

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

SEP0279 – PORCESSAMENTO DE MATERIAIS II - USINAGEM DOS METAIS

AULA-6: Força e potência de corte

Reginaldo T. Coelho
rtcoelho@sc.usp.br

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE



Tormax 35
Equipado com placa de quatro castanhas independentes (opcional)

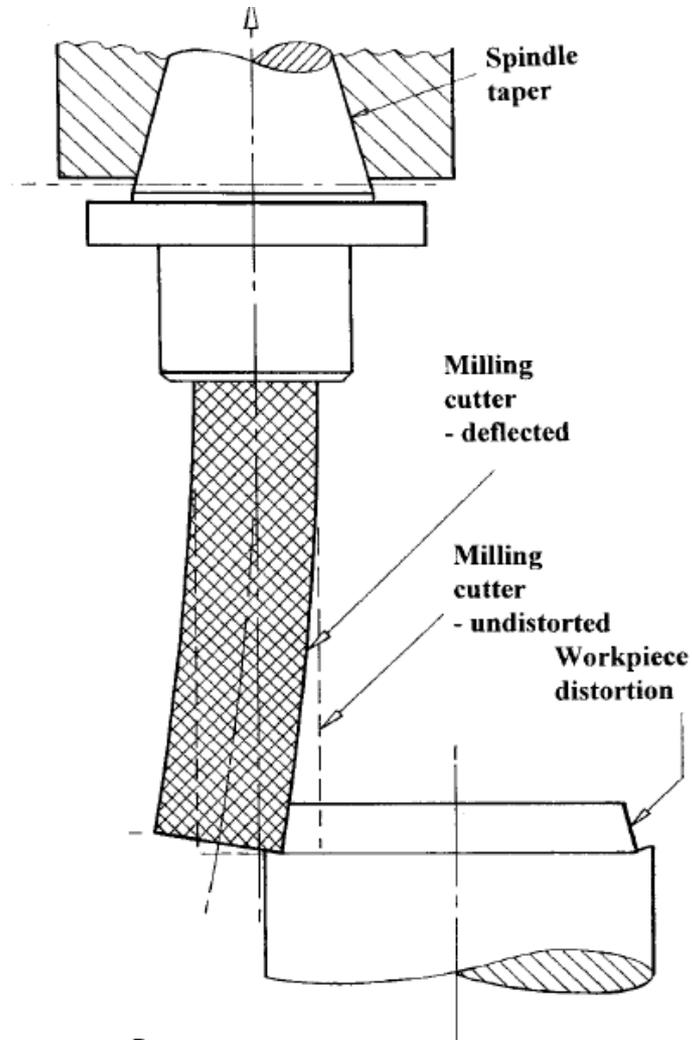


Tormax 20
Equipado com placa de quatro castanhas independentes (opcional)

Especificações Técnicas		Tormax 20	Tormax 20A	Tormax 30	Tormax 30A	Tormax 30B	
Capacidade							
Altura de pontas	mm	165	205	205	260	325	
Distância entre pontas	m	0,5 / 1,0	0,5 / 1,0 / 1,5	0,5 / 1,0 / 1,5	1,0 / 1,5 / 2,25	1,5 / 2,25 / 3,25	
Diâmetro admissível sobre o barramento	mm	325	405	420	520	660	
Diâmetro admissível sobre as asas da mesa	mm	290	365	370	450	595	
Diâmetro admissível sobre o carro transversal	mm	185	265	230	350	500	
Diâmetro admissível na cava (A)	mm	-	-	-	705	855	
Comprimento útil da cava frente à placa (A)	mm	-	-	-	220	220	
Curso do carro transversal	mm	200	235	240	300	350	
Curso do carro porta-ferramentas	mm	100	100	120	120	120	
Secção do cabo da ferramenta	mm	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20	
Barramento							
Largura	mm	225	225	305	305	305	
Altura	mm	270	270	334	334	334	
Cabeçote							
Nariz da árvore	ASA	L0	L0	L0	L0	L0	
Diâmetro do furo da árvore	mm	40	40	50	50	50	
Conicidade interna da árvore	graus	1° 26'	1° 26'	1° 26'	1° 26'	1° 26'	
Sede interna da bucha de redução	CM	3	3	4	4	4	
Diâmetro da árvore no rolamento dianteiro	mm	66,67	66,67	83	83	83	
Número de velocidades		12	12	20	20	20	
Faixa de velocidades	rpm	50 a 2.500	50 a 2.500	45 a 2.240	35,5 a 1.800	28 a 1.400	
Potência instalada		CV		5		7,5	
Motor principal							
Bomba para refrigeração de corte (D)	cv	0,125				0,125	
Bomba para lubrificação de embreagens	cv	-				-	
Motor do ventilador para o radiador	cv	-				-	
Dimensões e pesos (aproximados)							
Distância entre pontas	mm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	
Área ocupada	mm	2.010 x 930	2.010 x 930	2.250 x 1.050	2.250 x 1.050	2.790 x 1.200	
Peso líquido	kg	1.145	1.170	1.750	1.800	2.050	
Acréscimo de peso para cada 500 mm	kg	200	200	280	280	280	

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Motivação: AVALIAÇÃO DE ESFORÇOS EM FRESAMENTO



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Qual a máquina ?

