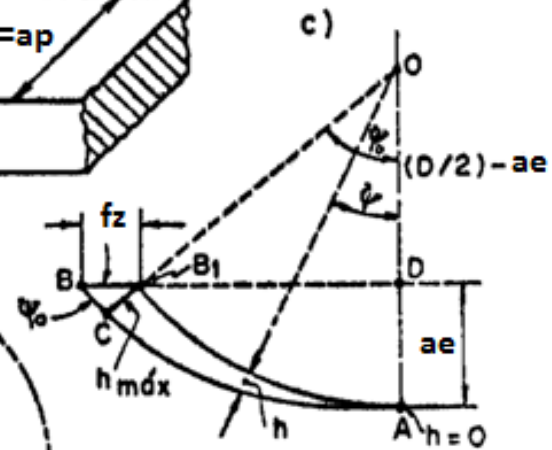
Tipos de Corte no Fresamento Tangencial



Concordante



Discordante



Operações de Fresamento

Faceamento geral



Faceamento de alumínio

Faceamento com altos avanços



Operações de Fresamento

Fresamento de cantos a 90° profundos



Faceamento de cantos a 90°



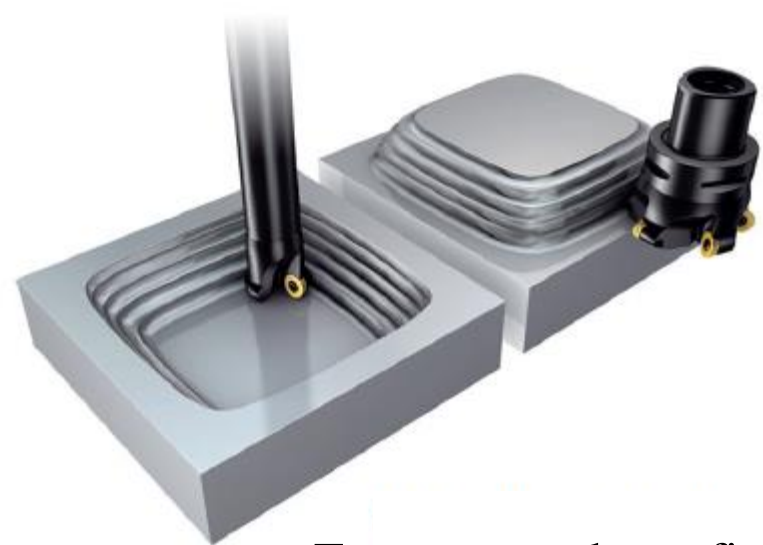
Fresamento de cantos a 90°

Operações de Fresamento

Fresamento de perfis
(acabamento/semi)



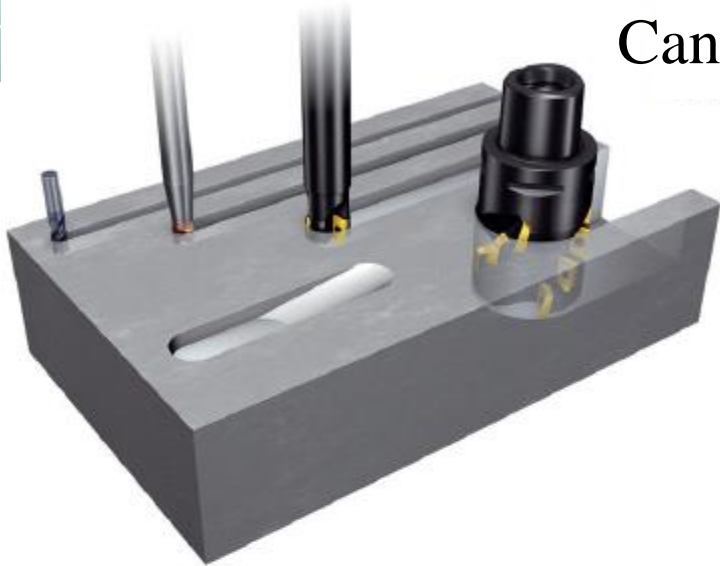
Faceamento de perfis
(acabamento)



Fresamento de perfis
(desbaste/semi)

