



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

- Planejamento da Fabricação; Usinagem; Metrologia -

2020.1

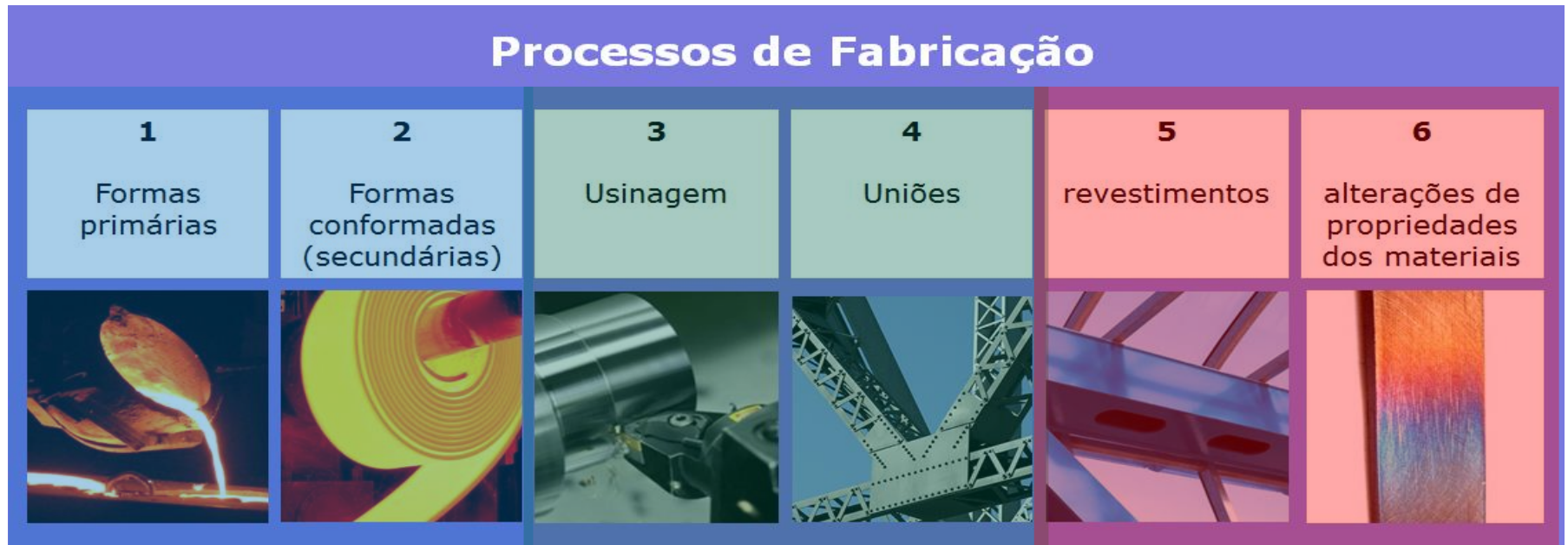


Tópicos da aula A02

- ✓ Fundamentos da usinagem
- Fundamentos da metrologia industrial
- Instruções para a aula de Laboratório 1



Divisão dos processos de fabricação - DIN8580 -



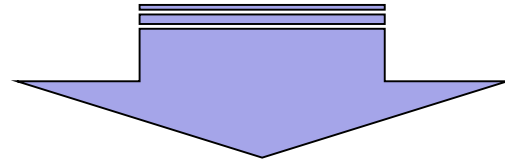
Processos primários - alteram as matérias primas, transformando-as em geometrias e formas básicas. Ex. fundição, laminação, forjamento

Processos secundários - alteram as geometrias e formas básicas, através da adição ou remoção de material.. Ex. Usinagem, estampagem, soldagem

Processos terciários - alteram as propriedades da peças de acordo com os requisitos de projeto e desempenho. Ex. Tempera, nitretação, pintura, texturização, outros



Introdução

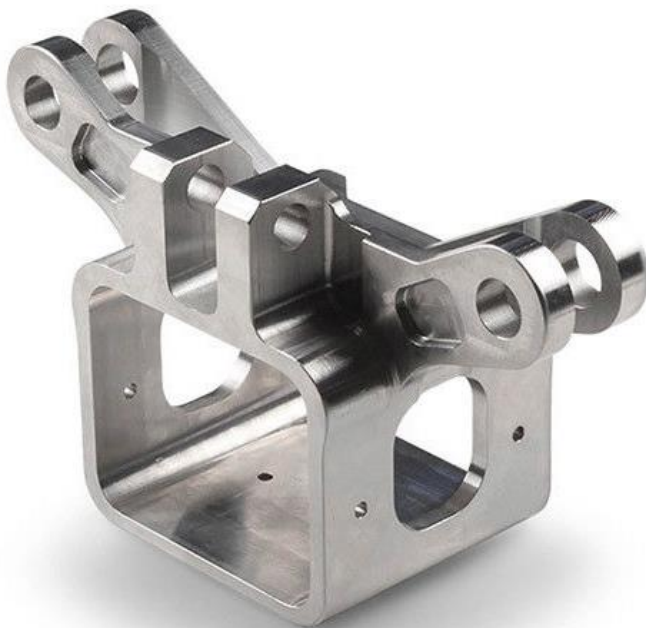


Definição - segundo a norma DIN 8580, o termo usinagem aplica-se a todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco.