Operação: torneamento cilíndrico externo

$$\chi = 90^\circ,$$

$$\alpha = 6^\circ,$$

$$\gamma = 10^\circ,$$

Metal duro,

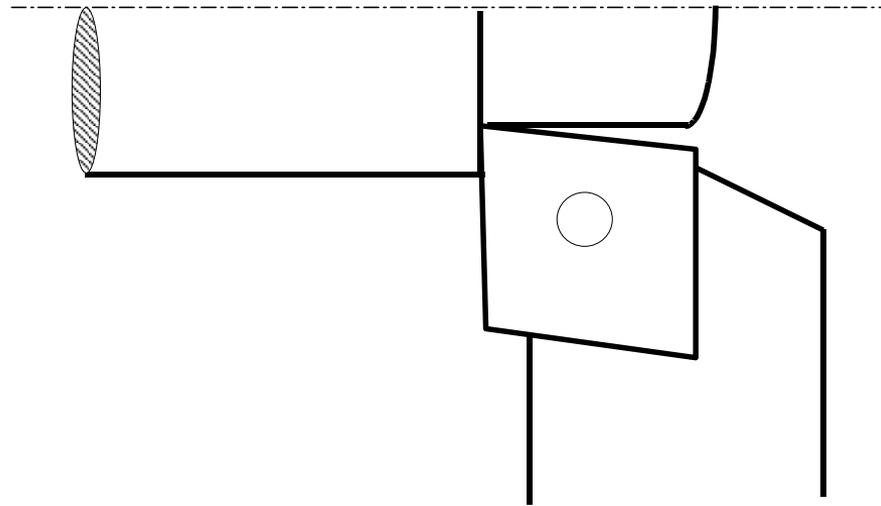
$$a_p = 2,0 \text{ mm},$$

$$f = 0,5 \text{ mm/rev},$$

ABNT 1060,

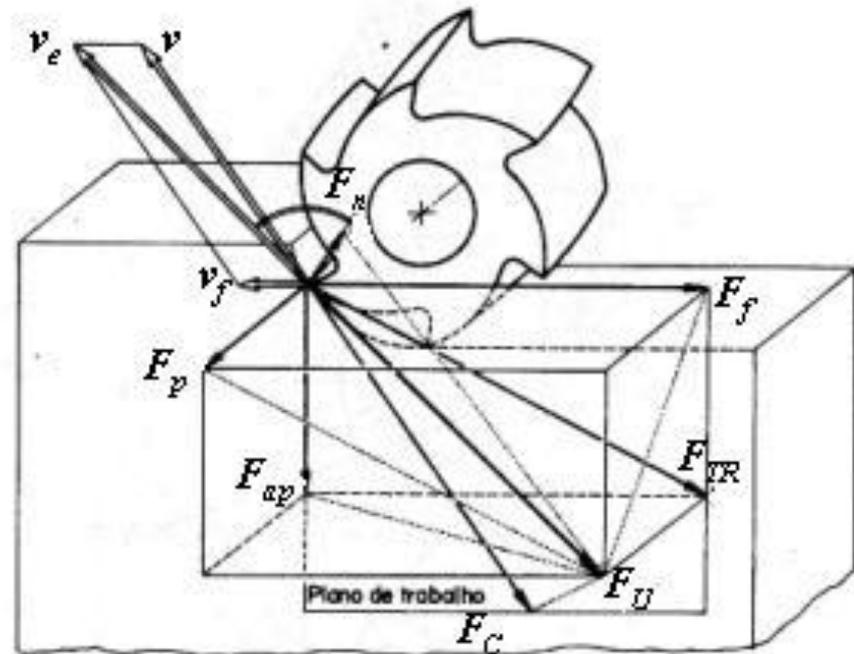
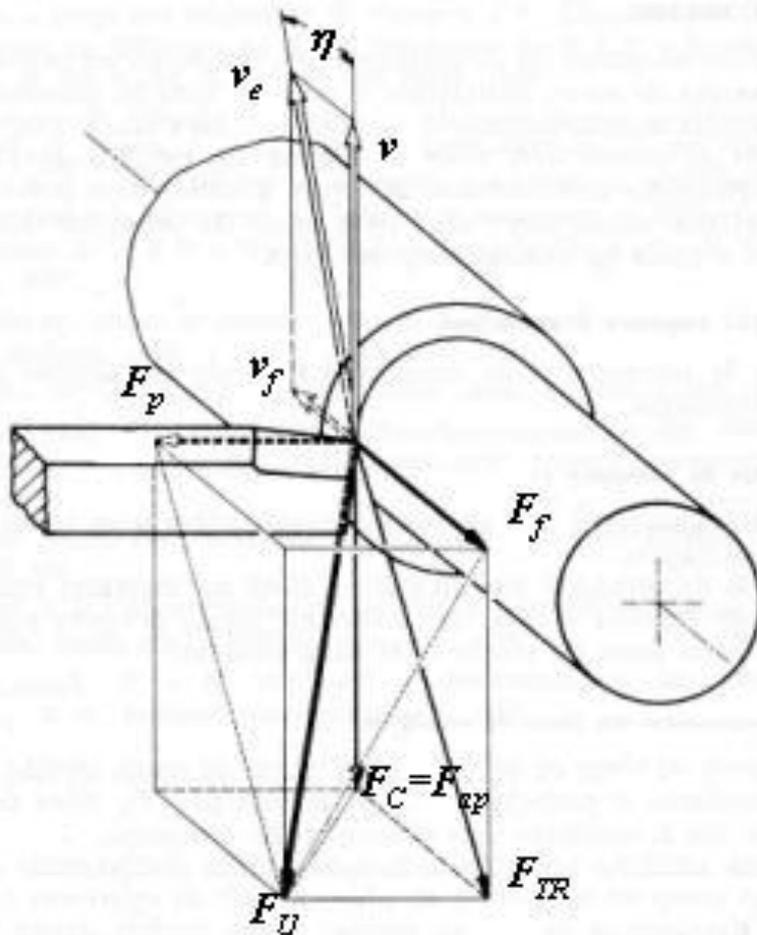
$$\phi = 250,0 \text{ mm},$$

$$v_c = 50 \text{ m/min}.$$



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Forças de usinagem



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

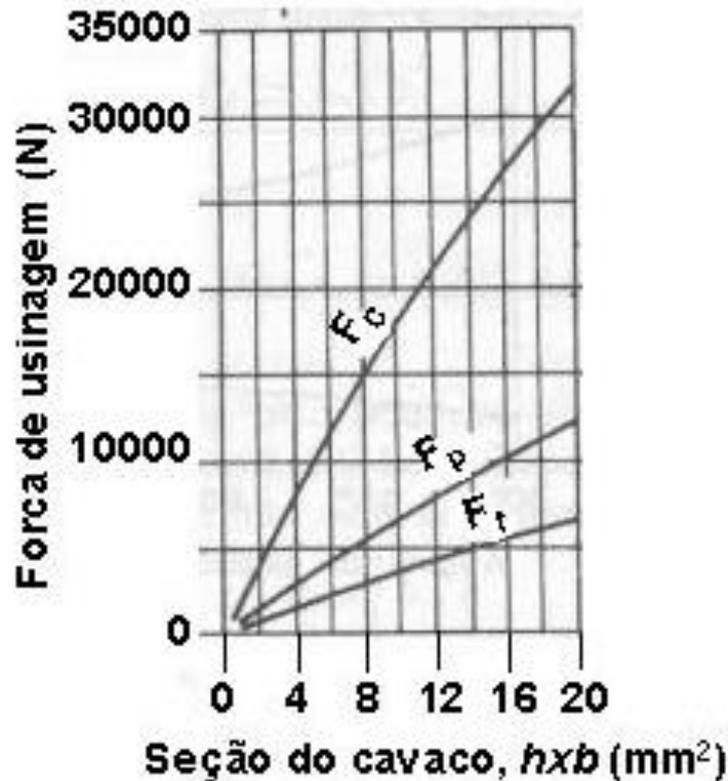
Potência de usinagem em torneamento

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60000}$$

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{60 \times 10^{-6}}$$

$$P_{mc} = \frac{P_c}{\eta_c}$$

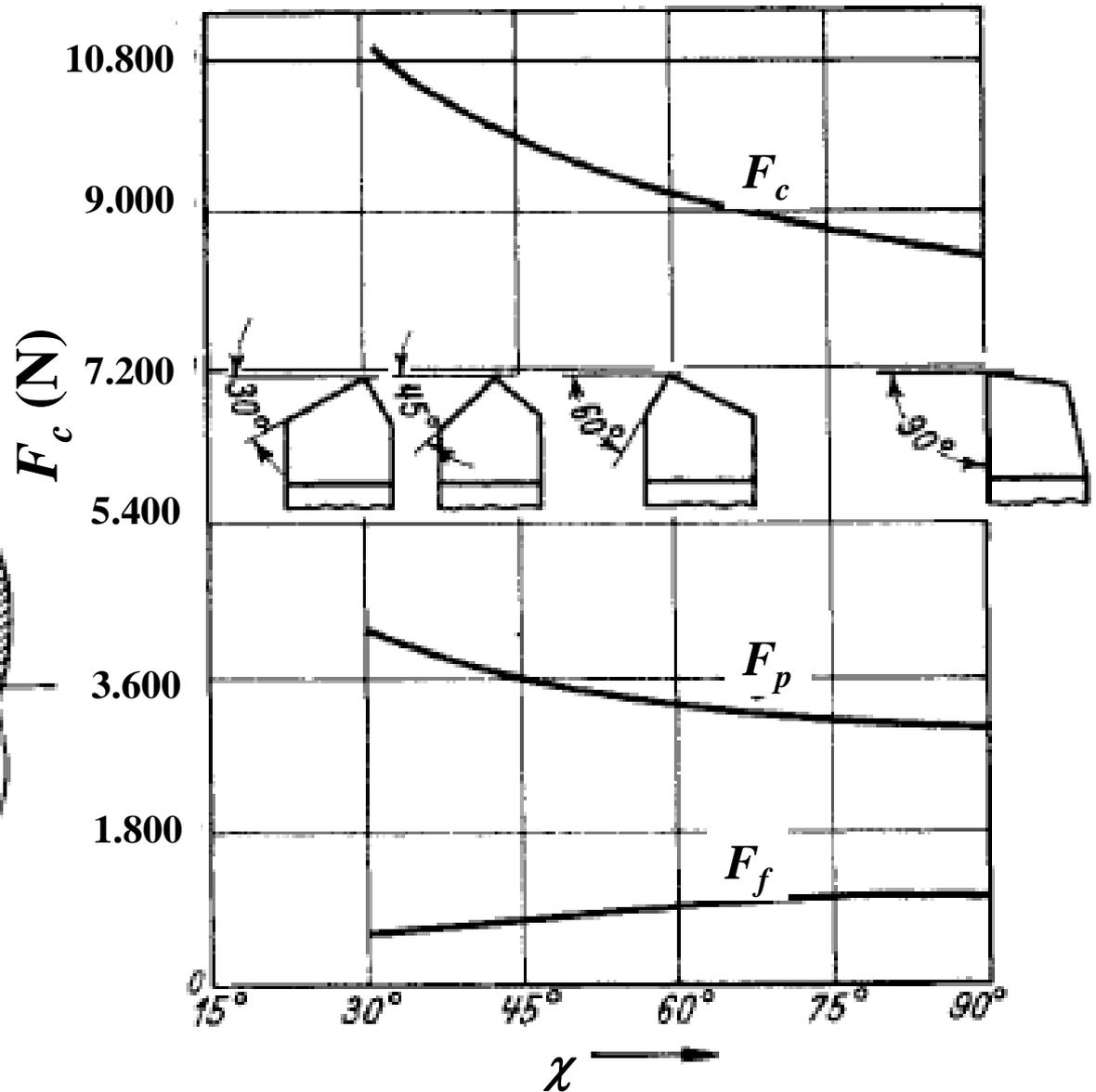
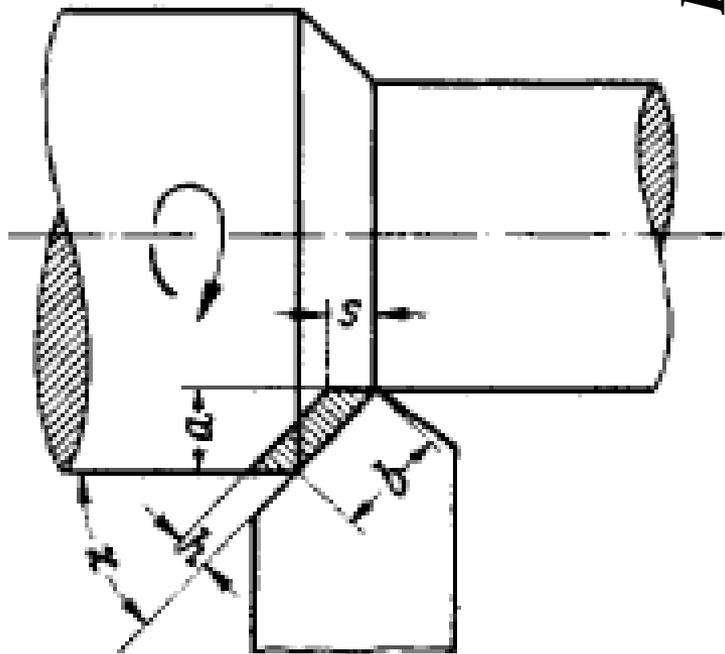
$$P_{mf} = \frac{P_f}{\eta_f}$$



