



Complementos de Fabricação Mecânica

PMR 3301

Profa. Izabel Machado

machadoi@usp.br



Usinagem

Processos de usinagem

Usinagem - operação que confere à peça forma, dimensões ou acabamento, ou ainda uma combinação qualquer desses três, onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco.

Cavaco - porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular.



Revisão dos fundamentos da usinagem

Princípio – com exceção dos processos não convencionais de usinagem, a remoção de material ocorre através da interferência entre ferramenta e peça. A ferramenta é constituída de um material de dureza e resistência muito superior ao material da peça.

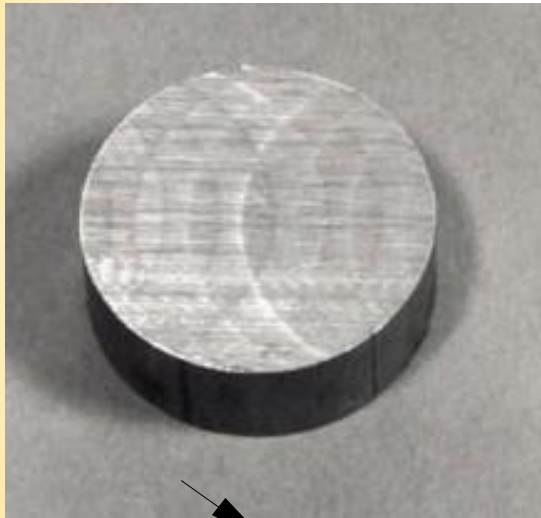
O estudo da usinagem é baseado na propriedade mecânicas e no contato (deformação, atrito) e em aspectos termodinâmicas e cinéticos ligados à transferência de calor e transformações de fase.



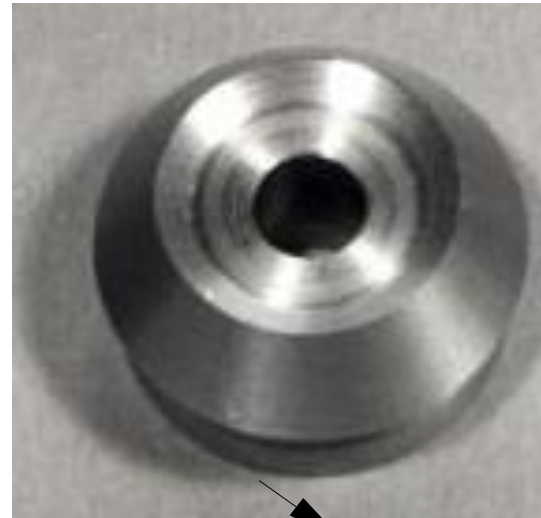
Material Bruto

Seqüência de Usinagem

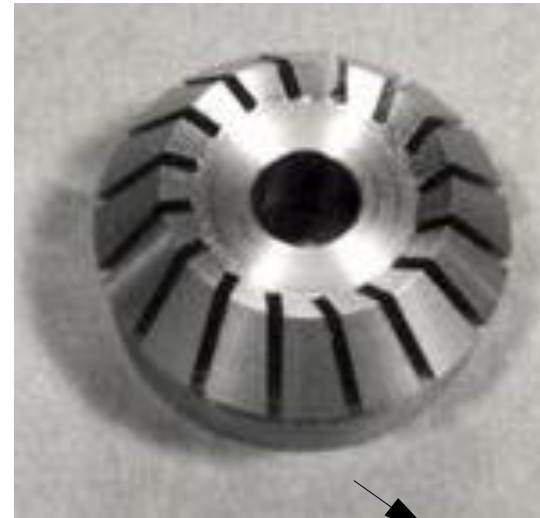
Produto Final



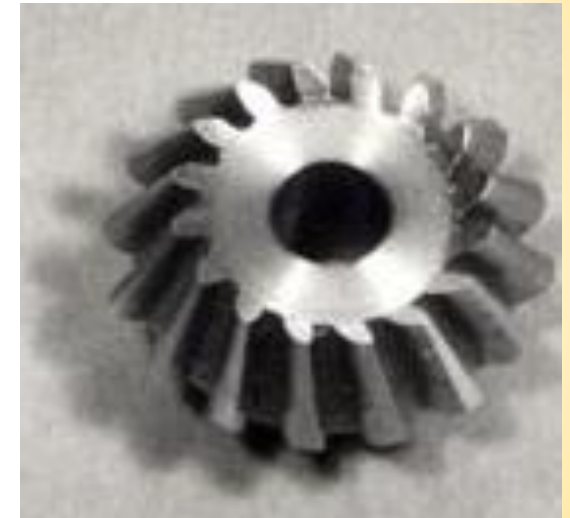
Remoção de cavaco



Remoção de cavaco

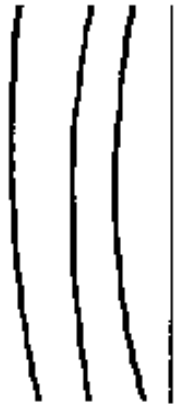








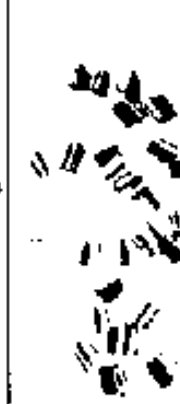


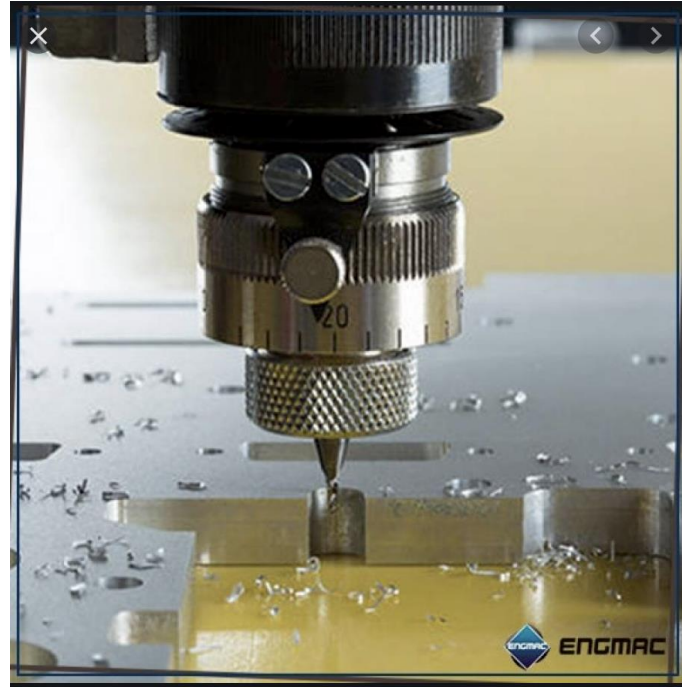
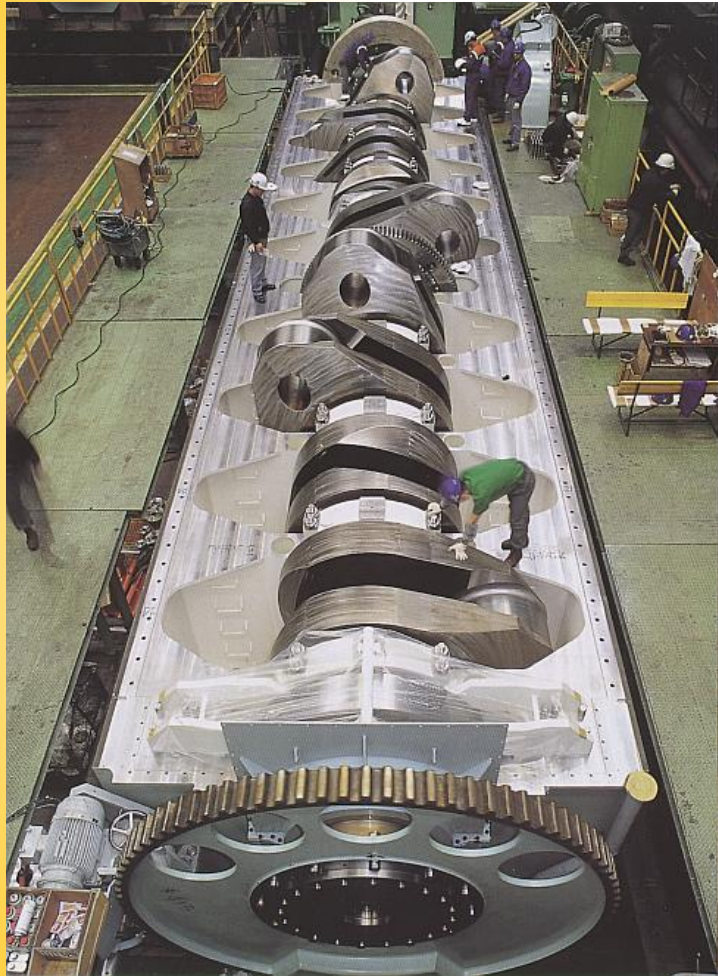
Remoção de cavaco





Classificação dos cavacos

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|
| FITA | | HÉLICE | | | | | OUTROS | | |
| FITA | EMARA- NHADO | HÉLICE PLANA | HÉLICE OBLÍQUA | HÉLICE LONGA | HÉLICE CURTA | HÉLICE ESPIRAL | ESPIRAL | VÍRGULA | ARRANCA DOS |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| desfavorável | | | médio | | favorável | | | médio | |



- 80% dos furos são realizados por usinagem
- 100% dos processos de melhoria da qualidade superficial são feitos por usinagem
- o comércio de máquinas-ferramentas representa uma das grandes fatias da riqueza mundial
- 70% das engrenagem para transmissão de potência
- 90% dos componentes da indústria aeroespacial
- 100% dos pinos médico-odontológicos

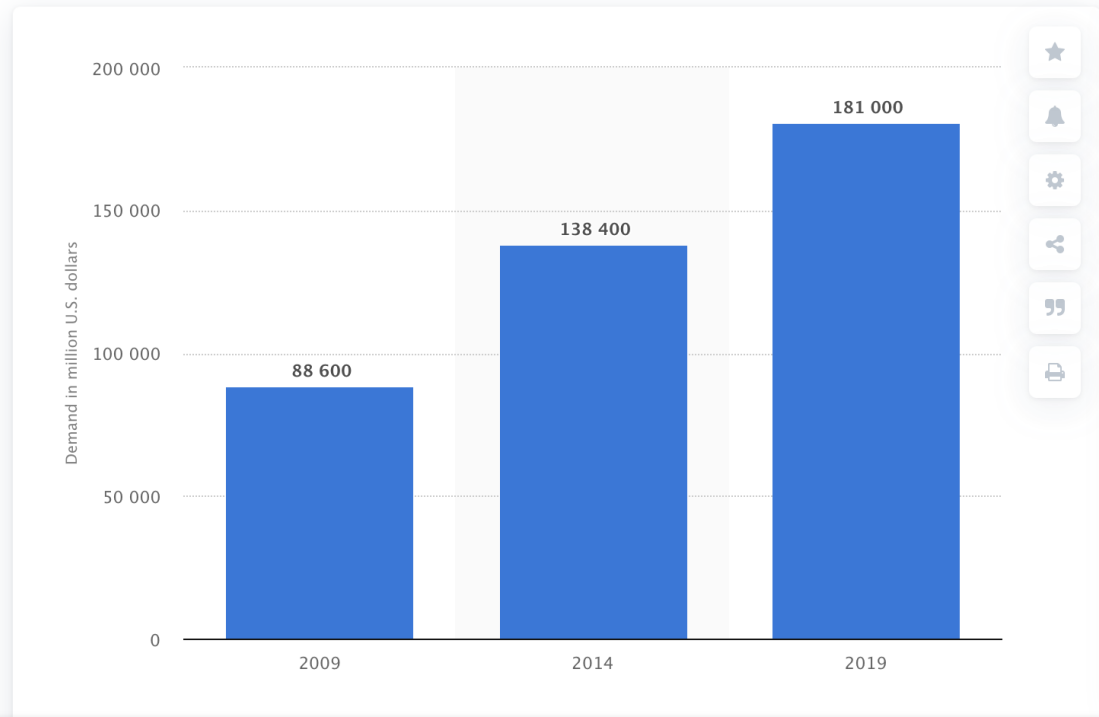
<https://www.centraldeusinagem.com.br/servicos-de-usinagem/servico-de-usinagem-de-pecas/servicos-de-micro-usinagem-abc-paulista>



Metals & Electronics > Engineering

World machine tool demand from 2009 to 2019

(in million U.S. dollars)



<https://www.statista.com/statistics/726639/worldwide-machine-tool-demand/>

German Machine Tool Industry - Key Figures 1st Quarter 2020

| | Mill. EUR | | | | 1Q | | %Change | | |
|--|-----------|--------|--------|--------|--------|---------------|-----------------------|------|--------------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 1Q 2020 |
| Production total | 15.007 | 16.006 | 17.125 | 17.037 | 4.003 | 3.180 | +7 | -1 | -21 |
| Metal working machines | 11.112 | 11.810 | 12.587 | 12.638 | 2.896 | 2.265 | +7 | +0 | -22 |
| Metal cutting and eroding* | 8.169 | 8.806 | 9.347 | 9.596 | 2.309 | 1.770 | +6 | +3 | -23 |
| Metal forming | 2.943 | 3.004 | 3.239 | 3.042 | 587 | 495 | +8 | -6 | -16 |
| Parts, accessories | 2.540 | 2.753 | 3.032 | 2.881 | 737 | 590 | +10 | -5 | -20 |
| Installation, repair, maintenance | 1.355 | 1.442 | 1.506 | 1.518 | 370 | 325 | +4 | +1 | -12 |
| Order Intake** | 15.950 | 17.220 | 17.460 | 13.660 | 4.085 | 3.057 | +1 | -22 | -25 |
| Domestic | 4.850 | 5.340 | 5.600 | 4.430 | 1.500 | 1.170 | +5 | -21 | -22 |
| Foreign | 11.100 | 11.880 | 11.860 | 9.230 | 2.585 | 1.887 | -0 | -22 | -27 |
| (excluding installation, repair, maint.)*** | | | | | | | | | |
| Production | 13.652 | 14.563 | 15.619 | 15.520 | 3.633 | 2.855 | +7 | -1 | -21 |
| - Exports | 9.374 | 10.292 | 10.757 | 9.959 | 2.405 | 1.760 | +5 | -7 | -27 |
| = Domestic sales | 4.278 | 4.271 | 4.862 | 5.561 | 1.228 | 1.095 | +14 | +14 | -11 |
| + Imports | 3.420 | 3.593 | 4.080 | 3.726 | 969 | 623 | +14 | -9 | -36 |
| = Domestic consumption | 7.697 | 7.864 | 8.942 | 9.287 | 2.197 | 1.718 | +14 | +4 | -22 |
| Export quota (%) | 68,7 | 70,7 | 68,9 | 64,2 | 66,2 | 61,6 | | | |
| Import quota (%) | 44,4 | 45,7 | 45,6 | 40,1 | 44,1 | 36,3 | | | |
| Employment**** | | | | | | | | | |
| Average of the year | 68.985 | 70.937 | 73.474 | 73.353 | 73.387 | 71.643 | +3,6 | -0,2 | -2,4 |
| March | | | | | 73.367 | 71.563 | | | -2,5 |
| Capacity utilization (%) | | | | | | | %-points y-o-y | | |
| Average of the year | 88,0 | 91,6 | 93,9 | 88,4 | 89,4 | 72,7 | +2,3 | -5,5 | -16,7 |
| April | | | | | 86,5 | 63,5 | | | -23,0 |

Note: production 1st quarter 2020 is estimated, production, trade and employment 2019 are revised

- * incl. EDM (electrical discharge machines) and Laser machines, since 2019 incl. 3D-printing machines for additive manufacturing of metal products
- ** Projection based on associations' statistics
- *** For better comparability of production and trade figures
- **** Employment: companies with >=50 employees

Sources: Federal Statistical Office, Ifo-Institute, VDMA, VDW
VDW, German Machine Tool Builders' Association, 03.06.2020
Bernhard Geis, Tel. 069 756081-42, b.geis@vdw.de

https://vdw.de/wp-content/uploads/2020/06/stat_wizang_lang_englisch_2020-Q1_2020-06-03.pdf



Divisão dos processos de fabricação

Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida



Tornear



Fresar

Furar



Rosquear



Alargar

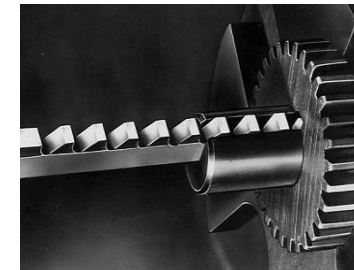
Brochar



Serrar

Plainar

outros



Tipos de tornos



Velocidades, avanços, automação

Universal



Revolver



Copiador



Velocidades, avanços, automação

Automático convencional



Automático CNC



CNC



Velocidades, avanços, automação

Verticais



Ultraprecisão



Especiais





Divisão do processo de fresamento - norma DIN 8589

**Fresamento
plano**



**Fresamento
de geração**



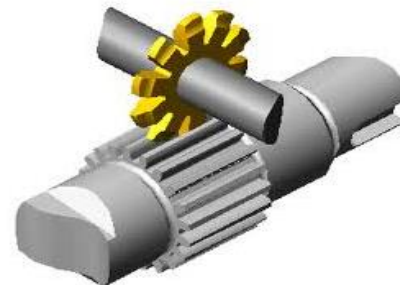
**Fresamento
circular**



**Fresamento
de perfil**



**Fresamento
de forma**



**Fresamento
de perfil
Roscas**





Tipos de Furadeiras

Furadeira
elétrica
manual



Furadeira de
coordenadas



Furadeira
de
bancada



Furadeira
de
múltipla



Furadeira
de coluna



Furadeira
radial





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem com Ferramentas de Geometria não Definida