Operações de Fresamento

Canais frontais



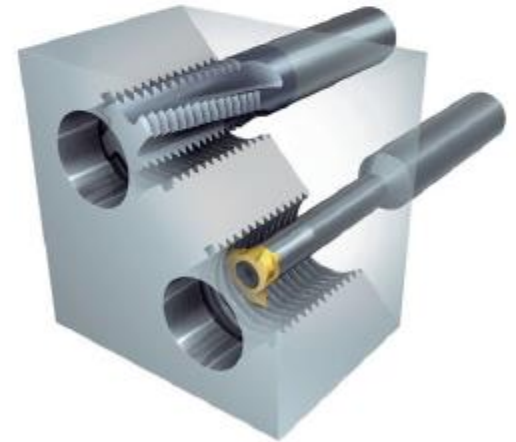
Roscas externas



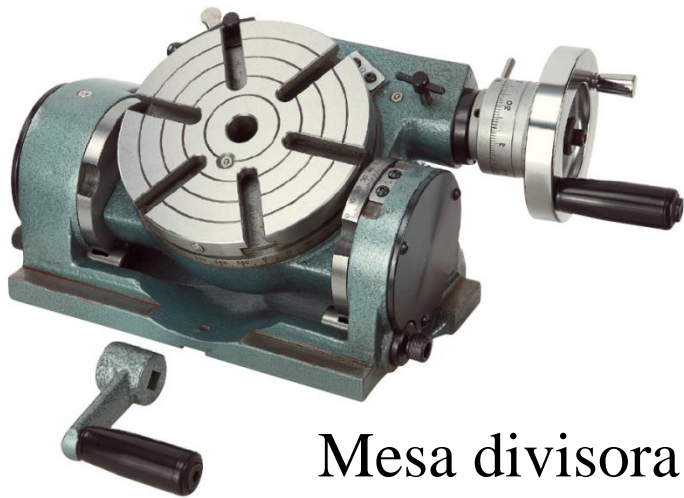
Canais tangenciais



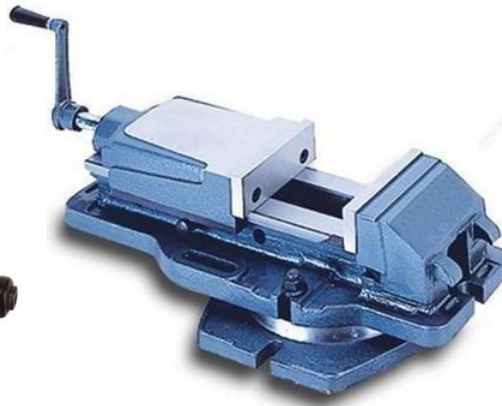
Roscas internas



Fixação da Peça na Fresadora



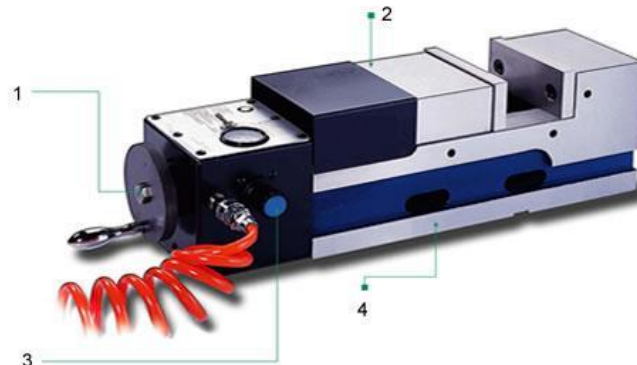
Mesa divisora



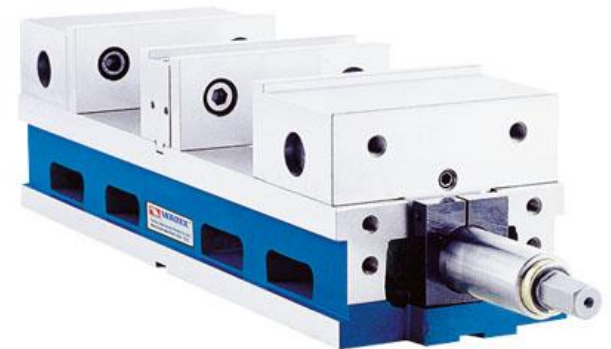
Morsa giratória



Morsa angular

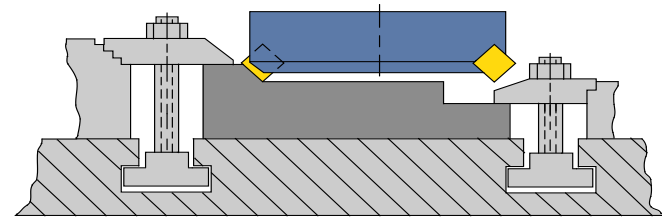


Morsa pneumática



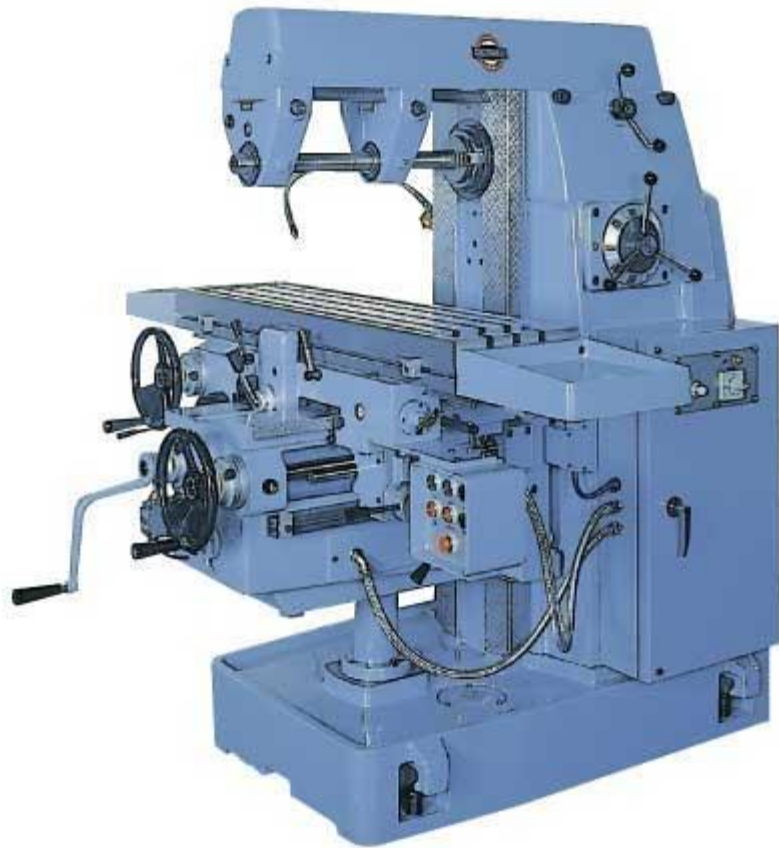
Morsa de precisão

Fixação da Peça na Fresadora

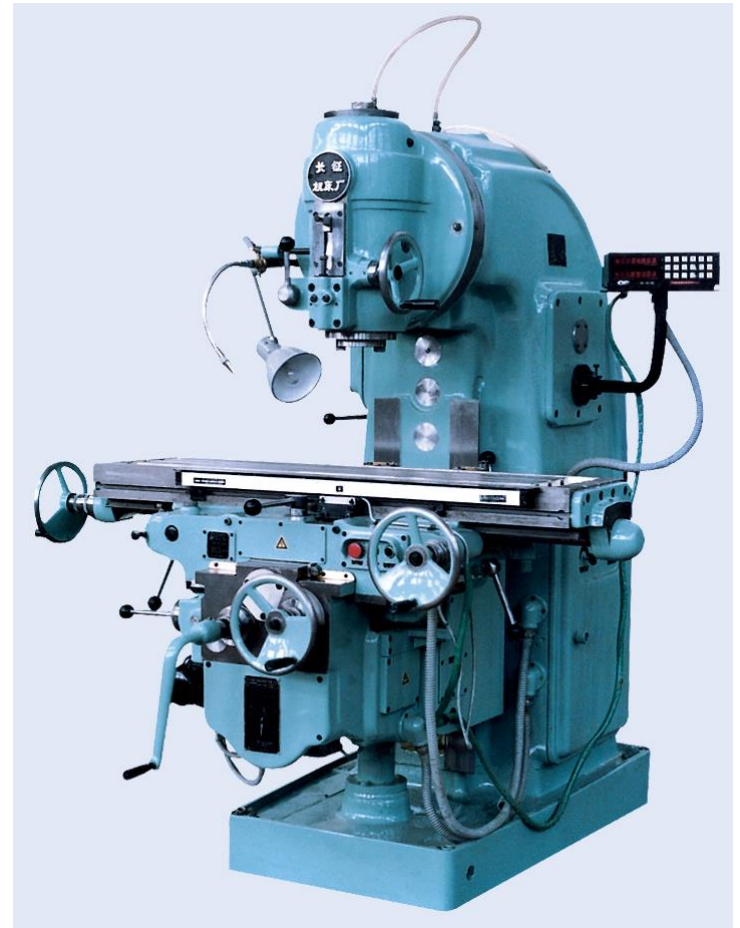


Grampos

Tipos de Fresadoras



Horizontais



Verticais

Tipos de Fresadoras



Universal



Tipos de Fresadoras



Ferramenteira

Máquinas CNC



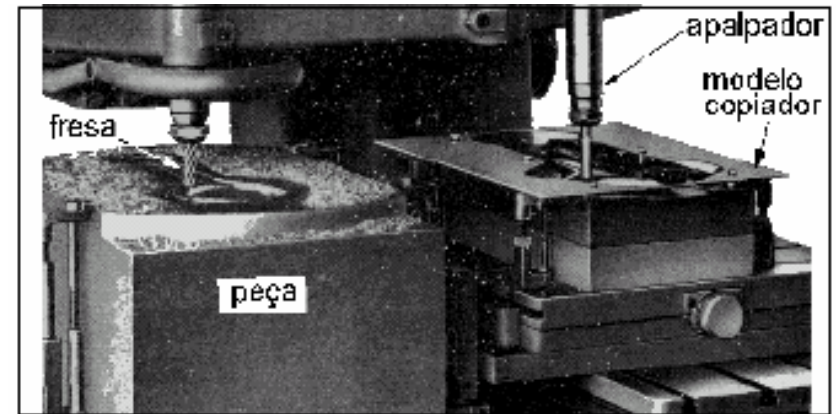
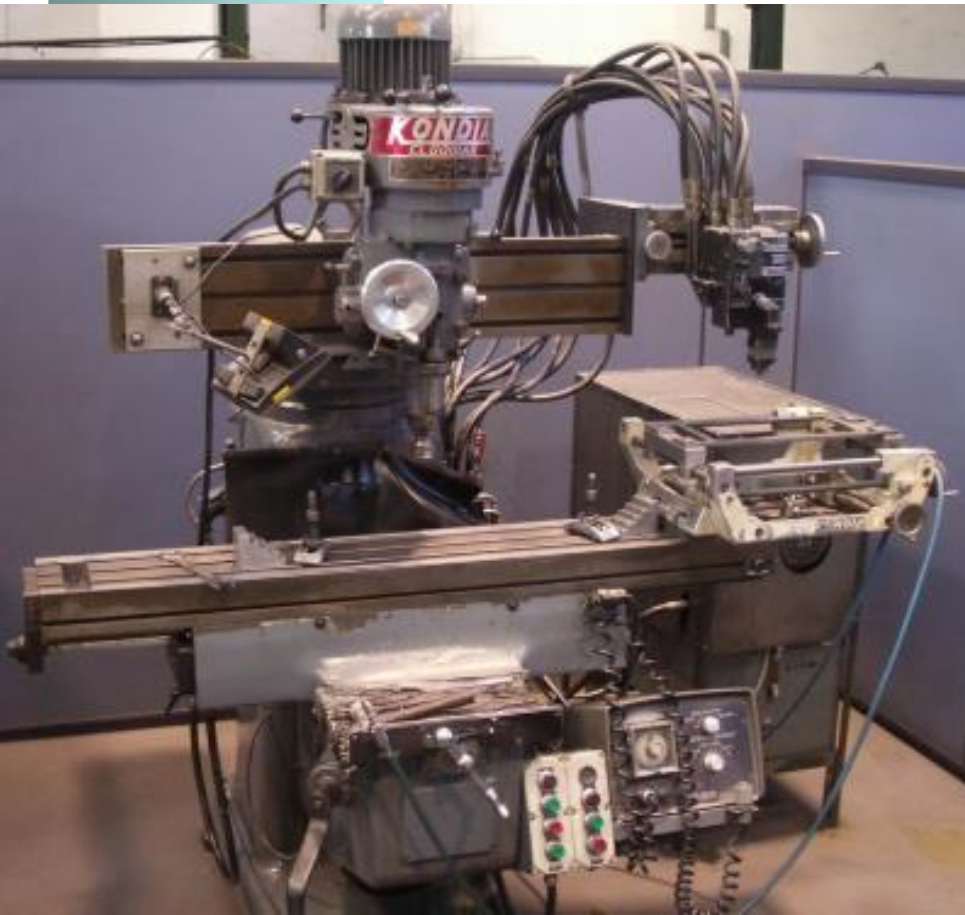
Centro de Usinagem



Multi-tarefa

Tipos de Fresadoras (Especiais)

