

**VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE**

---

**SEP0272 – USINAGEM DOS  
METAIS**

**AULA-11: Velocidade econômica de corte**

**Reginaldo T. Coelho**  
**rtcoelho@sc.usp.br**

# VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

**Velocidade de máxima produção** acelera o processo até seu ponto máximo, mas não leva em conta os custos

- Usando-se velocidade de corte **baixas**, diminui-se o **desgaste**;
- No entanto, aumenta-se o custo dos insumos (energia, mão-de-obra, máquinas, etc.).
- Usando-se velocidade de corte **altas**, aumenta-se o **desgaste**;
- No entanto, diminui-se o custo dos insumos (energia, mão-de-obra, máquinas, etc.)
- Portanto, deve existir um valor ótimo de **velocidade de corte que minimize o custo** =  $v_o$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

- Para os cálculos da velocidade econômica de corte  $v_0$ , necessita-se determinar primeiramente o custo da operação de usinagem.

$C_p$  = Custo de usinagem de uma peça de um lote de  $Z$  peças;

$C_m$  = Custo de matéria-prima para uma peça (ou da peça antes da operação);

$C_c$  = Custo do corte em usinagem;

$C_{mq}$  = Custo de operação da máquina (Juros, depreciação, manutenção, espaço ocupado, energia consumida, etc.);

$C_f$  = Custo da ferramenta de corte;

$C_{tf}$  = Custo de uma troca de ferramenta;

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

O Custo de uma operação será:

$$C_p = C_m + C_c + C_{mq} + C_f \quad (10.20)$$

$C_m$  é constante em relação às condições de usinagem.

A parcela  $C_c$  pode ser calculada como:

$$C_c = \frac{t_t S_h}{60} \quad (10.21)$$

onde  $S_h$  é o custo do operador da máquina, incluindo-se todos os encargos em R\$ por hora.

A parcela  $C_{mq}$  pode ser calculada como:

$$C_{mq} = \frac{t_t S_{mq}}{60} \quad (10.22)$$

onde  $S_{mq}$  é o custo de operação da máquina em R\$ por hora

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

A parcela de custo da ferramenta,  $C_f$ , envolve o custo da aresta de corte, do porta-ferramentas e também do tempo de troca de aresta

O custo de uma troca de ferramenta pode ser expresso da seguinte forma:

$$C_{tf} = \frac{C_{pf}}{n_{pf}} + \frac{C_{is}}{n_a} \quad (10.23)$$

onde:

$C_{pf}$  = Custo do porta-ferramentas (R\$);

$n_{pf}$  = Número máximo de vezes que o porta-ferramentas suporta a troca de aresta;

$C_{is}$  = Custo do inserto (R\$);

$n_a$  = Número de arestas úteis no inserto;

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

Substituindo-se as Equações (10.21), (10.22) e (10.23) em (10.20), obtém-se:

$$C_p = C_m + \frac{t_t S_h}{60} + \frac{t_t S_{mq}}{60} + \frac{C_{tf}}{Z_T}$$

O Custo de uma troca de ferramenta envolve o tempo de corte e o tempo de vida de uma aresta (T da Equação de Taylor) . Substituindo-se:

$$C_p = C_m + \frac{t_t S_h}{60} + \frac{t_t S_{mq}}{60} + \frac{t_c}{T} C_{tf}$$

O tempo total de usinagem de uma peça em um lote de Z peças:

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + t_c + \left( \frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) t_{tf}$$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

O tempo total  $t_t$  pode ser dividido em 3 parcelas:

$$t_t = t_f + t_c + \left( \frac{t_c}{T} + \frac{1}{Z} \right) t_{tf}$$

onde

$$t_f = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a \quad \text{Não depende dos parâmetros de usinagem}$$

Substituindo-se:

$$C_p = C_m + \frac{t_c}{60} (S_h + S_{mq}) + \frac{t_c}{T} \left[ C_{tf} + \frac{t_{tf}}{60} (S_h + S_m) \right]$$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