$$F_c : F_p : F_f \approx 4,5 : 2,5 : 1$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Força de corte em torneamento

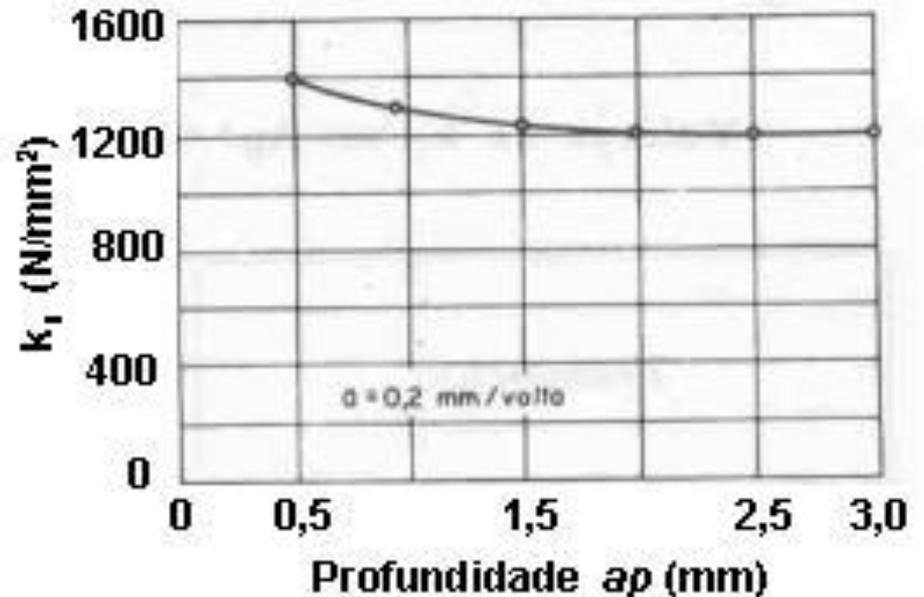
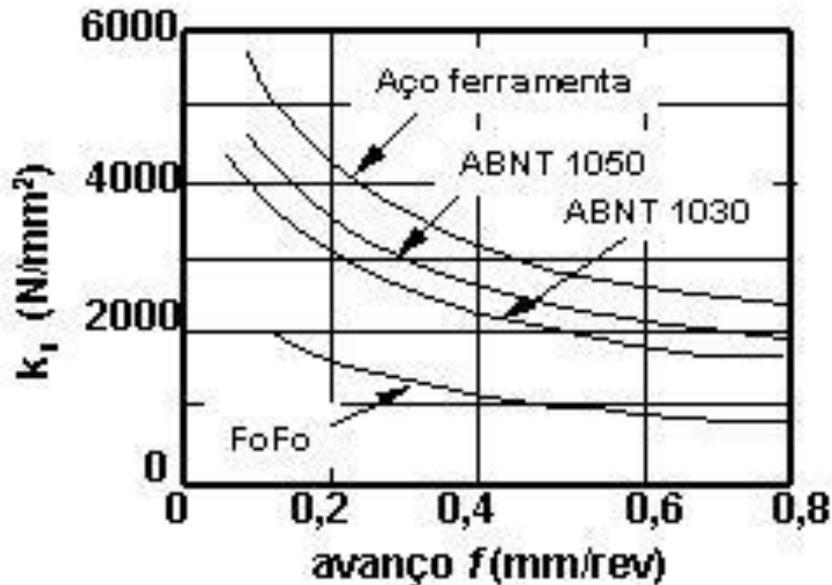


FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Cálculo teórico das componentes da força de usinagem em torneamento

$$F_C = k_s \cdot S$$

$$S = b \cdot h = a_p \cdot f$$



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Cálculo teórico das componentes da força de usinagem em torneamento

Determinação teórica da pressão específica de corte em torneamento.

KIENZLE

$$k_s = k_{s1} \cdot h^{-z}$$

$$F_C = k_s \cdot h \cdot b = (k_{s1} \cdot h^{-z}) \cdot h \cdot b \rightarrow F_C = k_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$$

$$F_f = k_{f1} \cdot h^{1-x} \cdot b$$

$$F_p = k_{p1} \cdot h^{1-y} \cdot b$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Material: ABNT 1020					Tratamento: Estado bruto de laminação (Normalizado)			Similar DIN: Ck 20			Fls. 2		
Análise química (%)						Características Mecânicas						$P_c = k_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$ $P_a = k_{a1} \cdot h^{1-x} \cdot b$ $P_p = k_{p1} \cdot h^{1-y} \cdot b$ $h = a \cdot \text{sen } \alpha$ $b = p / \text{sen } \alpha$	
C	Si	Mn	P	S		Limite de resistência σ_t	463	N/mm ²					
0,19	-	0,43	0,015	0,013		Limite de escoamento σ_e	224	N/mm ²					
						Alongamento ($l_0=5d_0$) δ	27	%					
						Estricção γ	60,4	%					
						Dureza	129	HB					
Características para cálculo da força de usinagem P_c, P_a, P_p													
Material Ferramenta	Geometria da Ferr.						Velocidade de corte m/min	k_{s1} N/mm ²	$1-z$	k_{a1} N/mm ²	$1-x$	k_{p1} N/mm ²	$1-y$
	δ	α	λ	χ	ϵ	r mm							
MD P20	6	8	5	60	90	1,0	50	1480	0,790	420	0,420	350	0,420
MD P20	6	8	5	60	90	1,0	100	1400	0,807	350	0,400	330	0,450
MD P20	6	8	5	60	90	1,0	150	1340	0,810	320	0,430	280	0,430

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Cálculo teórico das componentes da força de usinagem em torneamento

Determinação teórica da pressão específica de corte em torneamento.

KIENZLE

• Correções no ângulo de saída, γ : para cada grau de diminuição (aumento), em relação aos valores tabelados, deve-se aumentar (diminuir) a:

Força de corte: de 1,5%;

Força de avanço: de 5%;

Força de profundidade: de 4%

• Ângulo de folga, α : para variações entre 4 e 11° não há correções. Valores maiores devem ser ensaiados, antes de se proceder a correções.

• Ângulo de inclinação, l : para cada grau de diminuição (aumento), em relação aos valores tabelados, deve-se aumentar (diminuir) a:

Força de corte: de 1,5%;

Força de avanço: de 1,5%;

Força de profundidade: de 10%.