Copiadora



Ferramenta Multicortante

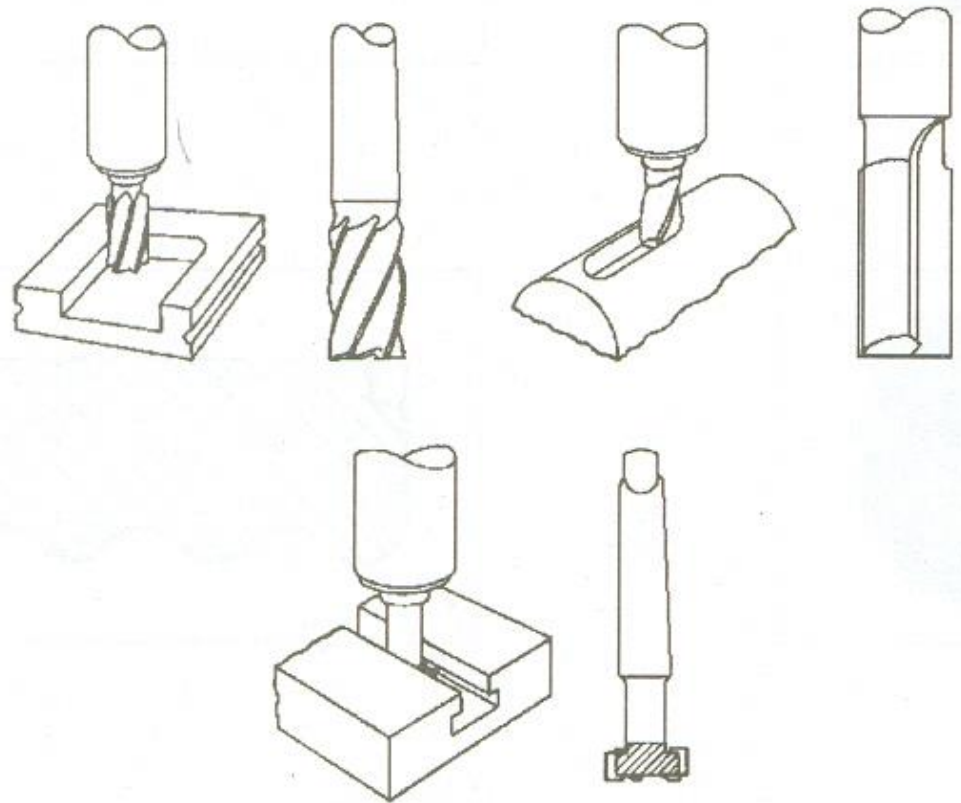
Partes constituintes da ferramenta



Tipos de Fresas

Fresas de Topo

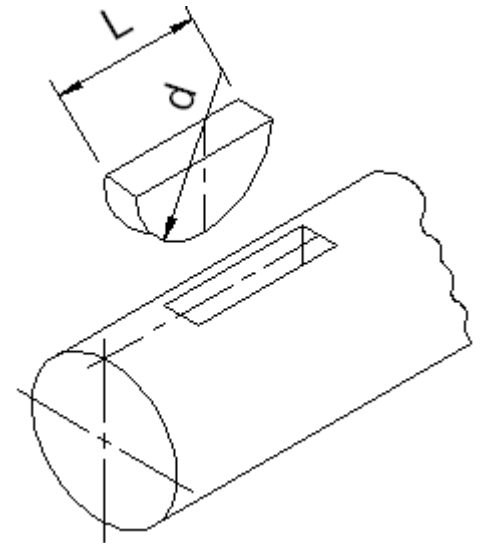
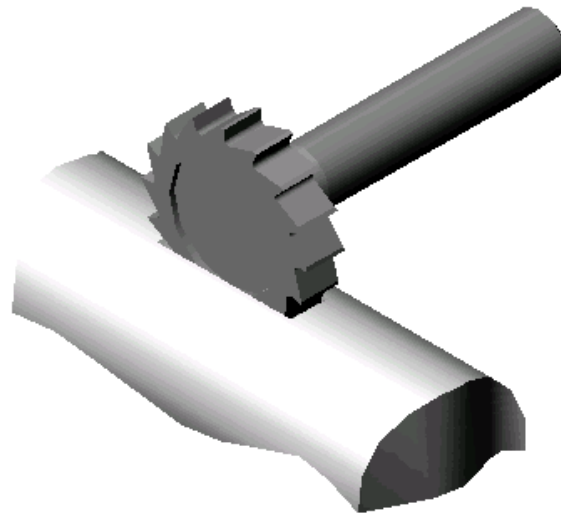
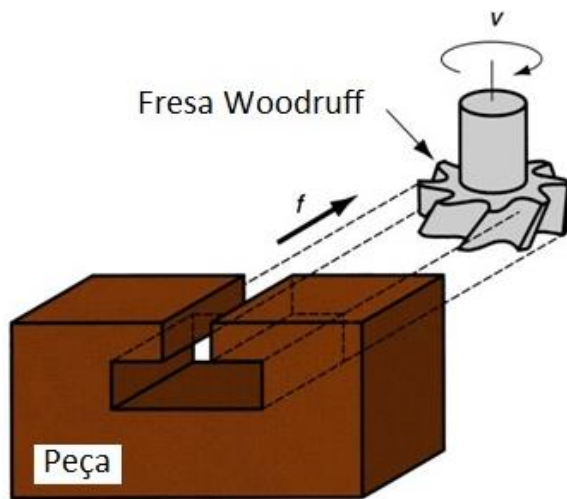
São utilizadas na construção cavidades tais como: rasgos de chavetas, rasgos em T e cavidades em moldes.



Tipos de Fresas

Fresas Woodruff

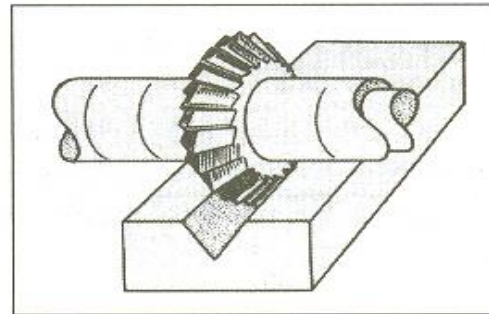
Usadas para rasgos T e rasgos de chaveta



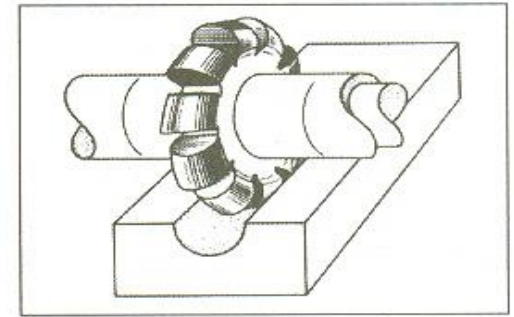
Tipos de Fresas

Fresas de Perfil Constante

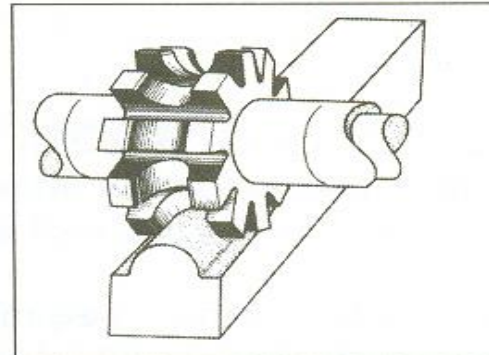
São utilizadas para abrir canais, superfícies côncavas e convexas ou gerar engrenagens.



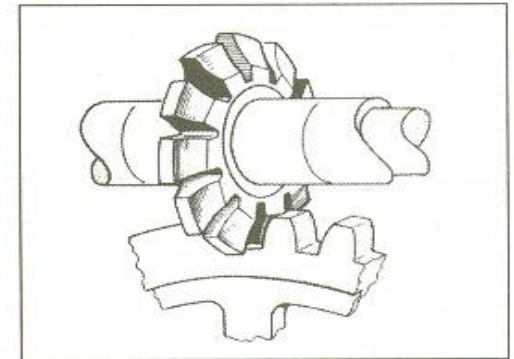
fresa biangular/perfil em V



fresa convexa/perfil côncavo



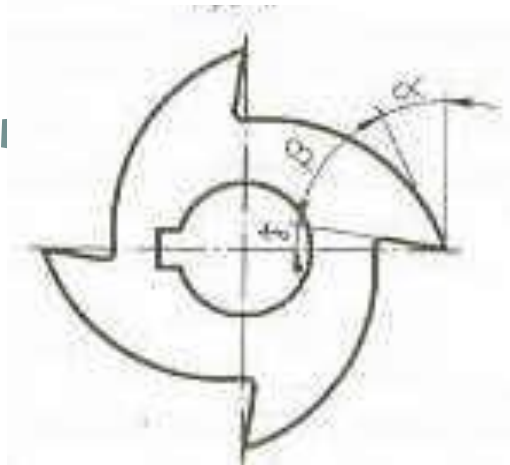
fresa côncava/perfil convexo



fresa módulo/dentes de engrenagem

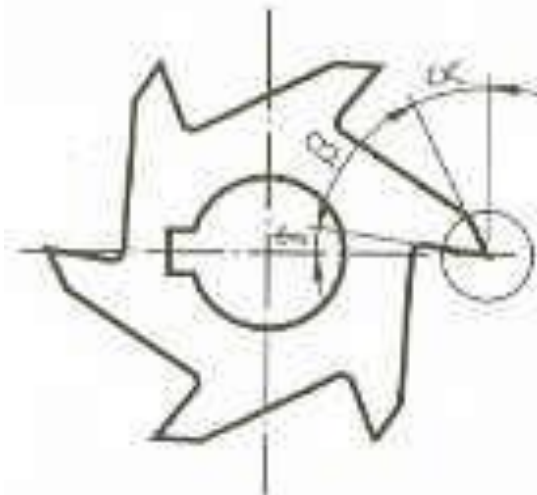
Escolha das Ferramentas de Fresamento

Tipo W



$$\gamma = 25^\circ, \beta = 57^\circ, \alpha = 8^\circ$$

Tipo N



$$\gamma = 10^\circ, \beta = 73^\circ, \alpha = 7^\circ$$

Tipo H



$$\gamma = 5^\circ, \beta = 81^\circ, \alpha = 4^\circ$$

Cunha menos resistente.

É recomendada para usinar materiais não-ferrosos de baixa dureza, como o alumínio, bronze e plásticos.