Retificar

Brunir

Lapidar

Lixar

Polir

Jatear

Tamborear, outros





Usinagem por Processos Não Convencionais

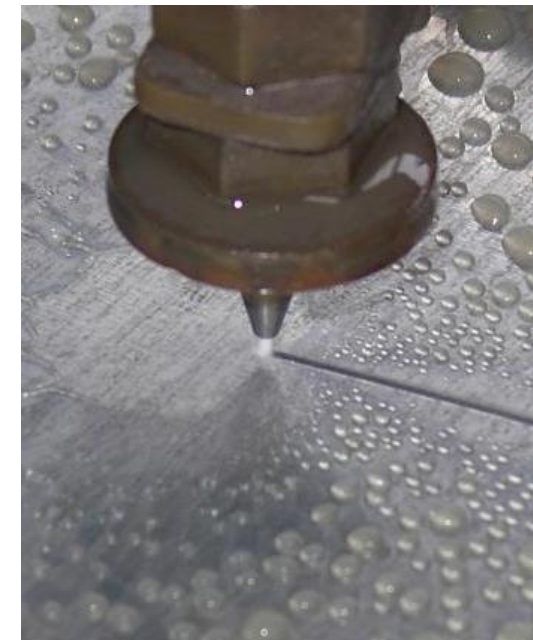
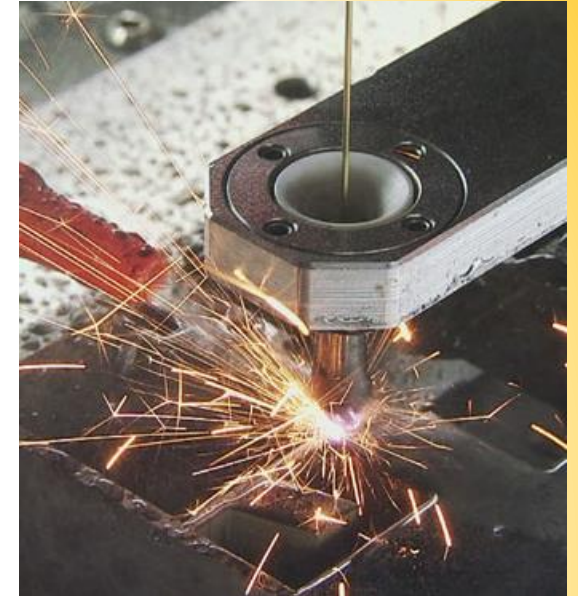
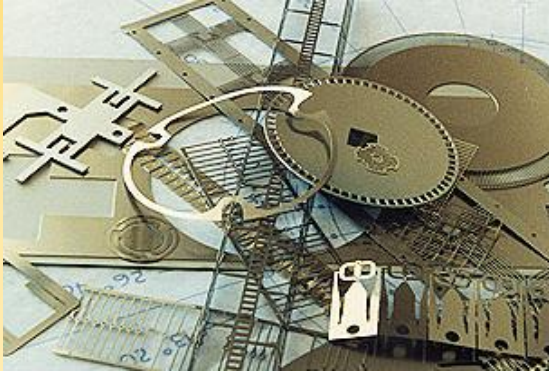
Remoção térmica

Remoção química

Remoção eletroquímica

Remoção por ultrassom

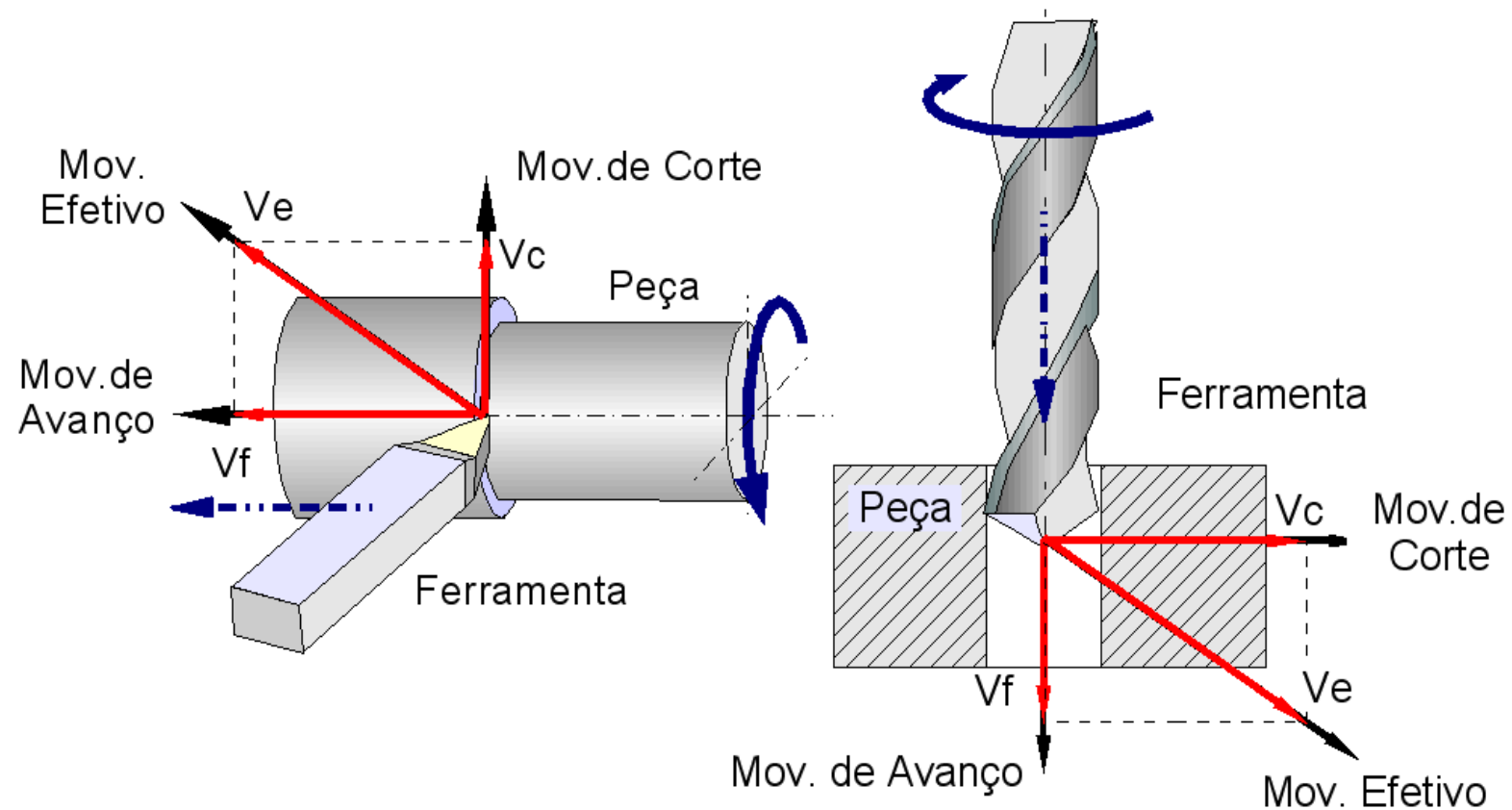
Remoção por jato d'água





Geometria Definida

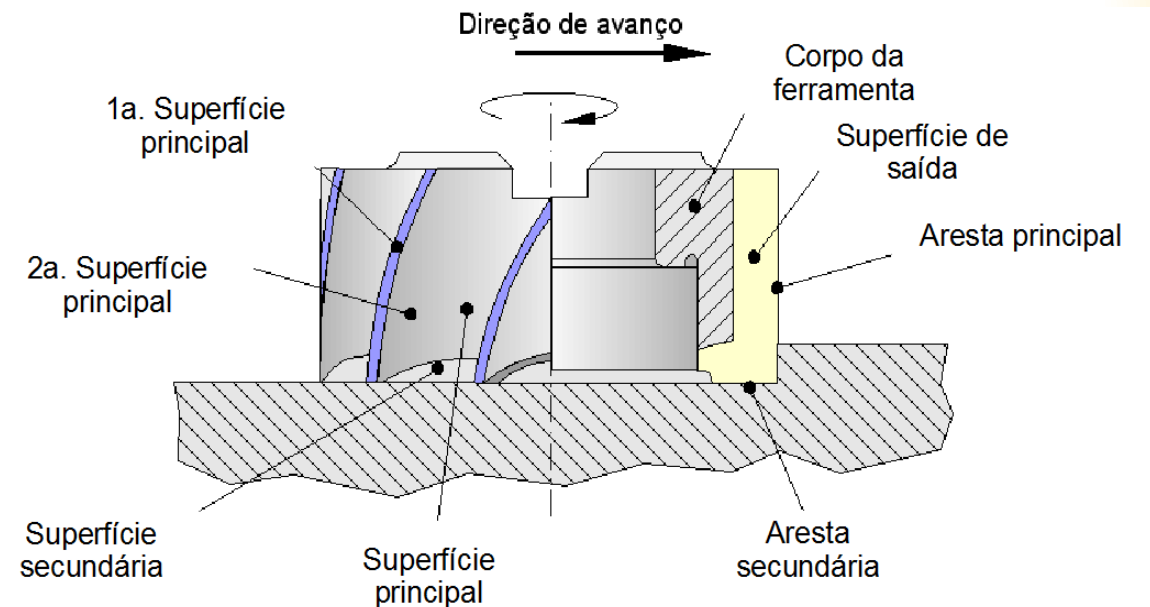
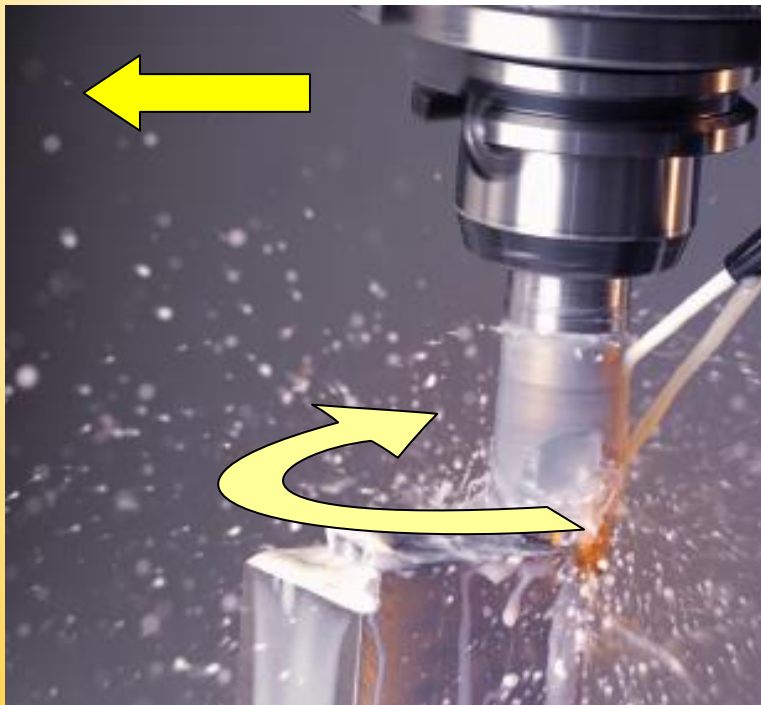
Os processos de usinagem necessitam de um movimento relativo entre peça e ferramenta.





Processo de Fresagem ou Fresamento

Definição: Fresamento é um processo de usinagem onde a remoção é realizada através do movimento de corte circular realizado pela ferramenta, e o movimento de avanço é realizado pela peça.





Aumento de velocidade tende a levar a cavaco contínuo, mas o fator principal é o material da peça

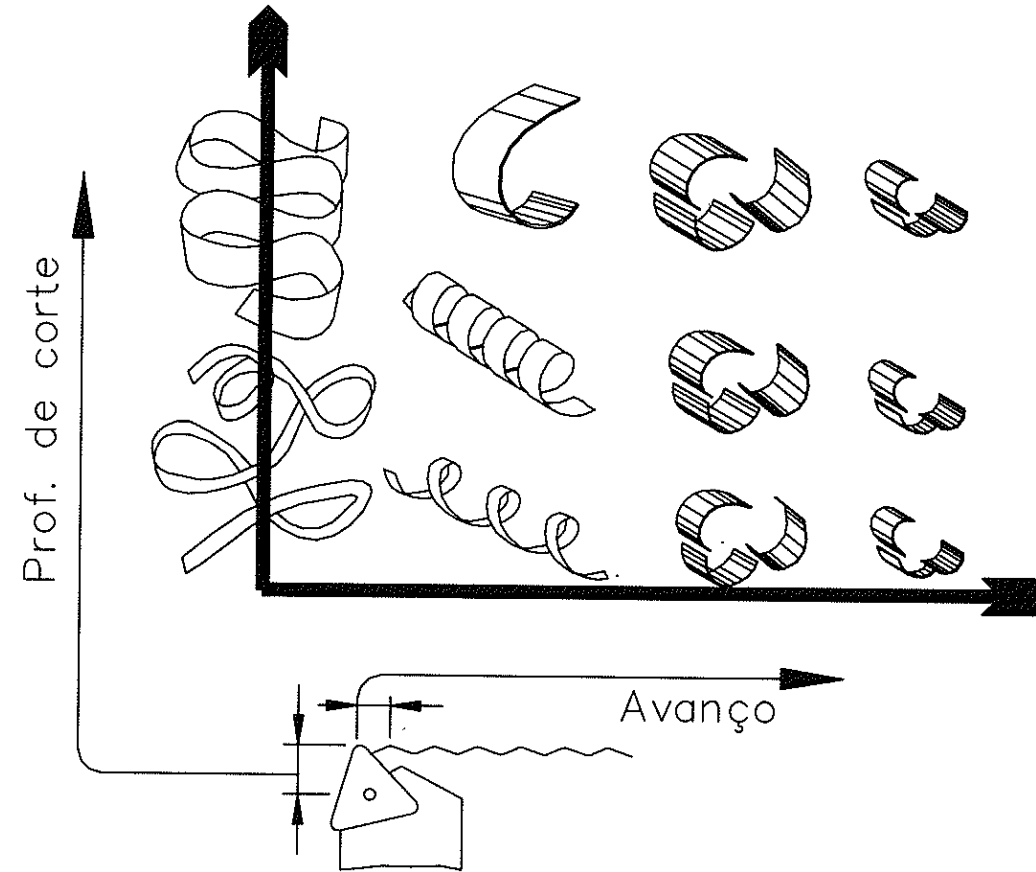


Figura 4.10. Efeito do avanço e da profundidade de corte na forma dos cavacos [18].



