



# SEM 0343 Processos de Usinagem

Professor:

Renato Goulart Jasinevicius

*Que ferramenta é essa? Para que serve?*

---

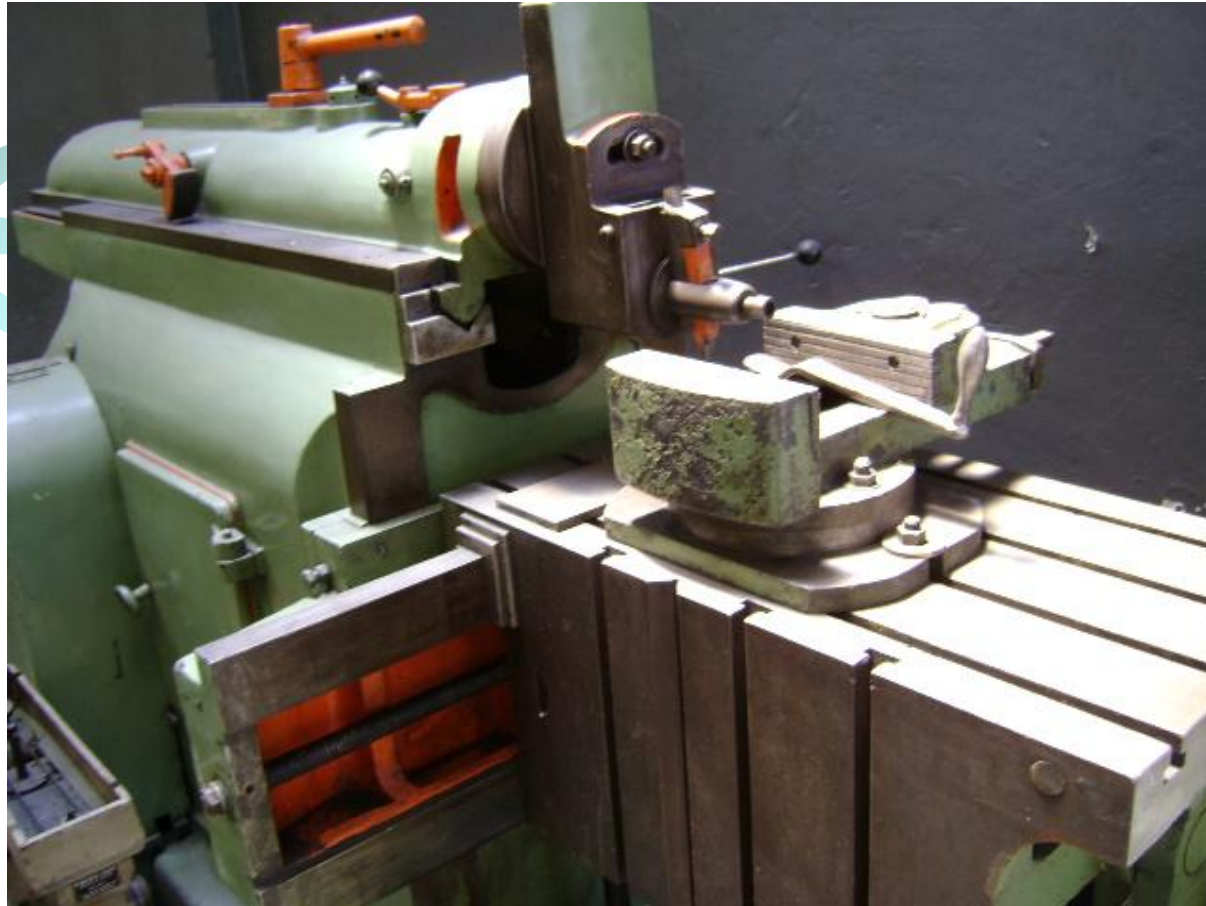


*E* essas?

---



*Que máquina é essa?*

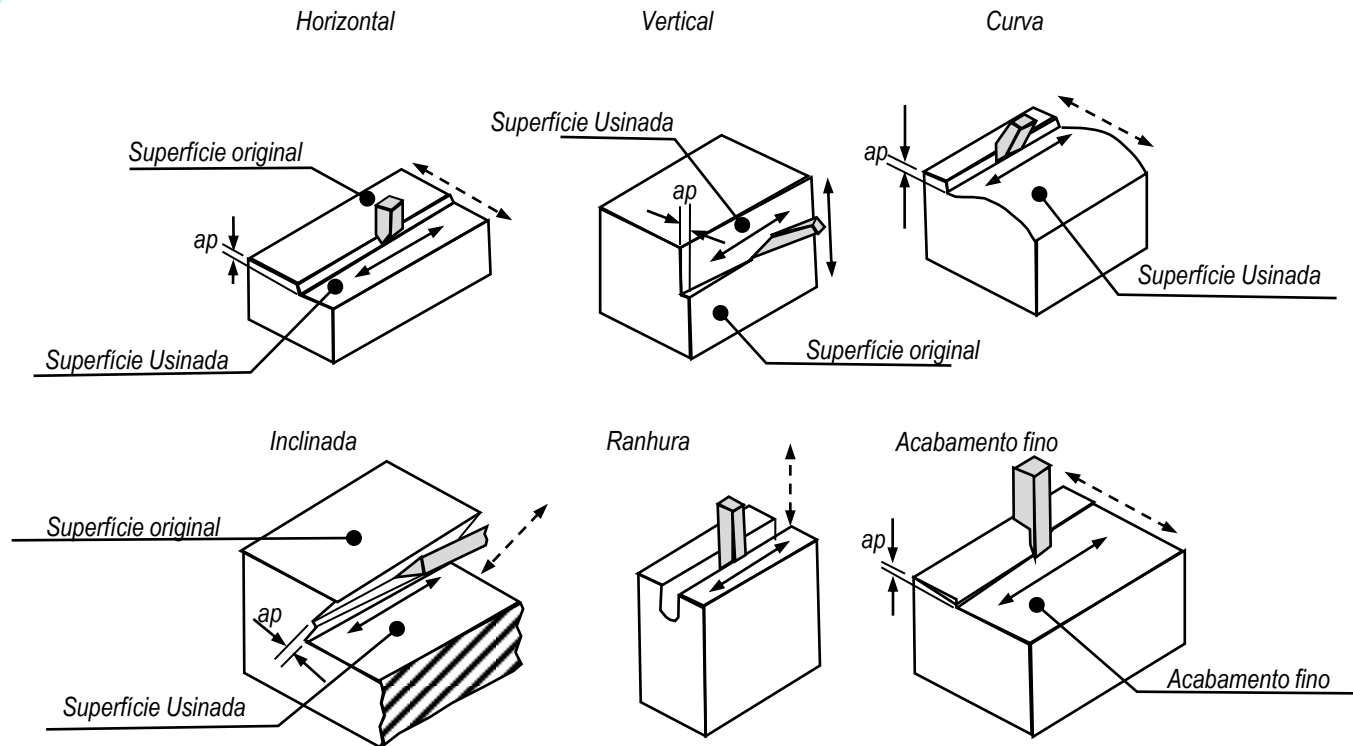


# Que máquina é essa?



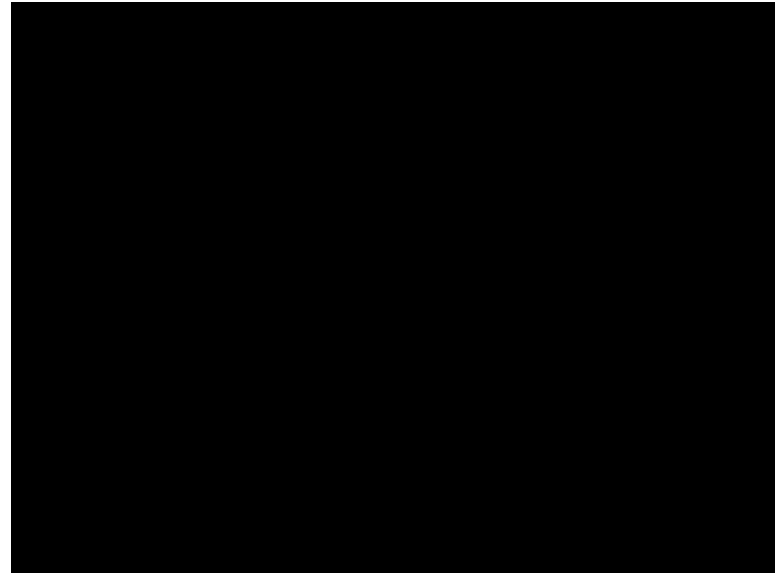
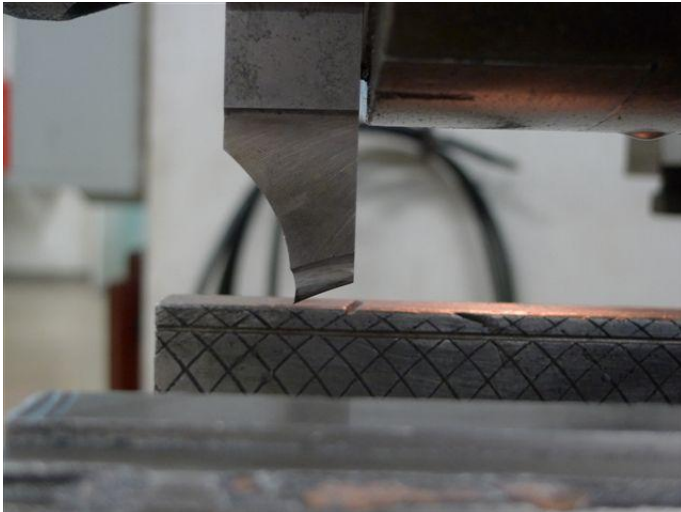
# Aplainamento

- Aplainamento é uma operação de usinagem feita com máquina chamada **Plana** e consiste em obter superfícies planas, em posição horizontal, vertical ou inclinada.



# Aplainamento

- As operações de aplainamento são realizadas com o emprego de ferramenta monocortante que retira o sobremetal **com movimento linear**.
- A qualidade da operação de aplainamento está entre IT6 e IT7





# Aplainamento

Rugosidade média, Ra – micrometros, $\mu\text{m}$ (micropolegadas, $\mu\text{in.}$ )													
Processo	50 (2000)	25 (1000)	12.5 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.80 (32)	0.40 (16)	0.20 (8)	0.10 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (0.5)
Corte maçarico	[Barra cinza]												
Esmerilhamento rebarba	[Barra cinza]												
Serra	[Barra cinza]												
<b>Plaina</b>	[Barra azul]												
Furação	[Barra cinza]												
Fresamento químico	[Barra cinza]												
Eletro erosão	[Barra cinza]												
Fresamento	[Barra cinza]												
Brochamento	[Barra cinza]												
Alargamento	[Barra cinza]												
Feixe de elétrons	[Barra cinza]												
Laser	[Barra cinza]												
Ataque eletroquímico	[Barra cinza]												
Mandrillamento, torno	[Barra cinza]												
Acabamento em tambor	[Barra cinza]												
Retífica eletrolítica	[Barra cinza]												
Brunimento cilindro	[Barra cinza]												
Retificação	[Barra cinza]												
Honing	[Barra cinza]												
Polimento eletrolítico	[Barra cinza]												
Polimento	[Barra cinza]												
Lapidação	[Barra cinza]												
Superacabamento	[Barra cinza]												
Fundição em areia	[Barra cinza]												
Laminação a quente	[Barra cinza]												
Forjamento	[Barra cinza]												
Fund. em molde fechado	[Barra cinza]												
Fund. por cera perdida	[Barra cinza]												
Extrusão	[Barra cinza]												
Lamina. a frio, trefilação	[Barra cinza]												
Fund. Sob pressão	[Barra cinza]												

As faixas apresentadas acima são típicas dos processos listados

Valores menores ou maiores podem ser obtidos sob condições especiais

Aplicação Média  
 Aplicação menos frequentes

**CARTA DE PROCESSOS VERSUS ACABAMENTOS**

Rugosidade:  
 0,4 a 25 micrometros Ra  
 Convencional:  
 1,6 a 12,5 micrometros Ra  
**N7-N11**