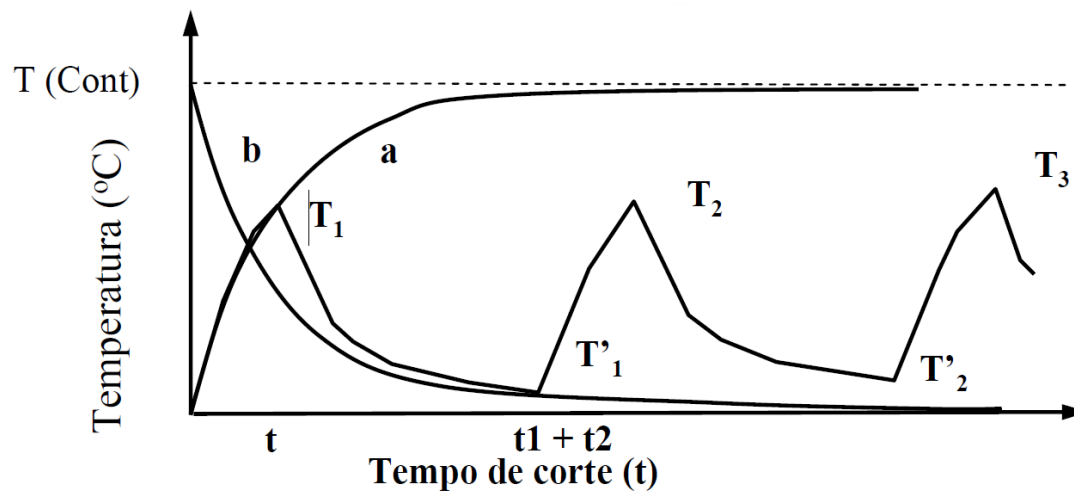
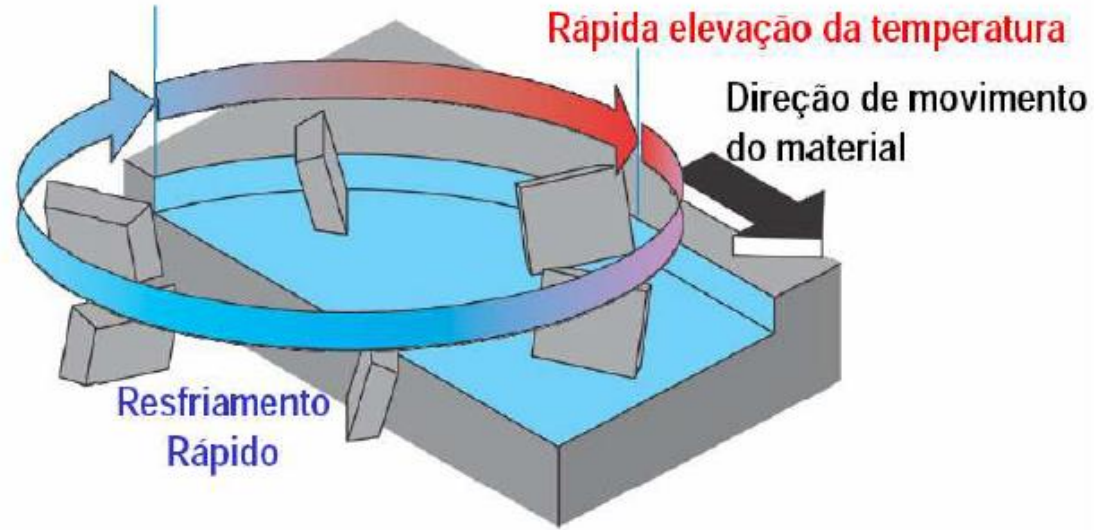
Cunha de resistência intermediária.

É recomendada para usinar aços com até 700 N/mm² de resistência à tração.

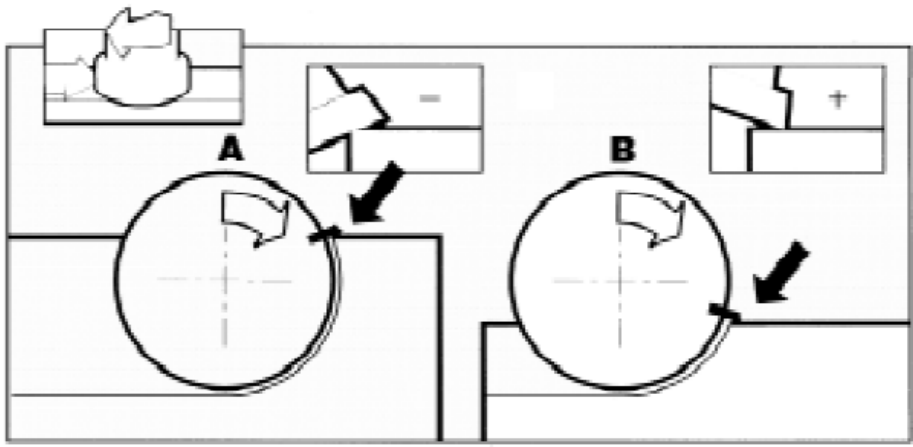
Cunha mais resistente.

Recomendada para se usinar metais duros e quebradiços como aços com mais de 700 N/mm² de resistência à tração.

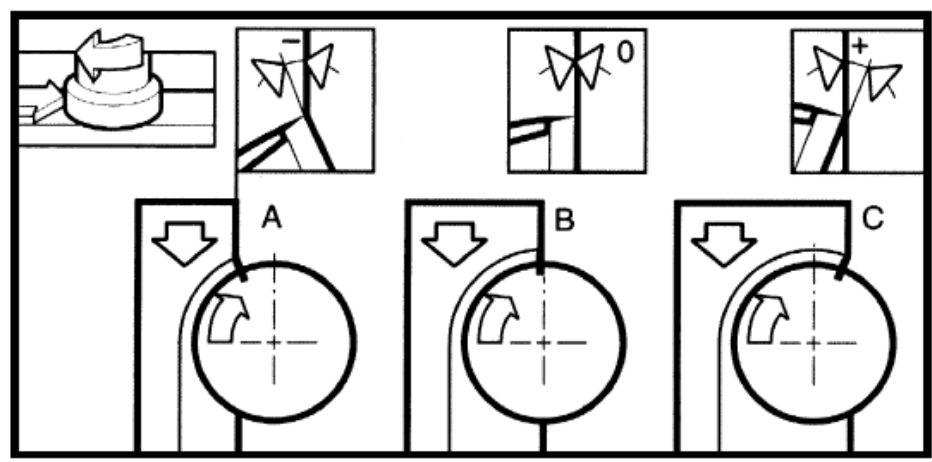
Choque Térmico



Choque Mecânico

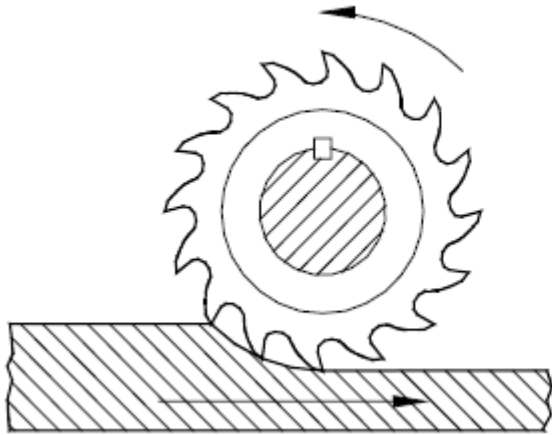


Entrada na peça



Saída da peça

Número de Arestas Ativas



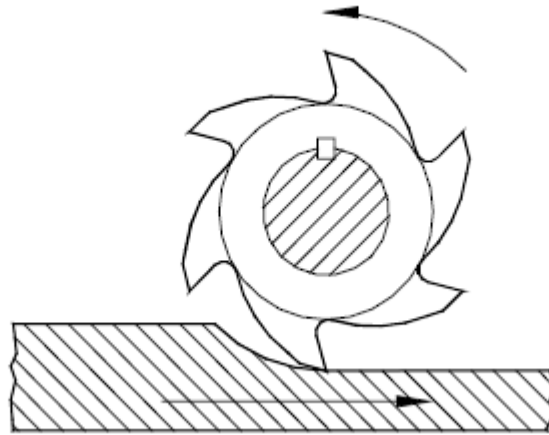
Passo fino

+ potência (acúmulo cavaco)

Danos na peça (acabamento)

Danos na ferramenta (quebra)

Materiais de cavaco curto:
frágeis, Fofó, etc.



Passo largo

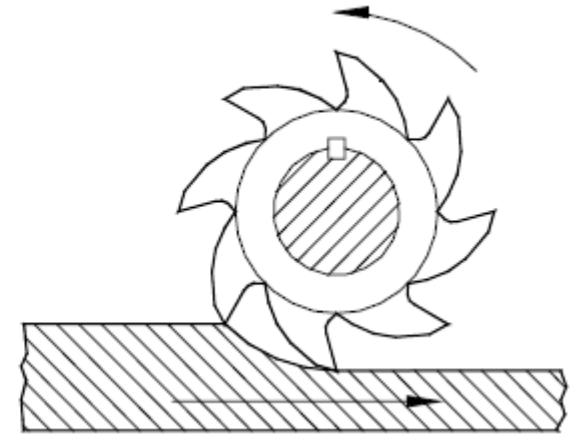
+ vibração

Acabamento ruim

Imprecisão dimensional (peça)

Desgaste da ferramenta

Materiais de cavaco longo:
dúcteis, alumínio, etc.