Grandezas do processo de usinagem

→ Velocidade de Corte (**V_c**)

$V_c = f$ (material peça, material ferramenta, do processo (torneamento, fresamento, retificação, etc.), da operação (desbaste ou acabamento))

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{Eq. 1})$$

→ Velocidade de Avanço (**V_f**)

→ Velocidade efetiva de corte (**V_e**)



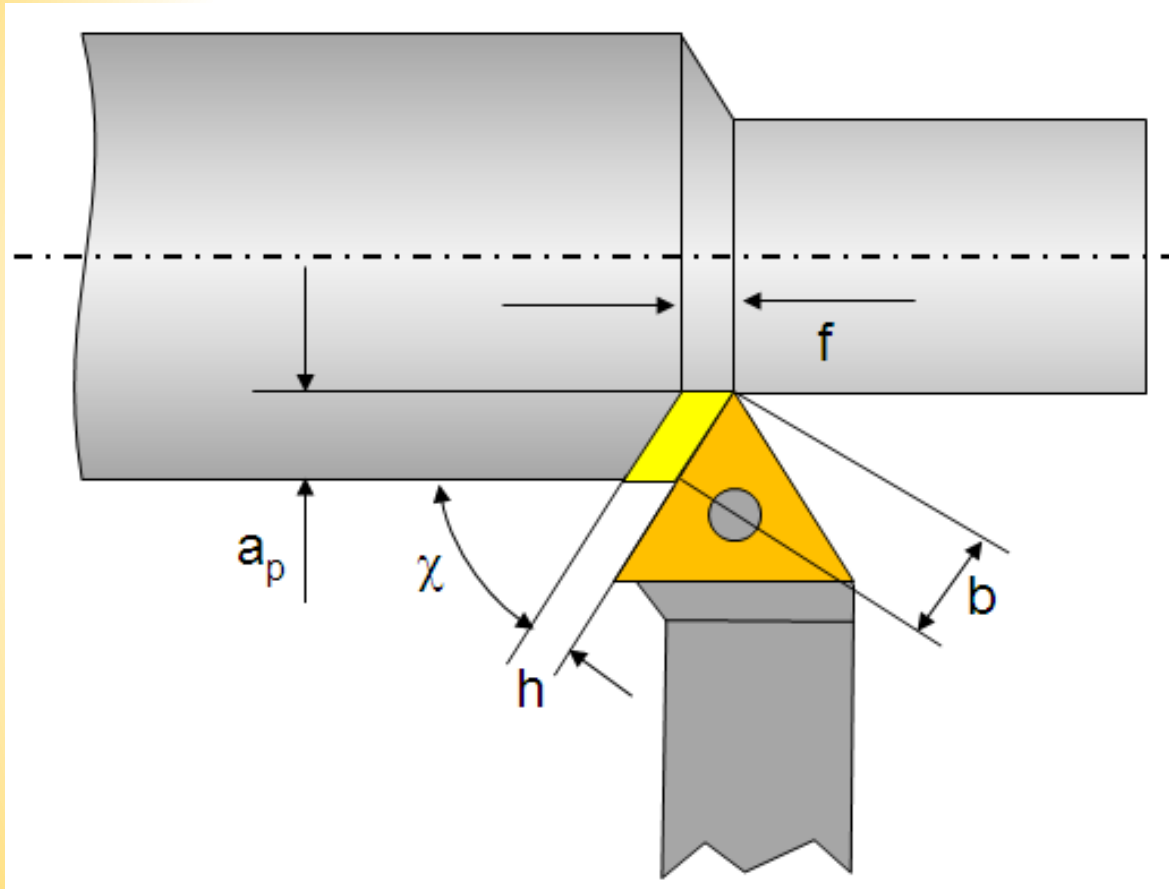
Grandezas do processo de usinagem

Velocidade de Corte (V_c)

- ⇒ V_c é um valor obtido experimentalmente
- ⇒ Valor encontrado em tabelas
- ⇒ Valores encontrados em tabelas também são função da vida da ferramenta.
- ⇒ As tabelas apresentam faixas de valores e podem variar de acordo com a fonte
- ⇒ V_c ainda depende da máquina-ferramenta, da geometria da peça, do tipo de dispositivo de fixação e da experiência do operador ou programador

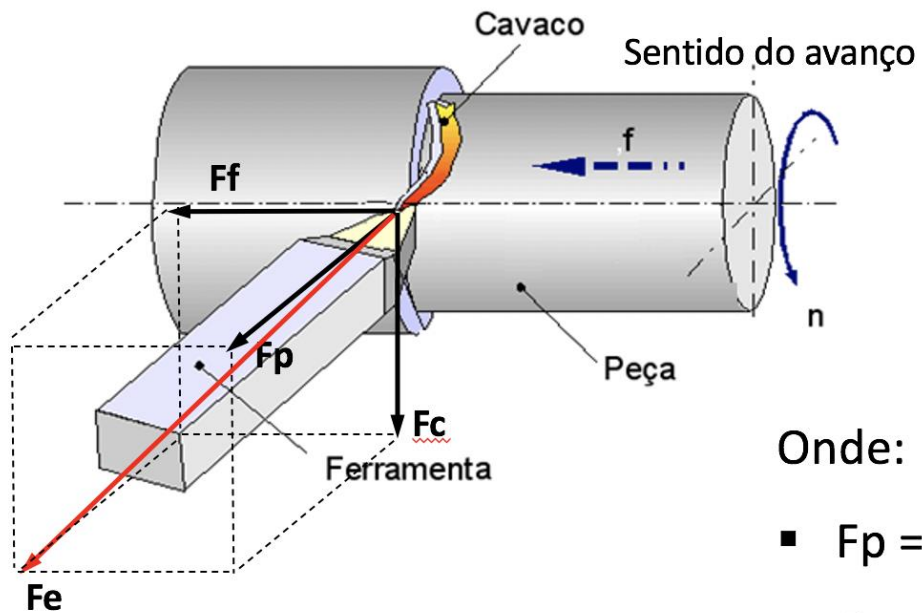


Grandezas do processo de usinagem



Onde:

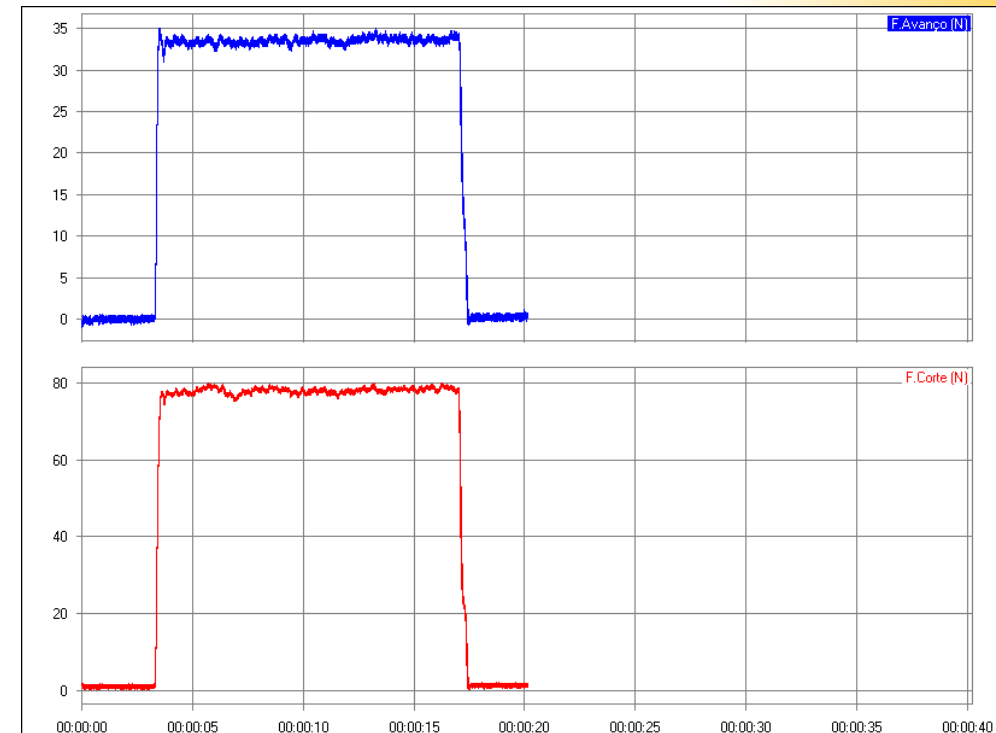
- a_p – profundidade de corte
- f – avanço por revolução
- b – largura de usinagem
- h – espessura de usinagem
- Seção de usinagem $a_p * f$
- Seção de usinagem $b * h$



Onde:

- F_p = Forças passiva
- F_c = Forças de corte
- F_f = Forças de avanço
- F_u = Força efetiva de usinagem

Forças de Usinagem (força de corte e avanço)





Parâmetros que influenciam na Força de Usinagem

- Material da peça (propriedades e comportamento mecânico)
- Geometria do corte (ortogonal ou oblíquo, seção de corte, geometria da ferramentas, ângulo de posição, ângulo de saída e de folga)
- Estado de afiação da ferramenta (material da ferramenta: tenacidade; recobrimento: atrito, desgaste; transferência de calor)



Desgaste

- Hutchings (1992) define desgaste como a destruição de uma ou de ambas superfícies que compõe um sistema tribológico, geralmente, envolvendo perda progressiva de material. Em usinagem, a norma ISO 3685:1993 define desgaste em ferramentas de corte como sendo a mudança de sua forma original durante o corte, resultado da perda gradual de material.

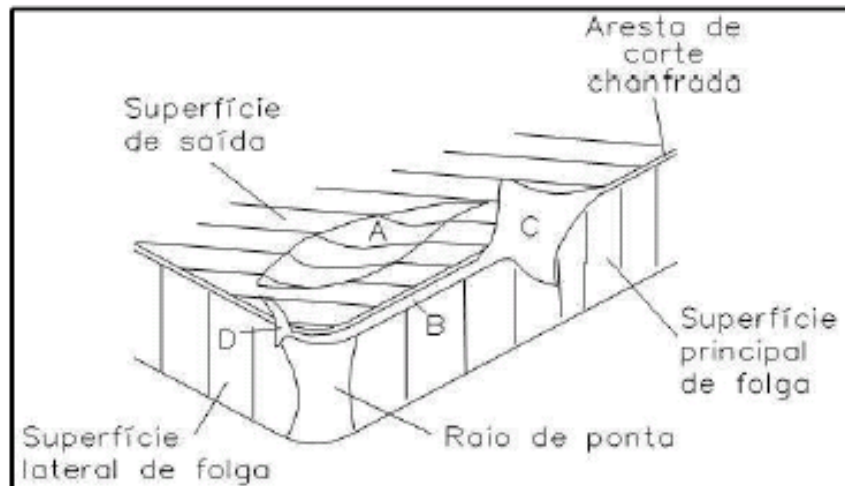


Figura 25 – Localização das três principais formas de desgaste em uma ferramenta de corte (adaptado de Dearnley e Trent, 1982).

- A Figura indica as três principais formas de desgaste que podem ser encontradas em uma ferramenta de corte:
- Desgaste de cratera (área A);
- Desgaste de flanco (área B);
- Desgaste de entalhe ("notch wear", áreas C e D).



Desgaste das ferramentas de corte

O desgaste pode ser observado na superfície de saída (a), nas superfícies principal (b) e secundária (c), na ponta e nas arestas de corte

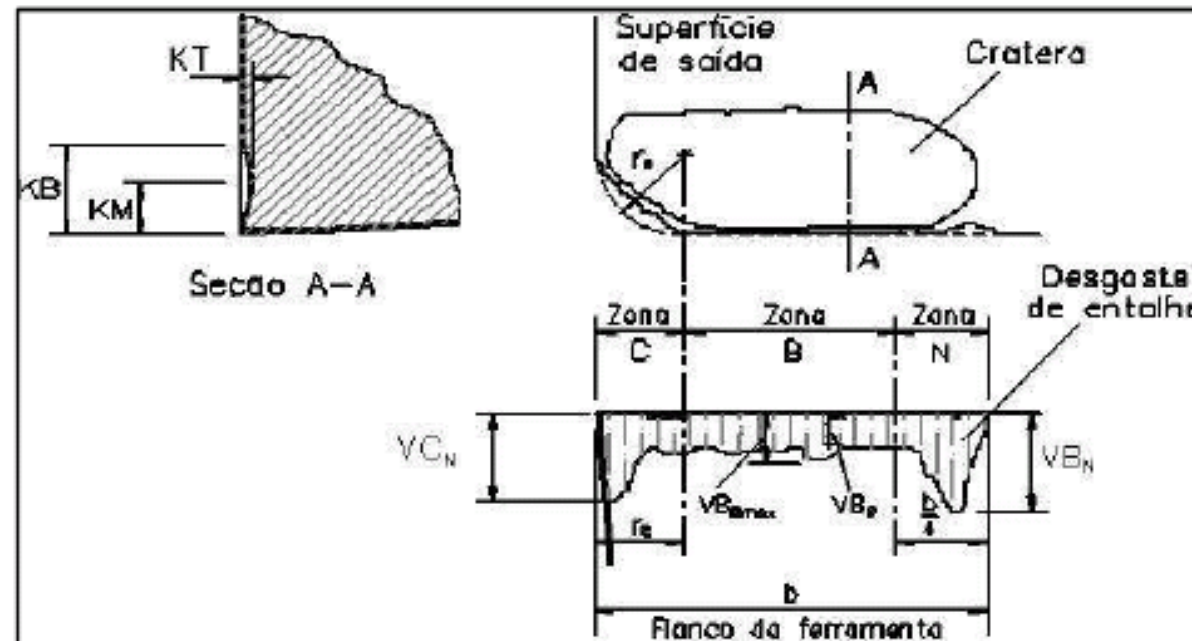
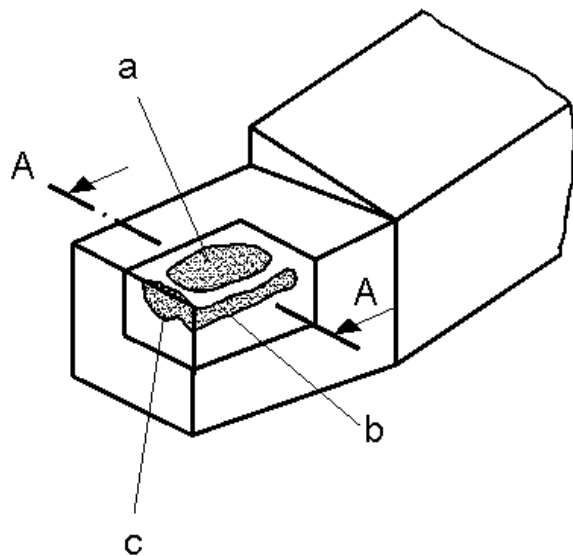
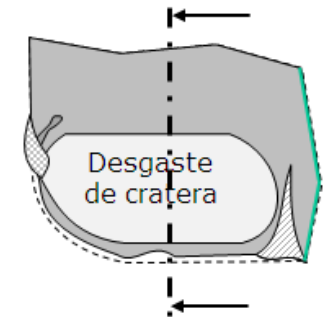
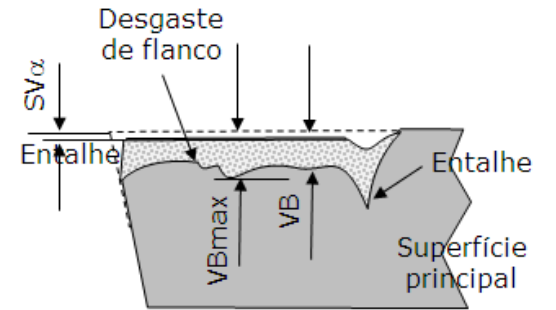
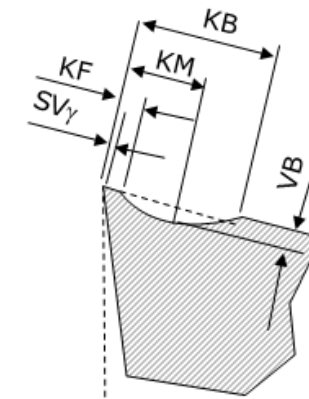
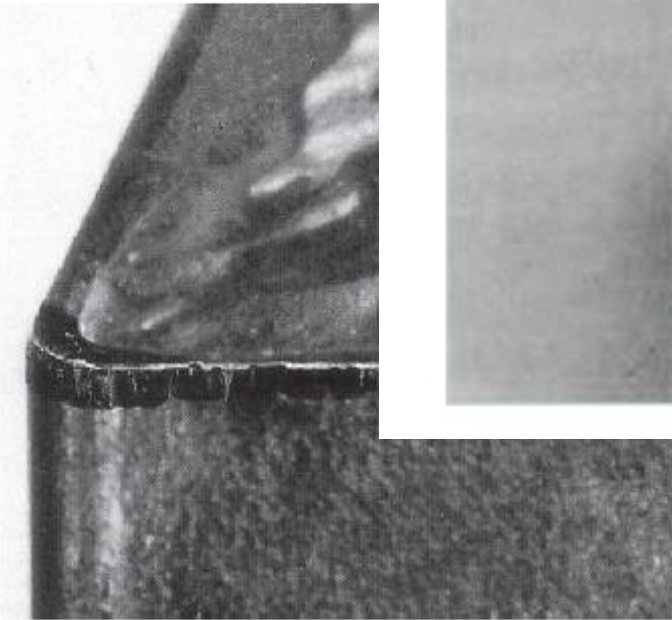
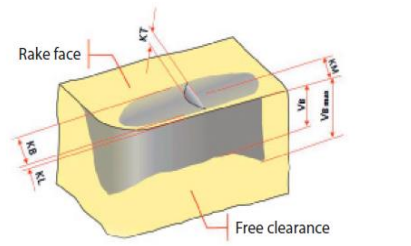


Figura 26 – Parâmetros utilizados para medir desgaste de ferramentas de corte (adaptado da ISO 3685:1993).