# Tolerâncias dos Processos de Fabricação

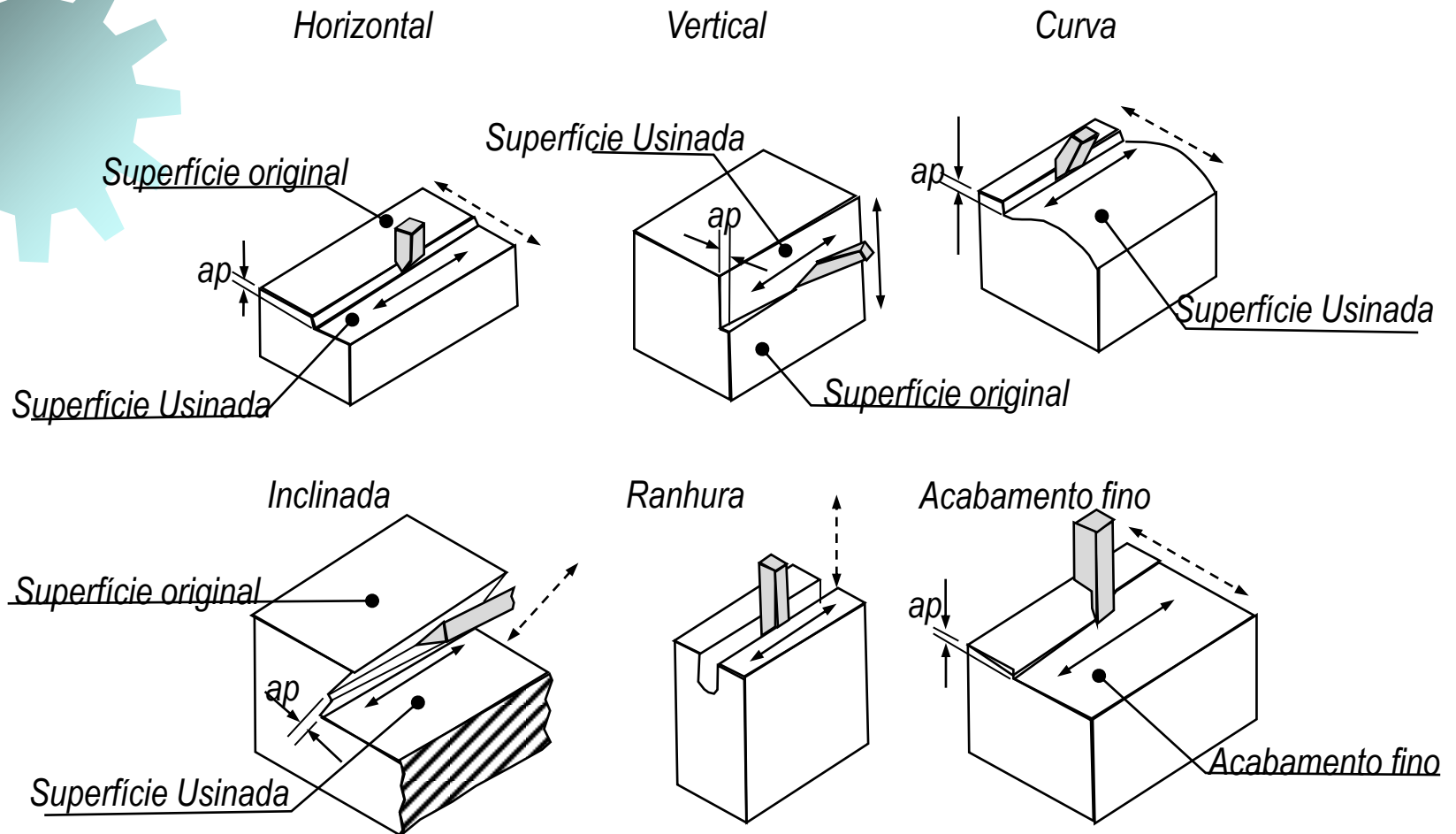


0,050 - 0,125 mm

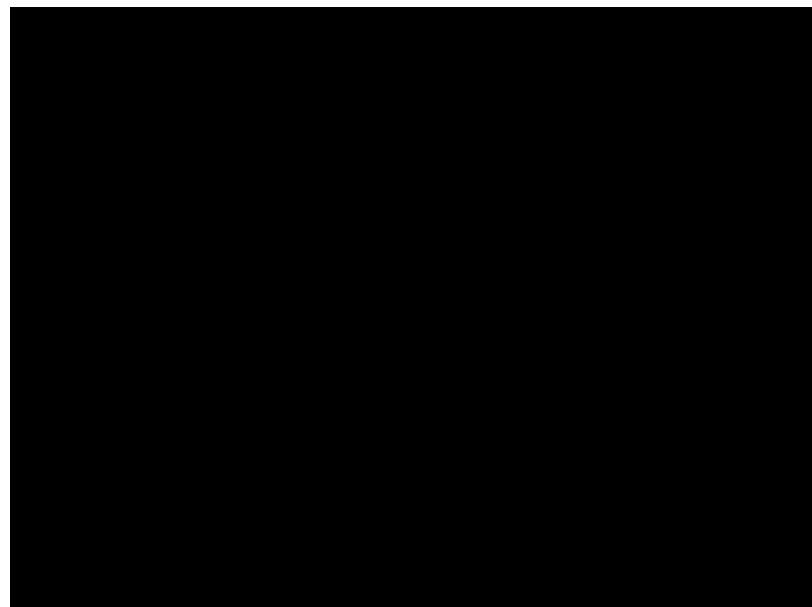
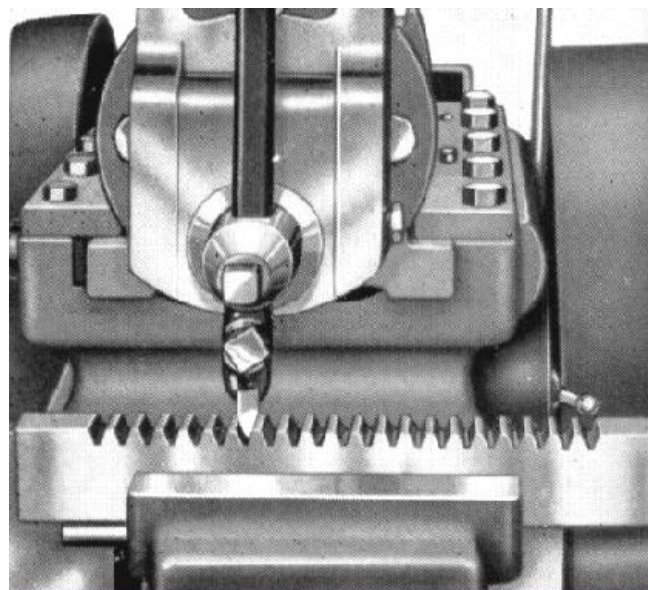
± Tolerâncias	0,013 mm	0,025 mm	0,050 mm	0,075 mm	0,125 mm	0,250 mm	1,250 mm
<b>Torneamento, mandrilamento</b>							
Diâmetro < 25,4 mm	█						
25,4 < Diâmetro < 50,8 mm			█				
Diâmetro > 50,8 mm				█			
<b>Furação</b>							
Diâmetro < 0,254 mm			█				
2,54 ≤ Diâmetro < 6,35 mm				█			
6,35 ≤ Diâmetro < 12,7 mm					█		
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm						█	
Diâmetro > 25,4 mm							█
<b>Alargamento</b>							
Diâmetro < 12,7 mm		█					
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm		█	█				
Diâmetro > 25,4 mm			█	█	█		
<b>Fresamento</b>		█	█				
<b>Periférico</b>		█	█				
<b>Face</b>			█	█			
<b>Topo ou Frontal</b>			█	█			
<b>Chavetamento</b>		█	█				
<b>Aplainamento</b>			█	█	█	█	
<b>Brochamento</b>	█	█					
<b>Serrar</b>							█

Tolerâncias de furação geralmente expressas como intervalos (por exemplo : +0.127/-0.0254).

# Aplainamento: Operações



# Aplainamento: Operações





# Plaina



---

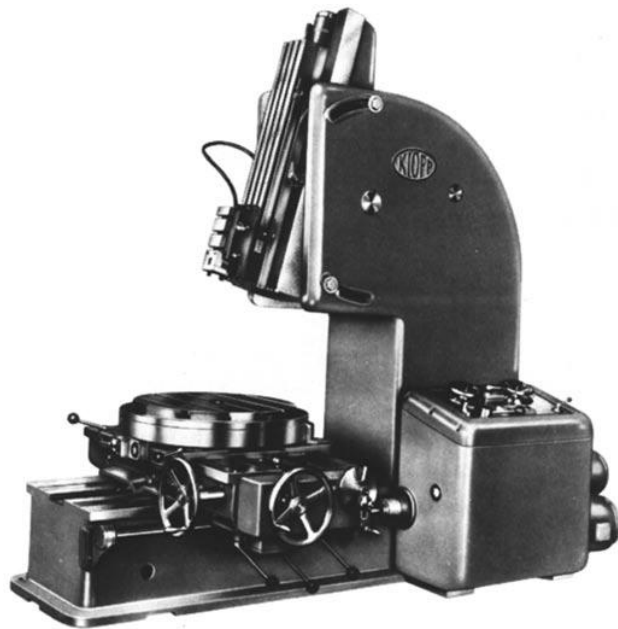
# Plaina

Existem dois tipos de Plainas:

- Plaina Limadora: Vertical e Horizontal
- Plaina de Mesa

# Plaina Limadora Vertical

A **Plaina Limadora Vertical** é usada quando se quer aplainar *superfícies internas de furos em perfis variados como rasgos de chaveta*





# Operações com a Plaina Limadora

A Plaina Limadora Horizontal é usada para realizar as seguintes operações:

- a) Faceamento de topo
- b) Rasgos
- c) Rebaixos
- d) Chanfros
- e) Estrias





## Plaina Limadora - Horizontal

---

Na **Plaina Limadora** é a ferramenta que faz o movimento de corte; a peça tem apenas pequenos avanços transversais.