Passo médio

Primeira escolha

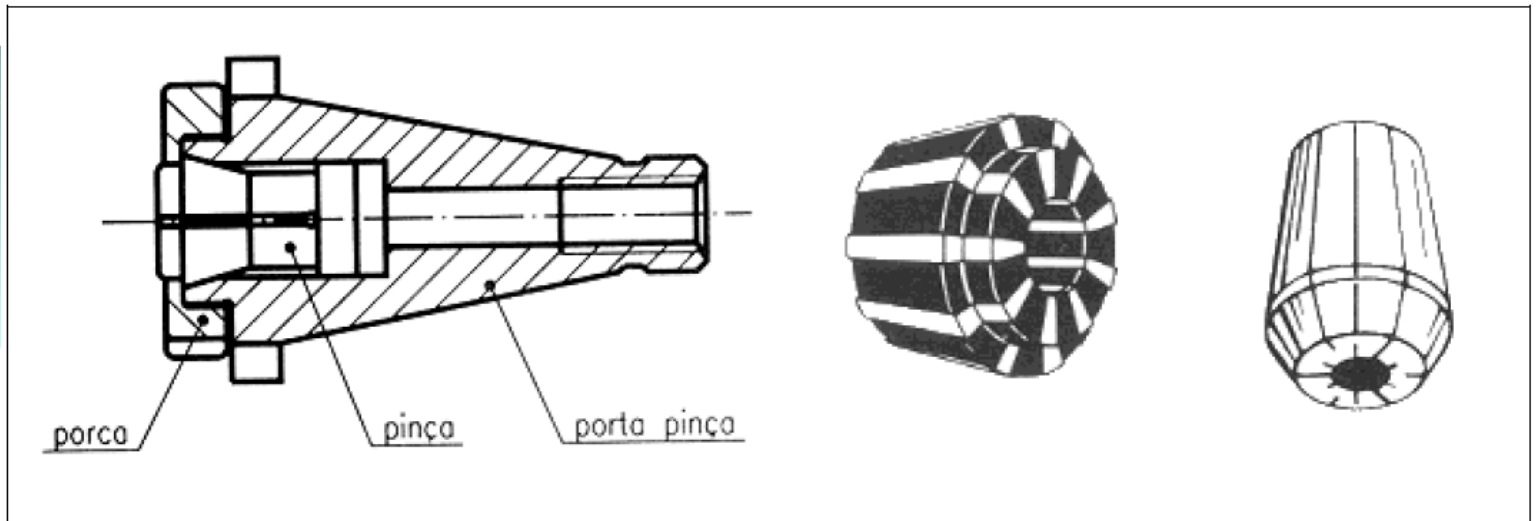
Materiais de dureza
intermediária



Materiais para Ferramenta de Fresamento

Material da peça	Material da ferramenta
Aço	Aços rápidos e metais duros P15 a P40
Fofo, metais não ferrosos, plásticos e aços temperados	metais duros K10 a K30
Aços HB<300	Cermets
Desbaste de fofo	Cerâmicas de Si ₃ N ₄
Fofo cinzento, fofo duro, aços para cementação, aços de beneficiamento, aços temperados	Cerâmicas óxidas mista
Aços para beneficiamento de alta resistência (HRC > 45)	CBN

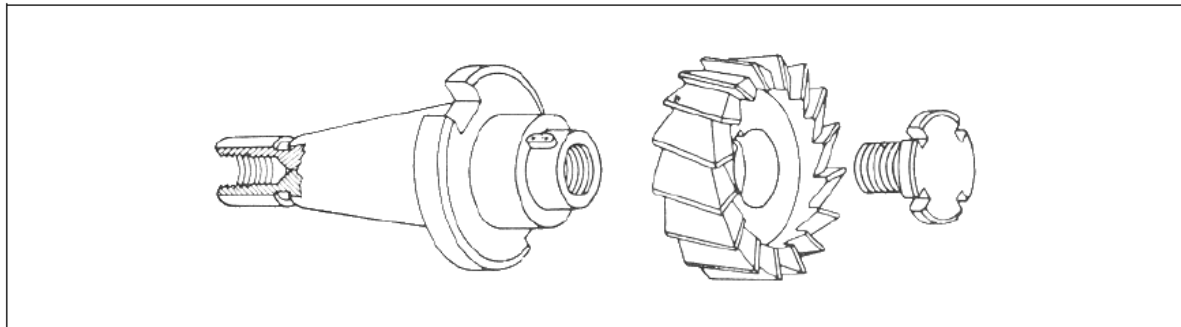
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



Mandril Porta-Pinça



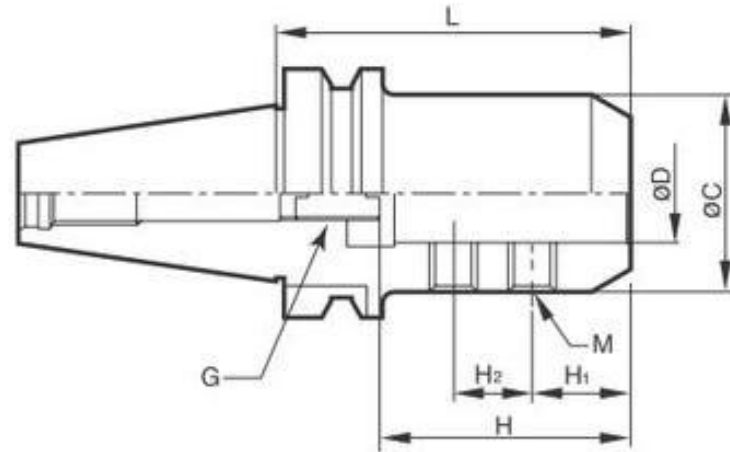
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



Mandril Porta-Ferramenta



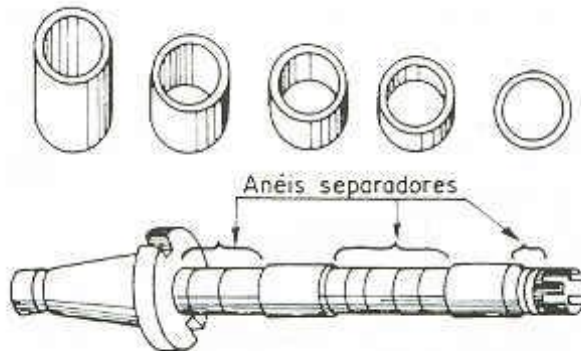
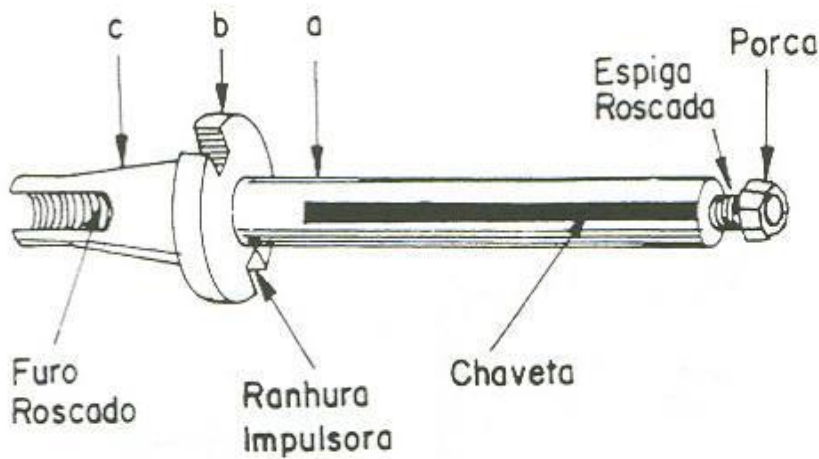
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



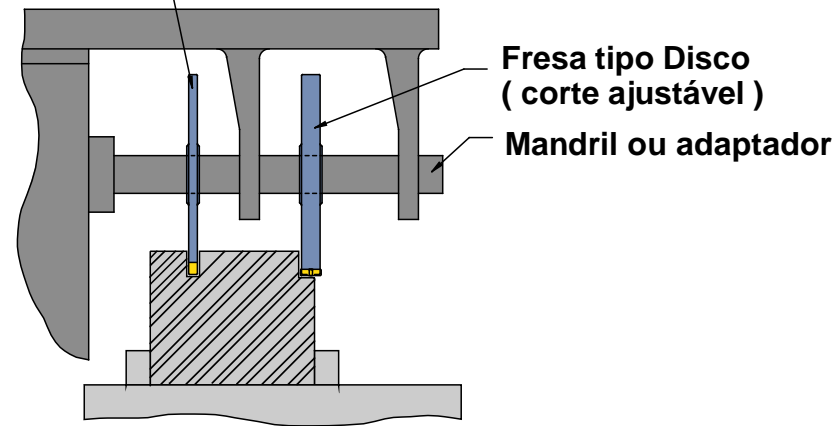
Mandril Porta-Barra

Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Eixo Porta Fresa - Usado para fixar a fresa no eixo-árvore.



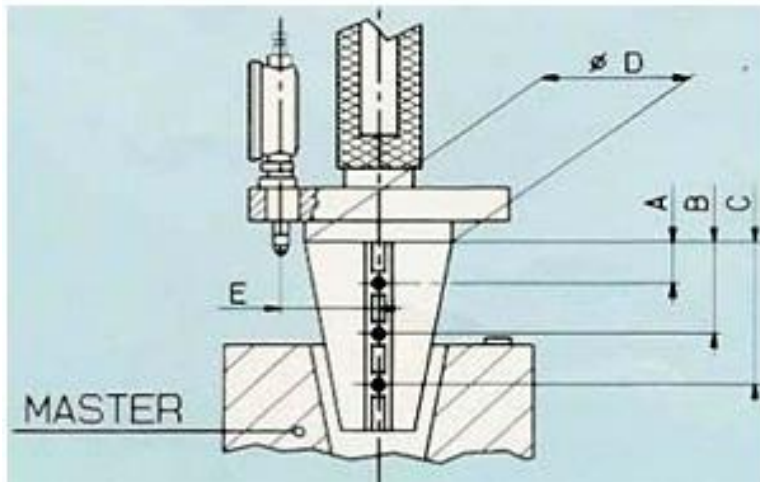
Fresa tipo Disco
(corte ou fenda)