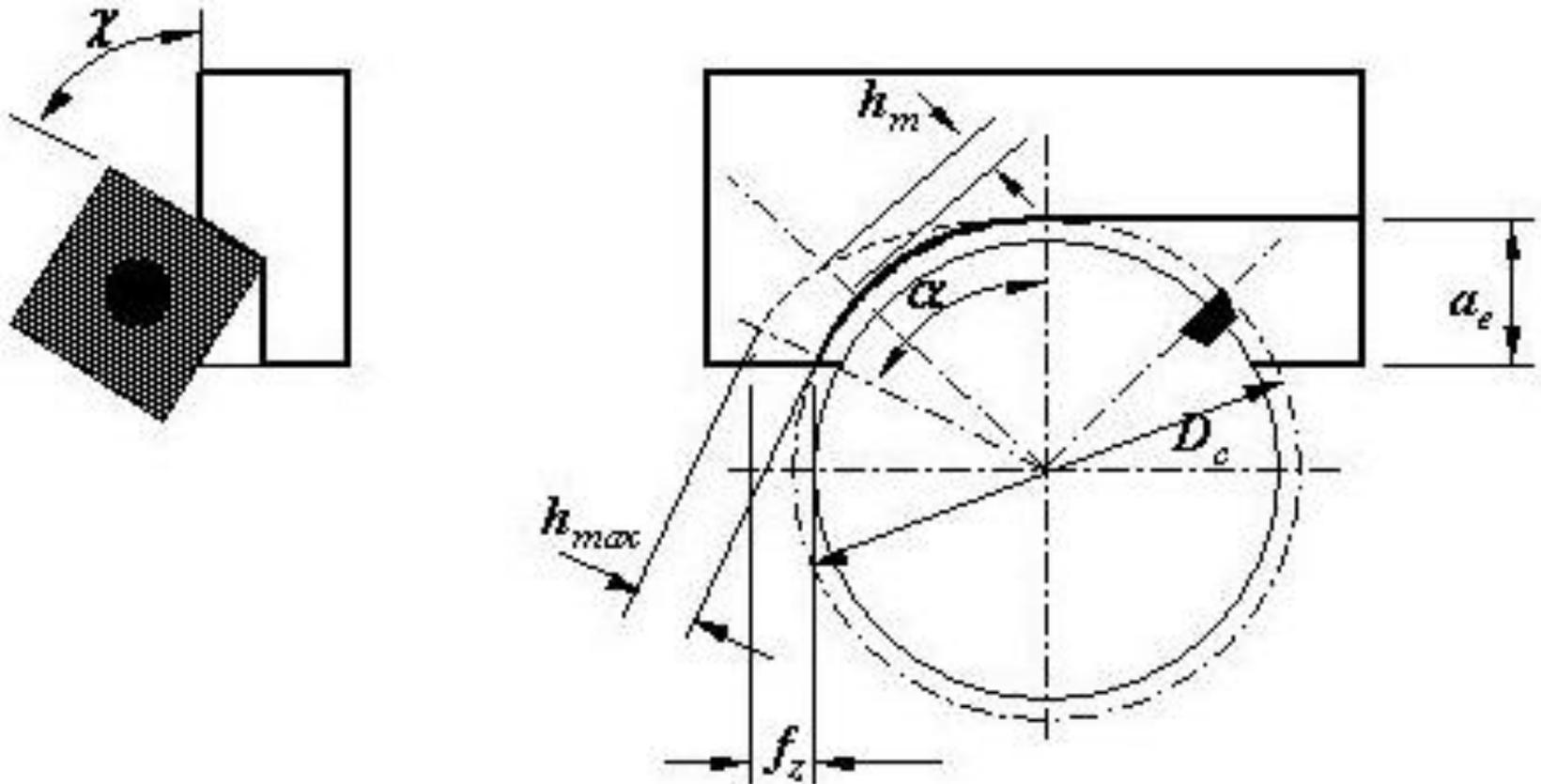
• Ângulo de posição, c : As componentes de possuem considerações diferentes:

Força de corte: correção levada em consideração na equação;

Força de avanço: para cada grau de diminuição (aumento), em relação aos valores tabelados, deve-se diminuir (aumentar) em 2,5%;

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Determinação teórica da potência de corte em fresamento.



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

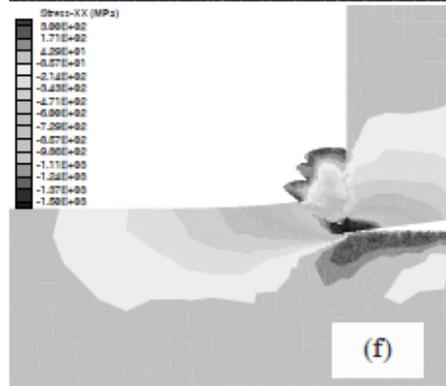
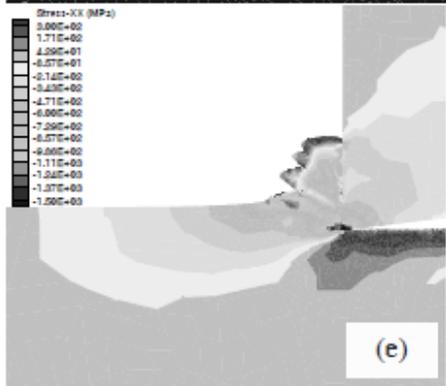
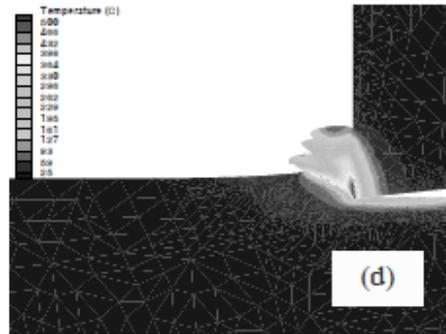
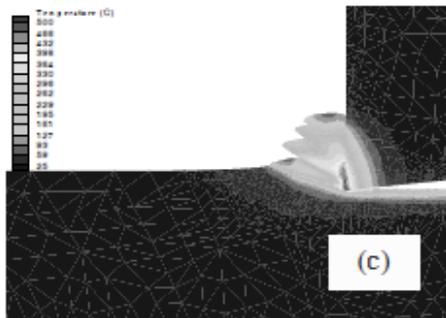
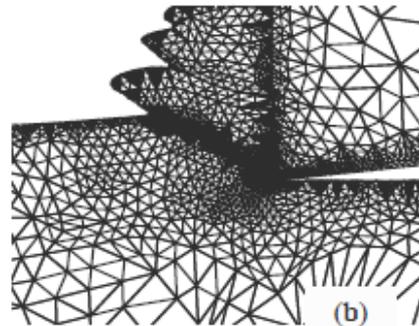
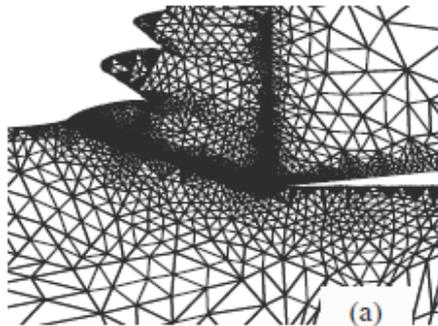
Determinação teórica da potência de corte em fresamento.