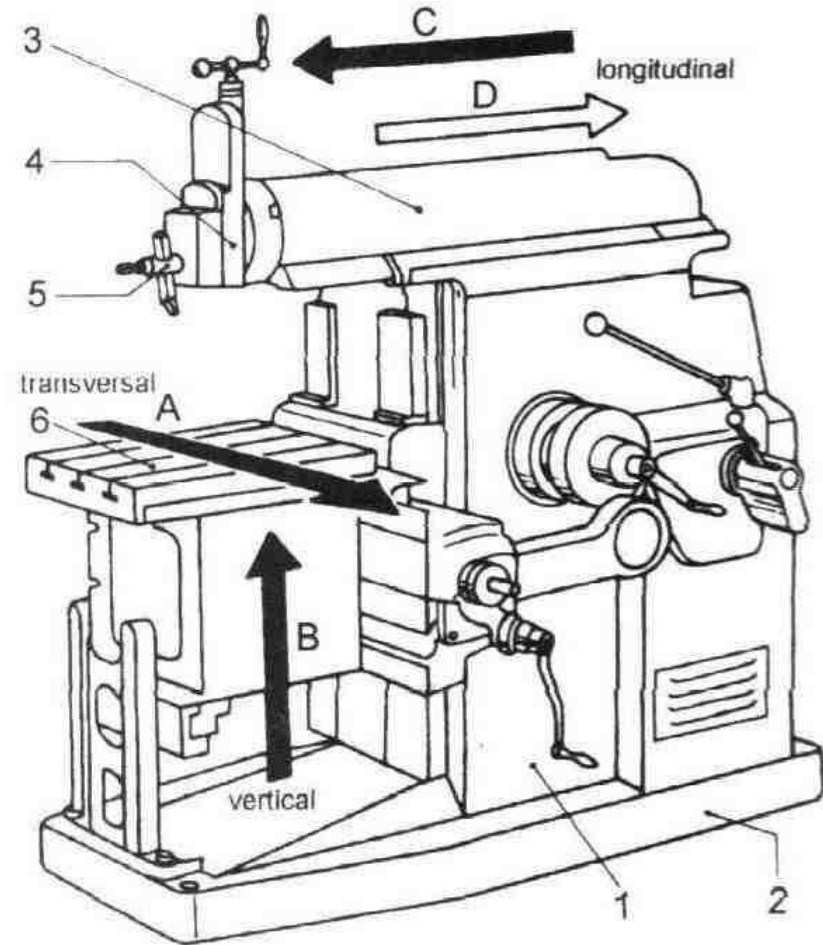
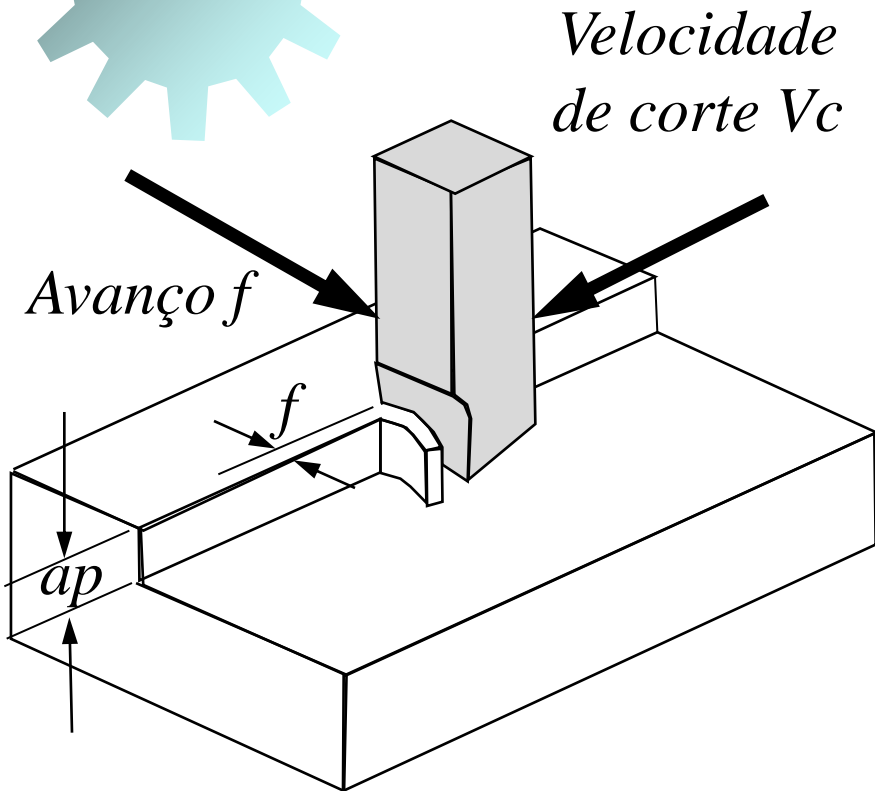
Esse deslocamento é chamado de passo do avanço.

O curso máximo da plaina limadora, em geral, fica em torno de 900 mm.

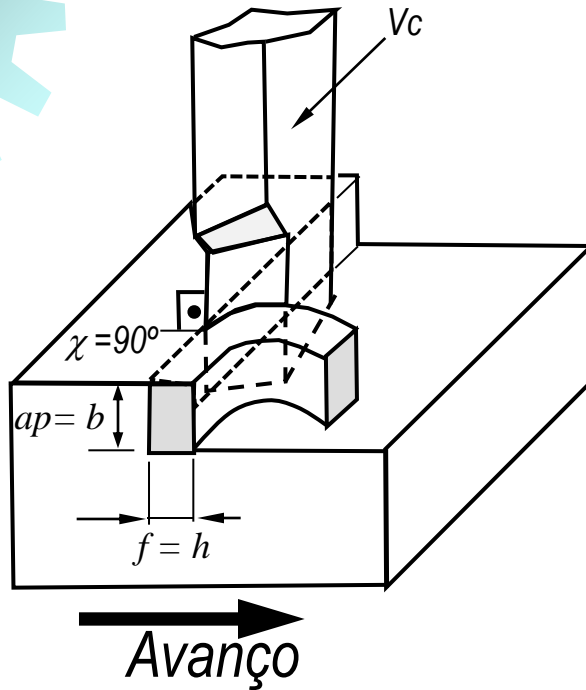
Por esse motivo, ela só pode ser usada para usinar peças de tamanho médio ou pequeno.

# Movimentos da Plaina Limadora - Horizontal

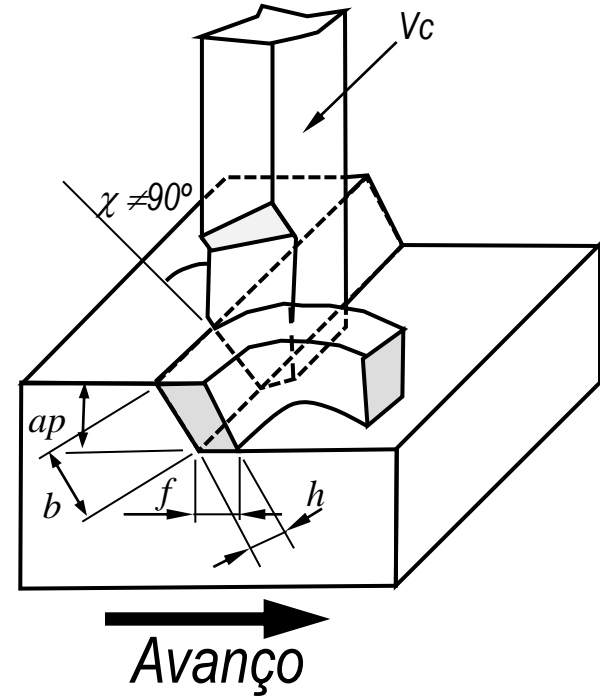
Na **Plaina Limadora** é a ferramenta que faz o movimento de corte; a peça tem apenas pequenos avanços transversais.



# Movimentos da Plaina Limadora - Horizontal



$$\chi = 90^\circ$$



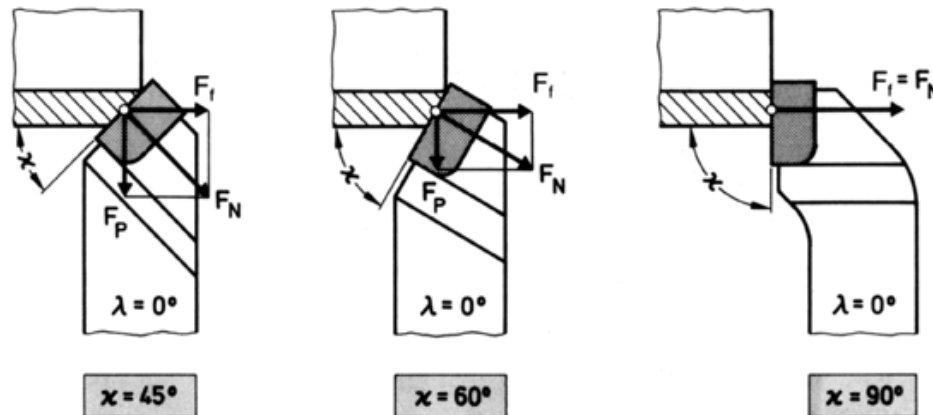
$$\chi \neq 90^\circ$$

# Estimativa da Força de corte e $\chi$

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





# Plaina Limadora

---

A plaina Limadora é composta das seguintes partes:

- a) Base
- b) Corpo
- c) Torpedo
- d) Cabeçote ajustável /porta ferramenta
- e) Mesa com movimento lateral e vertical



# Partes da Plaina Plaina Limadora

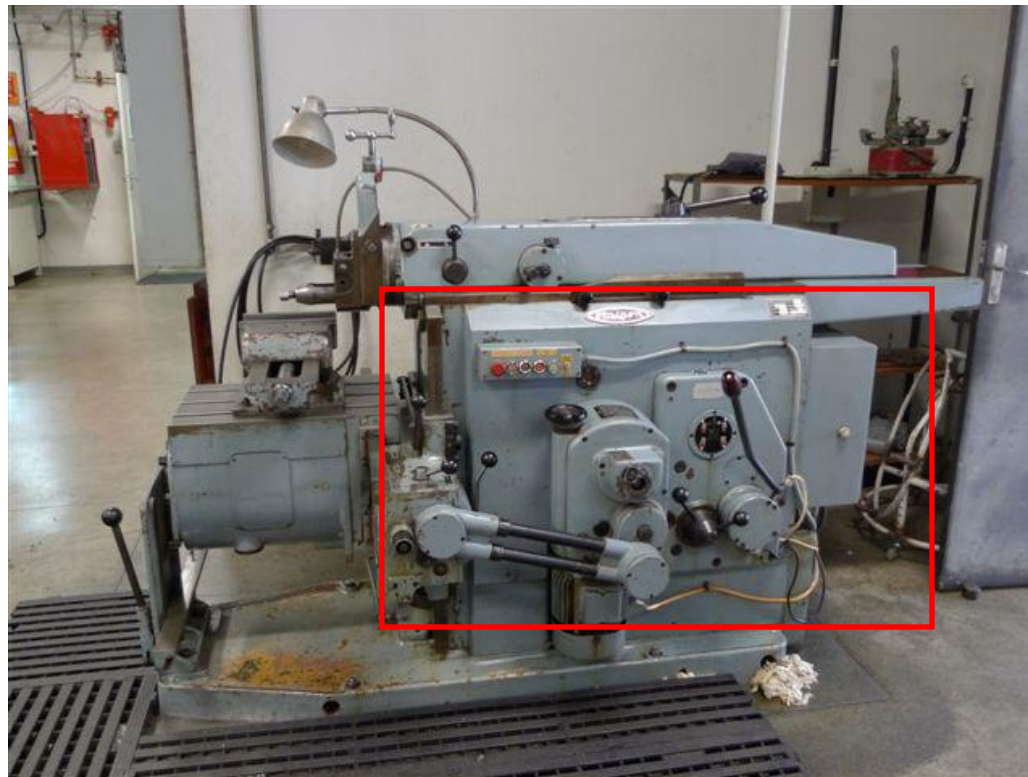
---

a) Base



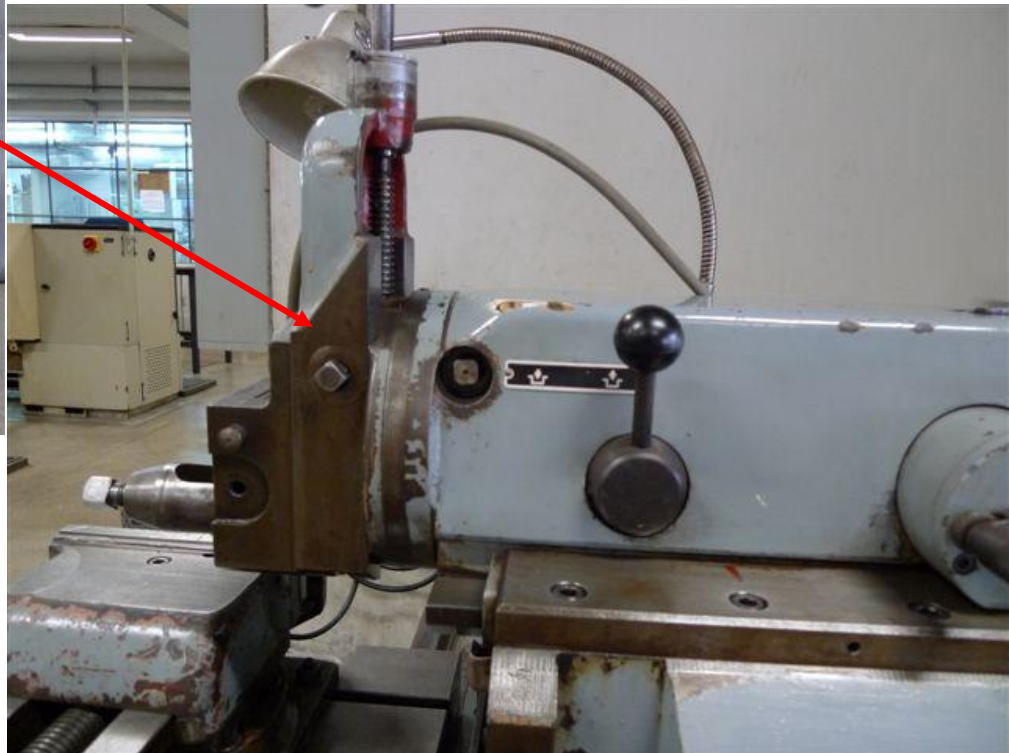
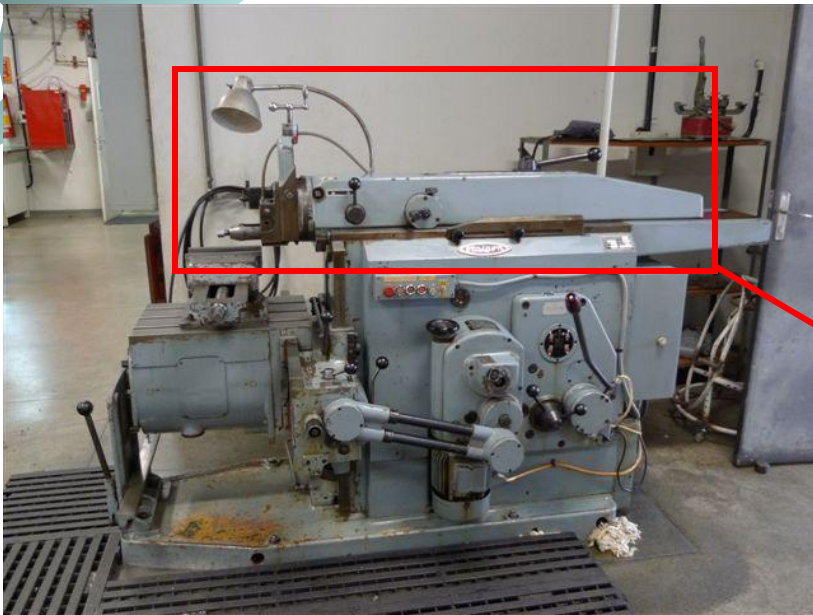
# Plaina Limadora