Desgaste de flanco



Exemplo de desgaste de flanco



Desgaste Processo de Usinagem

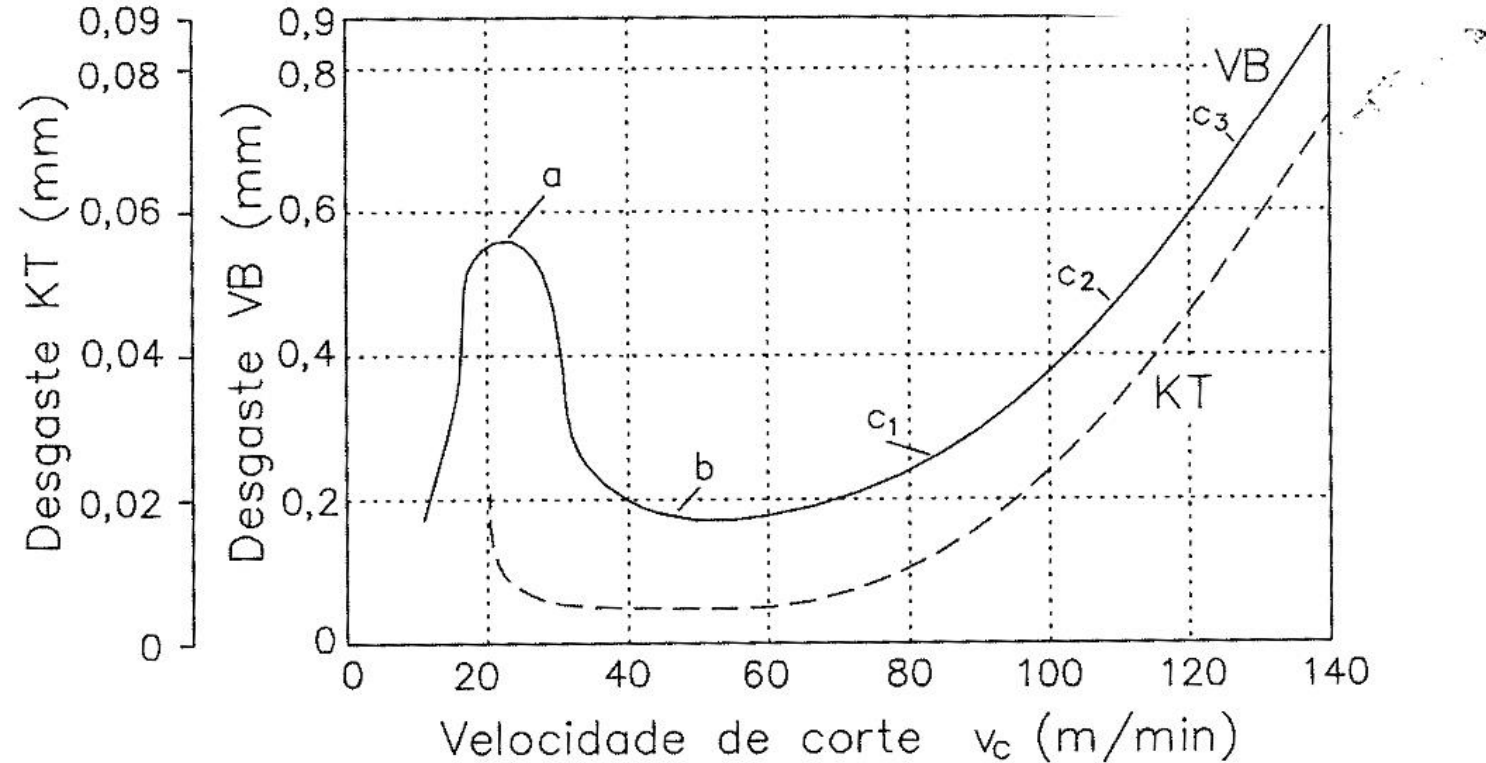


Figura 12.1. Desgaste VB e KT em função da velocidade de corte, para um determinado tempo de usinagem [1].



Desagaste Processo de Usinagem

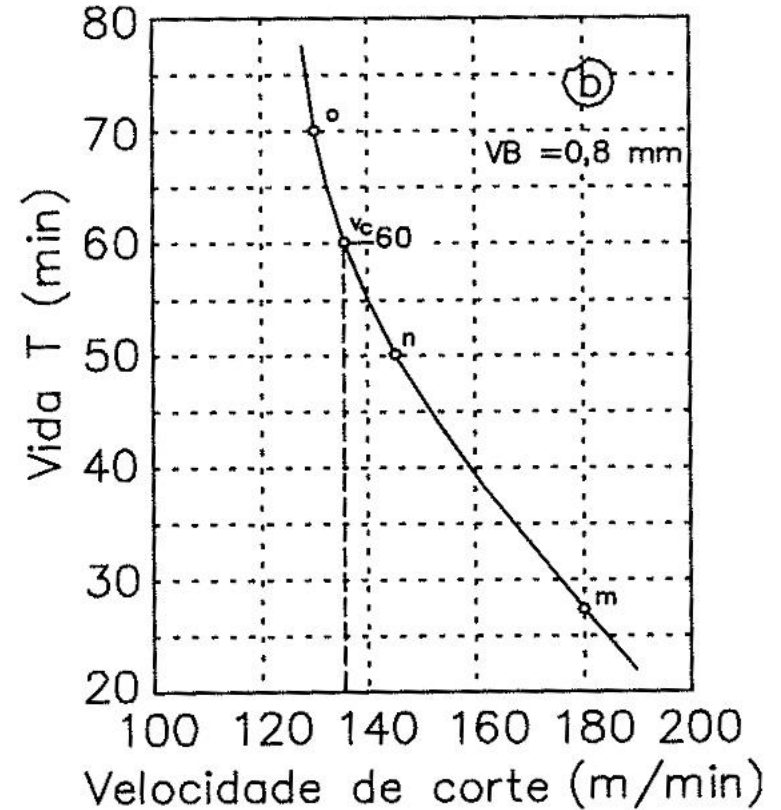
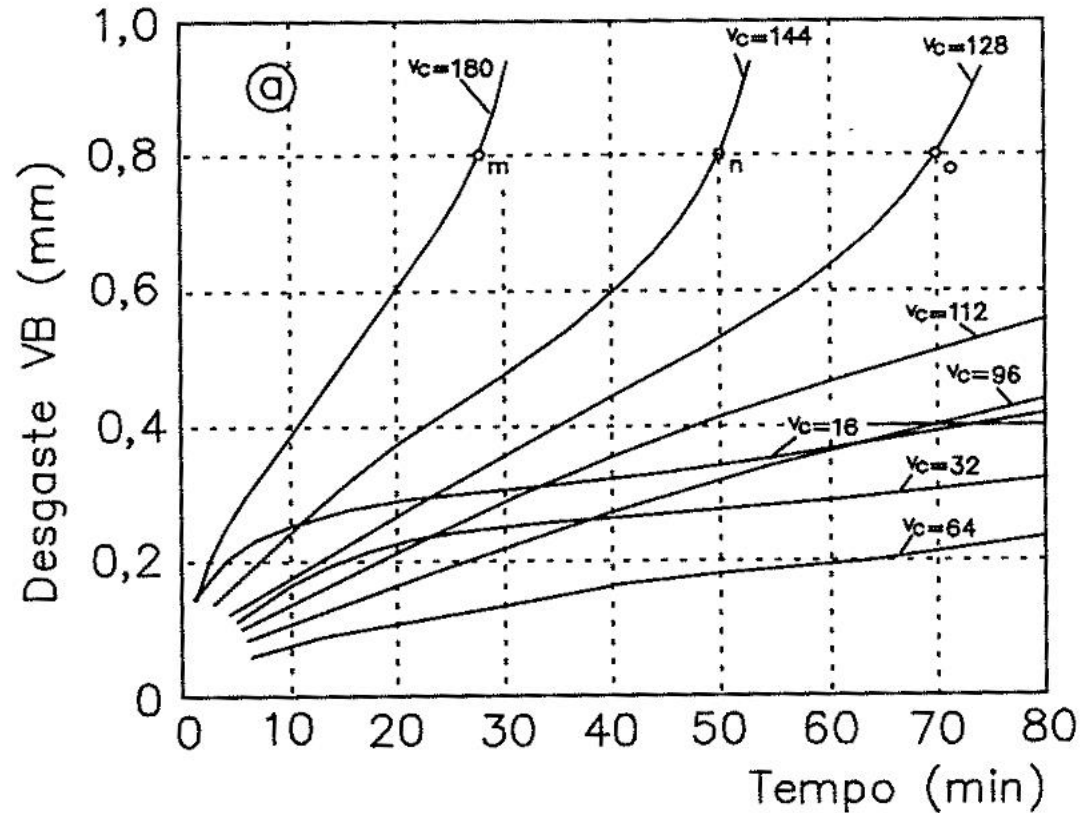


Figura 12.2. Determinação da curva de vida de uma ferramenta $T \times V_c$ [1].



Vida de ferramenta

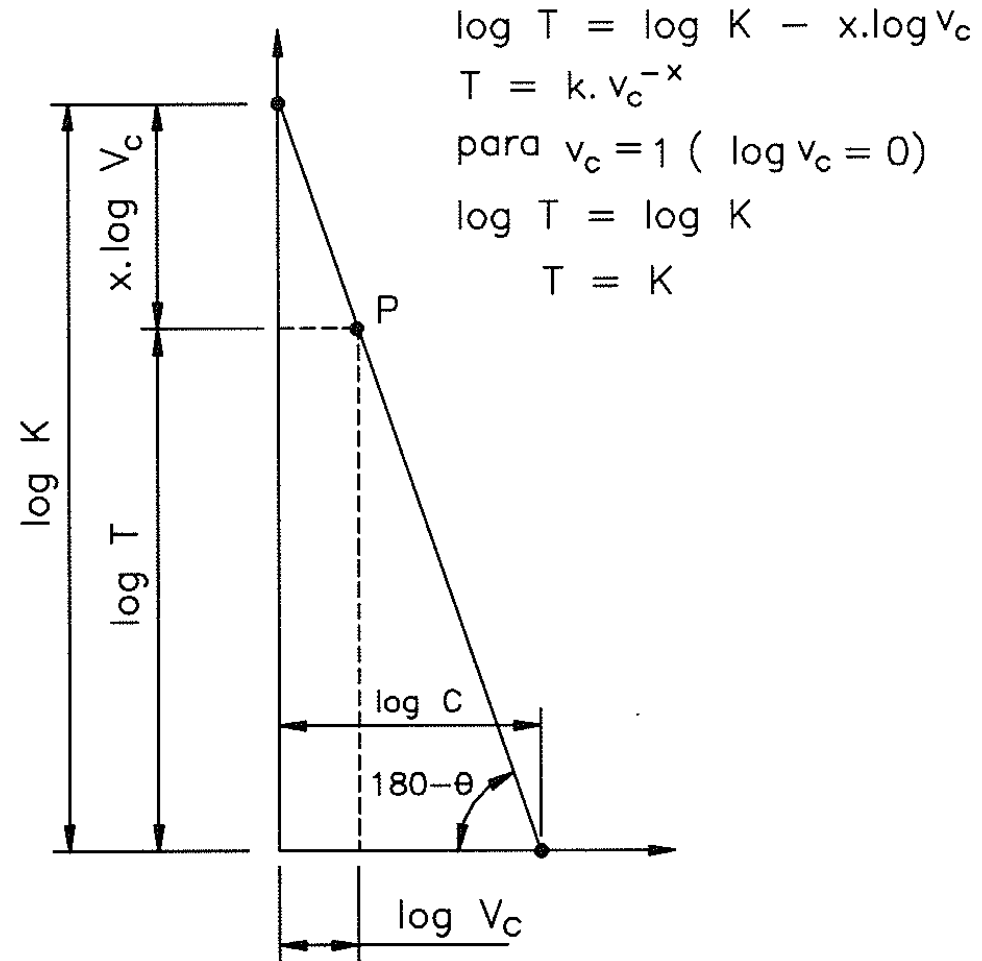


Figura 12.3. Representação em escalas logarítmicas da curva de vida da ferramenta [1].



Critérios de fim de vida

São critérios que são utilizados para determinar quando uma ferramenta deve ser substituída no processo.

Esses critérios é relacionado ao nível de desgaste na ferramenta, e suas consequências diretas :

- desvios nas tolerâncias dimensionais
- desvios nas tolerâncias geométricas
- perda de qualidade superficial da peça
- aumento no nível de vibrações no processo
- aumento no nível de esforços no processo
- aumento do custo de reafiação da ferramenta

Não existe uma definição universalmente aceita relativa a vida de ferramentas de corte. A vida de uma ferramenta deve ser especificada em relação com os objetivos do processo.

Definição: Vida de ferramenta é o tempo que esta resiste do início do corte até a sua utilização total

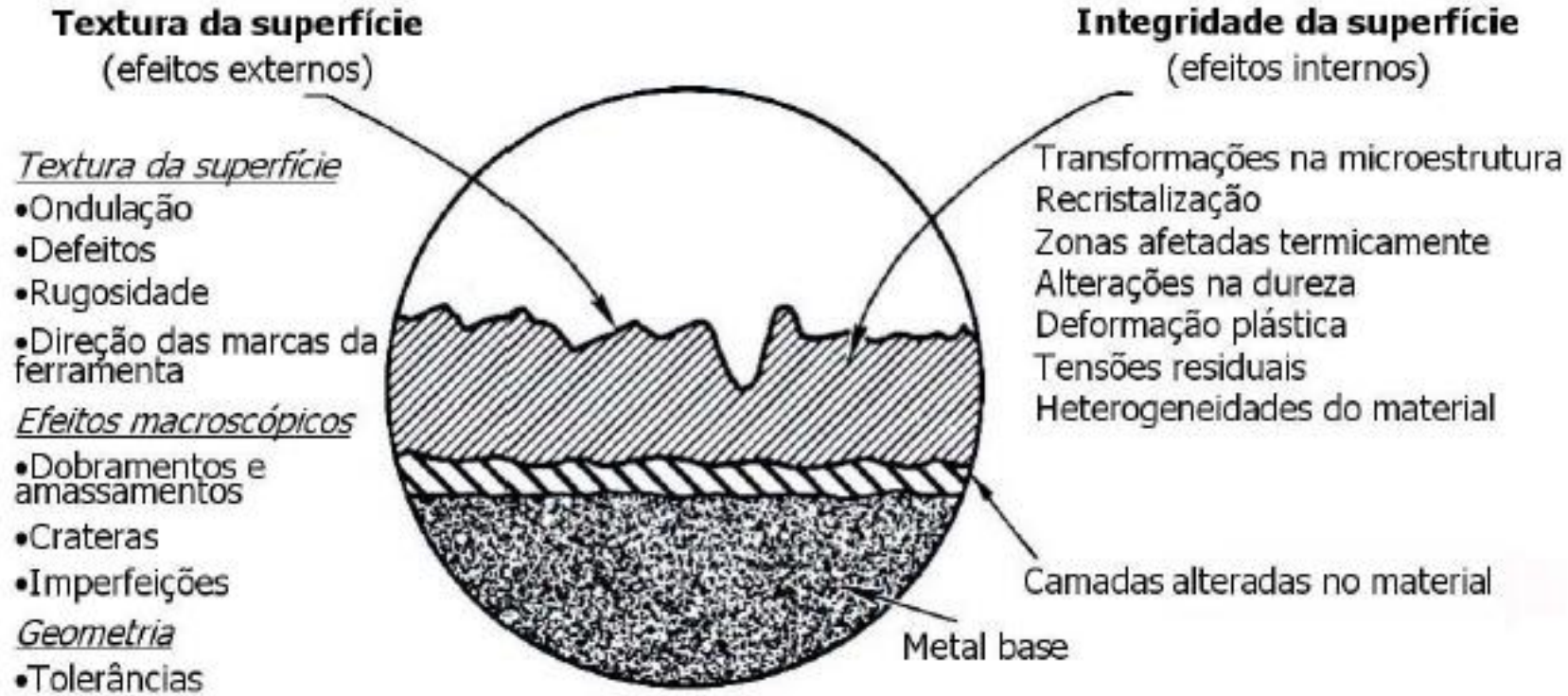


Figura 1.1 - Representação esquemática dos elementos superficiais e subsuperficiais que definem a tecnologia das superfícies, segundo o Machinability Data Center (1980)

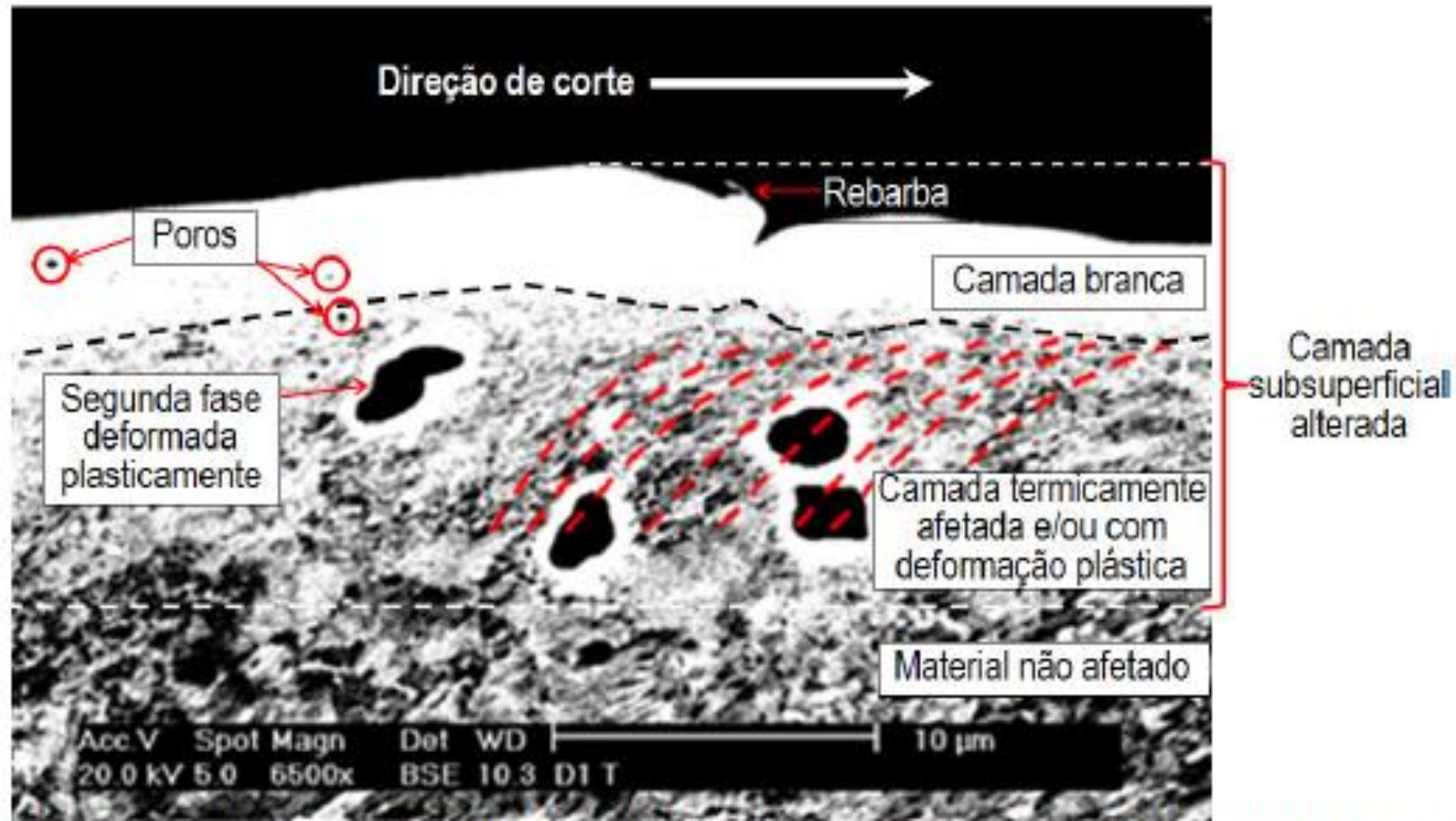


Figura 1.4 - Mudanças da camada superficial observadas na seção transversal de um ferro fundido mesclado após torneamento ($V_c = 60 \text{ m/min}$; $f = 0,1 \text{ mm/rot}$). Aumento de 6500X. Análise de elétrons retro-espalhados. Ataque com Nital 3% (ALVAREZ, 2006)

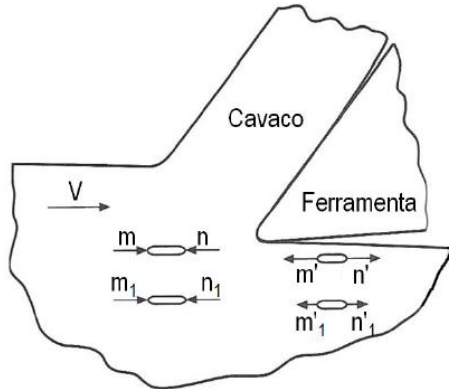


Figura 1.8 - Representação esquemática do mecanismo de geração de tensão residual trativa em matérias dúcteis (SHAW, 2005).

