

Aula 09

- Otimização e Formação dos Custos de Usinagem -

Custos de fabricação

- Máquina-ferramenta;
- Ferramentas;
- Mão de obra;



Otimização das condições de corte

- **Definição:** Procedimento cujo objetivo é definir da melhor maneira possível, o valor mais adequado à operação em curso, em função de valores que podem ser pré-determinados ou conhecidos
 - Otimização exige conhecimento de leis de desgaste da ferramenta, de métodos de otimização, de formação de custo e de estatística
 - **Importância:** necessidade de ser competitivo em um mundo globalizado, ou seja, ter elevada produtividade, garantindo qualidade e assegurando baixos custos
-

Evolução das vidas ótimas de ferramentas



- Causada pelo aumento nos custos de investimentos (máquinas-ferramentas mais caras) e pelo aumento dos custos de mão de obra
 - 1940 – $T = 4$ a 8 horas
 - 1960 – $T = 1$ h (aproximadamente)
 - 1990 – $T = 10$ a 20 min

- **Conseqüências de maiores velocidades de corte**
 - Maiores vidas de ferramentas
 - Menos trocas de ferramentas
 - Menor custo de ferramentas
 - Maior custo de salários
 - Maior custo de máquinas-ferramentas
 - Maior tempo de usinagem
-

- **Conseqüências dos custos de salário / máquinas**
 - Atualmente o custo de salário e máquinas é maior que o custo com ferramentas e trocas de ferramentas
 - A tendência de menores custos ocorre para maiores velocidades de corte e menores vidas das ferramentas
-