## b) Corpo



# Plaina Limadora

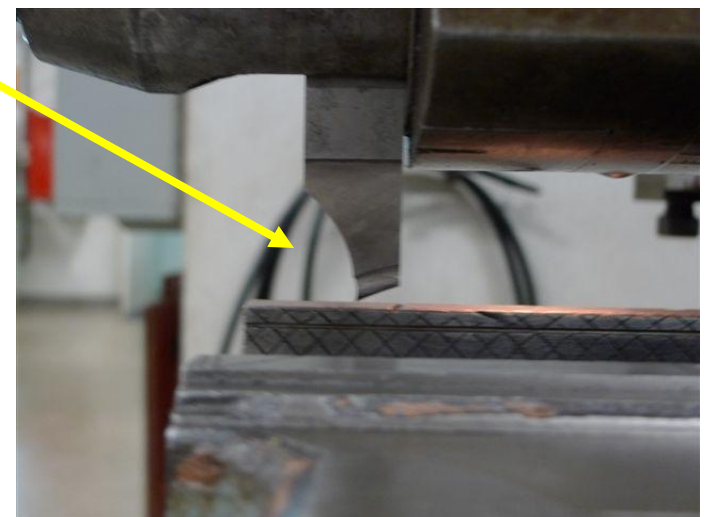
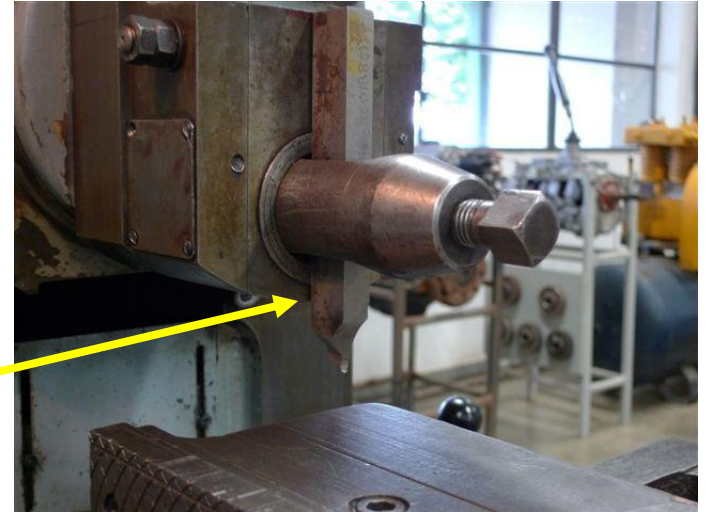
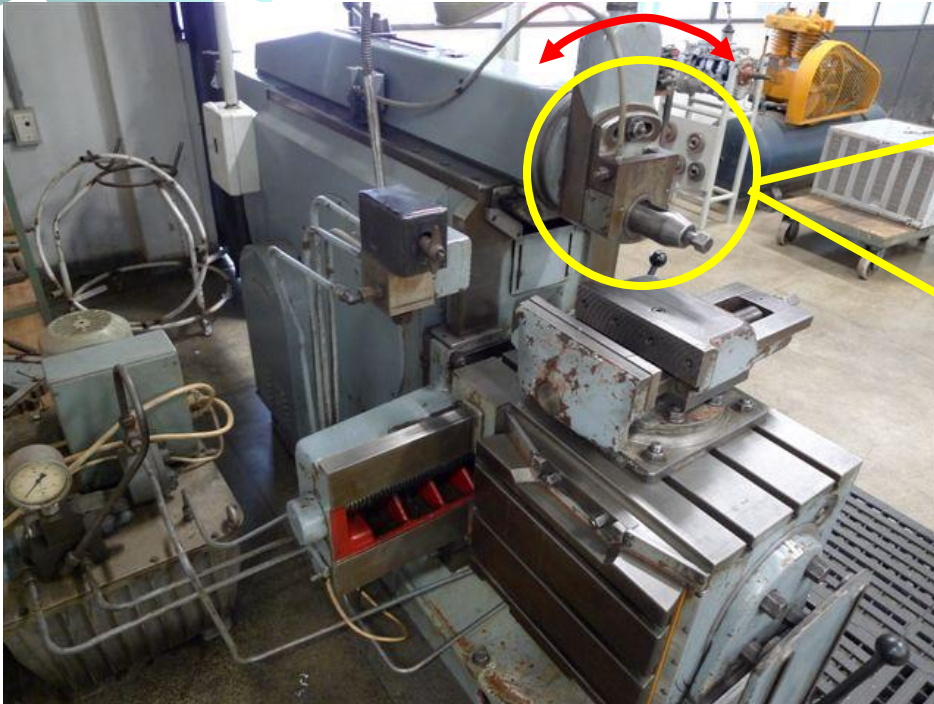
c) Torpedo





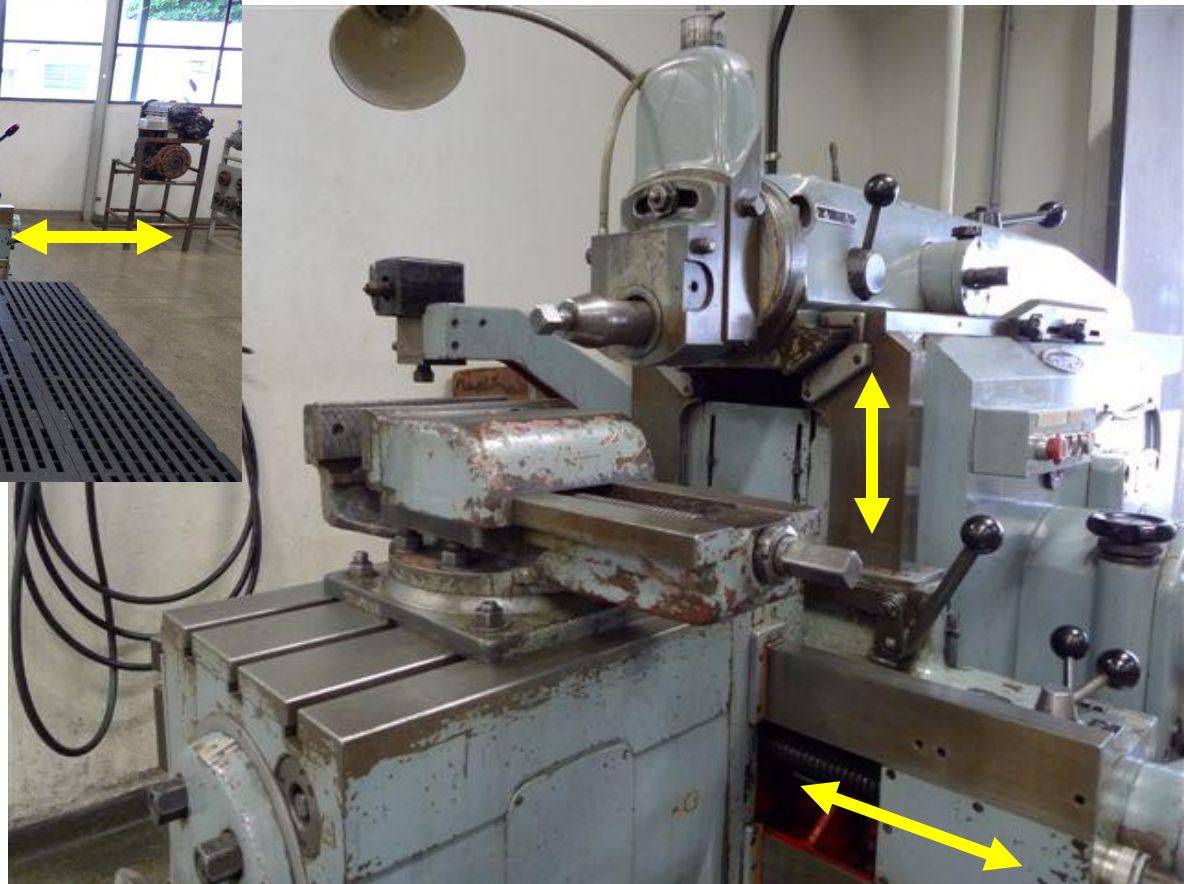
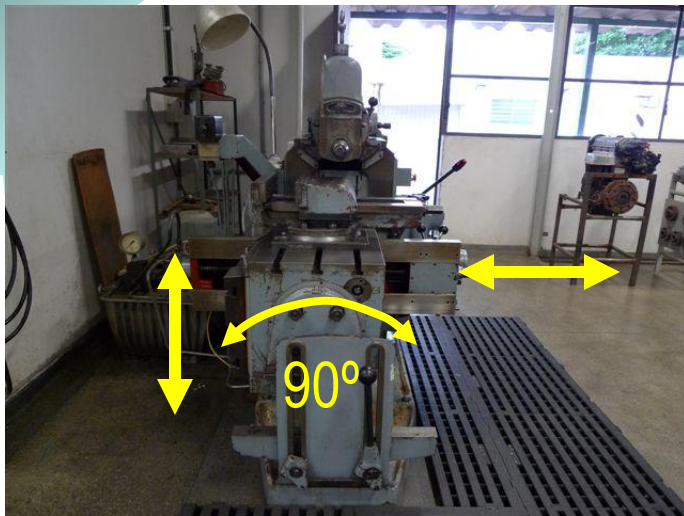
# Plana Limadora