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Cone ISO

TIPO	ØD	A	B	C	E
30	31,75	8	24	40	21,5
40	44,45	10	34	58	29
45	57,15	10	41	72	38
50	69,85	10	51	92	45





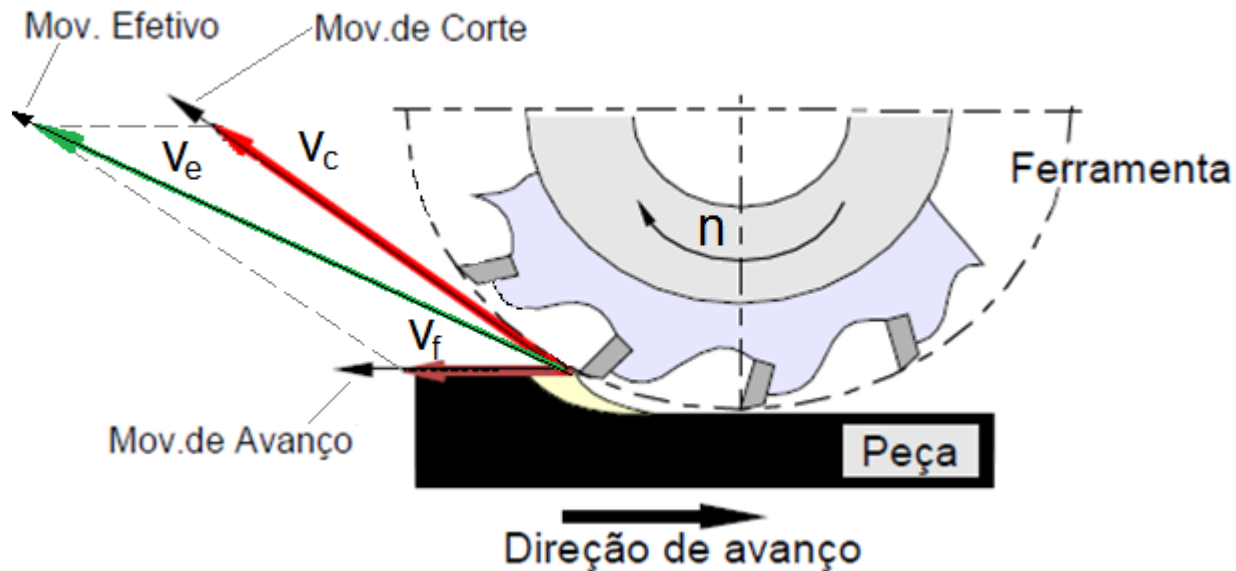
Parâmetros de Corte

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

Parâmetros de Corte

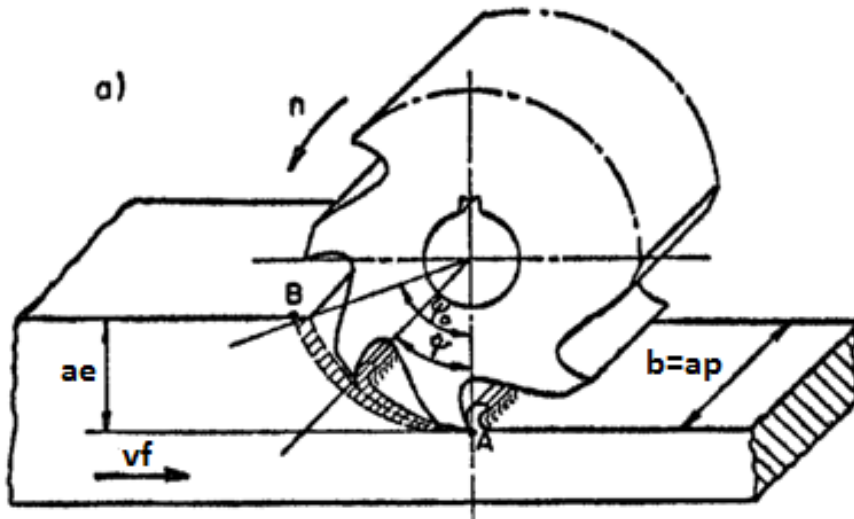
Existem dois movimentos de corte:

- movimento primário de corte (rotação)
- movimento de avanço



Grandezas

Fresamento Tangencial



a_e = penetração de trabalho (mm)

a_p = profundidade de usinagem (mm)

v_c = velocidade de corte (m/min)

v_f = velocidade de avanço (mm/min)

n = rotação (rpm)

f = avanço (mm/rev)

f_z = avanço por dente (mm/dente)

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

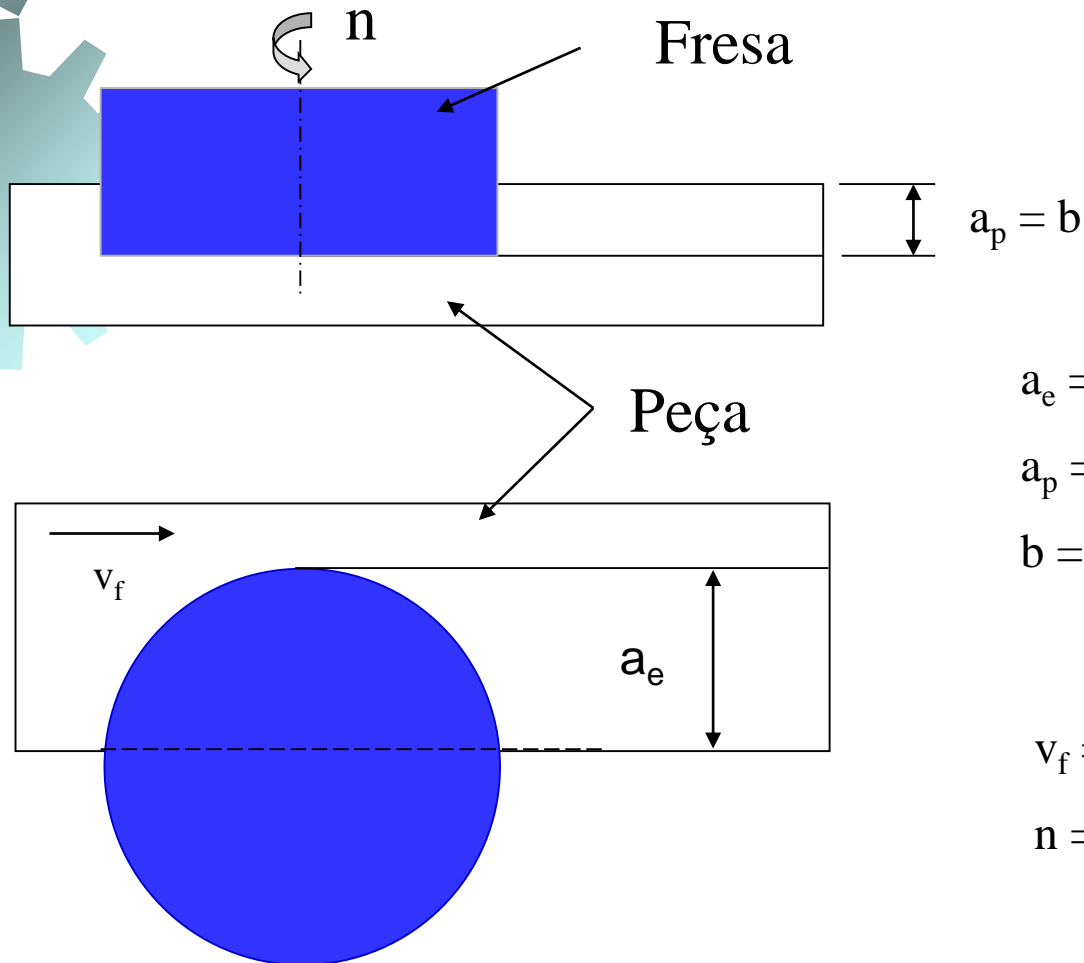
$$v_f = f \times n = f_z \times Z \times n$$

$$f = f_z \times Z$$

d = diâmetro da fresa; Z = número de dentes da fresa

Grandezas

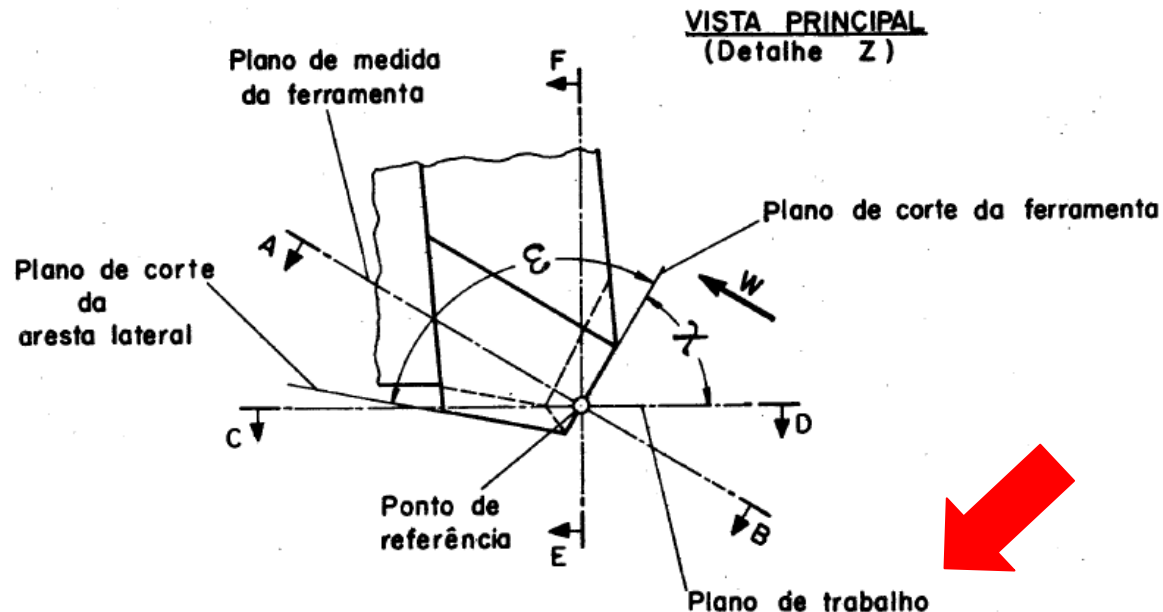
Fresamento Frontal



- a_e = penetração de trabalho
- a_p = profundidade de usinagem
- b = largura de corte
- v_f = velocidade de avanço
- n = rotação da fresa

Definição de Profundidade de Usinagem (a_p) e Penetração de Trabalho (a_e)

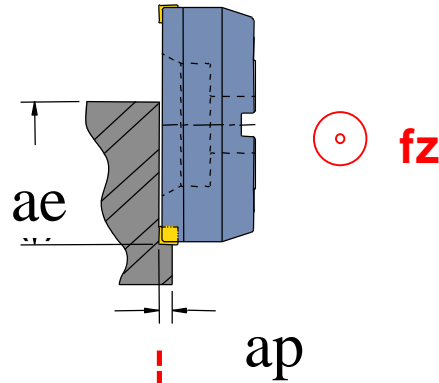
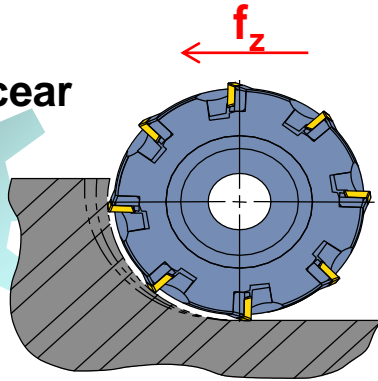
- a_p : profundidade de penetração da ferramenta em relação à peça, **medida perpendicularmente ao plano de trabalho** (mm);
- a_e : profundidade de penetração da ferramenta em relação à peça, **medida no plano de trabalho e perpendicularmente à direção de avanço** (mm).