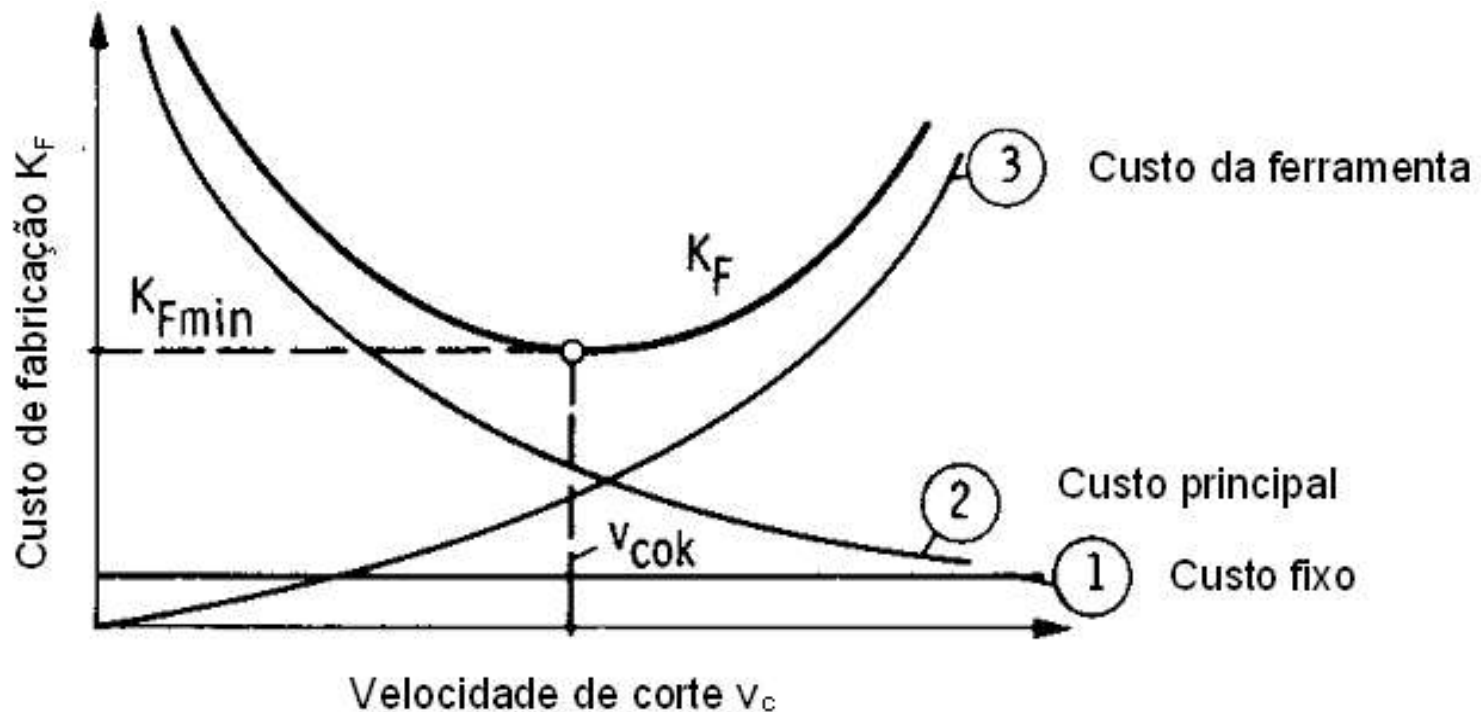
- **Generalidades**

- Otimização da usinagem é feita conforme processo de fabricação, e pode ser realizada com relação a custo, tempos, lucro, qualidade,...

- Desbaste 
 - Mínimo custo / Máximo lucro
 - Mínimo tempo de fabricação
 - Outros
- Acabamento 
 - Custos maiores => mínimo custo
 - Mínimo tempo de fabricação
 - Outros

Custos de Fabricação

- **Custos de fabricação por peça (K_F) - [\$/peça]**
 - 1 - Custos de preparação e secundários (custo fixo);
 - 2 - Custos de máquina e operador (principal);
 - 3 - Custos de ferramenta



Otimização – Custos da Fabricação

$$K_F = \underbrace{K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right)}_1 + \underbrace{K_{ML} \cdot t_h}_2 + \underbrace{\frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})}_3$$

- **1** - Custos secundários (custos fixos);
- **2** - Custos de máquina e operador (principal);
- **3** - Custos de ferramenta

- ✓ K_F - custo de fabricação por peça [\$/peça]
- ✓ K_{ML} - custo de máquina e operador por hora [\$/min]
- ✓ K_{WT} - custo de ferramenta por vida [\$/peça]
- ✓ t_r - tempo de preparação [min]
- ✓ m - tamanho do lote
- ✓ t_n - tempos secundários [min]
- ✓ t_h - tempo principal [min]
- ✓ t_w - tempo de troca da ferramenta [min]
- ✓ T - vida da ferramenta [min]

Otimização – Tempo de Fabricação por Peça

$$t_e = \underbrace{\frac{t_r}{m} + t_n}_{1} + \underbrace{t_h}_{2} + \underbrace{\frac{t_h}{T} \cdot t_w}_{3} \quad [\text{min/peça}]$$

1 - tempo de preparação e secundário

2 - tempo principal

3 - tempo de troca de ferramenta

✓ t_r - tempo de preparação [min]

✓ m - tamanho do lote

✓ t_n - tempos secundários [min]

✓ t_h - tempo principal [min]