$$P_C = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_s}{60 \times 10^6}$$

$$k_s = k_{s1} \cdot h_m^z$$

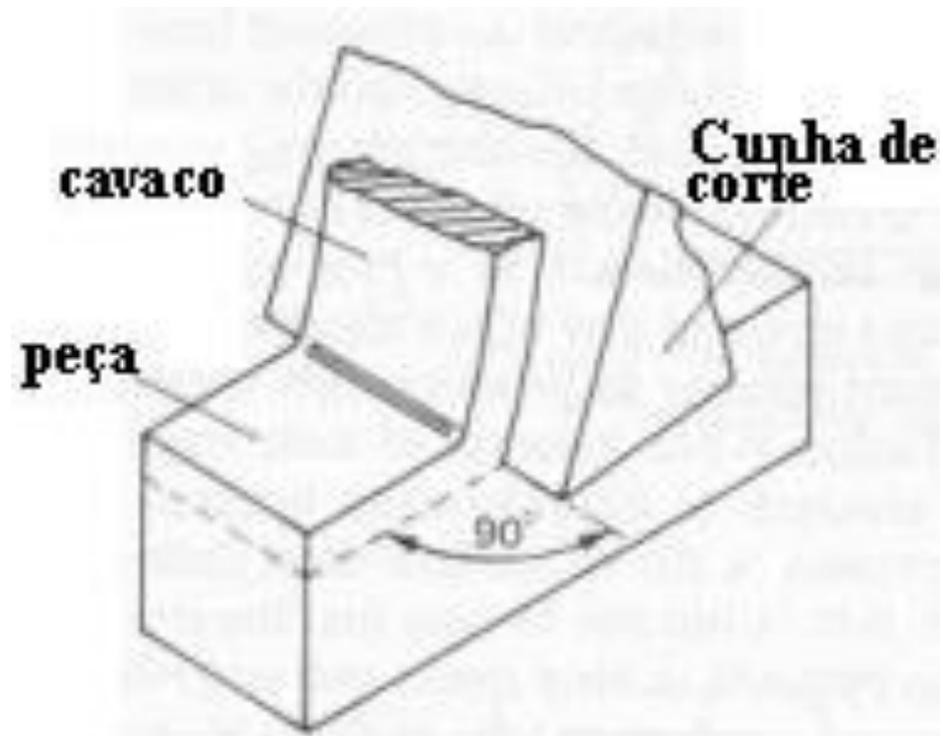
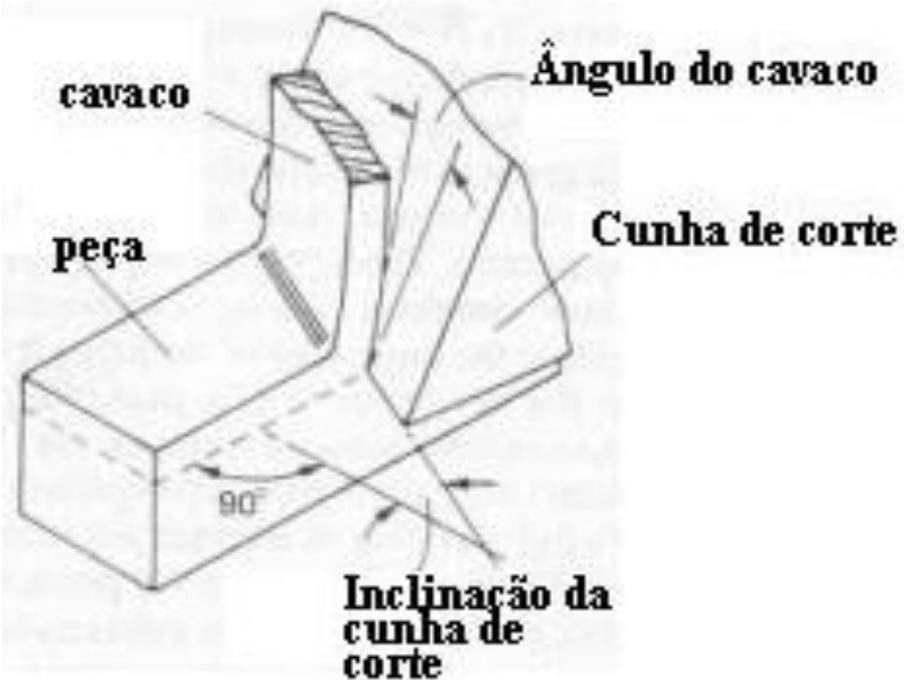
$$h_m = \frac{\text{sen } \chi \cdot 180 \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D_c \cdot \arcsen\left(\frac{a_e}{D_c}\right)}$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE



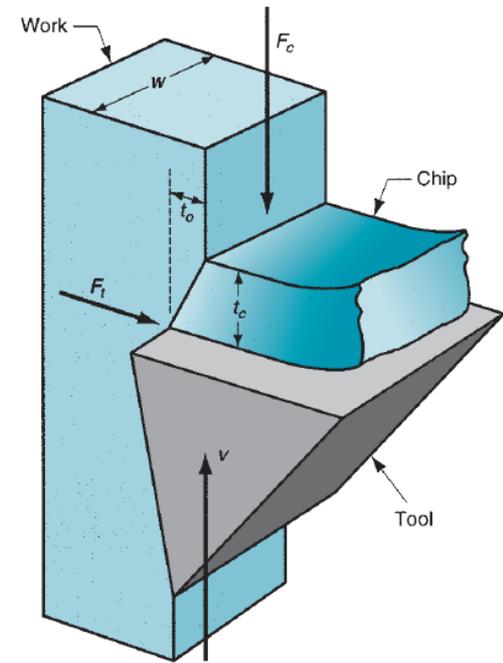
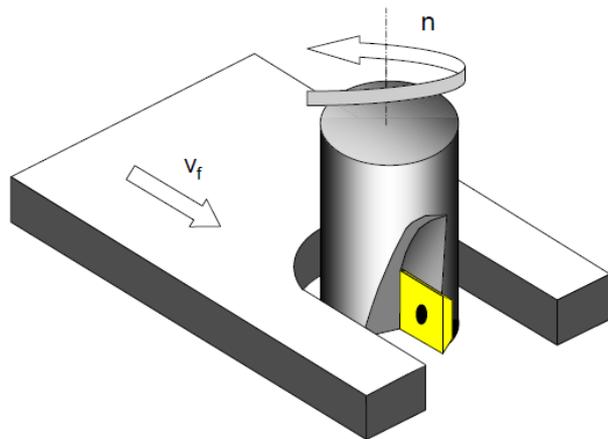
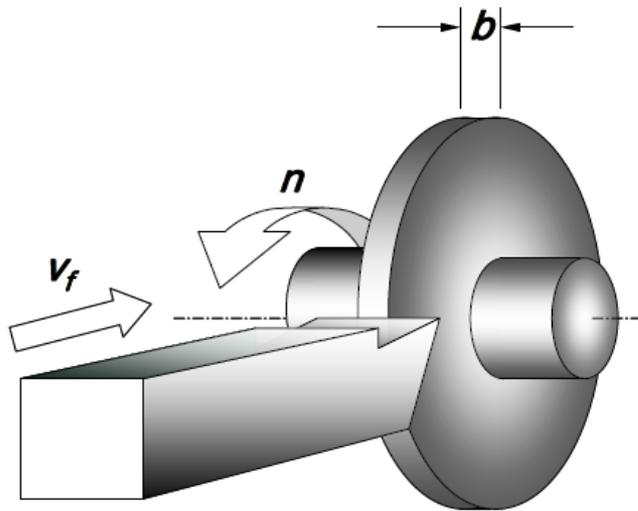
FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

CORTE ORTOGONAL E OBLÍQUO

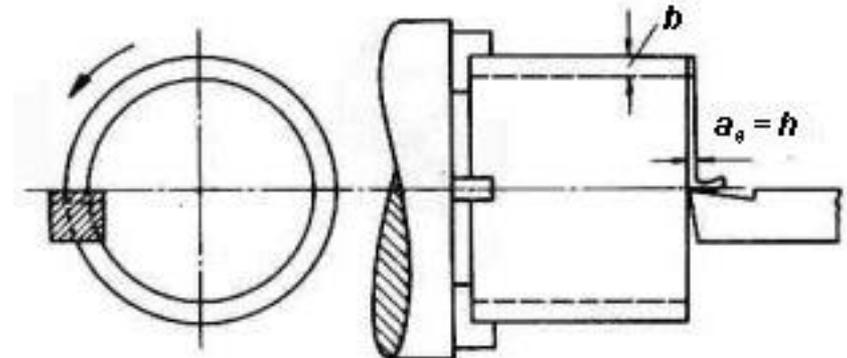


FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Corte ortogonal



(b)