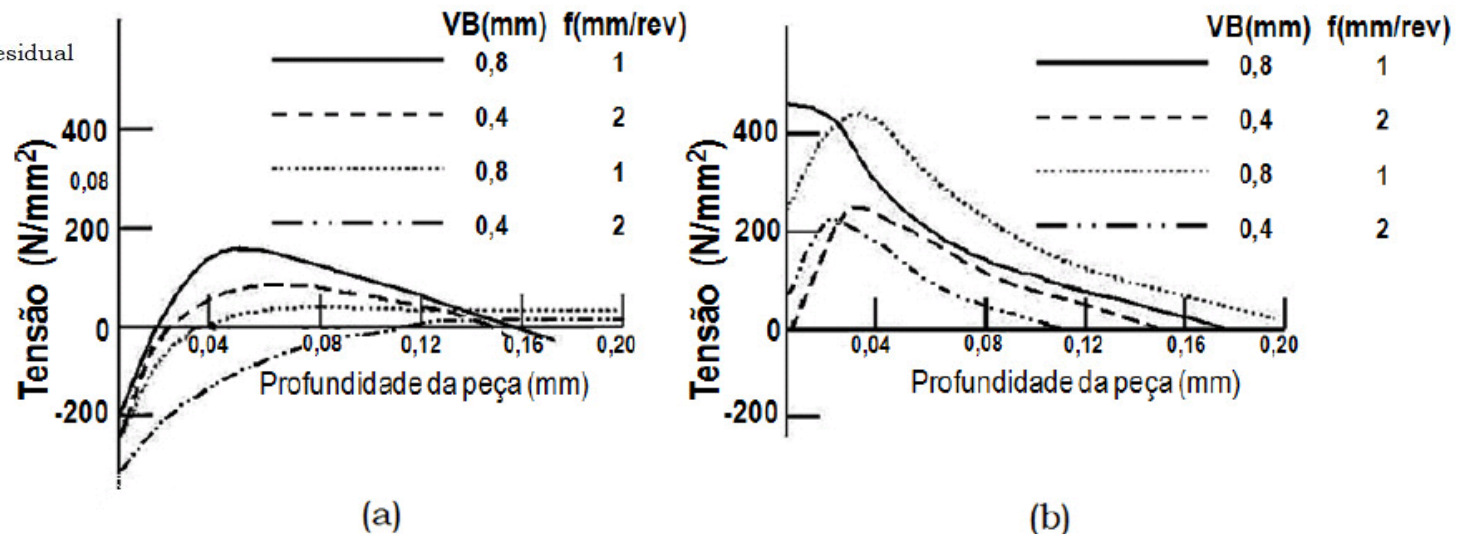


Figura 1.9 - Avaliação da tensão residual após o torneamento de um ferro fundido nodular, a dois níveis diferentes de intensidade após torneamento: a) $V=4$ m/min; b) 10 m/min. VB é o desgaste de flanco da ferramenta, f é o avanço, a tensão residual paralela à superfície é σ (N/mm²). (LESKOVAR e KOVAC, 1988).



- λ_c = cut off que é comprimento de amostragem

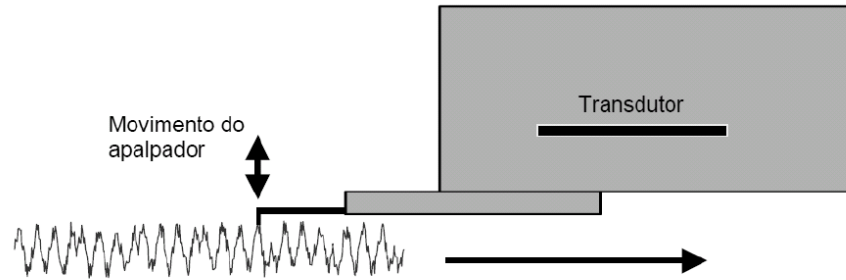
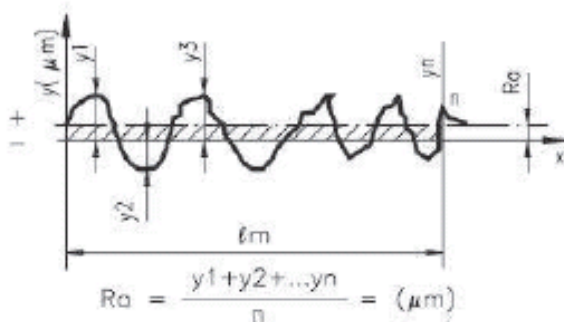


Figura 1.21 - Princípio de funcionamento do perfilômetro mecânico com apalpador

Parâmetros de rugosidade

- Rugosidade média (R_a – Roughness average): média aritmética
- + mais utilizado
- média alterada por pico ou vale atípicos



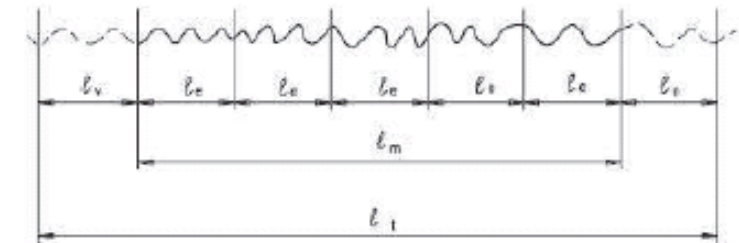
| Grupos de rugosidades | ▽ | ▽▽ | ▽▽▽ | ▽▽▽▽ | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Rugosidade máxima valores em $R_a(\mu m)$ | 50 | 6,3 | 0,8 | 0,1 | | | | | | | | |
| Classes de rugosidade (GRADE) | N12 | N11 | N10 | N9 | N8 | N7 | N6 | N5 | N4 | N3 | N2 | N1 |
| Rugosidade máxima valores em $R_a(\mu m)$ | 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,025 |

| Informações sobre os resultados de usinagem | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Serrar | █ | | | |
| Limar | █ | █ | | |
| Plainar | █ | █ | █ | |
| Tornear | █ | █ | █ | █ |
| Furar | █ | █ | █ | |
| Rebolar | █ | █ | █ | |
| Alargar | █ | █ | █ | █ |
| Fresar | █ | █ | █ | █ |
| Brochar | █ | █ | █ | █ |
| Raspar | █ | █ | █ | |
| Retificar (frontal) | █ | █ | █ | █ |
| Retificar (lateral) | █ | █ | █ | █ |
| Aisar | █ | █ | █ | |
| Superfinish | █ | █ | █ | █ |
| Lapidar | █ | █ | █ | █ |
| Pole | █ | █ | █ | █ |

█ Faixa para um desgaste superior
 █ Rugosidade realizável com usinagem comum
 █ Rugosidade realizável com cuidados e métodos especiais

Comprimento de amostragem (cut off)

- l_m – comprimento de avaliação
- l_e – comprimento de amostragem
- l_t – distância percorrida pelo apalpador = $(5 \times l_e) + l_v + l_n$
- l_v – distância para atingir a velocidade de medição
- l_n – distância para parada do apalpador
- recomendação ISO: rugosímetros devem medir 5 comprimentos de amostragem e indicar valor médio



Comprimentos para avaliação de rugosidade.










| Símbolo Gráfico | Interpretação | Padrão de Orientação |
|-----------------|---|---|
| = | Paralelo ao plano de vista no qual o símbolo é empregado. |  |
| ⊥ | Perpendicular ao plano de vista no qual o símbolo é empregado. |  |
| X | Cruzado em duas direções obliquas relativas ao plano no qual o símbolo é empregado. |  |
| M | Múltiplas direções. |  |
| C | Aproximadamente circular relativo ao centro da superfície onde o símbolo é empregado. |  |
| R | Aproximadamente radial relativo ao centro da superfície onde o símbolo é empregado. |  |
| P | Marcas com orientação particular, não direcionada ou em relevo. |  |

Figura 1.22 - Símbolos usados para representar as marcas da ferramenta na designação da textura da superfície segundo as normas ANSI Y14.36 de 1978 [ANSI, 1978], e ISO 1302 de 2001 [ISO, 2001]



Usinabilidade pode ser definida como uma propriedade ou grandeza tecnológica que é expressa por um valor numérico comparativo.

A usinabilidade está relacionada com o grau de dificuldade em se usinar um determinado material

Na verdade, a usinabilidade descreve genericamente as características operacionais da ferramenta de corte.

A usinabilidade de um material metálico é influenciada por vários fatores tais como: composição química, microestrutura, resistência do material, avanço utilizado na usinagem, velocidade de corte, profundidade de corte e escolha do fluido de corte.



Usinabilidade

A usinabilidade pode ser definida com auxílio de alguns critérios tais como:

- vida da ferramenta e desgaste da ferramenta,
- acabamento superficial da peça usinada,
- remoção de cavaco,
- velocidade de corte e
- produtividade



- **Ensaio de longa duração** onde o material usinado é comparado com um material padrão até o fim de vida da ferramenta (V_B ou V_T) em diferentes velocidades de corte. Usualmente se seleciona uma velocidade com base em vida de 20 ou 60 min.

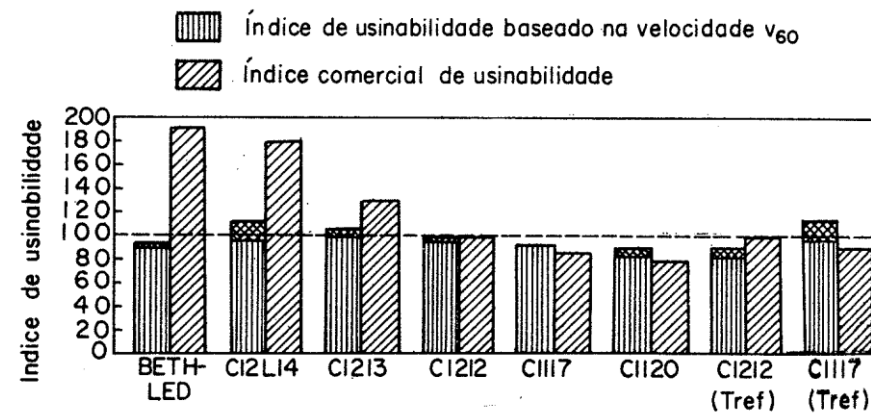


FIG. 12.6 — Comparação entre os índices comerciais de usinabilidade e a velocidade v_{60} [9].

- **Ensaio de Curta duração** onde pode ser avaliada a força de corte e/ou acabamento superficial



Tabela 1. Microestruturas otimizadas para usinagem [1].

| % Carbono | Microestrutura otimizada |
|-----------|--|
| 0,06-0,20 | Laminado (mais econômico) |
| 0,20-0,30 | Acima de 3 polegadas, normalizado; menores dimensões como laminado |
| 0,30-0,40 | Recozido (perlita grosseira, fração mínima de ferrita) |
| 0,40-0,60 | Perlita lamelar grosseira até esferoidizada. |
| 0,60-1,00 | 100% de perlita esferoidizada, de grosseira à fina. |

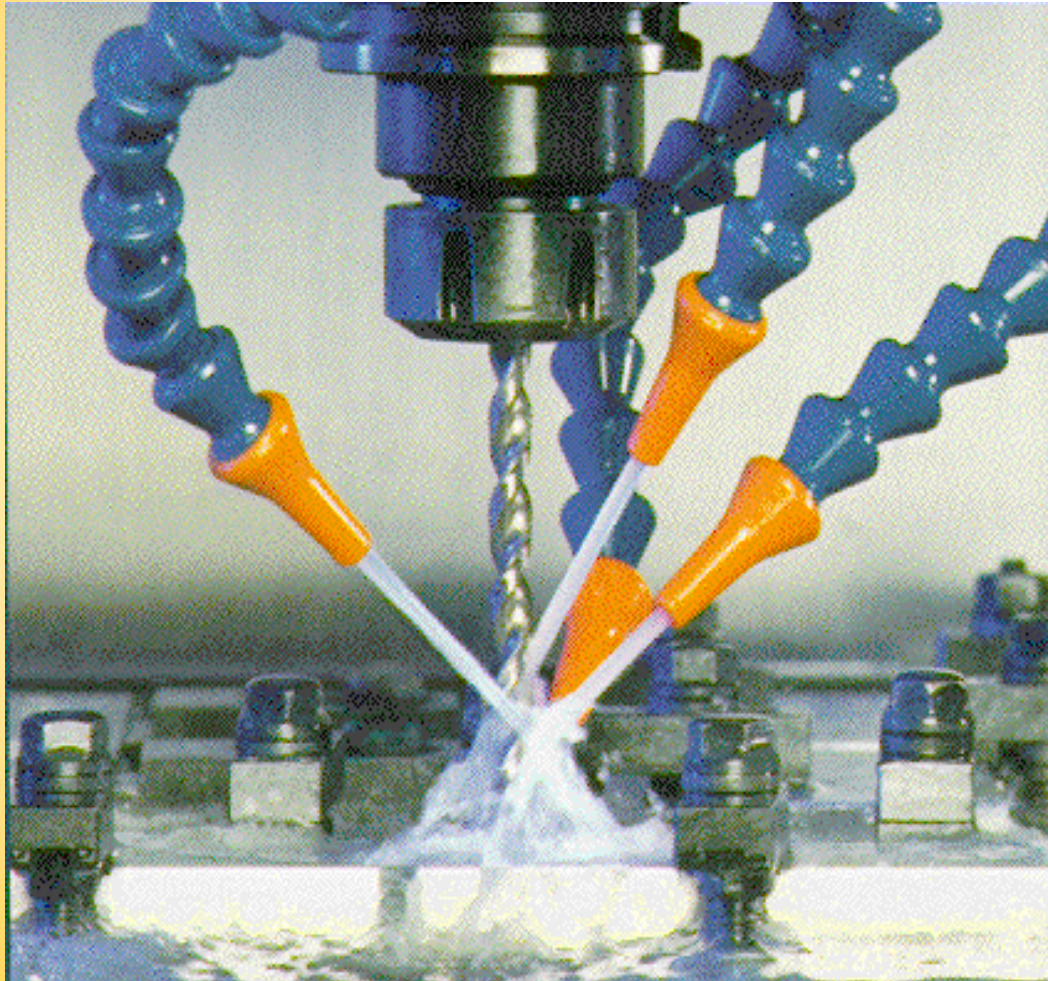
Tabela 15.1. Efeito da microestrutura na usinabilidade dos aços [6]

| Tipo de microestrutura | Dureza Brinell | V_{c20} [m/min] |
|------------------------------|----------------|-------------------|
| 10% - perlita e 90% ferrita | 100 – 120 | 290 |
| 20% - perlita e 80% ferrita | 120 – 140 | 260 |
| 25% de perlita esferoidizada | 160 – 180 | 180 |
| 50% - perlita e 50% ferrita | 150 – 180 | 150* |
| 75% - perlita e 25% ferrita | 170 – 190 | 140 |
| 100% perlita | 180 – 220 | 145 |
| Martensita revenida | 280 – 320 | 105 |
| Martensita revenida | 370 – 420 | 46 |