Grandezas

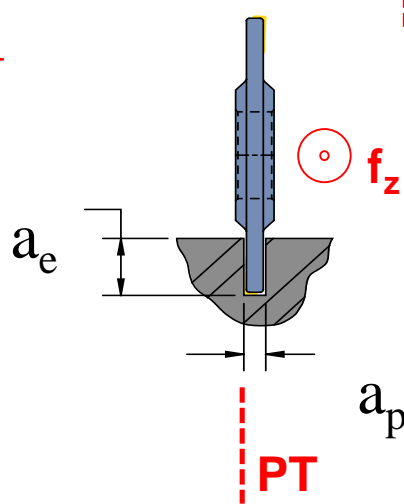
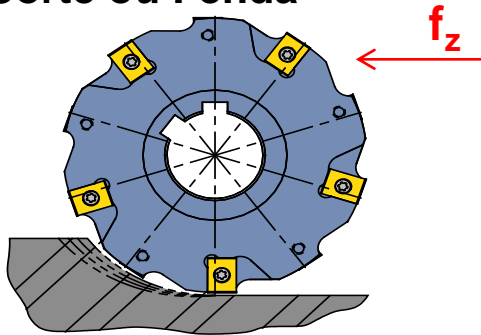
Largura e Profundidade de Usinagem

Fresa de Facear

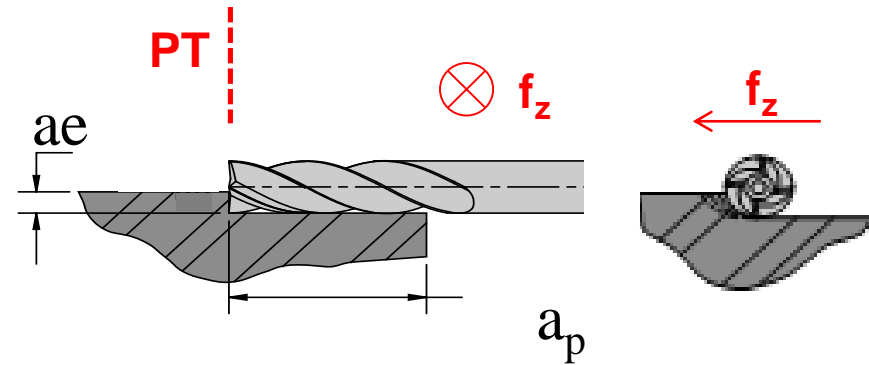


Fresa tipo disco


Corte ou Fenda



Fresas de Topo



Velocidades de Corte Recomendadas

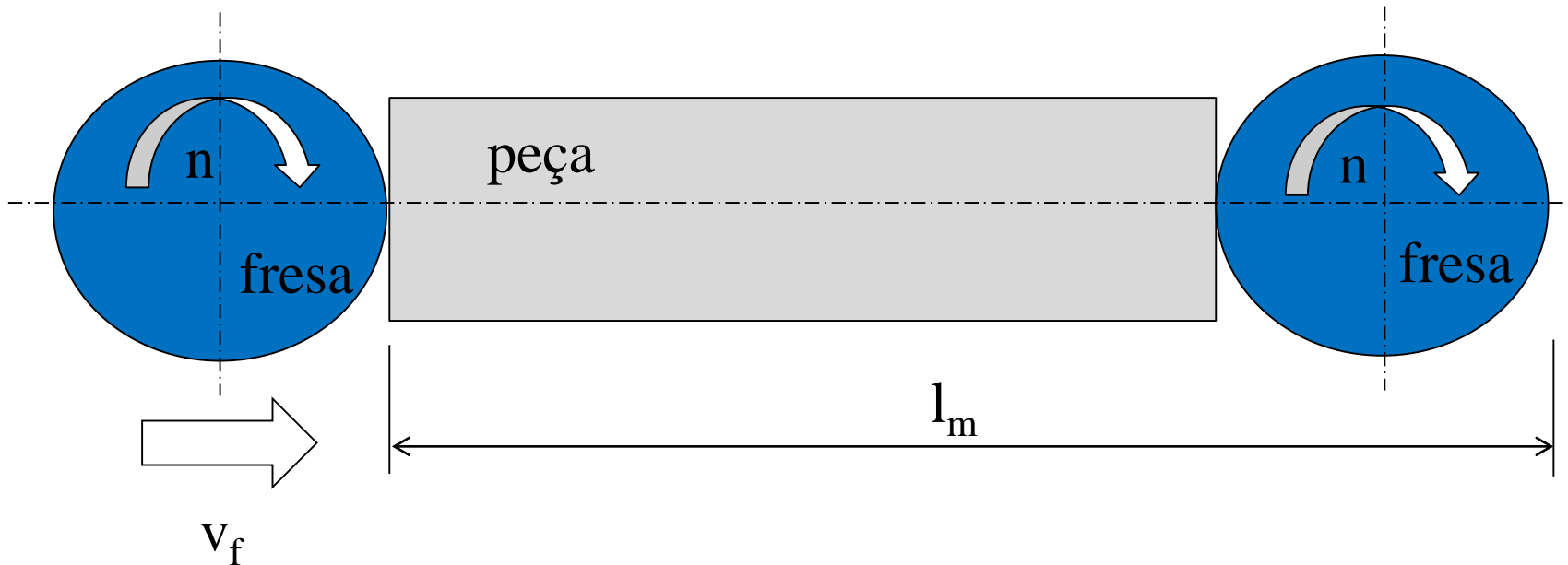


Material Peça	Resistência (kgf/mm ²)	Fresas de Topo		Demais Tipos	
		AR	MD	AR	MD
Aço Carbono	< 50	21 - 30	90 - 200	17 - 24	100 - 150
	50 - 70	20 - 28	80 - 160	16 - 24	80 - 120
	70 - 90	15 - 23	60 - 110	15 - 20	60 - 100
	90 - 110	12 - 19	50 - 100	11 - 18	50 - 80

Cálculo do Tempo de Usinagem

$$T = \frac{l_m}{v_f}$$

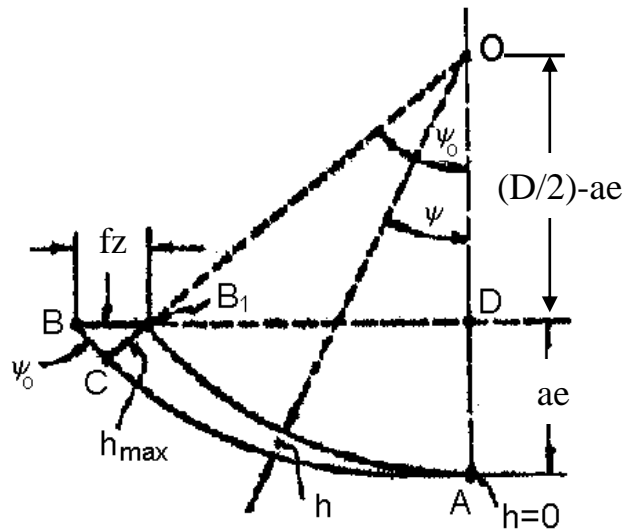
Onde l_m = percurso da ferramenta (mm) e v_f = velocidade de avanço (mm/min).