Para simplificar ainda criam-se mais três constantes  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  como sendo:

$$C_p = C_m + \frac{t_c}{60}(S_h + S_{mq}) + \frac{t_c}{T} \left[ C_{tf} + \frac{t_{tf}}{60}(S_h + S_m) \right]$$

$$C_1 = C_m$$

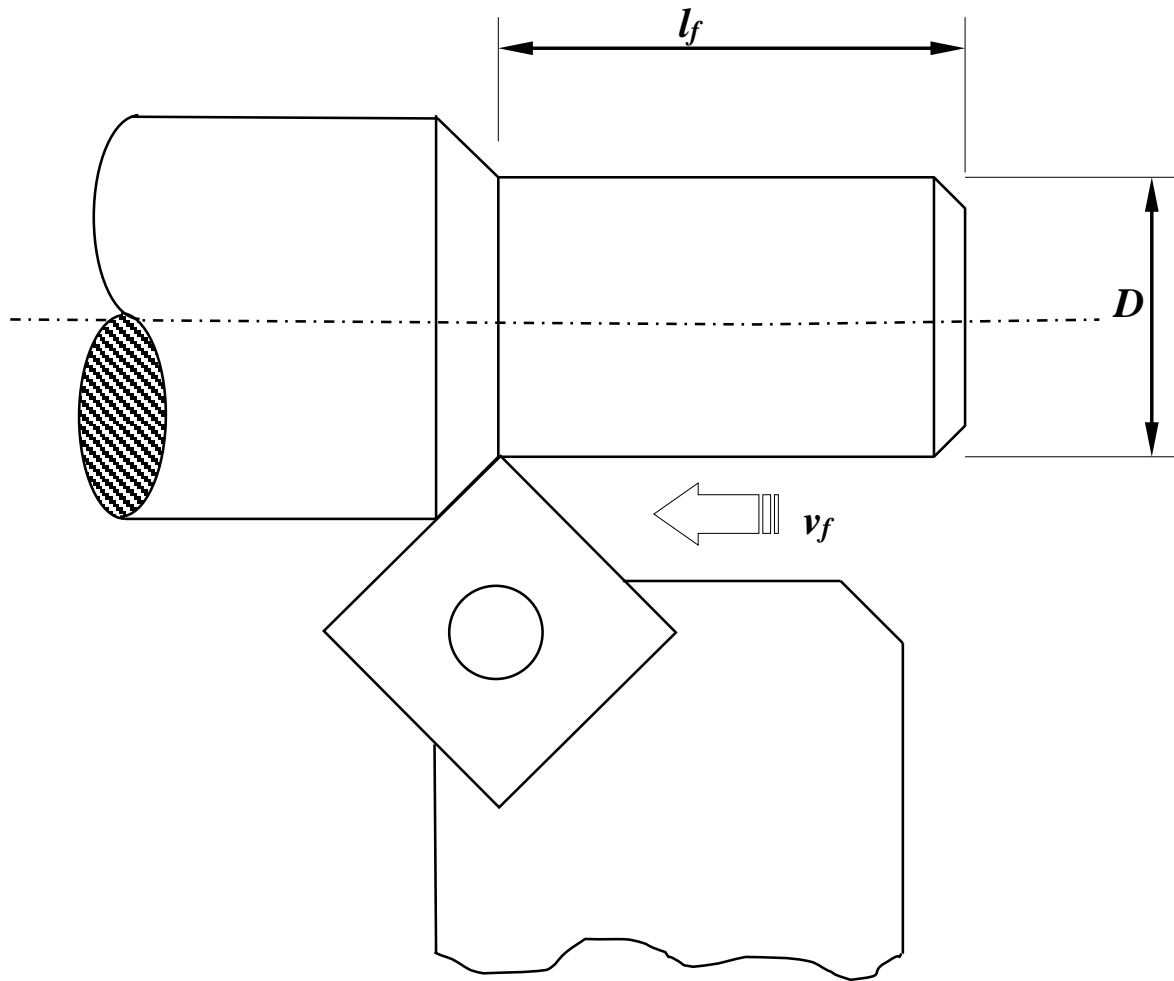
$$C_2 = (S_h + S_{mq})$$

$$C_3 = \left[ C_{tf} + \frac{t_{tf}}{60}(S_h + S_{mq}) \right]$$

$$C_p = C_1 + \frac{t_c}{60} C_2 + \frac{t_c}{T} C_3$$



# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE



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

$$v_f = f \cdot n$$

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

$$t_c = \frac{l_f \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot v}$$

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + \frac{l_f \pi D}{1000 f v} + \frac{t_{tf}}{T} \frac{l_f \pi D}{1000 f v} - \frac{t_{tf}}{Z}$$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