## d) Cabeçote ajustável / porta ferramenta



# Plaina Limadora

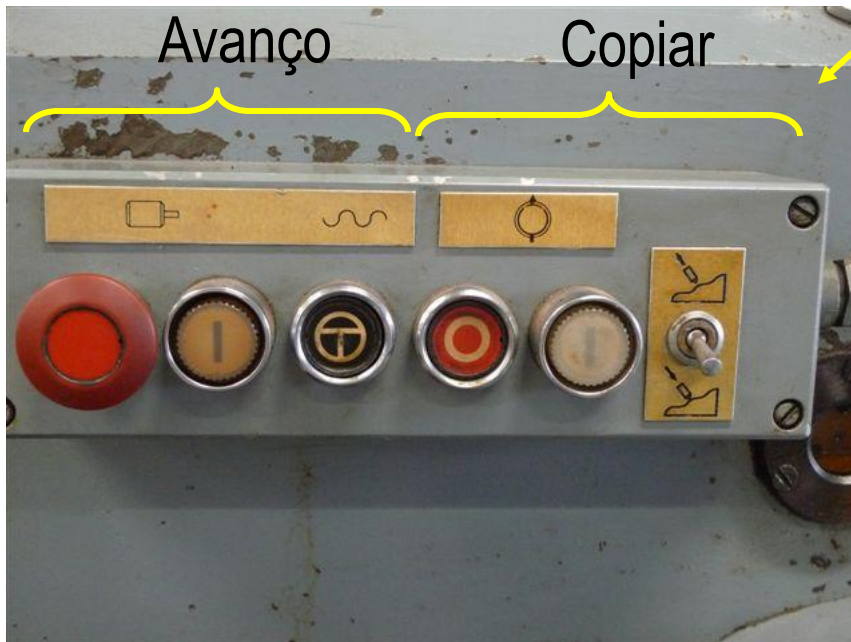
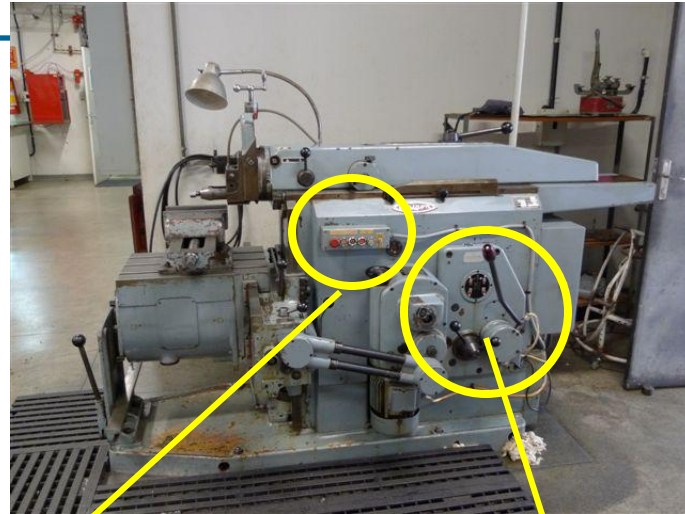
e) Mesa com movimento lateral e vertical





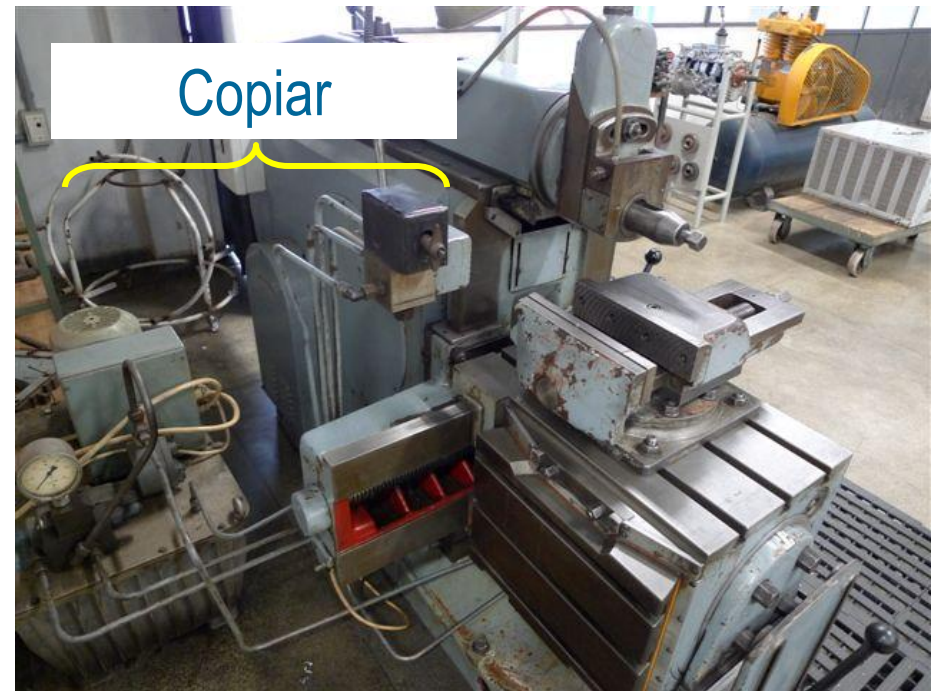
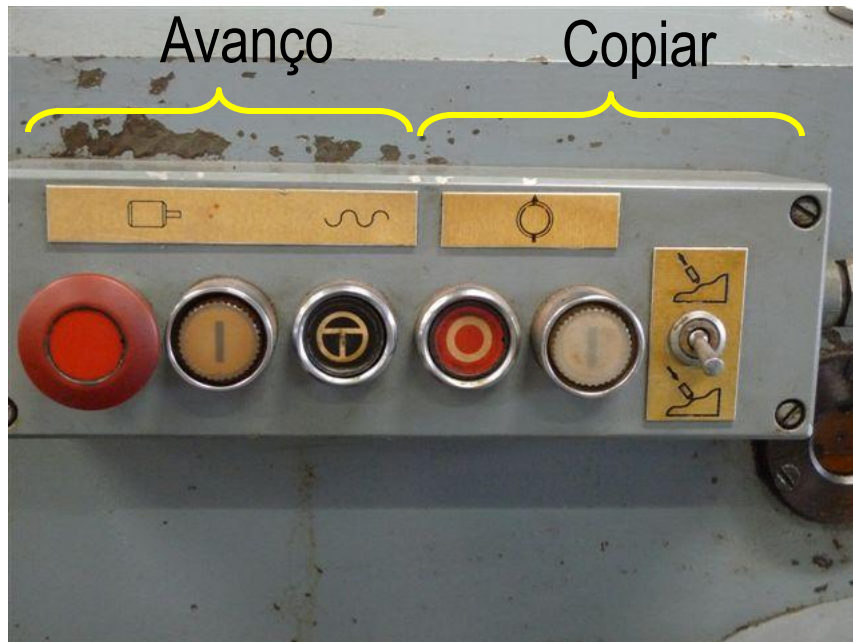
# Plaina Limadora

## a) Comandos





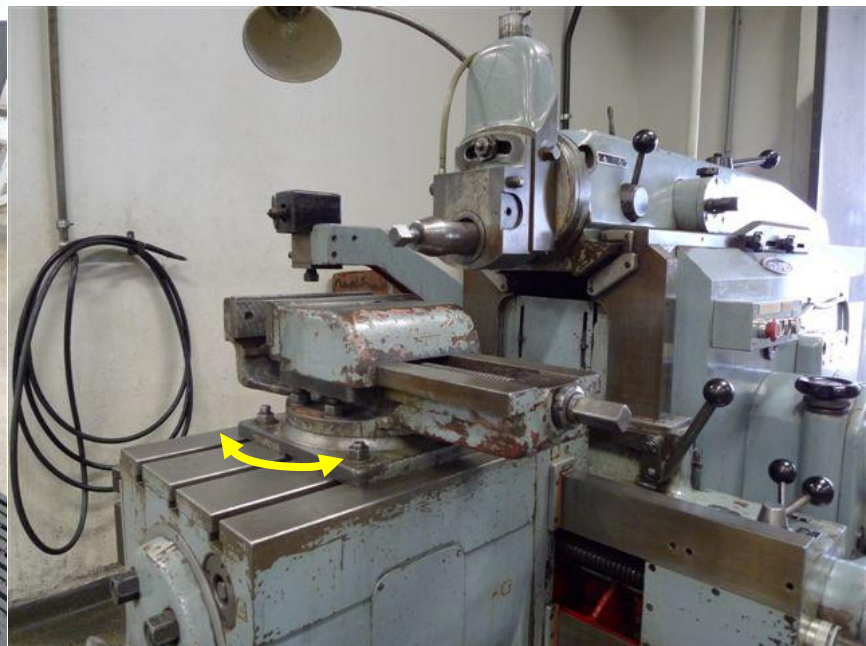
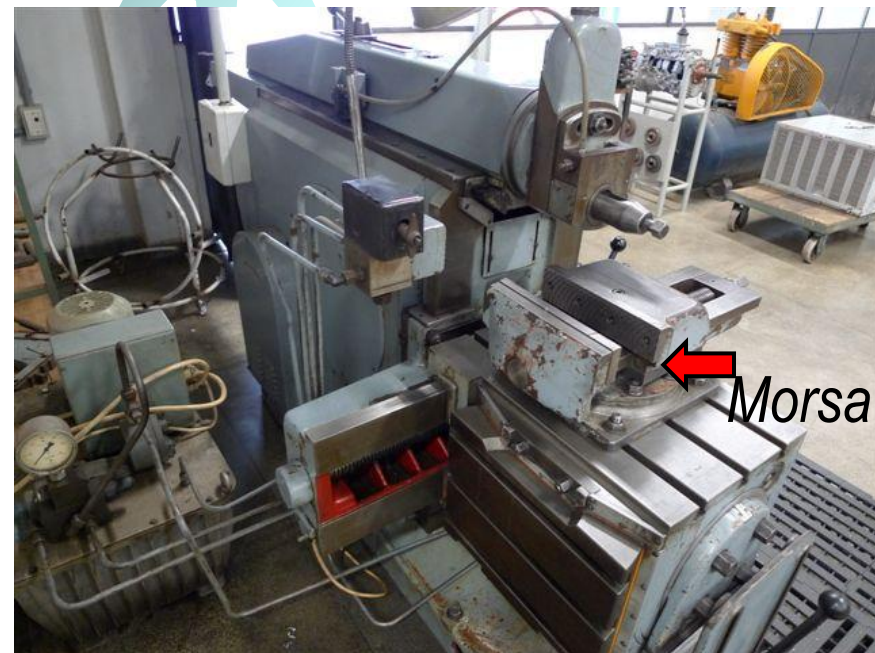
# Plaina Limadora



## Plaina Limadora – Fixação de Peça

A ferramenta exerce uma pressão muito forte sobre a peça.

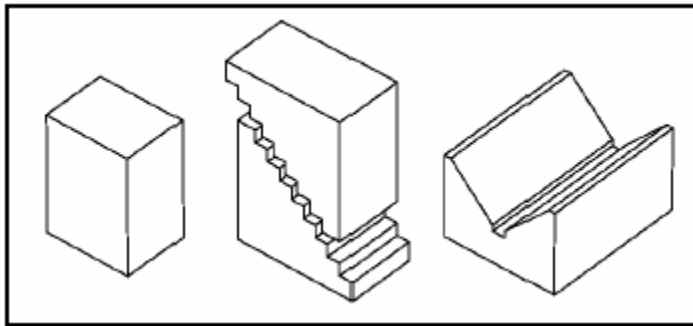
A fixação de peças pequenas é feita através de morsa com auxílio de cunhas e calços.



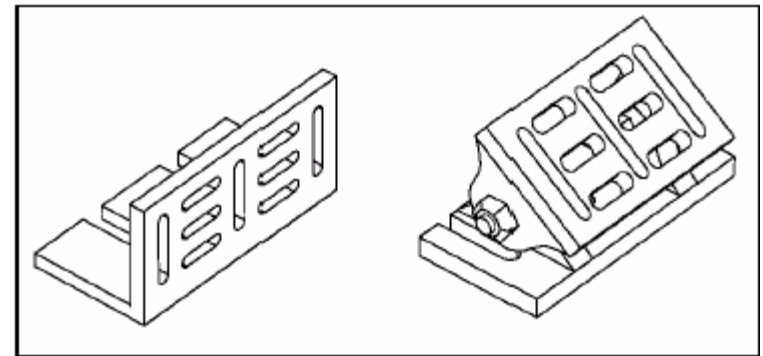
# Acessórios para fixação

As peças maiores são presas diretamente sobre a mesa por meio de *grampos*, *cantoneiras* e *calços*.