* Valor estimado



Fluidos de Corte





Função dos fluidos de corte:

- Redução do atrito entre ferramenta e cavaco
- Expulsão dos cavacos gerados
- Refrigeração da ferramenta
- Refrigeração da peça
- Melhoria do acabamento da superfície usinada
- Refrigeração da máquina-ferramenta

Sob o ponto de vista econômico o uso de fluido de corte proporciona

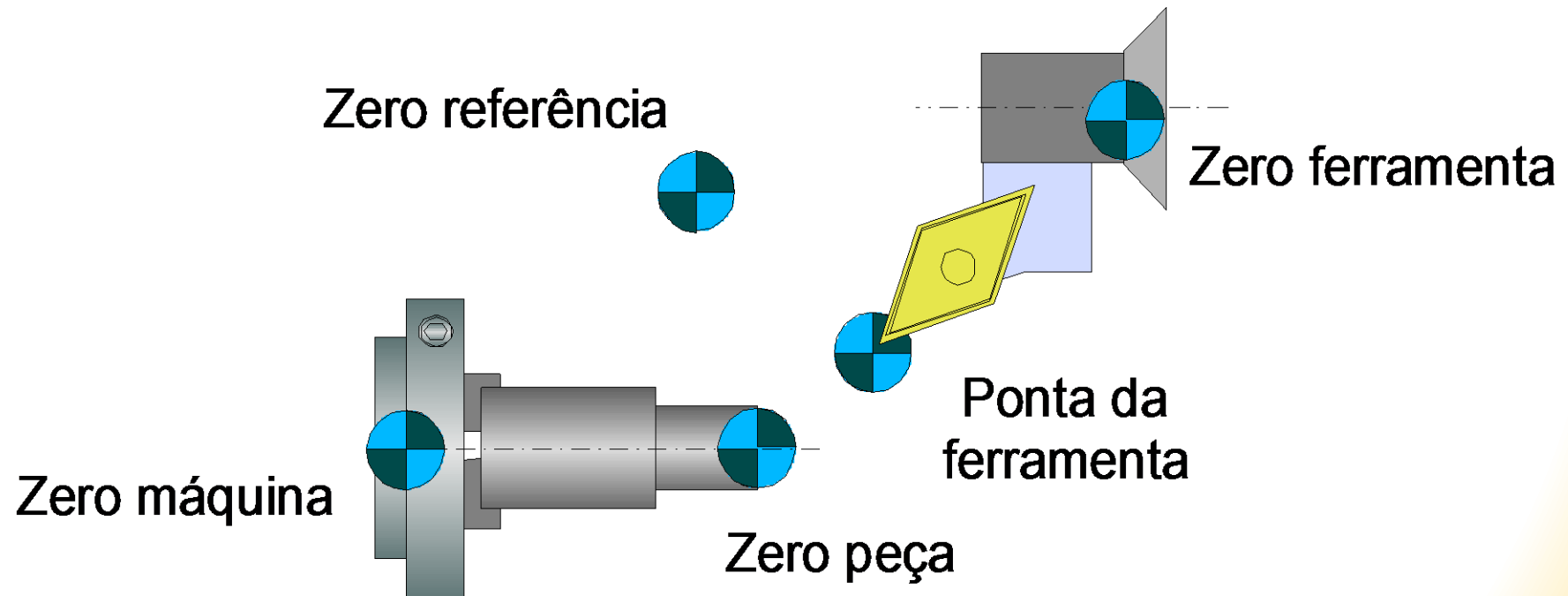
- Redução do consumo de energia
- Redução dos custos de ferramenta
- Diminuição ou eliminação da corrosão na peça



CNC

Zeros da programação

Torneamento

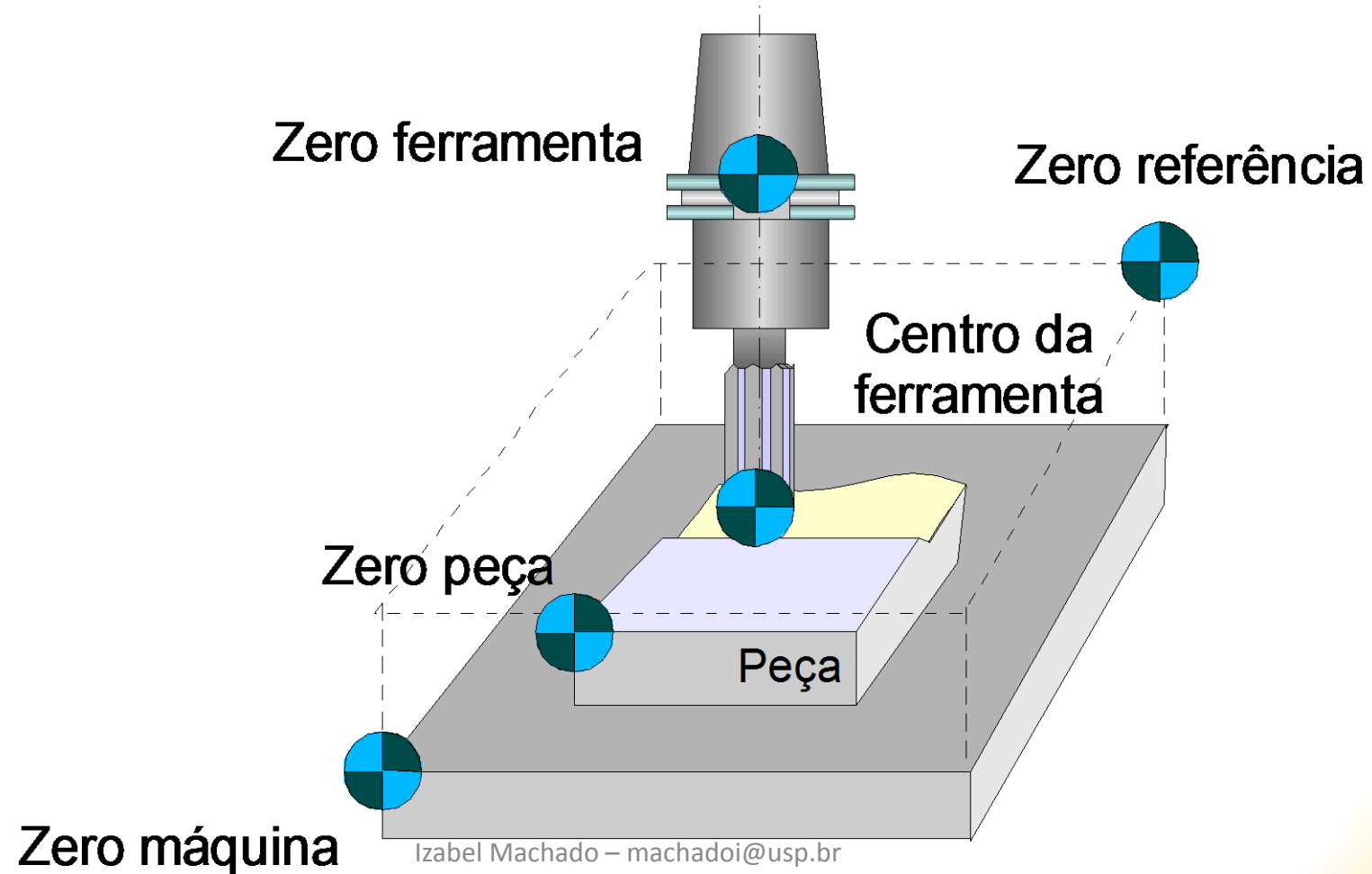




CNC

Zeros da programação

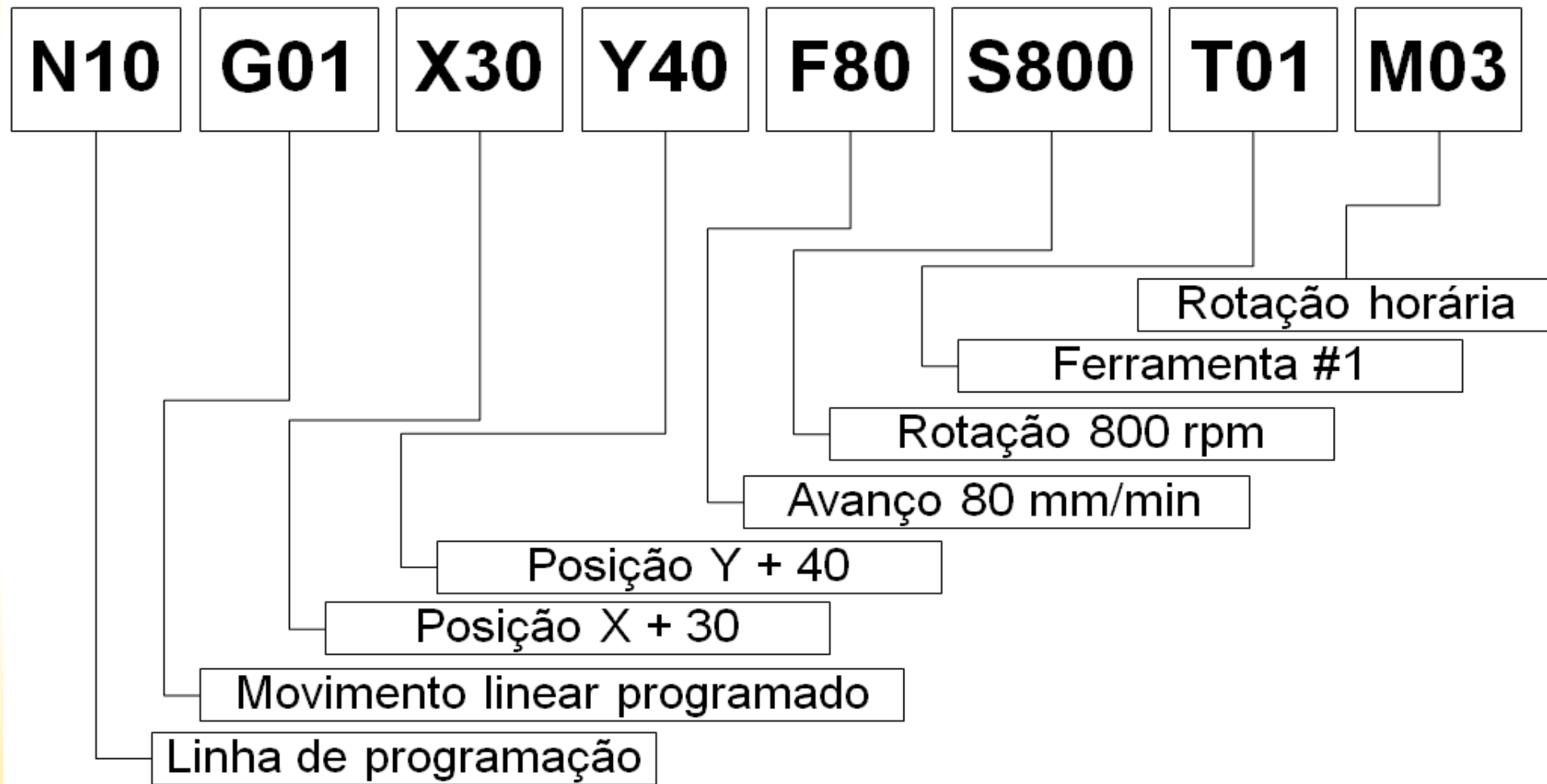
Fresamento





CNC

Sintaxe da programação

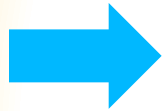




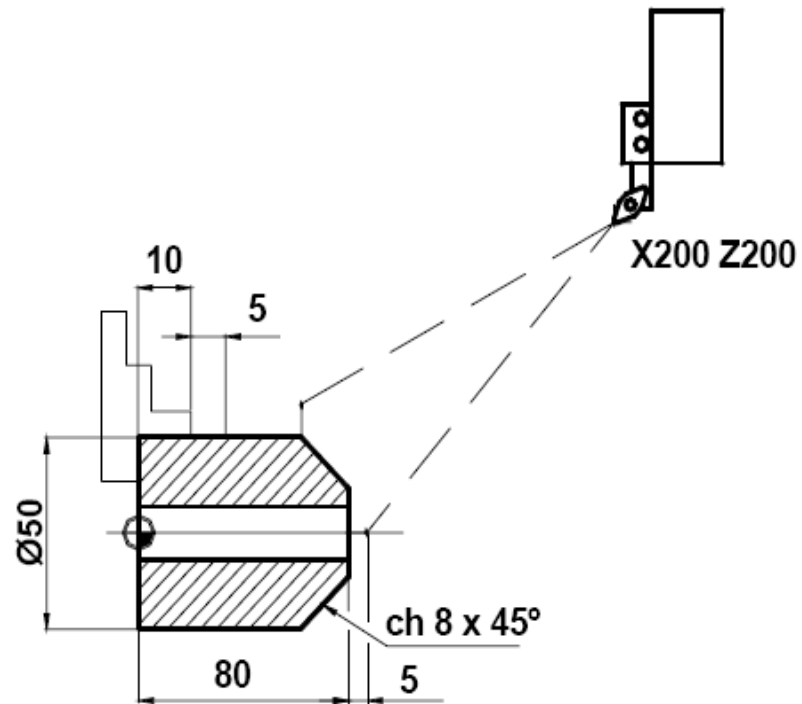
CNC

Comandos ISO - Principais comandos

- G00 – movimento linear rápido
- G01 – movimento linear com avanço programado
- G02 – movimento circular horário com avanço programado
- G03 – movimento circular anti-horário com avanço programado
- G04 – cavidade
- G07 – eixo de interpolação imaginário - seno
- G09 – curva
- G10 – parada exata
- G11 – ativa sobre metal

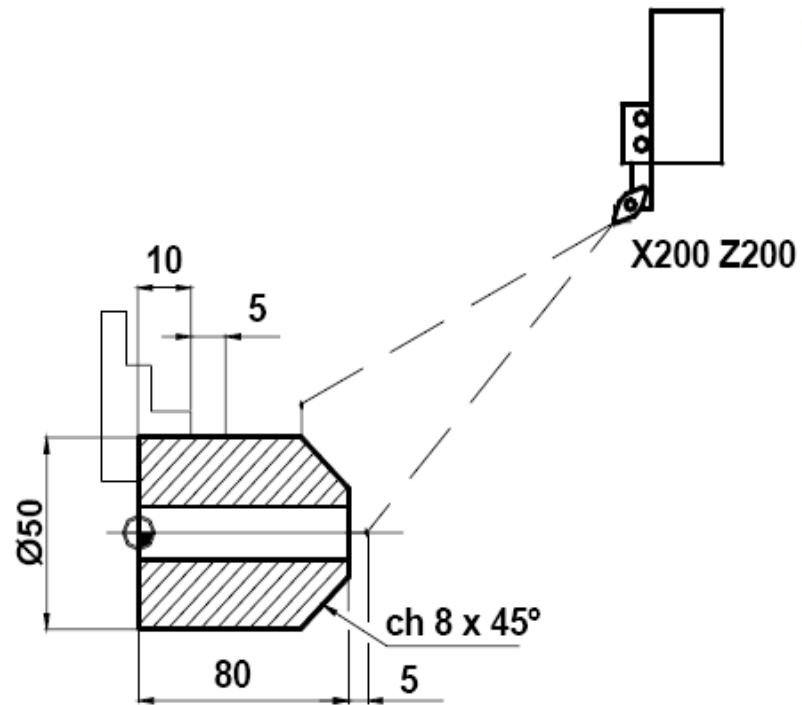


Exemplo de programa



```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;  
N80 G01 Z80 F.5;  
N90 X34 F200;  
N100 X50 Z72;  
N110 X55;  
N120 G00 X200 Z200 T00;  
N130 M30;
```

Exemplo de programa

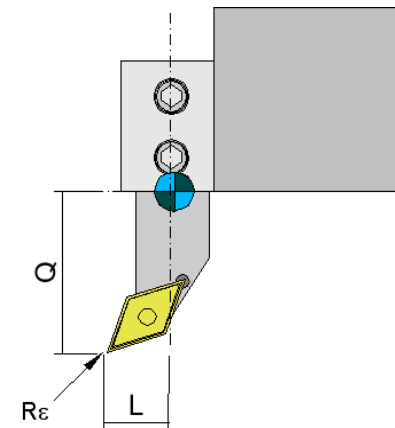


O0001 (Exercício 01);