Substituindo-se:

$$C_p = C_1 + C_2 \frac{\pi D l_f}{60 \cdot 1000 f} v^{-1} + C_3 \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot f \cdot T} v^{-1}$$

Usando novamente a equação de Taylor  $Tv^x = K$

$$C_p = C_1 + C_2 \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-1} + C_3 \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-1}$$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

---

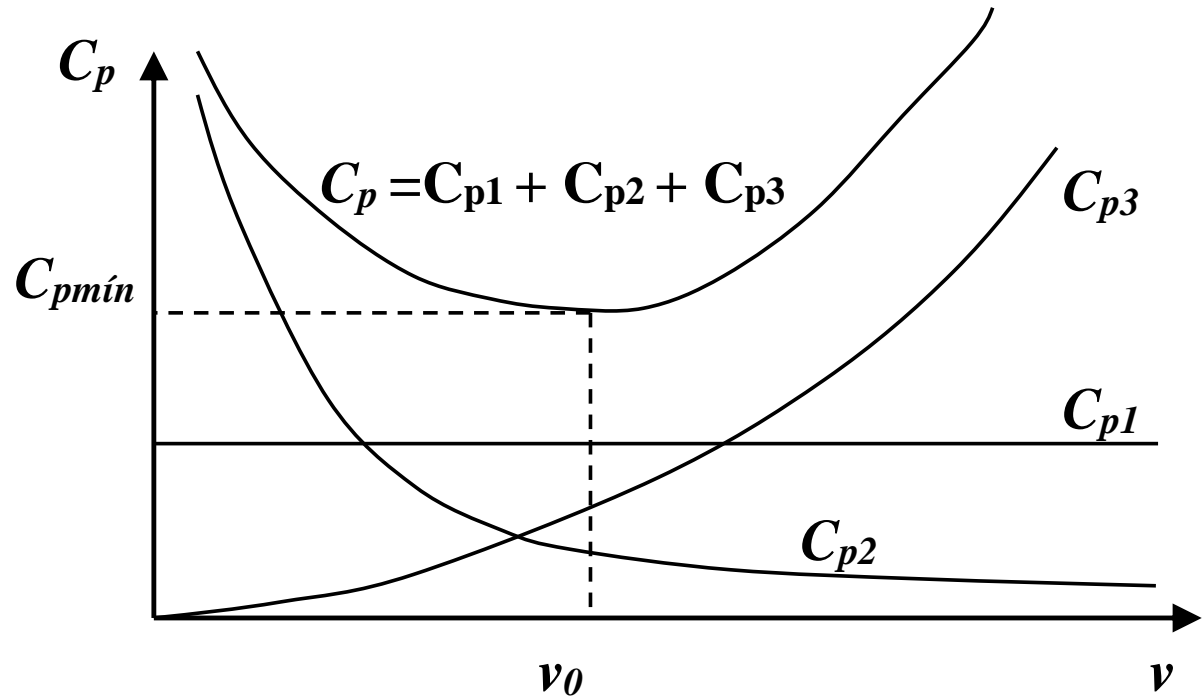
Divide-se a Equação de Custo em três parcelas distintas:

$$C_{p1} = C_1 \quad \text{Parcela que não depende dos parâmetros de usinagem:}$$

$$C_{p2} = \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-1}$$

$$C_{p3} = \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-1}$$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