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

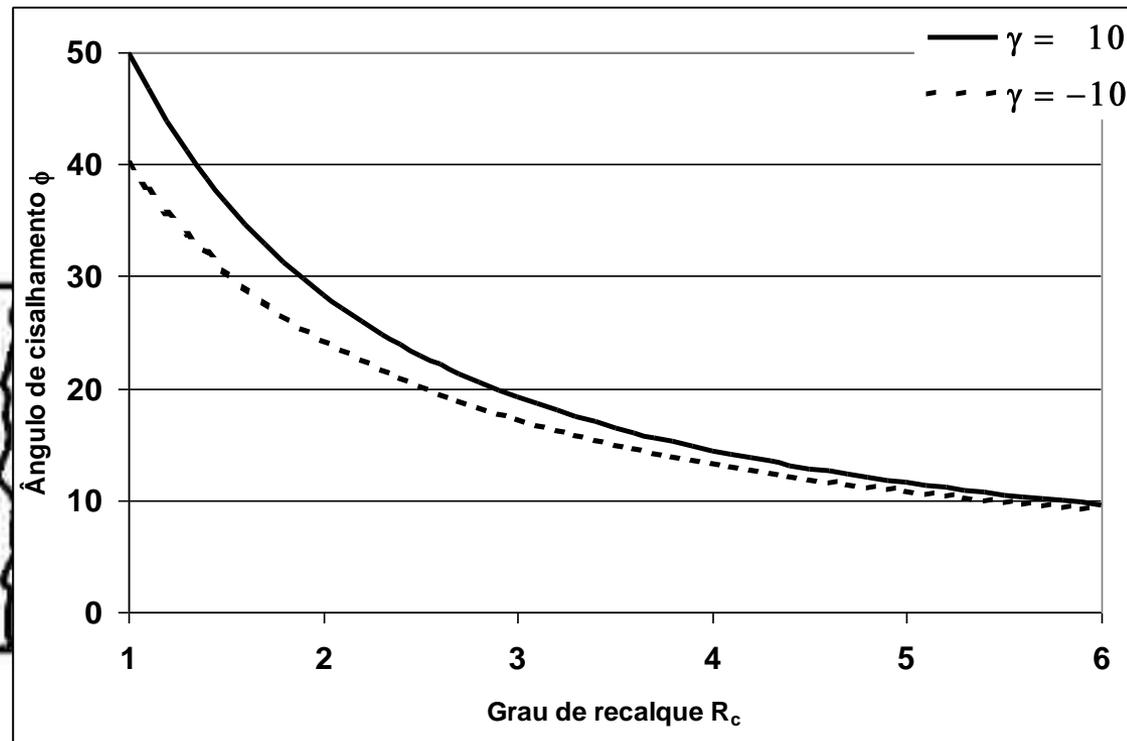
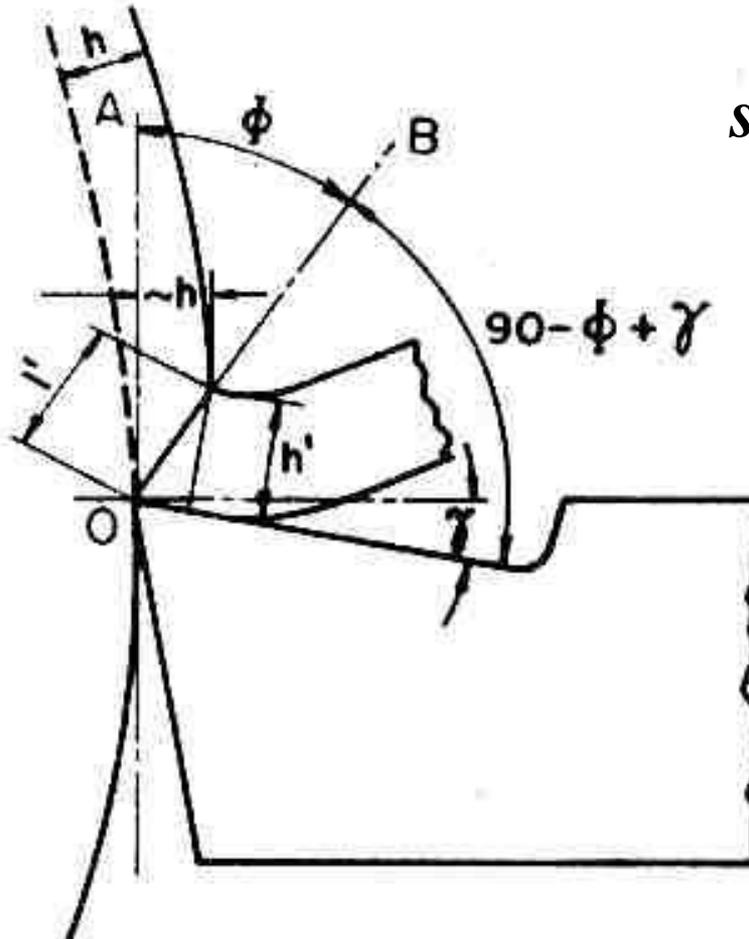
Modelo Teórico: Variáveis geométricas

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \gamma}{R_c - \operatorname{sen} \gamma}$$

$$\operatorname{sen}(90 - \phi + \gamma) = \frac{h'}{l'}$$

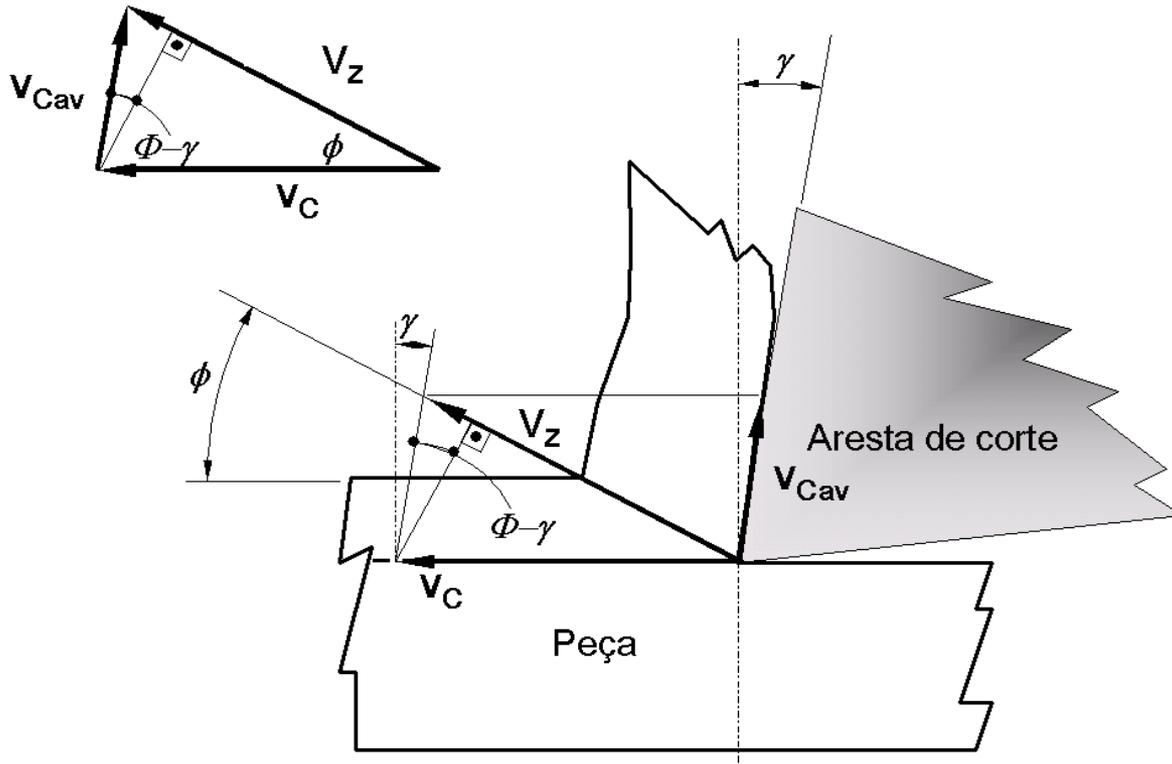
$$\operatorname{sen} \phi = \frac{h}{l'}$$

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



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Modelo Teórico: Variáveis cinemáticas



$$v_{cav} = v_c \cdot \frac{\sin \theta}{\cos(\theta - \gamma)}$$

$$v_z = v_c \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\theta - \gamma)}$$