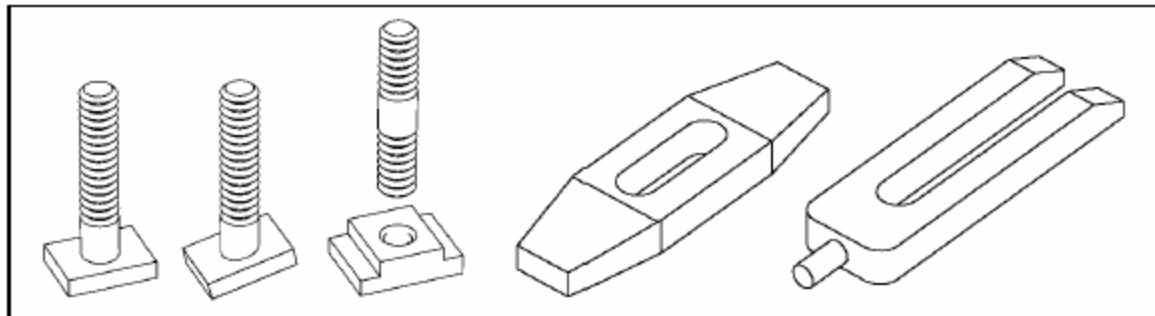
Calços



Cantoneiras




Parafusos e Grampos



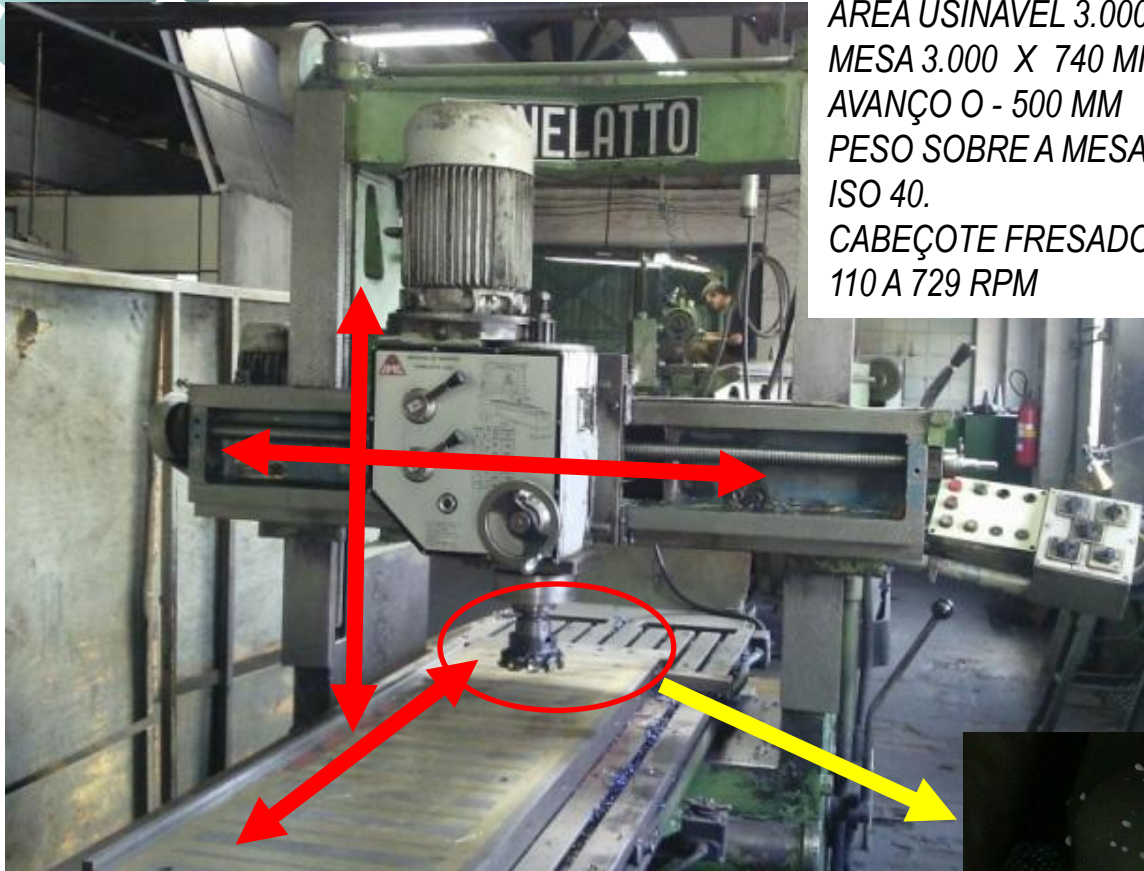
# Plaina de Mesa

---

- 
- **No caso das Plainas de Mesa, o que se move é a mesa.**
  - *Curso para as mesas é muito maior do que para Plaina Limadora.*
  - *São usadas para peças grandes*
  - *Existem diversas configurações para esse tipo de Plaina – são chamadas Plainas de Mesa **Fresadoras***



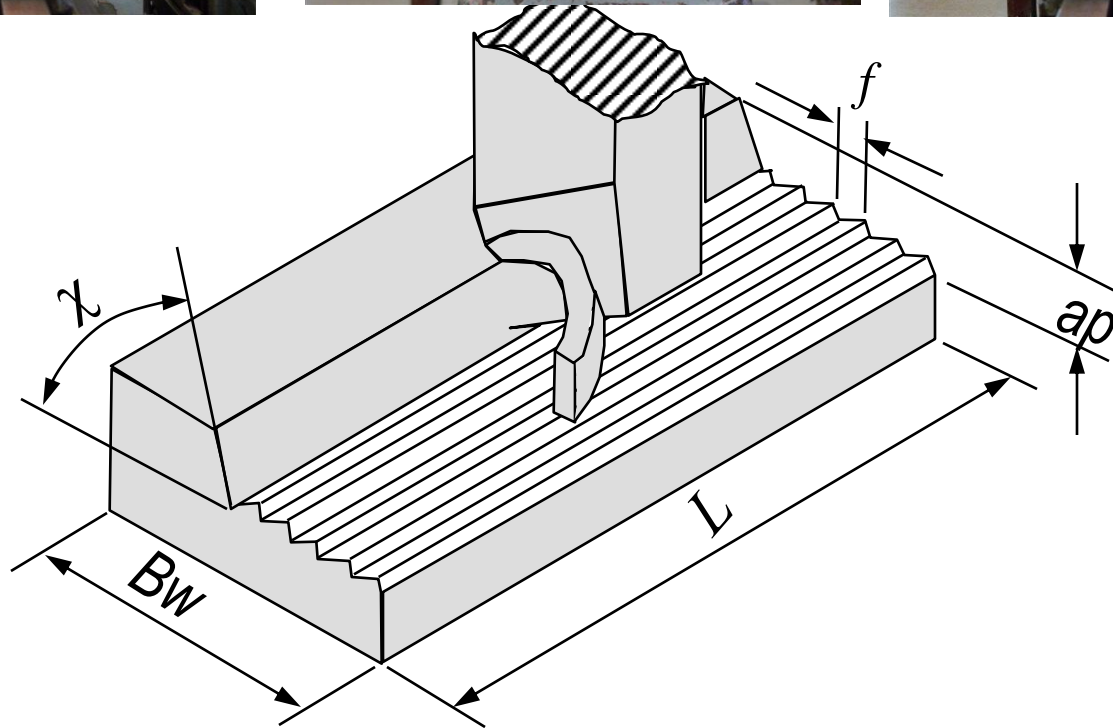
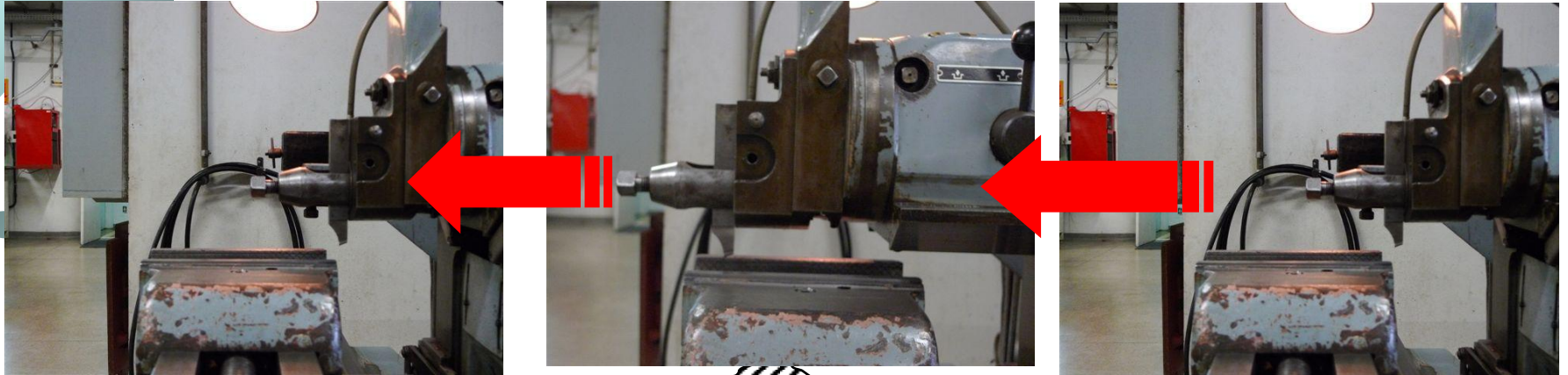
# Plaina de Mesa - Fresadoras



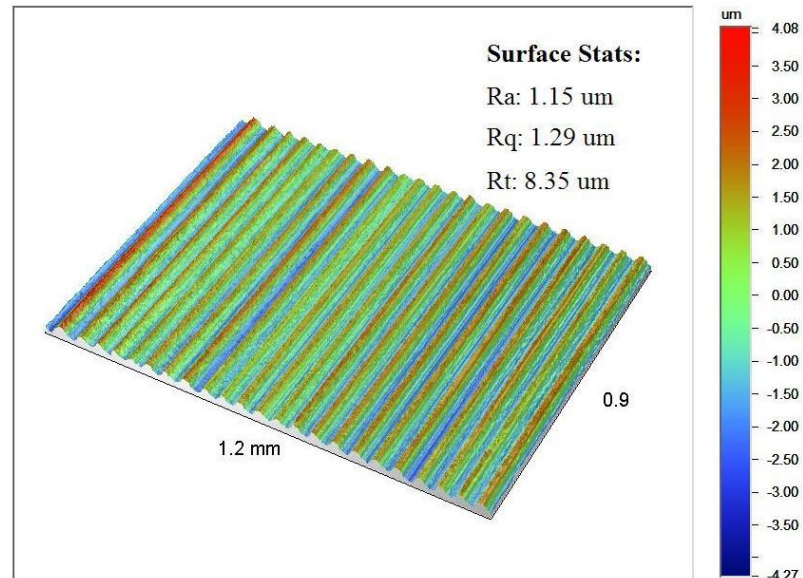
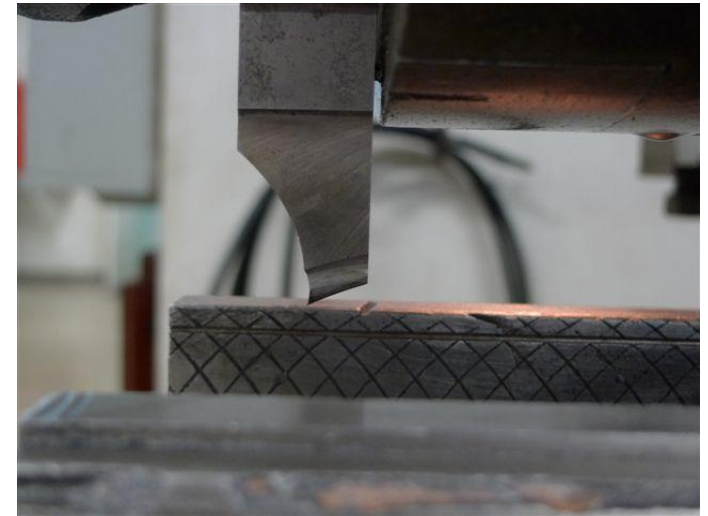
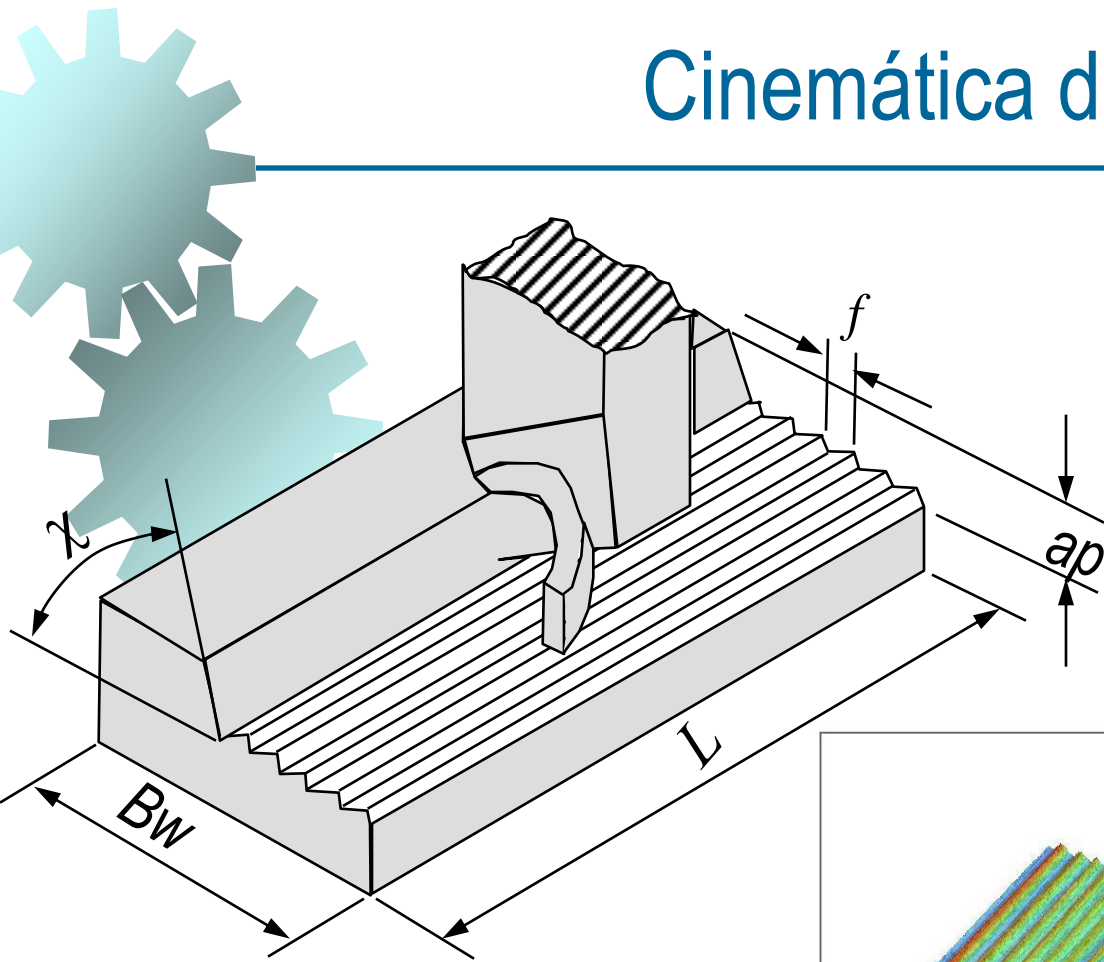
AREA USINAVEL 3.000 X 1.000 X 1.000 MM  
MESA 3.000 X 740 MM  
AVANÇO 0 - 500 MM  
PESO SOBRE A MESA 2.000 KG  
ISO 40.  
CABEÇOTE FRESADOR 15 CV .  
110 A 729 RPM