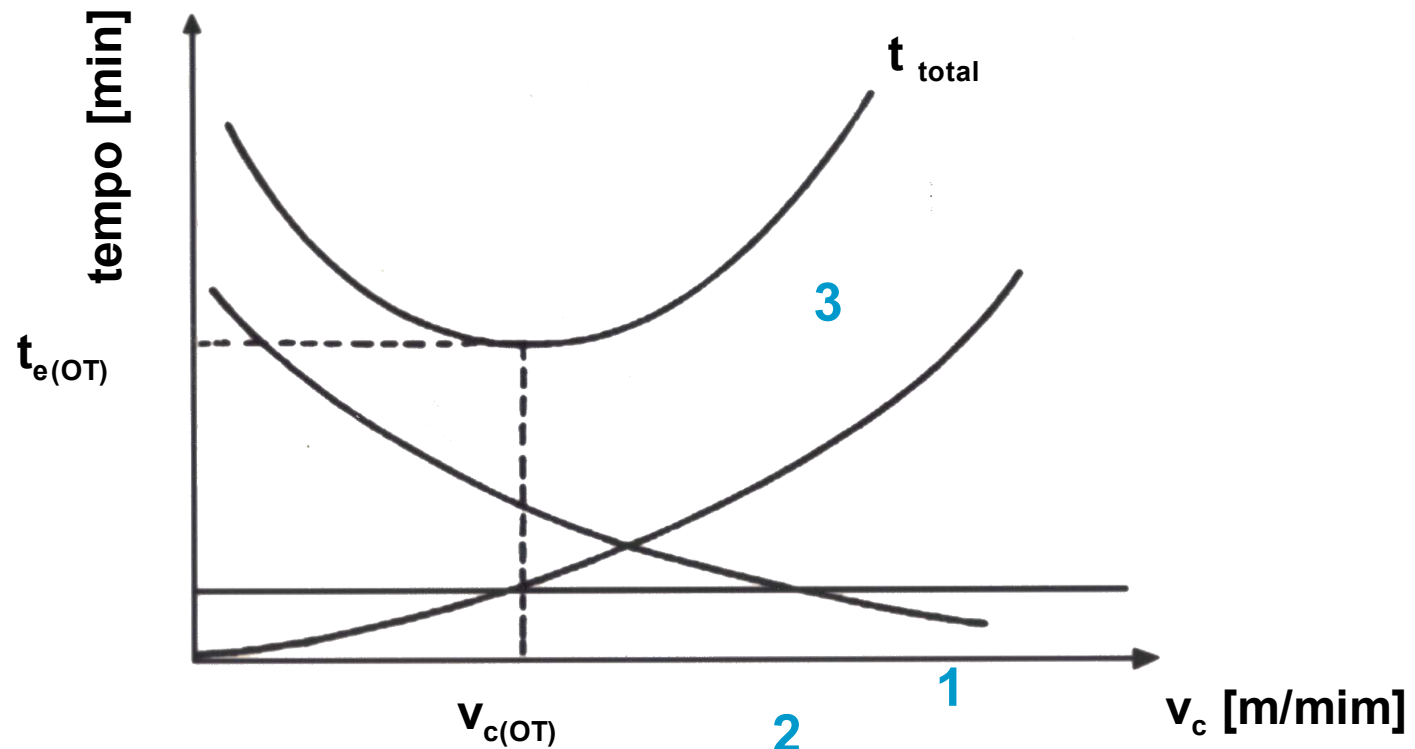
✓ t_w - tempo de troca da ferramenta [min]

✓ T - vida da ferramenta [min]

O tempo de fabricação tem um comportamento análogo aos dos custos de fabricação por peça, apresentando um valor ótimo (mínimo) para uma determinada condição de trabalho

Otimização - Tempo de fabricação

- Tempo de fabricação por peça (t_e) - [min/peça]
 - 1 - tempo de preparação e secundário
 - 2 - tempo principal
 - 3 - tempo de troca de ferramenta



Otimização – Custo de Fabricação por Peça

$$K_F = K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right) + K_{ML} \cdot t_h + \frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

$$t_h = \frac{d \cdot \pi \cdot l_f}{f \cdot v_c} \quad [\text{min}] \qquad t_h = \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} \quad [\text{min}]$$

V_z = volume usado por peça

➤ Equação do Custo de Fabricação por Peça:

$$K_F = K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right) + \frac{K_{ML} \cdot V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot C_V \cdot v_c^{k+1}} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

➤ Equação do Tempo de Fabricação por Peça:

$$t_e = \frac{t_r}{m} + t_n + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot C_V \cdot v_c^{k+1}} \cdot t_w$$

Otimização – Custo de Fabricação por Peça

- Para determinar a velocidade de corte de mínimo custo:

$$\frac{dK_F}{dv_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad v_{cok} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{\left(t_w + \frac{K_{WT}}{K_{ML}}\right)}{C_V}}$$