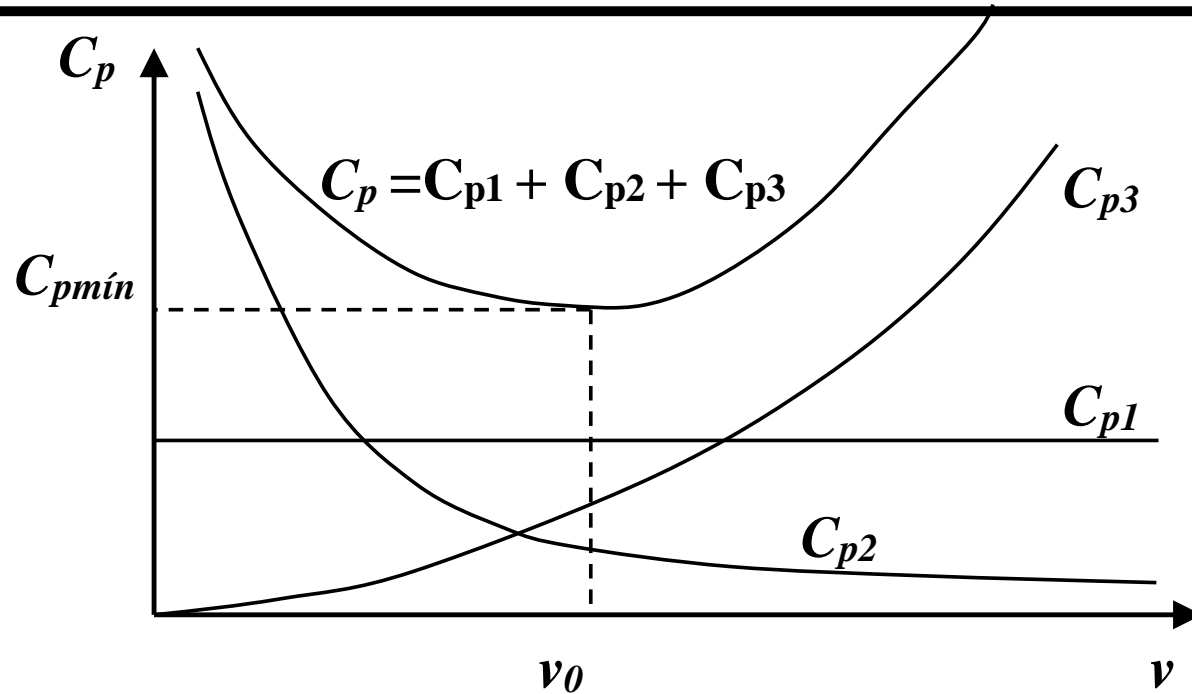


$$C_{p1} = C_1$$

$$C_{p2} = \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-1}$$

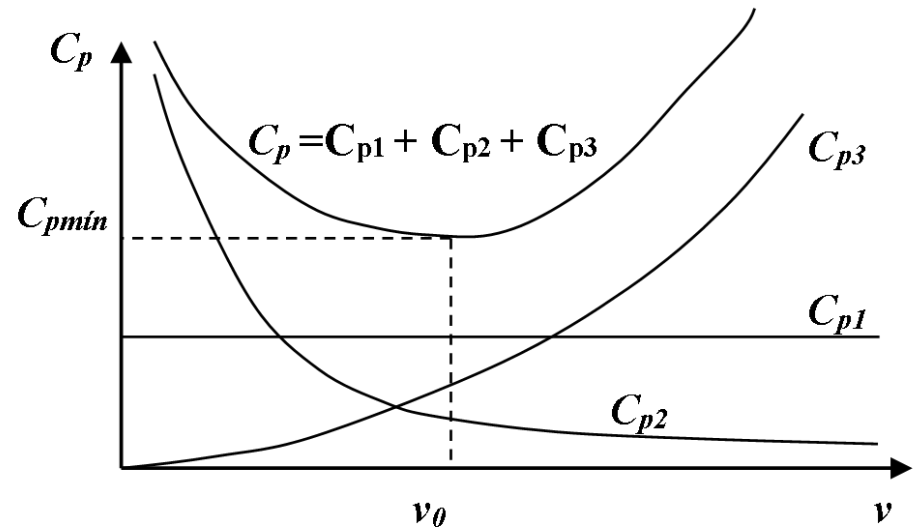
$$C_{p3} = \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-1}$$

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE



- A parcela  $C_{p1}$  não depende dos parâmetros de usinagem.
- $C_{p2}$ , por sua vez, tem um comportamento inverso com relação à velocidade de corte
- $C_{p3}$ , aumenta exponencialmente com a velocidade de corte
- A soma dessas três parcelas conterà um ponto de mínimo à medida que se aumenta a velocidade de corte, como já era de se esperar

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE



Buscando-se o mínimo custo, tem-se:

$$\frac{dC_p}{dv} = -C_2 \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-2} + (x-1) C_3 \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-2} = 0 \quad (10.37)$$

Resolvendo-se:

$$v_0 = \sqrt[x]{\frac{C_2 K}{60(x-1)C_3}} \quad (10.38)$$

onde  $v_0$  é a velocidade de mínimo custo.

# Aula 12 – VELOCIDADE ECONÔMICA DE CORTE