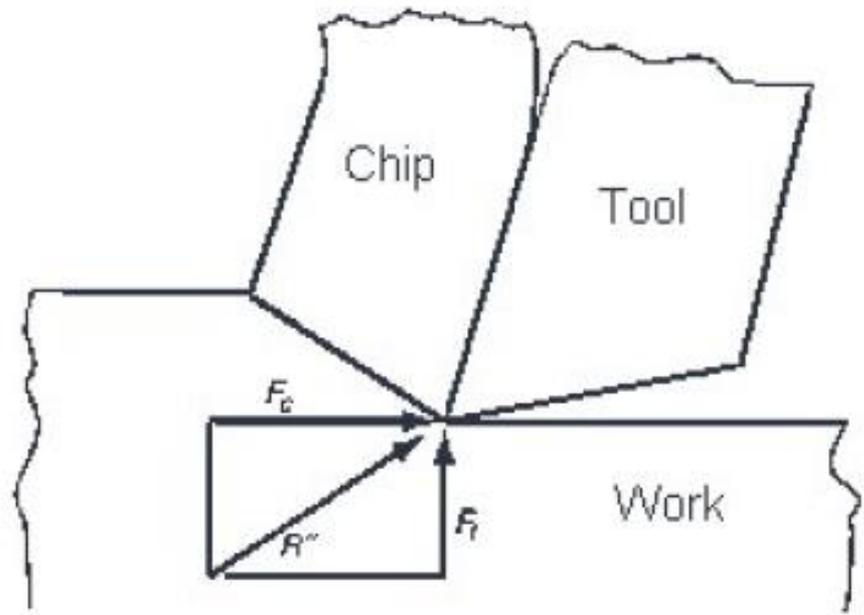
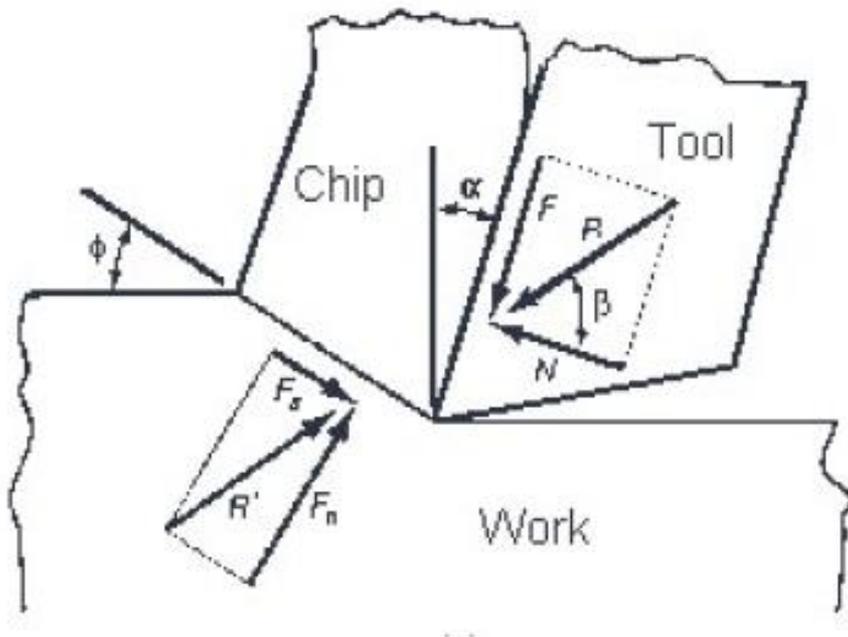
$$v_{cav} = \frac{v_c}{R_c}$$

v_{cav} = Velocidade de saída do cavaco

v_{cs} = Velocidade de cisalhamento

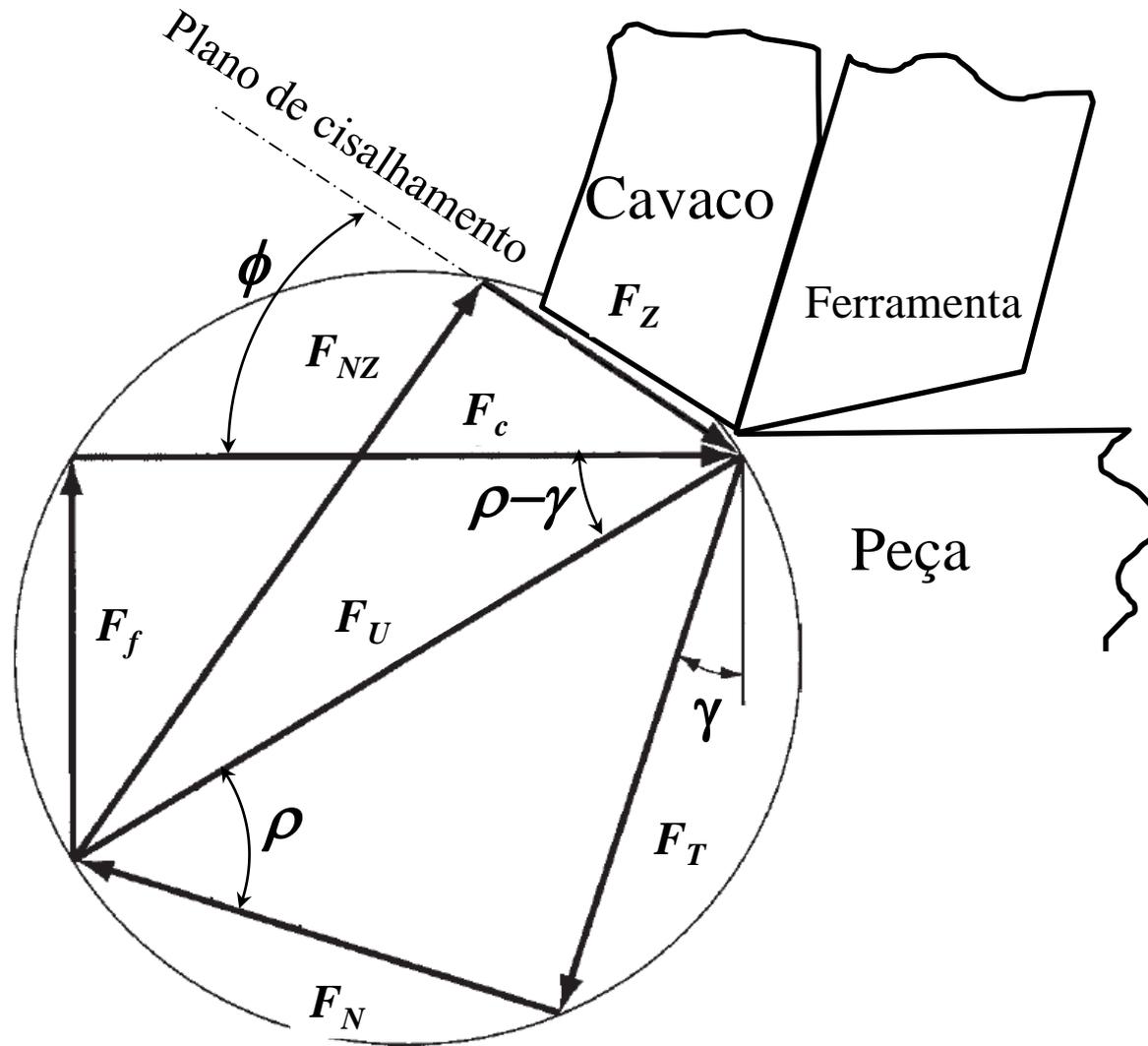
FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Modelo Teórico: Forças