# Cinemática do Aplainamento



# Cinemática do Aplainamento





# Aplainamento

## Cálculo das Forças no Aplainamento

$$Fc = K_{s1} \times b \times h^{1-z} \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4$$

Fc (N) força de corte

h (mm) espessura de corte

b (mm) é a largura de corte

$K_{s1}$  (kgf/mm<sup>2</sup>) pressão específica do corte

z expoente do material

$F_1$  fator de correção para ângulo de saída ( $\gamma_0 = 6^\circ$  para aço e  $\gamma_0 = 2^\circ$  para FoFo cinzento)

$F_2$  fator de correção do desgaste (depende do estado da ferramenta  $F_2 = 1,1$  a  $1,5$ )

$F_3$  fator de correção para velocidade de corte ( $F_3 = 1,1$  para HSS e  $F_3 = 1,0$  para MD)

$F_4$  Fator de correção para recalque do cavaco ( $F_4 = 1,1$ )

$$F_1 = 1 - \frac{\gamma_{ferr} - \gamma_0}{100}$$



# Aplainamento

---

## Cálculo da Potência para Plainas

$$P_m = \frac{F_c \times v_c}{60s / \text{min} \times 10^3 W / KW \times \eta}$$

$P_m$  potência na máquina (kW)

$F_c$  força de corte (N)

$V_c$  velocidade de corte

$\eta$  Rendimento da máquina (0,6-0,7)



# Aplainamento

## Cálculo da Potência para Plainas de mesa

Nessas máquinas há que se considerar forças de atrito e aceleração.

Em função da velocidade de retorno, o comprimento de aproximação e o peso da peça e da mesa são consideradas. Portanto, a máquina deve ser dimensionada de acordo com:

$$P_r = \frac{v_r \times m}{60s / \text{min}} \left( \mu \cdot g + \frac{v_r}{60s / \text{min} \times t_a} \right) \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{10^3 W / KW}$$

$P_r$  potência para retorno (kW)

$v_r$  velocidade de retorno (m/min)

$m = m_{\text{mesa}} + m_{\text{peça}}$  (kg)

$\mu$ : Coeficiente de atrito para mesa guia ~0,1

$g$ : aceleração gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$t_a$ : tempo de aceleração ( $t_a \approx 1$  s)

$\eta$ : Rendimento da máquina (0,6-0,7)

# Aplainamento

---

Cálculo da Potência para Plainas de Mesa ou

$$P_v = \left[ F_c + \mu (F_{\text{mesa}} + F_{\text{peça}}) \right] \frac{v_c}{60 \text{ s / min}} \times \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{10^3 \text{ W / KW}}$$

$P_v$  potência para movimento de avanço - corte  
(kW)

$F_c$  força de corte (N)

$F_{\text{mesa}}$  peso da mesa (N)

$F_{\text{peça}}$  peso da peça (N)

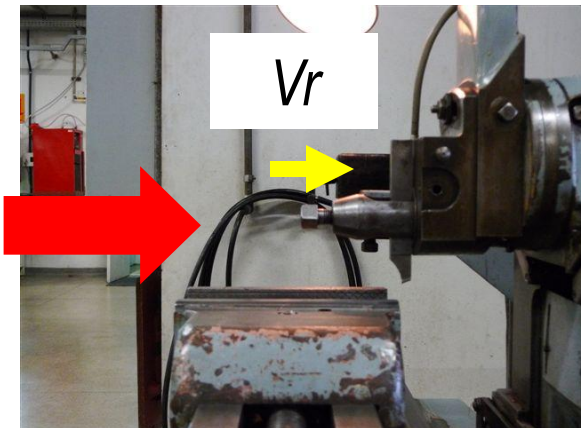
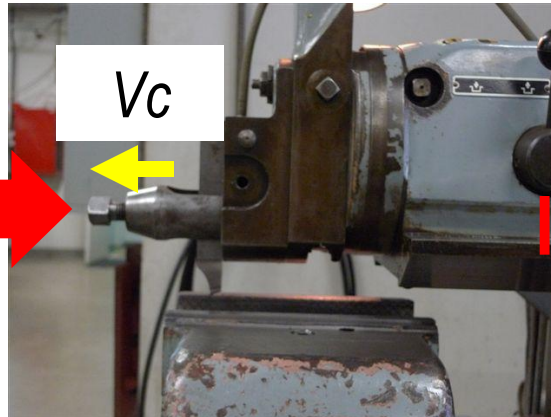
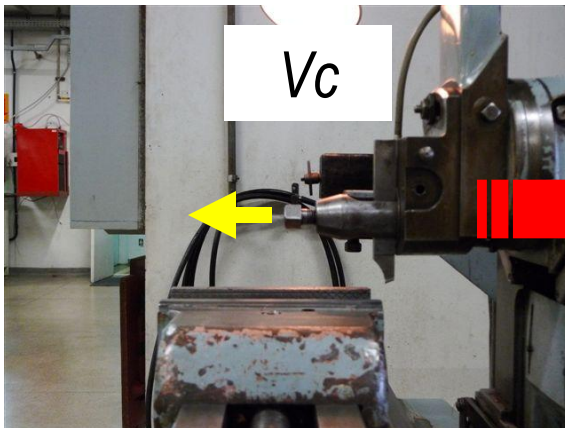
# Aplainamento

Cálculo do tempo de usinagem

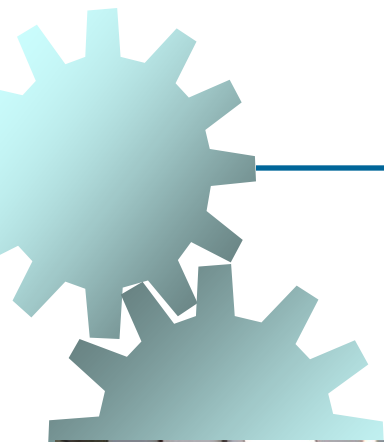
No aplainamento, distingue-se entre **2 velocidades**

A  $V_c$  é a **velocidade de avanço** do torpedo que irá realizar a operação de corte

A  $V_r$  é a **velocidade de retorno** da ferramenta (da mesa na Plaina de mesa ou do Torpedo na Plaina limadora) para posição inicial









# Aplainamento

---

Via de regra, a velocidade de retorno é maior do que a velocidade de avanço, uma vez que a ferramenta volta em vazio.

Consequentemente, calcula-se a velocidade média  $v_m$ :

$$v_m = \frac{2 \cdot v_c \cdot v_r}{v_c + v_r}$$

$v_m$  velocidade média (m/min)

$v_c$  velocidade de avanço no corte (operação) (m/min)

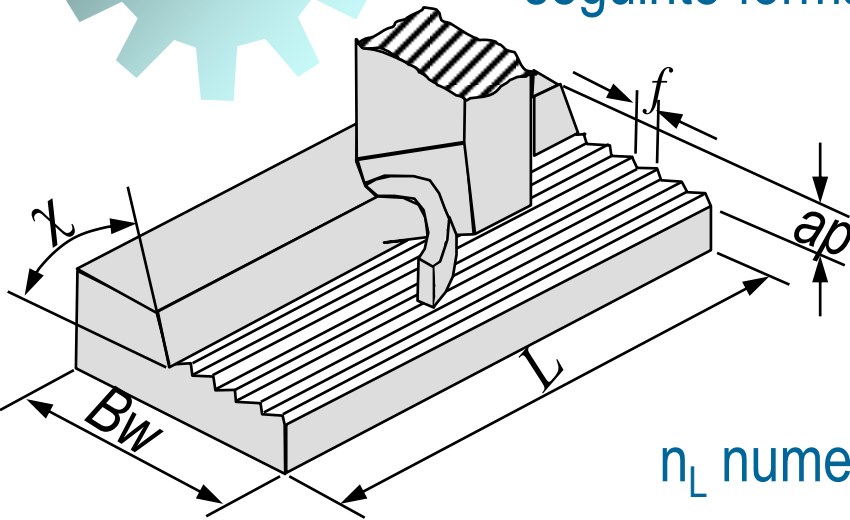
$v_r$  velocidade de retorno(m/min)

# Aplainamento

Número de golpes por unidade de tempo

O número de golpes para o corte e para o retorno podem ser estimados num período de tempo da seguinte forma:

$$n_L = \frac{v_m \times 10^3 \text{ mm/m}}{2 \times L}$$



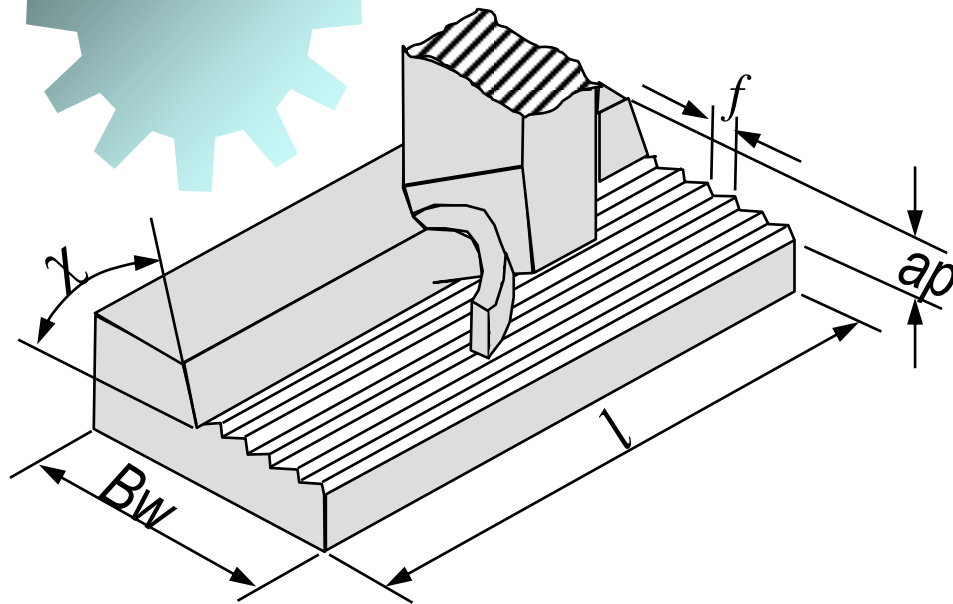
$n_L$  número de golpes para corte e retorno (1/min)