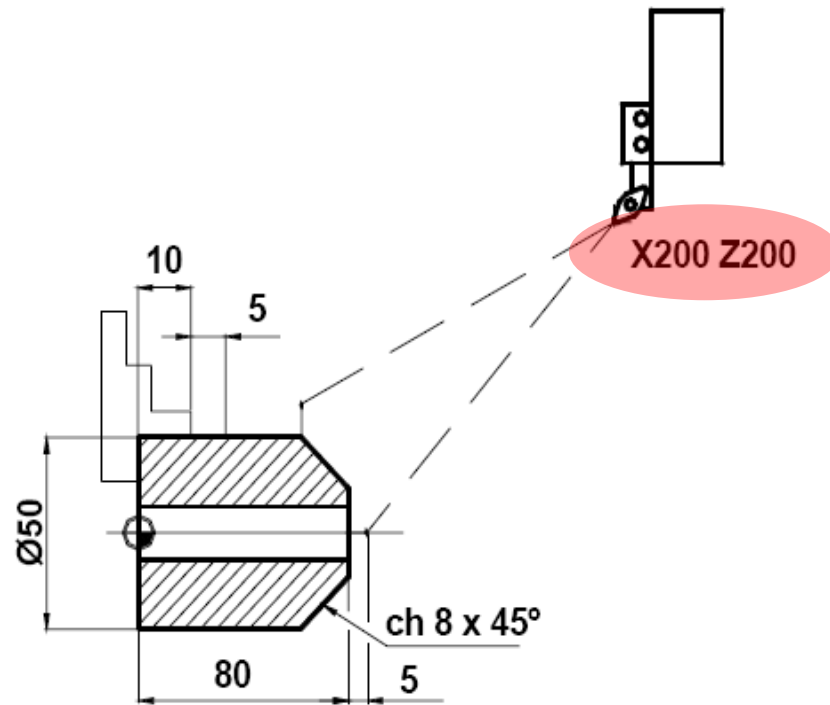
N10 G21 G40;

G21 – dimensões em milímetros

G40 – compensação do raio da ferramenta



Exemplo de programa



O0001 (**Exercício 01**);

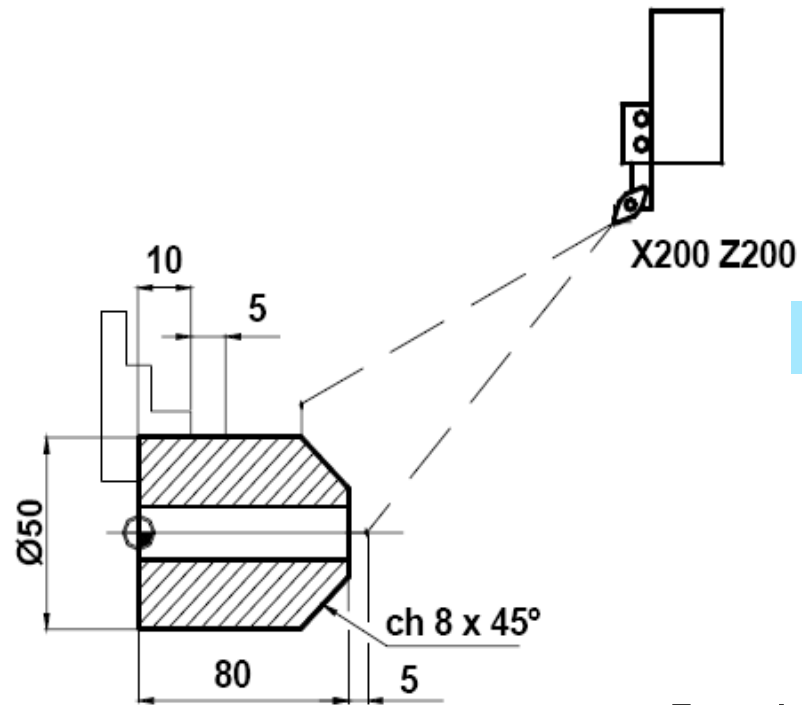
N10 G21 G40;

N20 G00 X200 Z200 T00;

G00 – movimento linear rápido

T00 – ferramenta 0

Exemplo de programa



O0001 (Exercício 01);

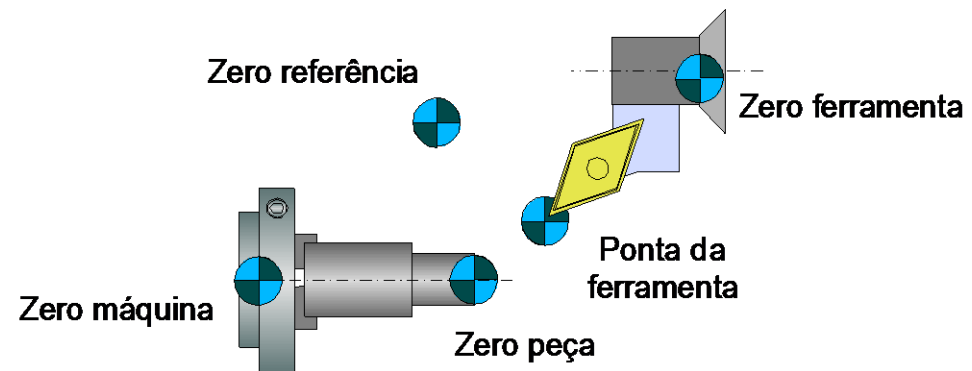
N10 G21 G40;

N20 G00 X200 Z200 T00;

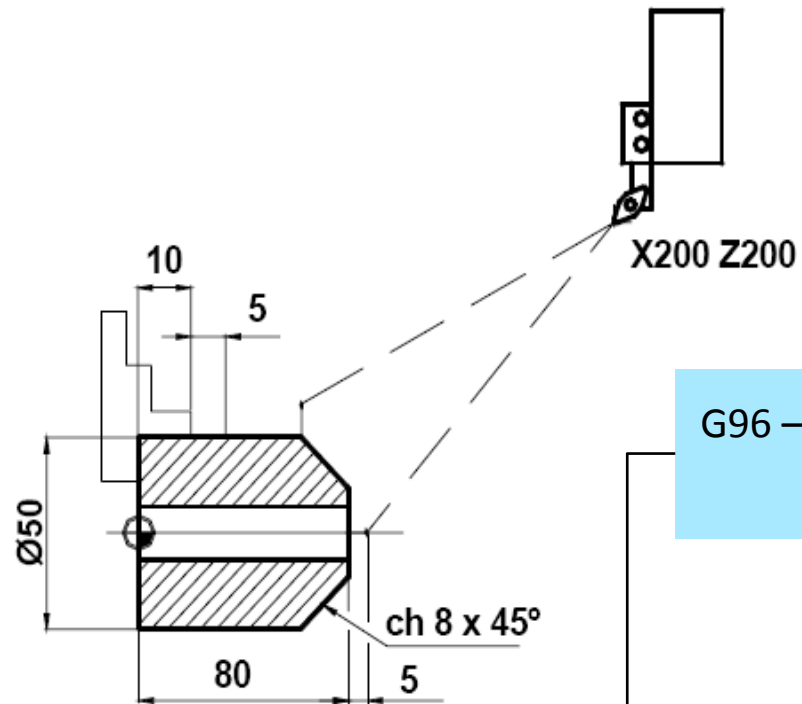
N30 T0101 (acabamento);

N40 G54;

G54 – sistemas de coordenadas predefinido



Exemplo de programa



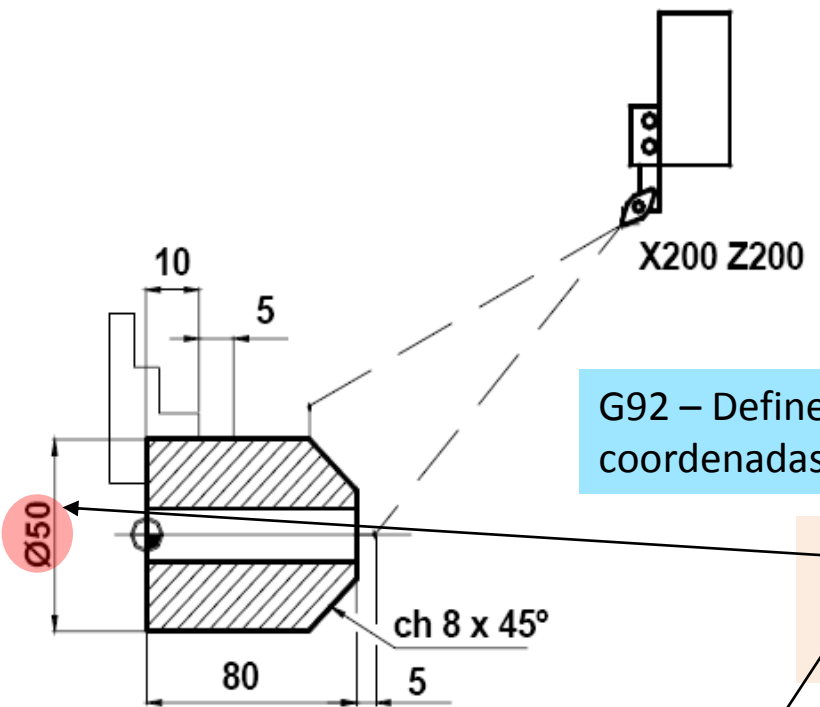
```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;
```

G96 – Liga velocidade superficial constante
(torneamento)

S220 – Velocidade de 220 rpm

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

Exemplo de programa



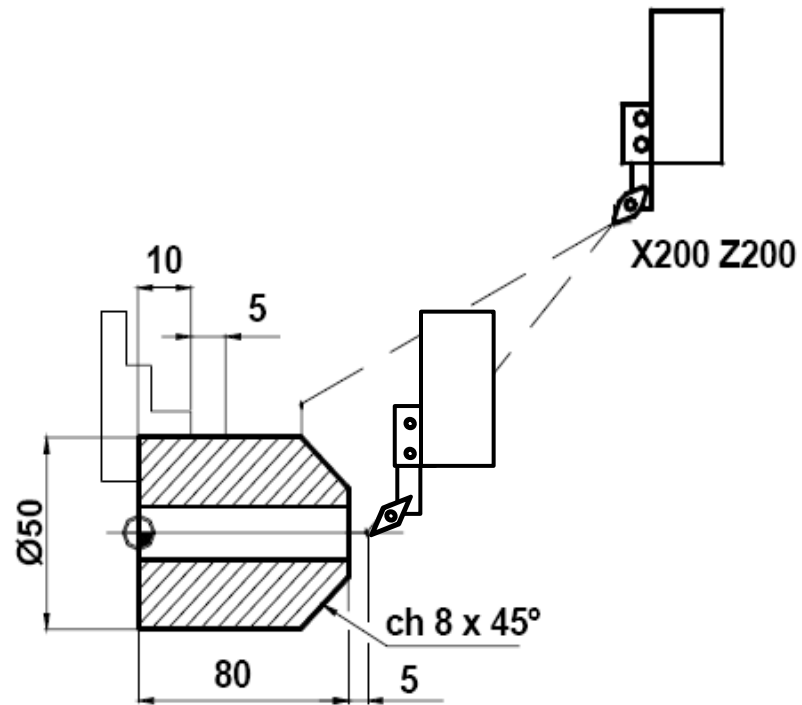
O0001 (Exercício 01);
N10 G21 G40;
N20 G00 X200 Z200 T00;
N30 T0101 (acabamento);
N40 G54;
N50 G96 S220;
N60 G92 S3500 M4

G92 – Define o sistema de coordenadas de trabalho

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

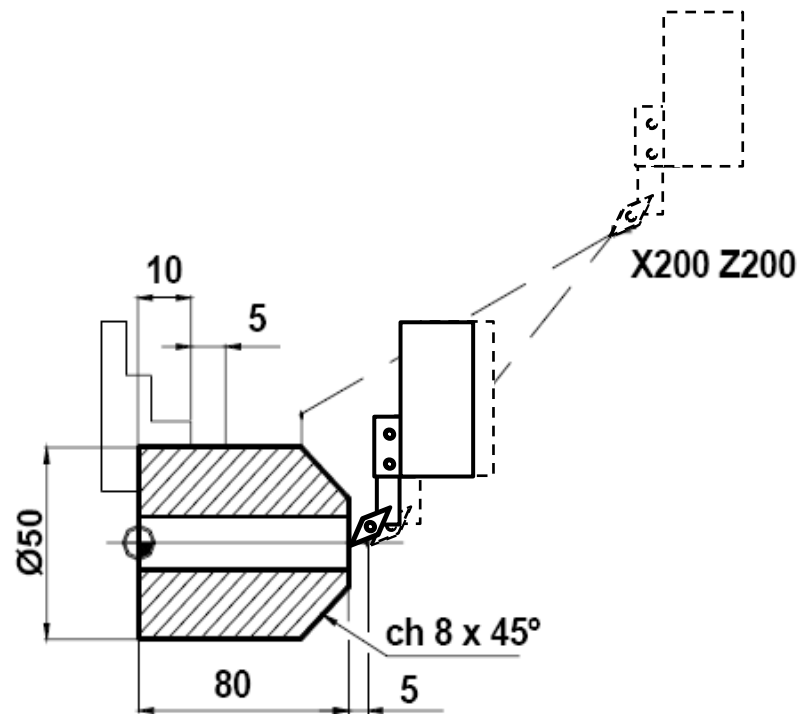
Tabelado

Exemplo de programa



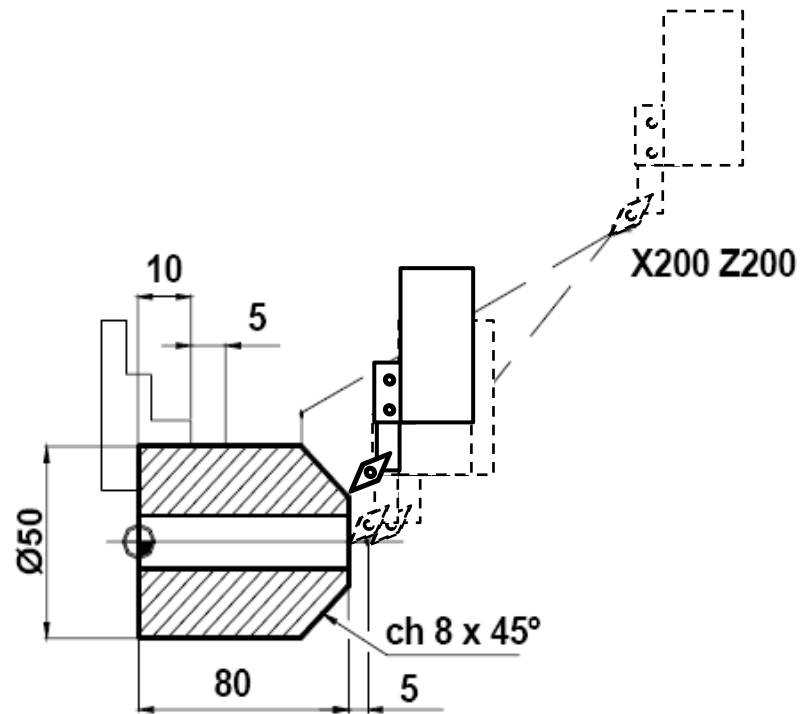
```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;
```

Exemplo de programa



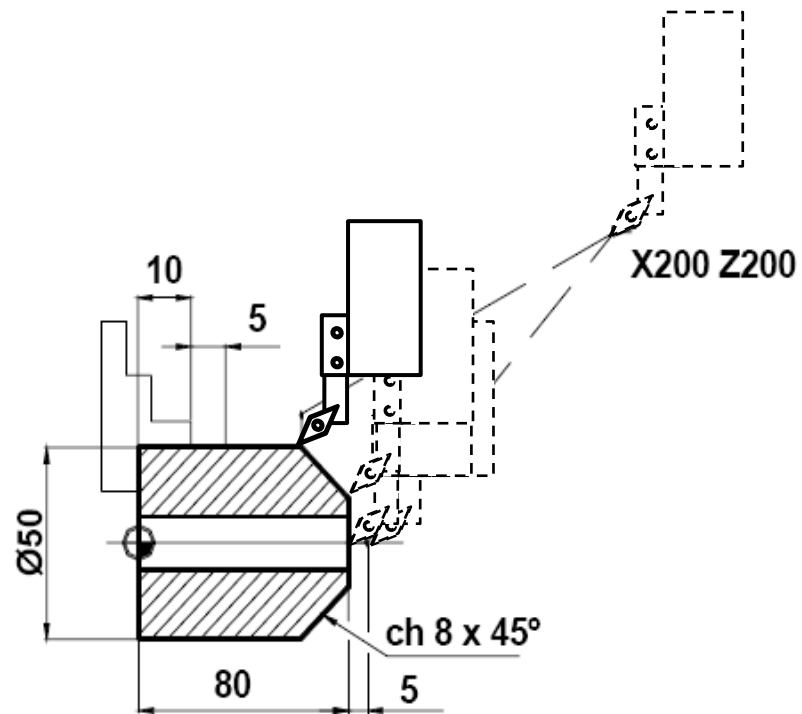
O0001 (Exercício 01);
N10 G21 G40;
N20 G00 X200 Z200 T00;
N30 T0101 (acabamento);
N40 G54;
N50 G96 S220;
N60 G92 S3500 M4;
N70 G00 X0 Z85;
N80 G01 Z80 F.5