- Para determinar a velocidade de corte de mínimo tempo:

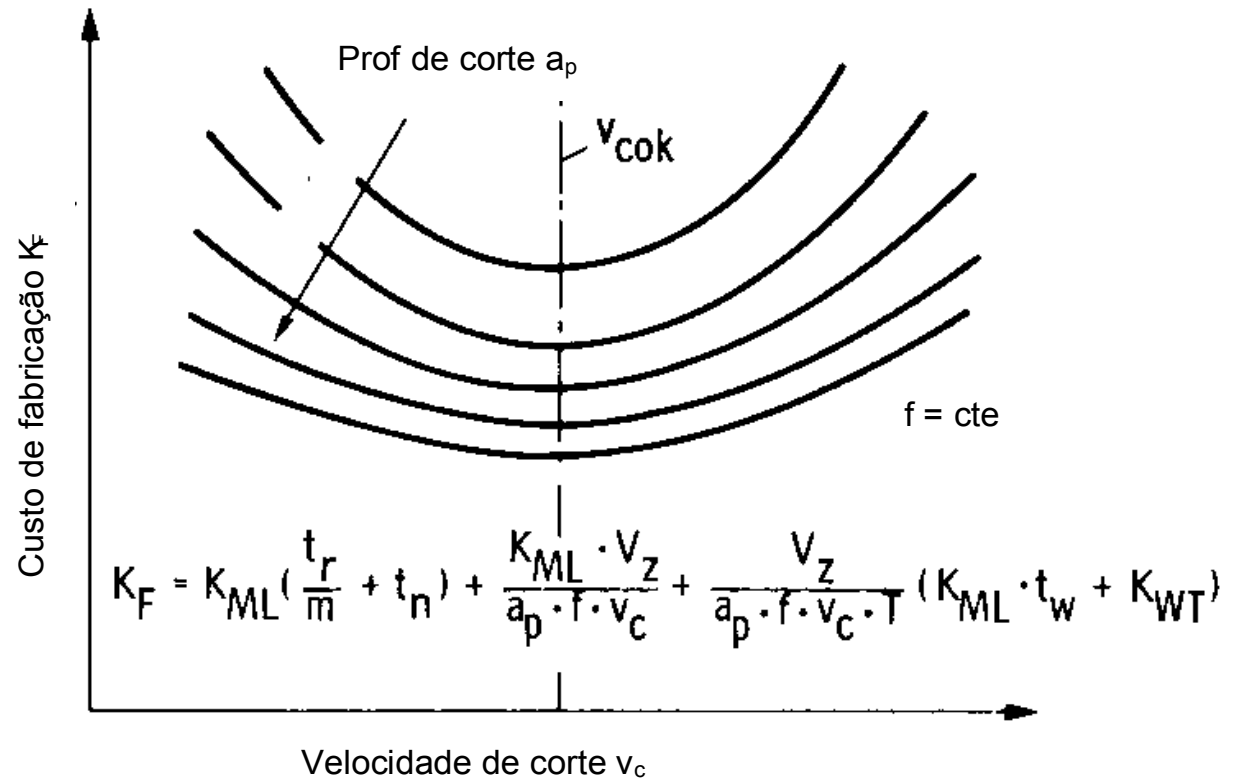
$$\frac{dt_e}{dv_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad v_{coz} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{t_w}{C_V}}$$