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

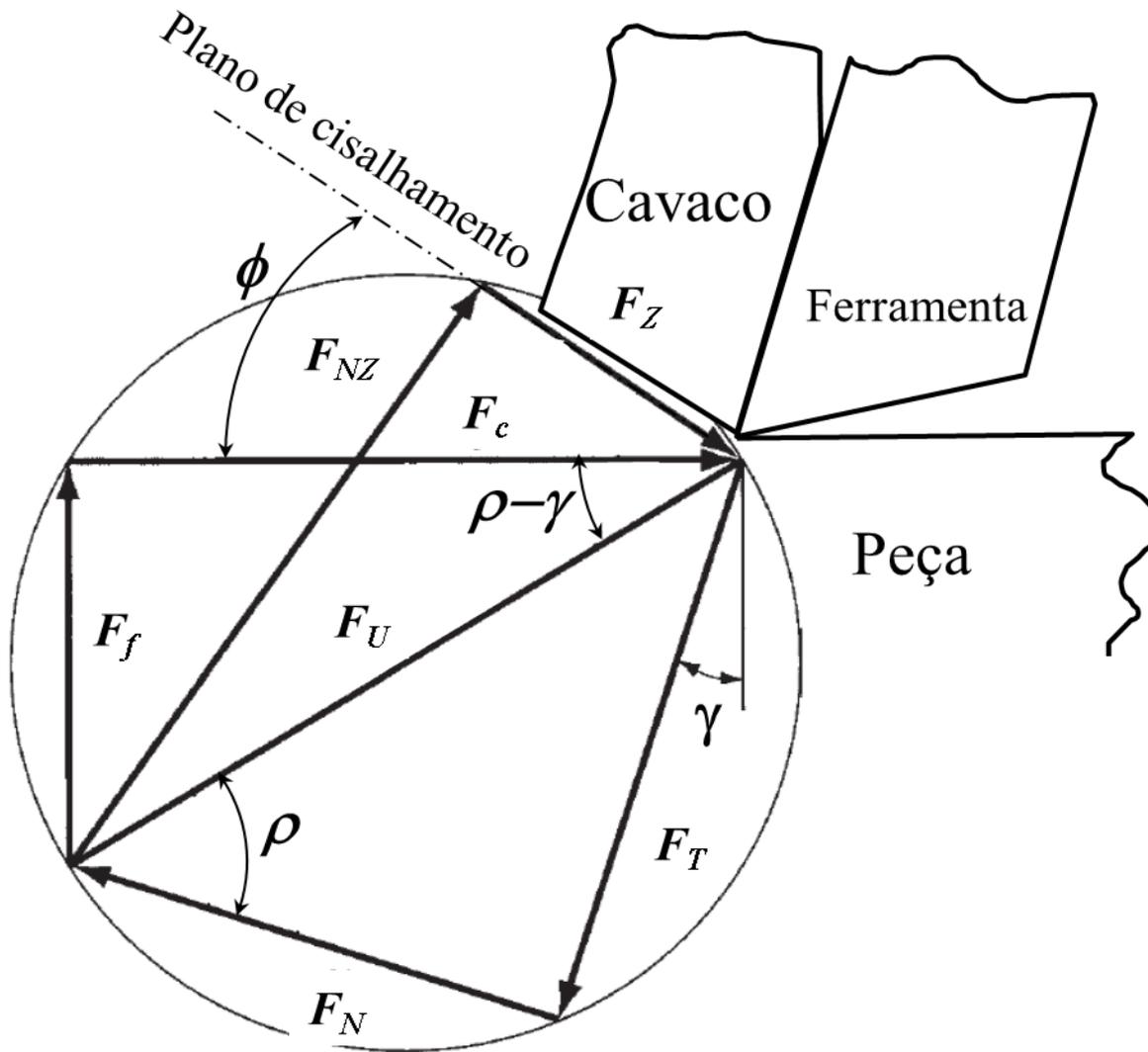
Modelo Teórico: Círculo de Merchant



M. Eugene Merchant

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Modelo Teórico: Círculo de Merchant



$$F_T = F_U \cdot \text{sen} \rho$$

$$F_N = F_U \cdot \text{cos} \rho$$

$$F_C = F_U \cdot \text{cos}(\rho - \gamma)$$

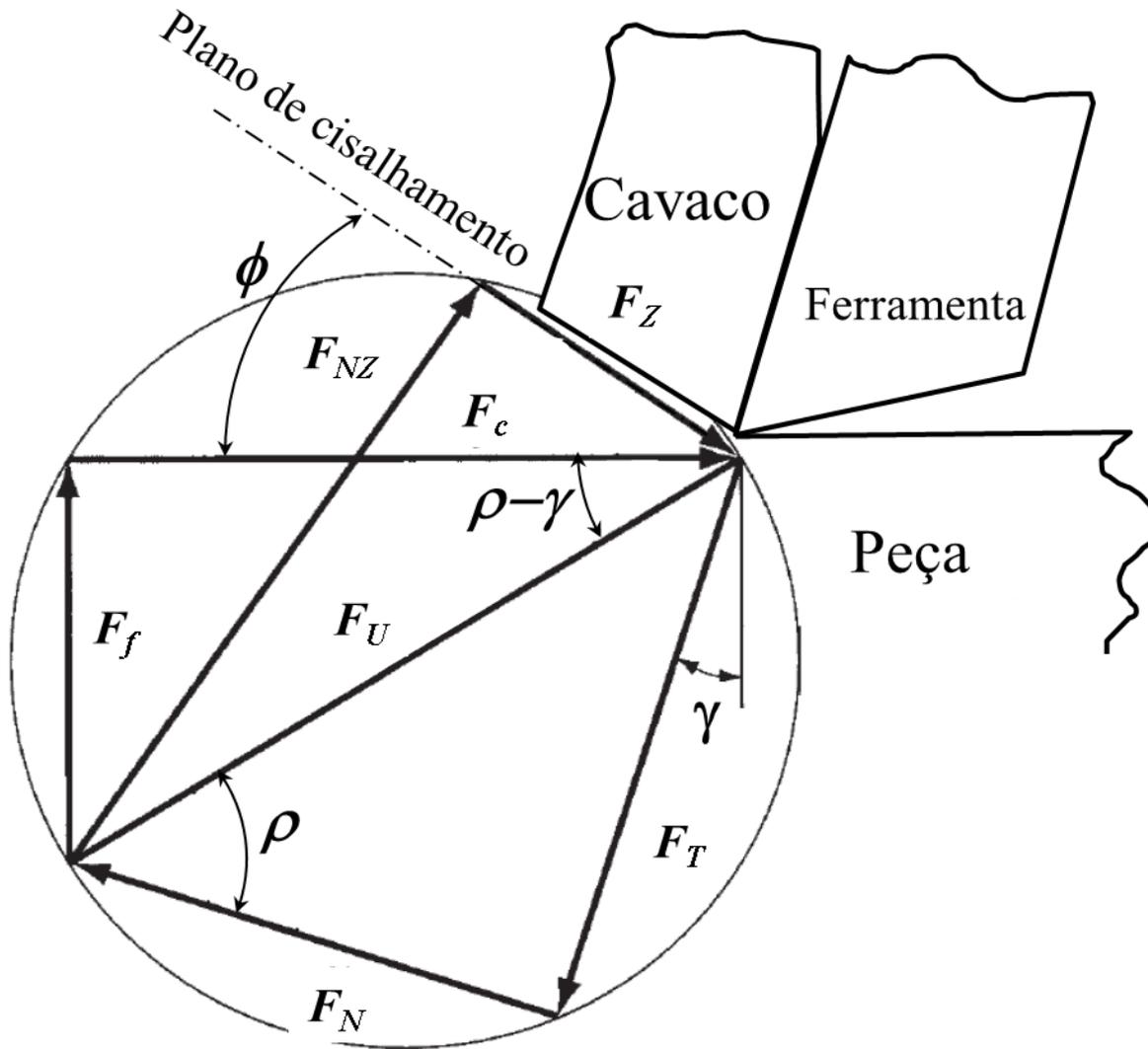
$$F_f = F_U \cdot \text{sen}(\rho - \gamma)$$

$$F_Z = F_U \cdot \text{cos}(\phi + \rho - \gamma)$$

$$F_{NZ} = F_U \cdot \text{sen}(\phi + \rho - \gamma)$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Modelo Teórico: Círculo de Merchant



$$F_T = F_C \cdot \text{sen} \gamma + F_f \cdot \text{cos} \gamma$$

$$F_N = F_C \cdot \text{cos} \gamma - F_f \cdot \text{sen} \gamma$$

$$F_Z = F_C \cdot \text{cos} \phi - F_f \cdot \text{sen} \phi$$

$$F_{NZ} = F_C \cdot \text{sen} \phi + F_f \cdot \text{cos} \phi$$

$$\beta = \frac{F_T}{F_N} = \text{tg} \rho$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Modelo Teórico: Cálculo do ângulo de cisalhamento

Princípio: *A ruptura, por cisalhamento, se dá quando a energia for mínima*

$$u = \frac{\text{Energia}}{\text{Volume}} \quad \text{Energia específica}$$

$$u = \frac{F_c \cdot v_c \cdot \Delta t}{h \cdot b \cdot v_c \cdot \Delta t} = \frac{F_c}{h \cdot b} = \frac{F_c}{A} \quad \text{mas}$$

$$F_c = F_z \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\cos(\phi + \rho - \gamma)}$$

$$\tau_z = \frac{F_z}{A_z} = \frac{F_z}{A} \text{sen}\phi$$

Substituindo:

$$F_c = \tau_z \frac{A \cdot \cos(\rho - \gamma)}{\text{sen}\phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma)}$$