Força e Potência no Fresamento Tangencial

Força e Potência no Fresamento Tangencial



D = diâmetro da fresa - mm

a_e = penetração de trabalho - mm

f_z = avanço por dente - mm/dente

Ângulo de contato

$$\Psi_o = f(D, a_e)$$

$$\cos \Psi_o = \frac{\frac{D}{2} - a_e}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2.a_e}{D}$$

Espessura de corte

$$h_{\max} = f_z \cdot \text{sen} \Psi_o = 2.f_z \sqrt{\frac{a_e}{D} - \left(\frac{a_e}{D}\right)^2}$$

Força e Potência no Fresamento Tangencial

$$F_c = K_s \left(\frac{v_f}{n.Z} \operatorname{sen} \Psi \right) b$$

Como $h = f(\Psi) \rightarrow K_s = f(\Psi) \rightarrow F_c$ é variável em direção e módulo

Segundo Kienzle $\longrightarrow K_s = K_{s1} h^{-z}$

K_{s1} e $1-z$ (tabelados)

$$F_c = K_s h b$$

$$F_c = \left(K_{s1} h^{-z} \right) h b = K_{s1} h^{1-z} b = K_{s1} b \left(\frac{v_f}{n.Z} \right)^{1-z} (\operatorname{sen} \Psi)^{1-z}$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

Potência de Corte (P_c)

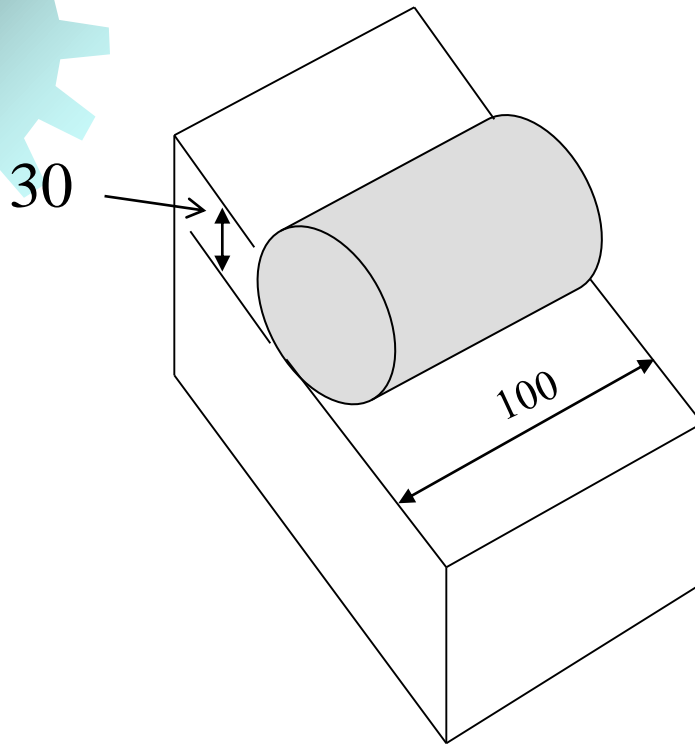
$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot b \cdot a_e \cdot v_f$$

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot Z \cdot n \quad \text{e} \quad n = (1000 \cdot v_c) / (\pi \cdot D)$$

K_m = pressão específica de corte média (tabelada)

Força e Potência no Fresamento Tangencial

Exemplo



Material da peça: Aço St70

Fresa: Aço rápido

$D = 150 \text{ mm}$

$Z = 12 \text{ dentes}$

Condições de corte

$v_c = 25 \text{ m/min}$

$f_z = 0,1 \text{ mm/dente}$

$a_e = 30 \text{ mm}; b = a_p \text{ } 100 \text{ mm}$

Força e Potência no Fresamento Tangencial

Cálculo de F_{cmax}

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

$$F_c = F_{cmax} \quad \Leftrightarrow \quad h = h_{max} = f_z \cdot \text{sen } \Psi_o$$

$$\cos \Psi_o = 1 - (2ae)/D = 1 - (60)/150 = 0,6$$

$$\Psi_o = 53^\circ \quad \text{e} \quad \text{sen } \Psi_o = 0,8$$

$$h_{max} = f_z \cdot \text{sen } \Psi_o = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ mm}$$

$$\text{St 70} \quad \begin{array}{c} \text{|||} \longrightarrow \\ \text{Tabela} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} K_{s1} = 220 \text{ kgf/mm}^2 \\ 1-z = 0,80 \end{array} \right.$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

$$F_{\text{cmax}} = 220 \cdot (0,08)^{0,8} \cdot 100 = 2916 \text{ kgf}$$

Cálculo de F'_{cmax}

$$F'_{\text{cmax}} = K_m \cdot h_m \cdot b \quad K_m \text{ é dado em função de } h_m$$

$$h_m = f_z \cdot \text{sen}(\Psi_0 / 2) = 0,1 \cdot \text{sen}(53/2) = 0,045 \text{ mm}$$

$$h_m = 0,045 \text{ mm} \Rightarrow K_m = 500 \text{ kgf (Tabelado)}$$

$$F'_{\text{cmax}} = 500 \cdot 0,08 \cdot 100 = 4000 \text{ kgf}$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

Cálculo da Potência de Corte P_c

$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot b \cdot a_e \cdot v_f$$

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot Z \cdot n \quad \text{e} \quad n = (1000 \cdot v_c) / (\pi \cdot D)$$

$$n = (1000 \cdot 25) / (\pi \cdot 150) = 53 \text{ rpm}$$

$$v_f = 0,1 \cdot 12 \cdot 53 = 64 \text{ mm/min} \quad \text{logo,}$$

$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 100 \cdot 30 \cdot 64 = 21,3 \text{ CV}$$



Condições de Operação

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

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

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

1. $Q = (a_p \cdot a_e \cdot v_f) / 1000$ (cm³/min)
2. $v_c \cdot T^y = C$ (como visto na aula de torneamento)
3. $R_{\text{max teórica}} = f^2 / (8 \cdot R)$ (fresamento tangencial)

Onde T é a vida da ferramenta (min), C é a velocidade de corte para uma vida de 1 min (m/min) e R é o raio da fresa (mm).

Condições de Operação



Acabamento de Superfície através de fresamento

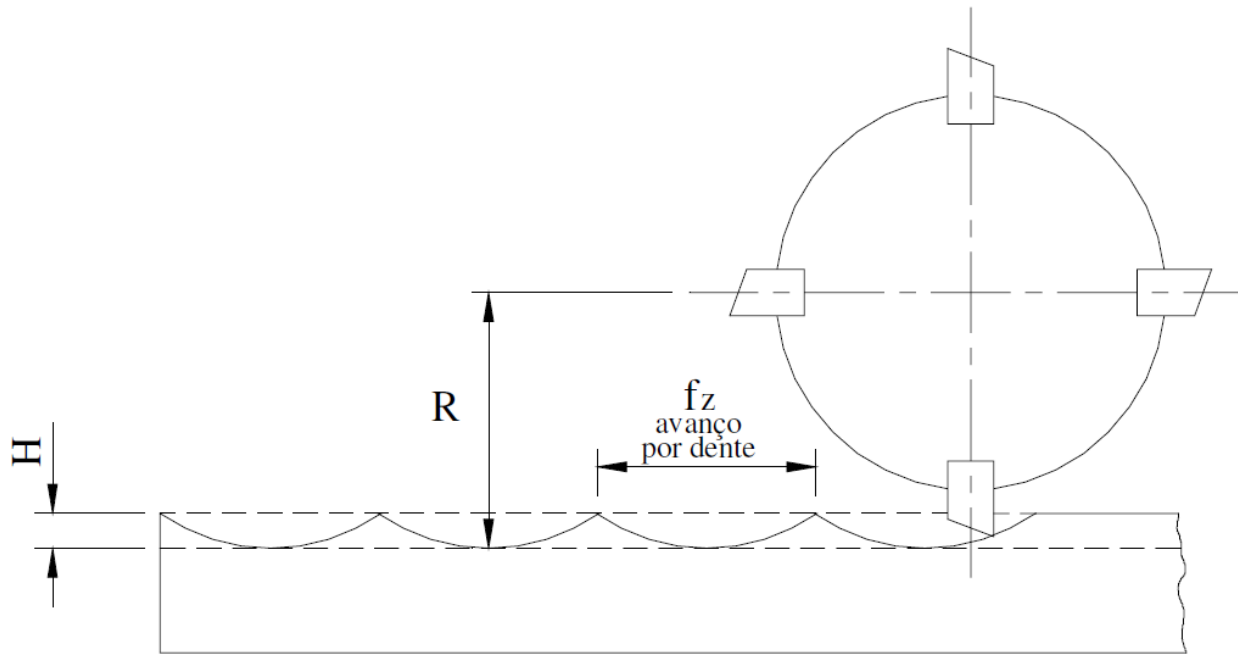
Valores comuns: 0,8 até 12,5 μm

<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

Rugosidade para o Fresamento Tangencial

$$R_{\max} = \frac{f_z^2}{8 \cdot R}$$

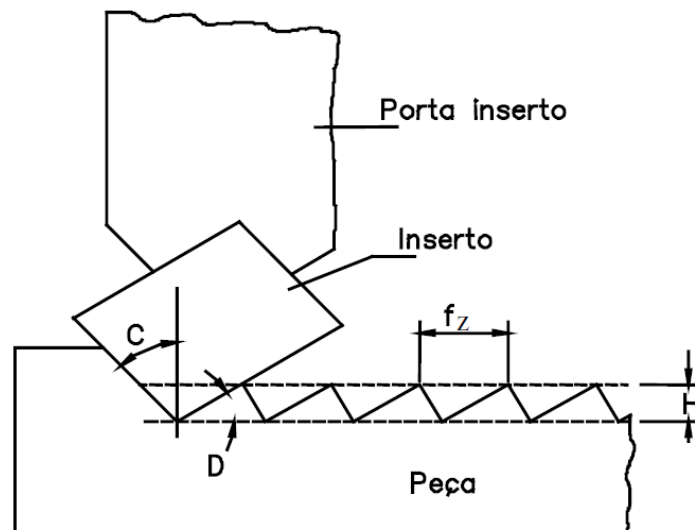
$$R_a = \frac{f_z^2}{18\sqrt{3} \cdot R}$$



onde f_z é o avanço por dente (mm/Z) e R é o raio da fresa

Rugosidade para o Fresamento Frontal

$$R_{\max} = \frac{f_z}{\tan(C) + \cot(D)}$$



onde f_z é o avanço por dente (mm/Z)



Referências

Nelson, D.H.; Schneider Jr, G. **Applied Manufacturing Process Planning**. Praticce Hall, 720p, 2001.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 2. Ed. São Paulo: Artliber, 2000. 244 p.

FERRARESI, D. **Fundamento da usinagem dos metais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 754 p.