OBS: O equacionamento da vida para ótimo custo e para ótimo tempo são idênticos

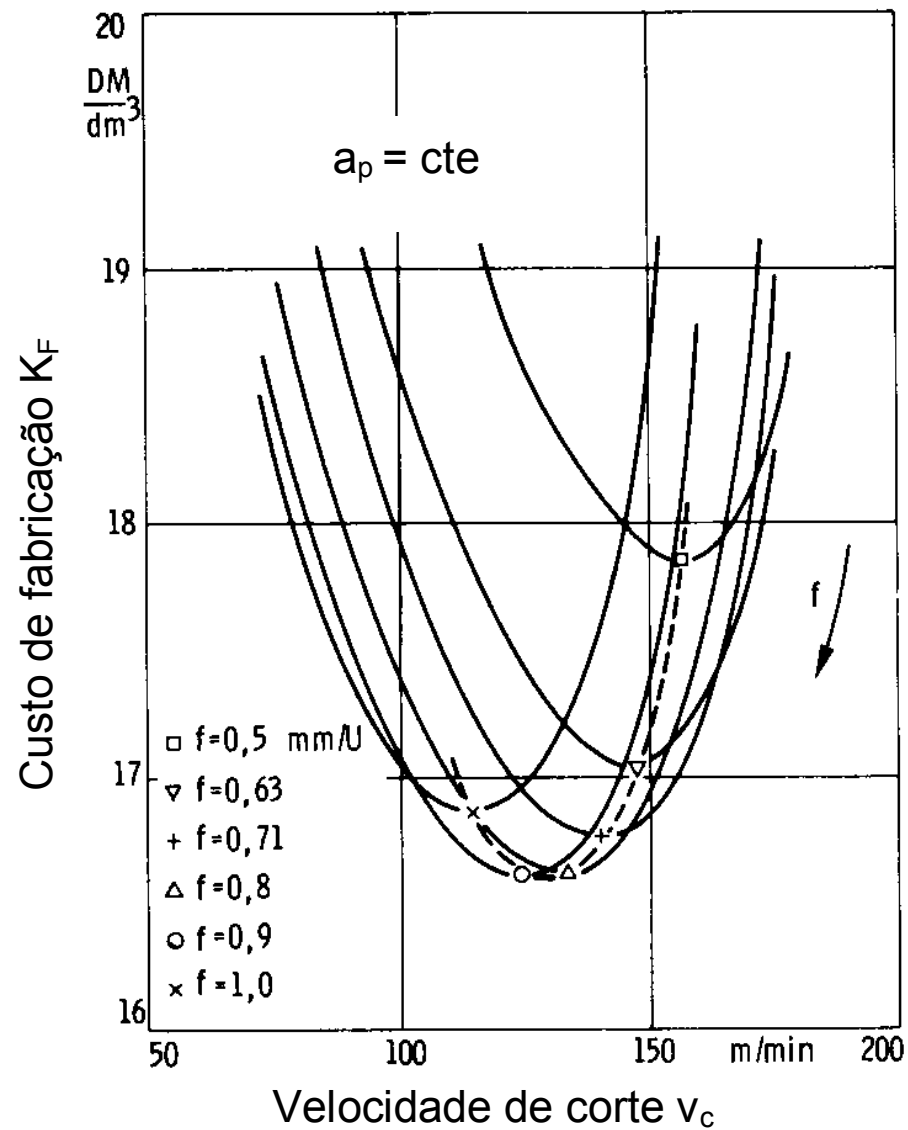
Otimização - Maximização da profundidade de corte

- **Otimização dos dados de entrada de usinagem;**
 - Otimização da profundidade de corte (a_p);
 - Otimização do avanço (f);
 - Otimização da velocidade de corte (v_c)