Exemplo de programa



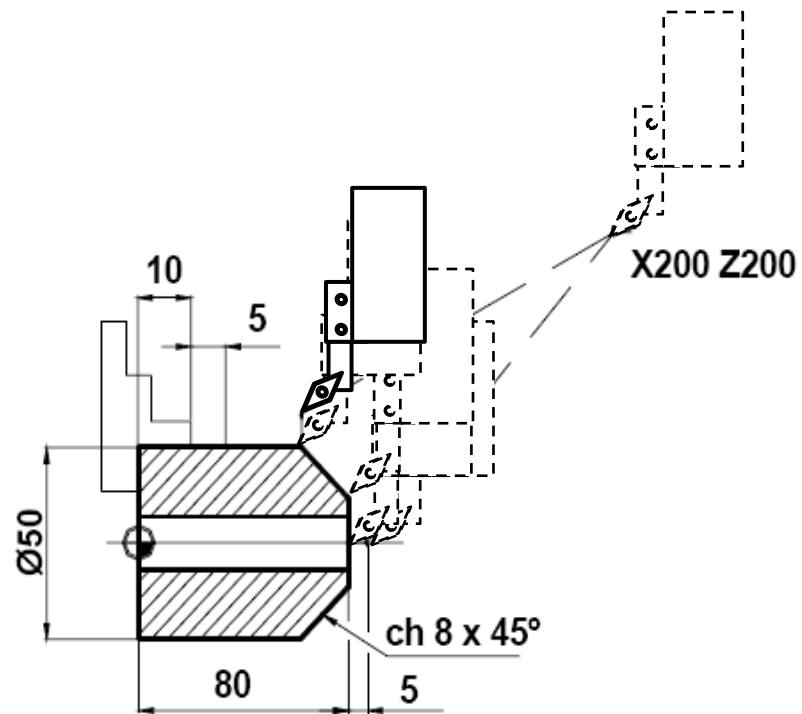
```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;  
N80 G01 Z80 F.5;  
N90 X34 F200
```


Exemplo de programa



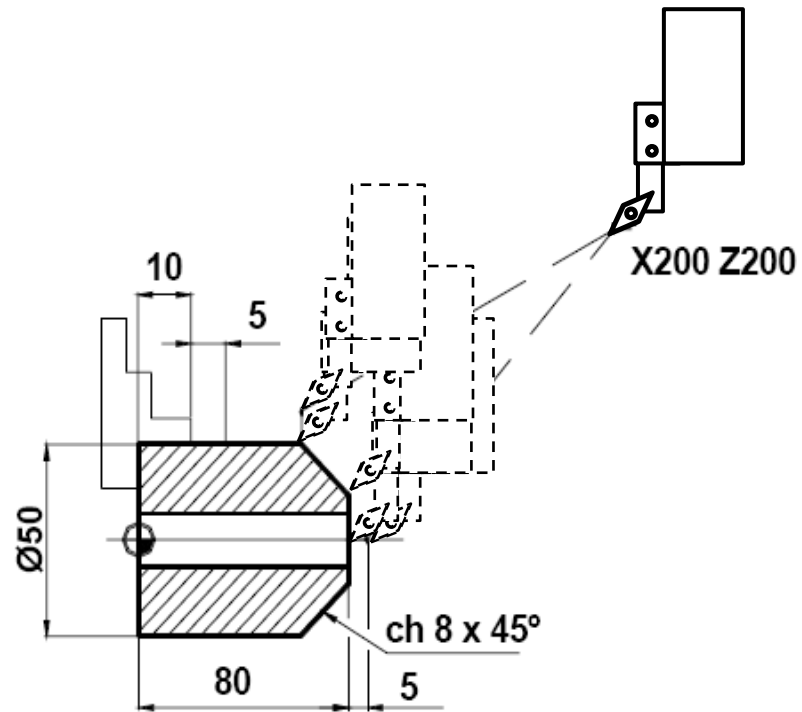
```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;  
N80 G01 Z80 F.5;  
N90 X34 F200;  
N100 X50 Z72;
```

Exemplo de programa



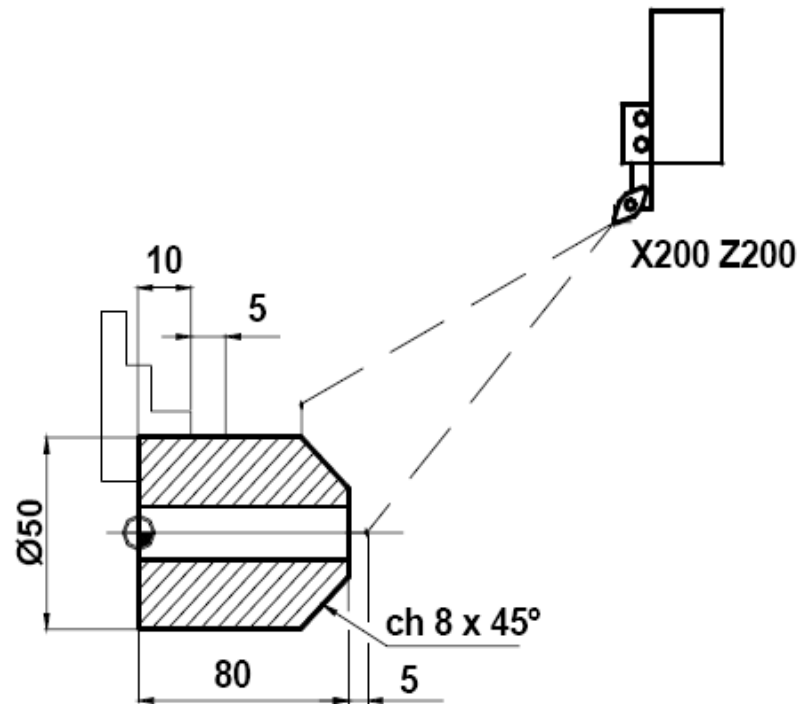
```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;  
N80 G01 Z80 F.5;  
N90 X34 F200;  
N100 X50 Z72;  
N110 X55;
```

Exemplo de programa



```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;  
N80 G01 Z80 F.5;  
N90 X34 F200;  
N100 X50 Z72;  
N110 X55;  
N120 G00 X200 Z200 T00
```

Exemplo de programa

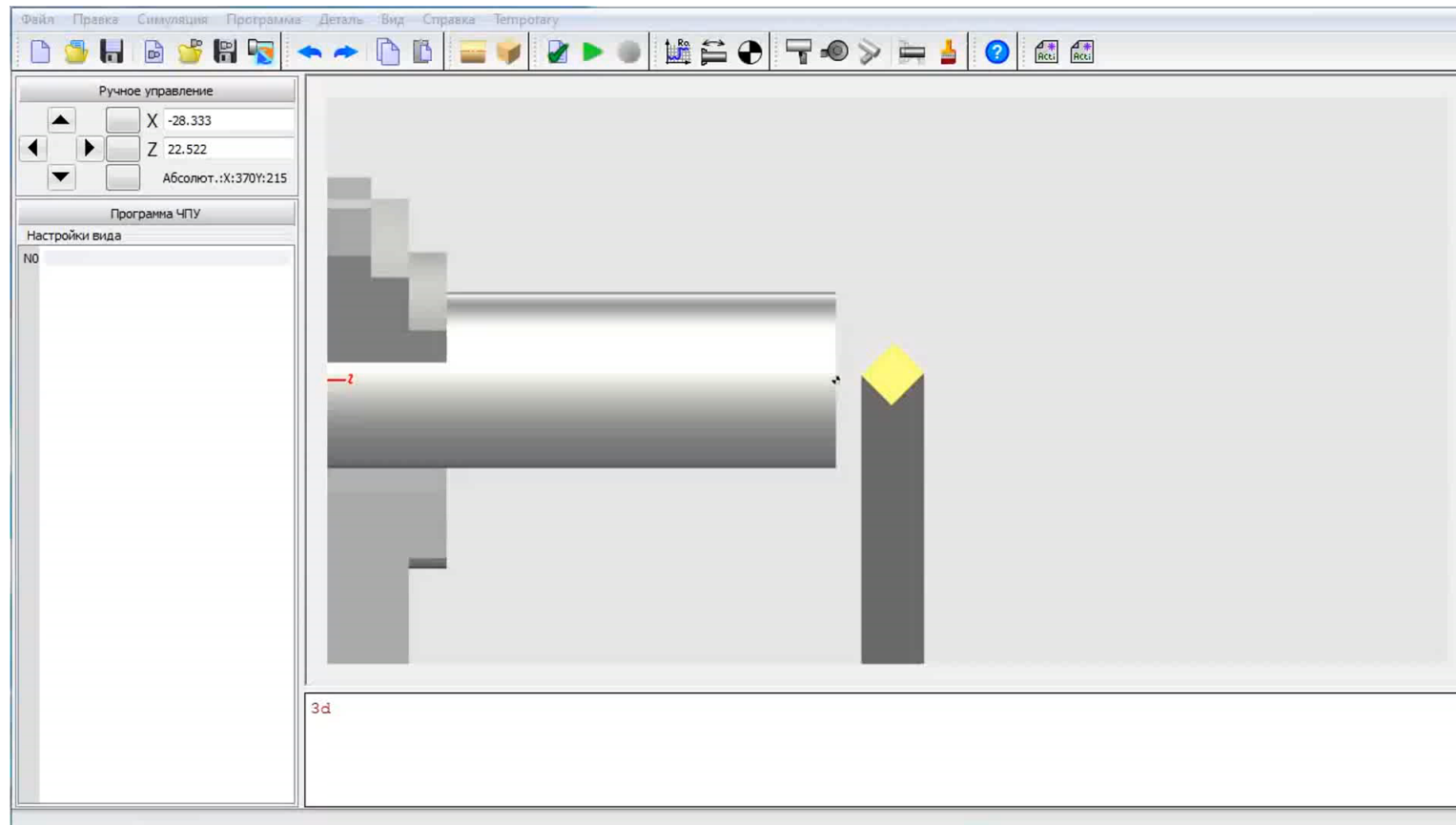


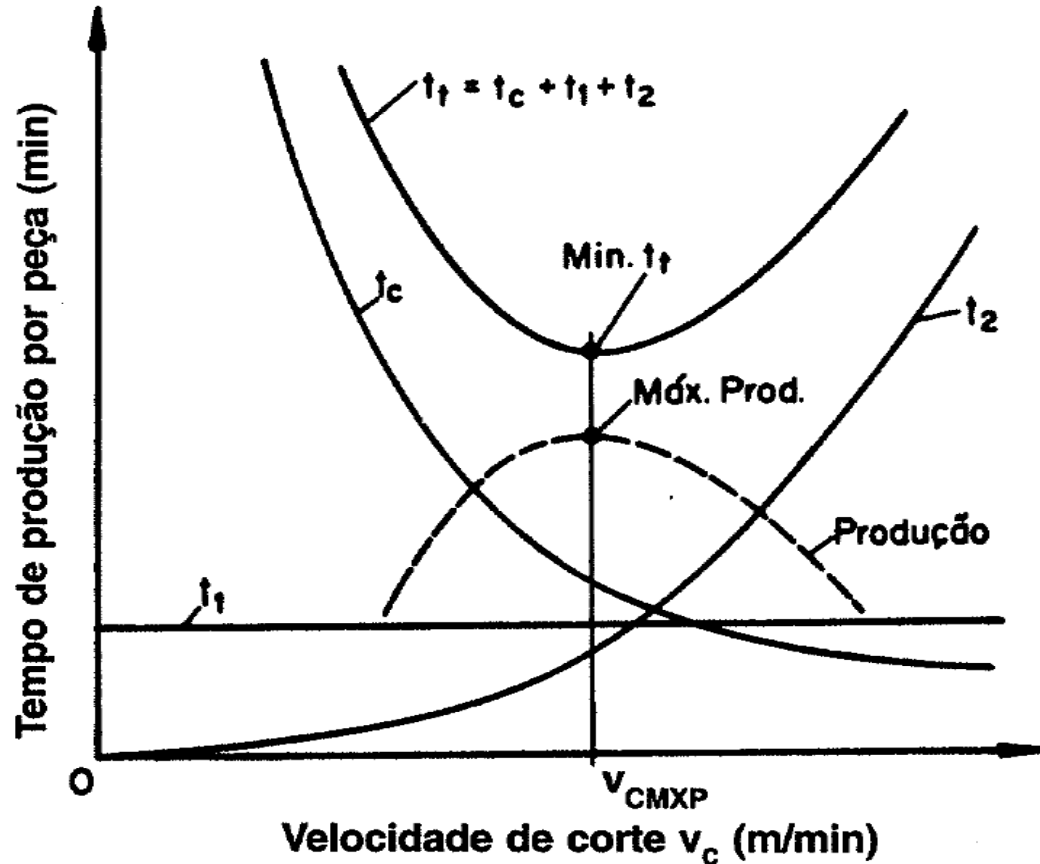
```
O0001 (Exercício 01);  
N10 G21 G40;  
N20 G00 X200 Z200 T00;  
N30 T0101 (acabamento);  
N40 G54;  
N50 G96 S220;  
N60 G92 S3500 M4;  
N70 G00 X0 Z85;  
N80 G01 Z80 F.5;  
N90 X34 F200;  
N100 X50 Z72;  
N110 X55;  
N120 G00 X200 Z200 T00;  
N130 M30;
```

M30 – Reset, Fim de programa

CNC – Simulator

Torno - <http://cnccsimulator.info/>





onde: t_c = tempo de corte, que diminui com o aumento da velocidade

t_1 = tempo improdutivo, referente à colocação, inspeção e retirada da peça, ção e afastamento da ferramenta, substituição da ferramenta e preparação para a usinagem de um lote, que é independente da velocidade

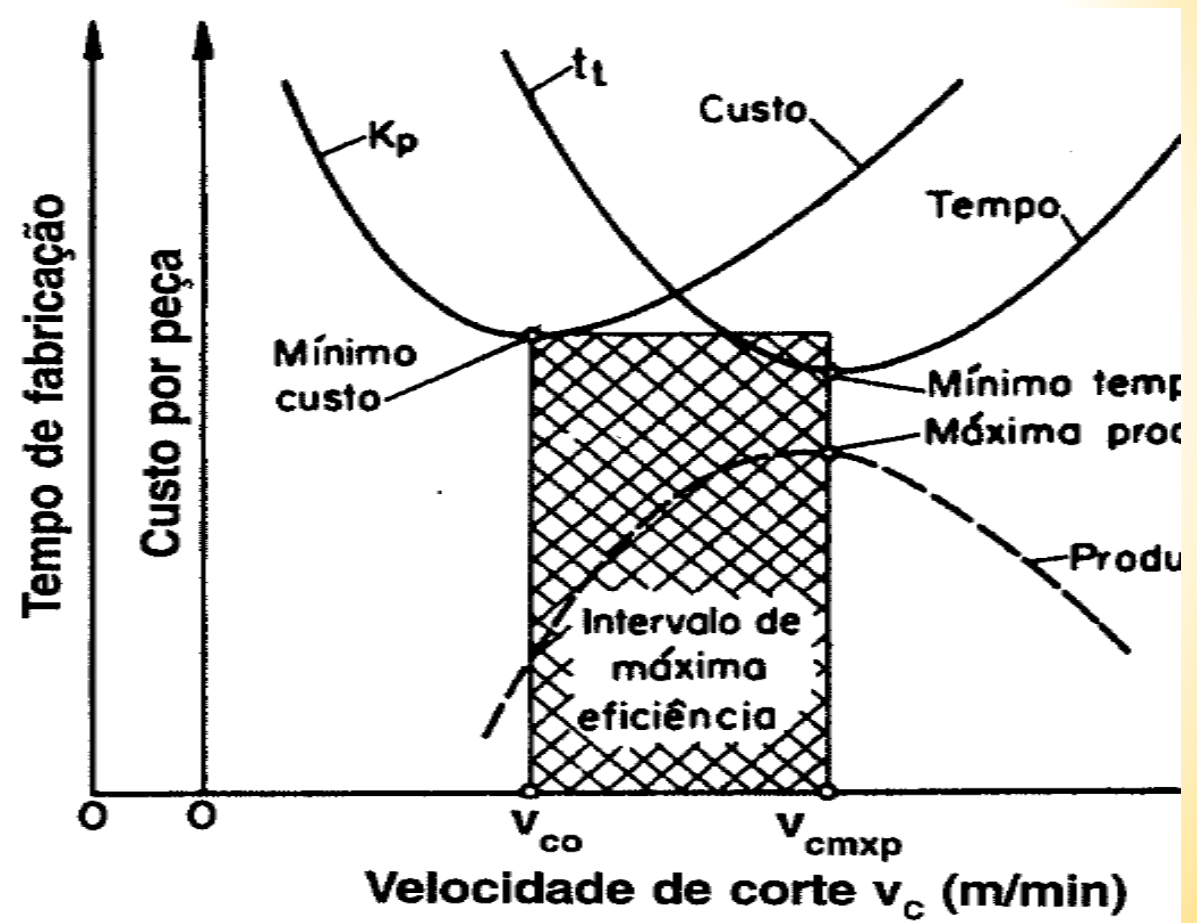
t_2 = tempo relacionado com a troca da ferramenta. Quanto maior a velocidade menor a vida da ferramenta e maior é o número de paradas da máquina substituição da mesma. Portanto, maior também esta parcela.

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2060275/mod_resource/content/1/Economia%20da%20Usinagem%20-%20Teoria.pdf



O intervalo de máxima eficiência está entre a velocidade de corte de mínimo (V_{co}) custo e máxima produção (V_{cmxp}).

Figura 8.3 - Intervalo de Máxima Eficiência





Referências

Tecnologia da usinagem dos materiais. Anselmo Eduardo Diniz, Francisco Carlos Marcondes e Nivaldo Lemo Copini . Artliber

Teoria da usinagem dos materiais. A.R. Machado, A.M. Abrão, M.B. da Silva e R.T. Coelho. Editora Blucher.

Kalpakajian

Fundamentos da Usinagem dos Metais (Dino Ferraresi)

e Agradecimentos ao Prof. Dr. Rodrigo Stoeterau



Sumário