$v_m$  velocidade média (operação) (m/min)

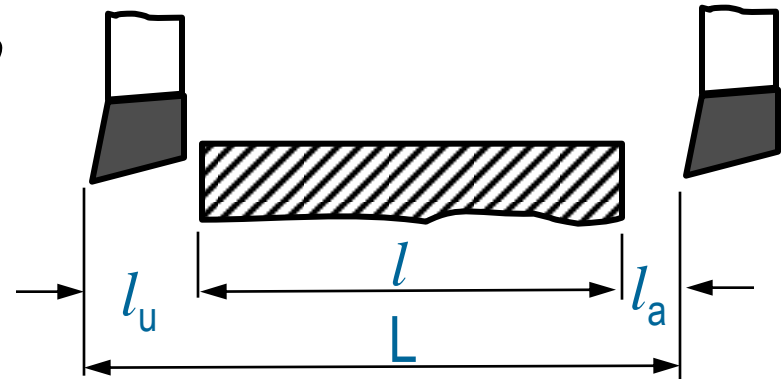
L comprimento do golpe (mm)

# Aplainamento

Valores do comprimento e largura que são considerados nos cálculos de tempo :



$$L = l_a + l + l_u$$

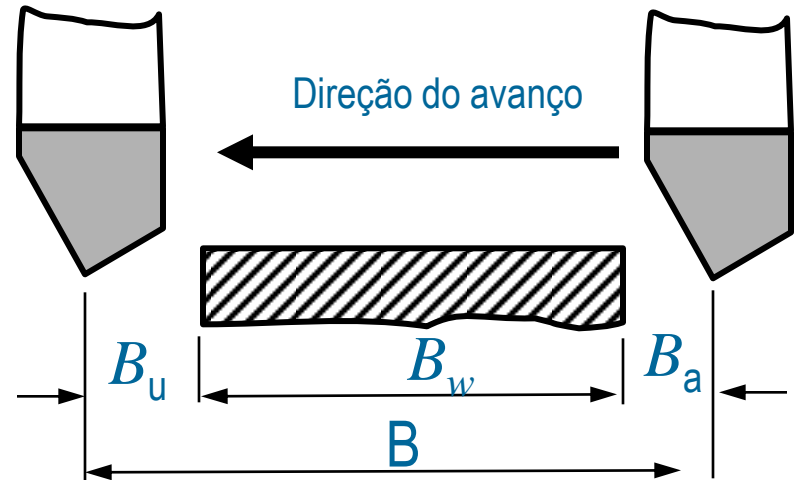
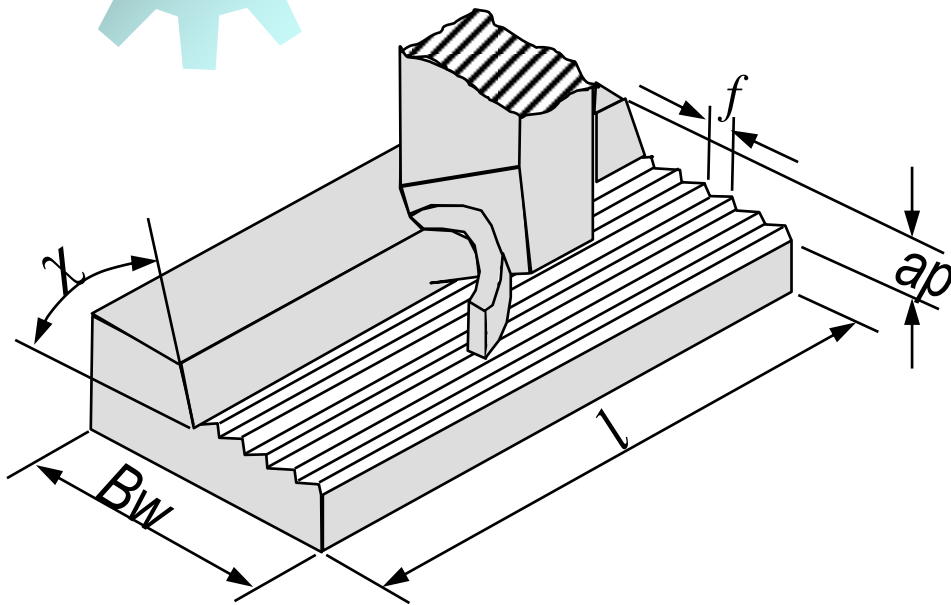


Nas operações de aplainamento recomenda-se  $l_a = 10$  mm e  $l_u = 5$  mm

# Aplainamento

Da mesma forma que o comprimento, é possível determinar a largura abrangida por unidade de tempo :

$$B = B_a + B_w + B_u$$



$B$  largura a ser coberta pela ferramenta sobre a peça (mm)

$B_a$  aproximação da ferramenta (mm)

$B_w$  largura total da peça (mm)

$B_u$  distância de avanço após corte (mm)

Nas operações de aplainamento recomentda-se  $B_a = B_u = 4\text{mm}$





# Aplainamento

---

Tempo de usinagem para aplainamento

$$T_h = \frac{B \cdot i}{f \cdot n_L} = \frac{2 \cdot B \cdot L \cdot i}{v_m \cdot f \cdot (10^3 \text{ mm} / \text{m})}$$

$T_h$  tempo de usinagem (min)

B largura a ser coberta para efeito de cálculo (mm)

L comprimento do golpe (mm)

$v_m$  velocidade média (mm/min)

$f$  avanço para cada golpe de corte e retorno

$i$  número de passos

$n_L$  número de golpes de corte e retorno  $n_L = \frac{v_m \times 10^3 \text{ mm} / \text{m}}{2 \times L}$

# Aplainamento

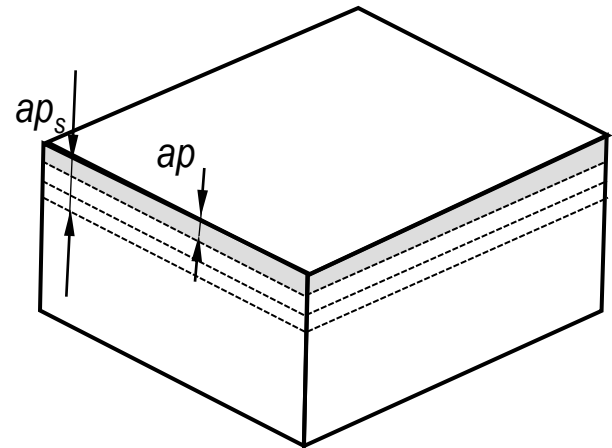
O número de passos pode ser calculado:

$$i = \frac{ap_s}{ap}$$

$i$  número de passos (número inteiro)

$ap_s$  sobremetal a ser removido da superfície (mm)

$ap$  profundidade de usinagem (mm)



# Aplainamento

## Tabela de Referência

**Table 8.1** Cutting speeds  $v_{c 120}$  for planing

Material	Strength or hardness in $N/mm^2$	$v_{c 120}$ for cemented carbide tools				$v_{c 120}$ for high speed tools		
		Feed $f$ in mm/ forward and return stroke						
		HM (cemented carbide)	0,5	1,0	1,6	0,5	1,0	1,6
S 275 JR C 15–C 22	400–500	P 40	60	48	40	28	23	20
E 295–E 335 C 35–C 45	500–800	P 40	55	45	38	21	17	15
E 360 C 60	750–900	P 40	40	35	30	14	11	10
GE 240–GE 260	450–520	P 40	45	35	30	15	12	10
GJL 100–GJL 150	1400–1900 HB	K 20	50	40	30	25	18	14
GJL 200–GJL 250	2000–2400 HB	K 20	55	45	35	32	26	24

Fonte: Tschätsch, H. *Applied machining Technology*, Springer, 2009, 396p.



# Aplainamento

---

**Exemplo: Deseja-se aplainar uma placa de Aço E 295, com 2700 mm comprimento, 850 de largura, em operação de desbaste com sobremetal de 10 mm.**

*Dados:*

$a_p = 10 \text{ mm}$

$f = 1,6 \text{ mm}$  para avanço do golpe corte e de retorno

Ângulo de posição  $\chi = 60^\circ$

Ângulo de saída  $\gamma_0 = 10^\circ$

Material da Ferramenta: Aço rápido

$\eta = 0,65$ , velocidade de reverso da mesa da plaina  $v_r = 60 \text{ m/min}$

**Pede-se calcular: Força de corte, Potência da Máquina, Tempo de usinagem**

# Aplainamento

Solução:

1. Da tabela 8.1,  $v = 15 \text{ m/min}$  (para  $f = 1,6 \text{ mm}$ )

2. Força de corte  $K_{s1} = 1990 \text{ N/mm}^2$  e  $z = 0,26$

$h = (f \cdot \text{sen } \chi)$  e  $b = ap/\text{sen } \chi$ ; portanto

$h = 1,38 \text{ mm}$  e  $b = 11,54 \text{ mm}$

$F_1 = 0,96$ ;  $F_2 = 1,3$ ;  $F_3 = 1,1$   $F_4 = 1,1$

$$F_c = K_{s1} \times b \times h^{1-z} \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4$$

$$F_c = 44011,7 \text{ N}$$

F1 fator de correção para ângulo de saída ( $\gamma_0 = 6^\circ$  para aço e  $\gamma_0 = 2^\circ$  para FoFo cinzento)

F2 fator de correção do desgaste (depende do estado da ferramenta F2= 1,1 a 1,5)

F3 fator de correção para velocidade de corte (F3 = 1,1 para HSS e F3 = 1,0 para MD)

F4 Fator de correção para recalque do cavaco (F4 = 1,1)

$$F_1 = 1 - \frac{\gamma_{ferr} - \gamma_0}{100}$$



# Aplainamento

*Solução:*

*3. Potência da máquina (se considerar as forças de aceleração e atritivas)*

$$P_m = \frac{F_c \times v_c}{60s / \text{min} \times 10^3 W / KW \times \eta}$$

$$P_m = \frac{44011,7N \times 15m / \text{min}}{60s / \text{min} \times 10^3 W / KW \times 0,65}$$

$$P_m = 16,93 \text{ kW}$$

# Aplainamento

*Solução:*

*4. Tempo de usinagem*

*4.1 Velocidade Média*

$$v_m = \frac{2 \cdot v_c \cdot v_r}{v_c + v_r} \quad v_m = \frac{2 \cdot 15 \cdot 60}{15 + 60} = 24 \text{ m / min}$$

*4.2 Comprimento do Golpe*

$$L = l_a + l_t + l_u$$

$$l_a \approx 10 \text{ mm}$$

$$l_u \approx 5 \text{ mm}$$

$$L = 10 + 2700 + 5 = 2715 \text{ mm}$$

# Aplainamento

---

*Solução:*

*4. Tempo de usinagem*

*4.3 Largura a ser considerada para cálculo*

$$B = B_a + B_w + B_u$$

$$B_a = B_u = 4 \text{ mm}$$

$$B = 4 + 850 + 4 = 858 \text{ mm}$$

# Aplainamento

Solução:

$$B = 858 \text{ mm}$$

$$L = 2715 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$V_m = 24 \text{ m/min}$$

$$f = 1,6 \text{ mm}$$

4.4 Tempo de usinagem

$$T_h = \frac{B \cdot i}{f \cdot n_L} = \frac{2 \cdot B \cdot L \cdot i}{v_m \cdot f \cdot (10^3 \text{ mm/m})}$$

$$T_h = \frac{2 \cdot 858 \cdot 2715 \cdot 1}{24 \cdot 1,6 \cdot (10^3 \text{ mm/m})} = 121,33 \text{ min}$$



# Aplainamento

---

*Solução:*

*Pergunta: Essa ferramenta conseguiria terminar a peça sem atingir o fim da vida?*

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

*C = 58 e y = 0,25 para AR em ABNT 1035*