Maximização
da profundidade
de corte



Otimização - Maximização do avanço

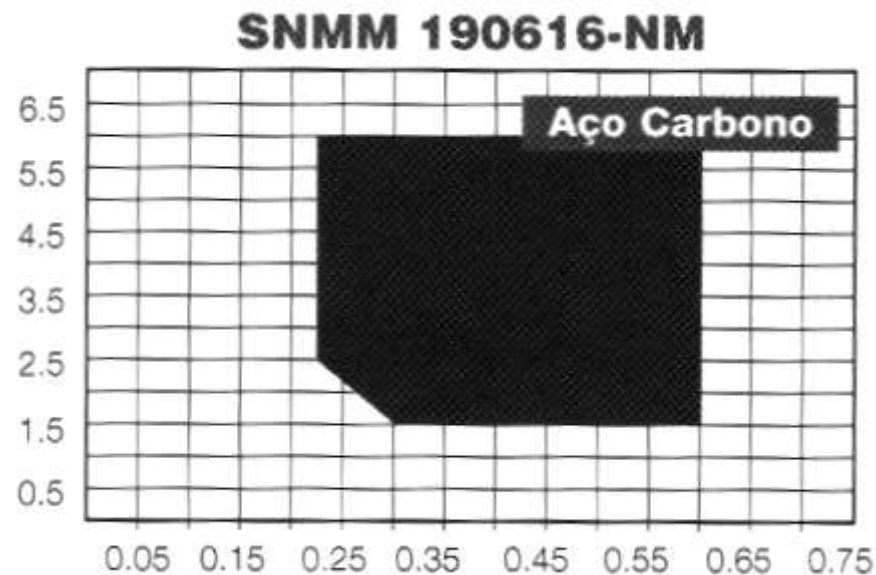


Maximização
do avanço

Otimização – Escolha dos parâmetros de usinagem

➤ Na escolha dos parâmetros é indispensável observar:

- Limites ferramenta-peça-máquina;
 - Potência da máquina-ferramenta;
 - Tamanho do inserto (largura máxima de usinagem);
 - Forças de corte;



Forma do inserto	Compr. do gume (mm)	Carga Adm. (N)
TP 	11	4000
	16	9000
	22	17000
	27	24000
TN 	11	4500
	16	10000
	22	19000
	27	27000
SP 	9	6000
	12	10000
	15	20000
	19	26000
	25	49000
SN 	9	6500
	12	12000
	15	22000
	19	28000
	25	55000

Exercício

- 1) Na furação de furos cegos em carcaças de embreagem, as ferramentas convencionais de aço-rápido foram substituídas por ferramentas de aço-rápido revestido com nitreto de titânio. Experimentalmente foram determinadas as condições de desgaste destas ferramentas para um avanço de 0,1 mm/rot, e para estas condições foram obtidos os seguintes dados: $v_{c1} = 25$ m/min; $T_1 = 100$ min e $v_{c2} = 55$ m/min; $T_2 = 6,8$ min.
- a) Determine as constantes da equação de Taylor.
- b) Na reafiação destas brocas revestidas o revestimento do flanco foi removido. Admite-se que a ferramenta reafiada tenha uma vida apenas 80% da vida original, e quer-se saber as modificações na equação de Taylor para as brocas reafiadas.
- c) Para o comportamento de desgaste determinado no item a), verifique a velocidade de corte para o mínimo tempo de fabricação (v_{coz}), bem como a vida da ferramenta para o mínimo tempo de fabricação (T_{oz}) e o tempo de fabricação da peça (t_e).
- d) Sendo os custos de uma broca de R\$ 2,50, quais os custos de furação por peça na produção em série caso seja utilizada a velocidade de corte do item c) e KML = R\$ 30,00/h? Este custo determinado é o mínimo custo de produção? Calcule o tempo de fabricação da peça (t_e) para o mínimo custo de fabricação.
- DADOS ADICIONAIS: $t_r/m + t_n = 0,5$ min; $t_w = 1$ min; $\phi_{broca} = 8$ mm; Prof. total de furação (l) = 500mm.

Fórmulas para resolução do exercício

$$K_F = K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right) + K_{ML} \cdot t_h + \frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

$$t_h = \frac{l}{f \cdot n}$$

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

$$t_e = \frac{t_r}{m} + t_n + t_h + \frac{t_h}{T} \cdot t_w$$

$$\frac{dK_F}{dv_c} = 0$$

\Rightarrow

$$v_{cok} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{\left(t_w + \frac{K_{WT}}{K_{ML}} \right)}{C_V}}$$

$$T = v_c^k \cdot C_v$$

$$\frac{dt_e}{dv_c} = 0$$

\Rightarrow

$$v_{coz} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{t_w}{C_V}}$$