Processos de usinagem

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





Processos de usinagem

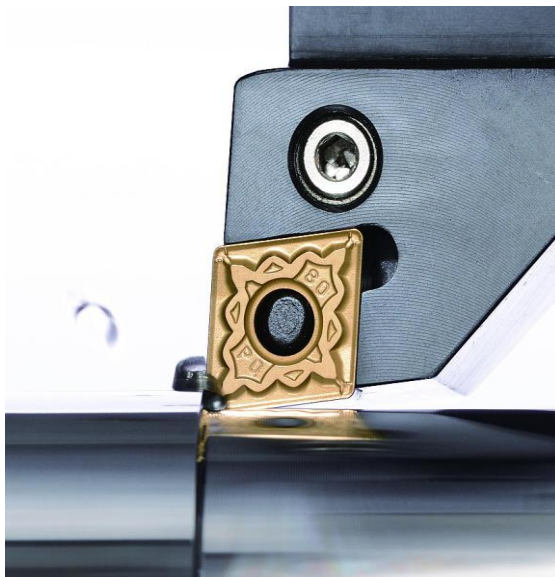
Princípio – com exceção dos processos não convencionais de usinagem, a remoção de material ocorre através da interferência entre ferramenta e peça. A ferramenta é constituída de um material de dureza e resistência muito superior ao material da peça





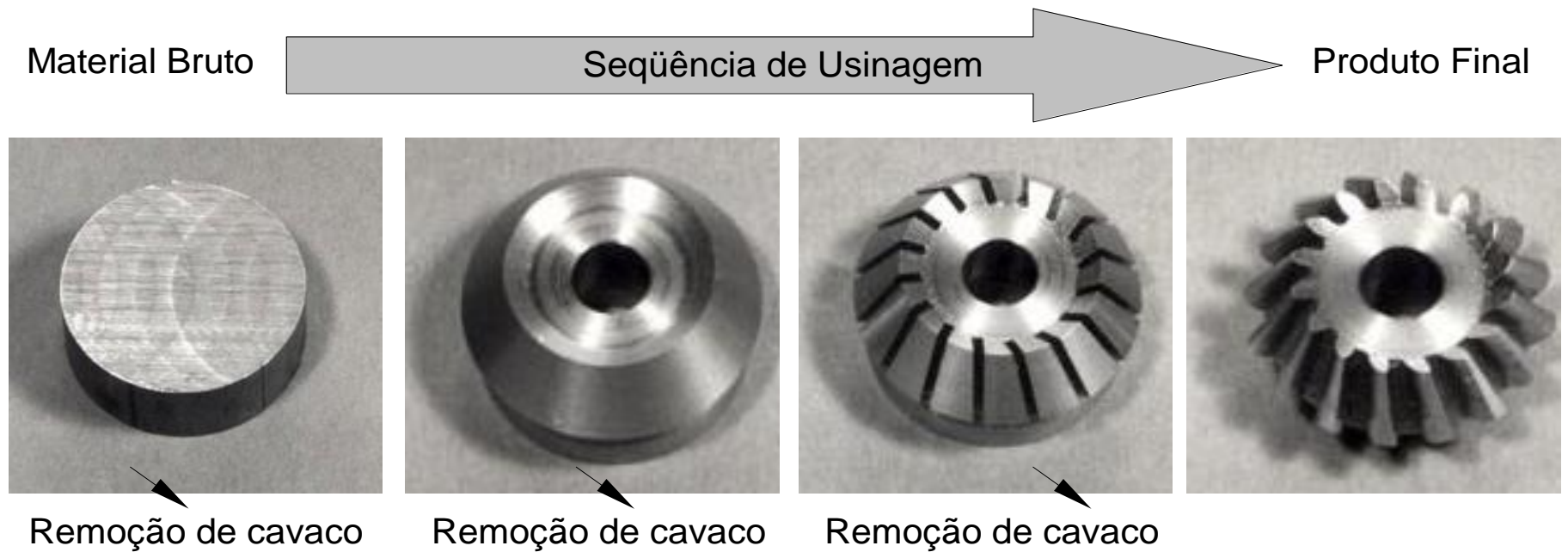
Processos de usinagem

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



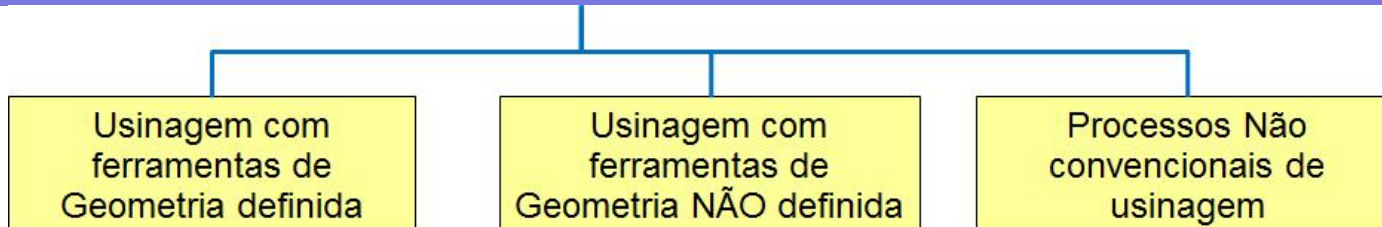


Processos de usinagem





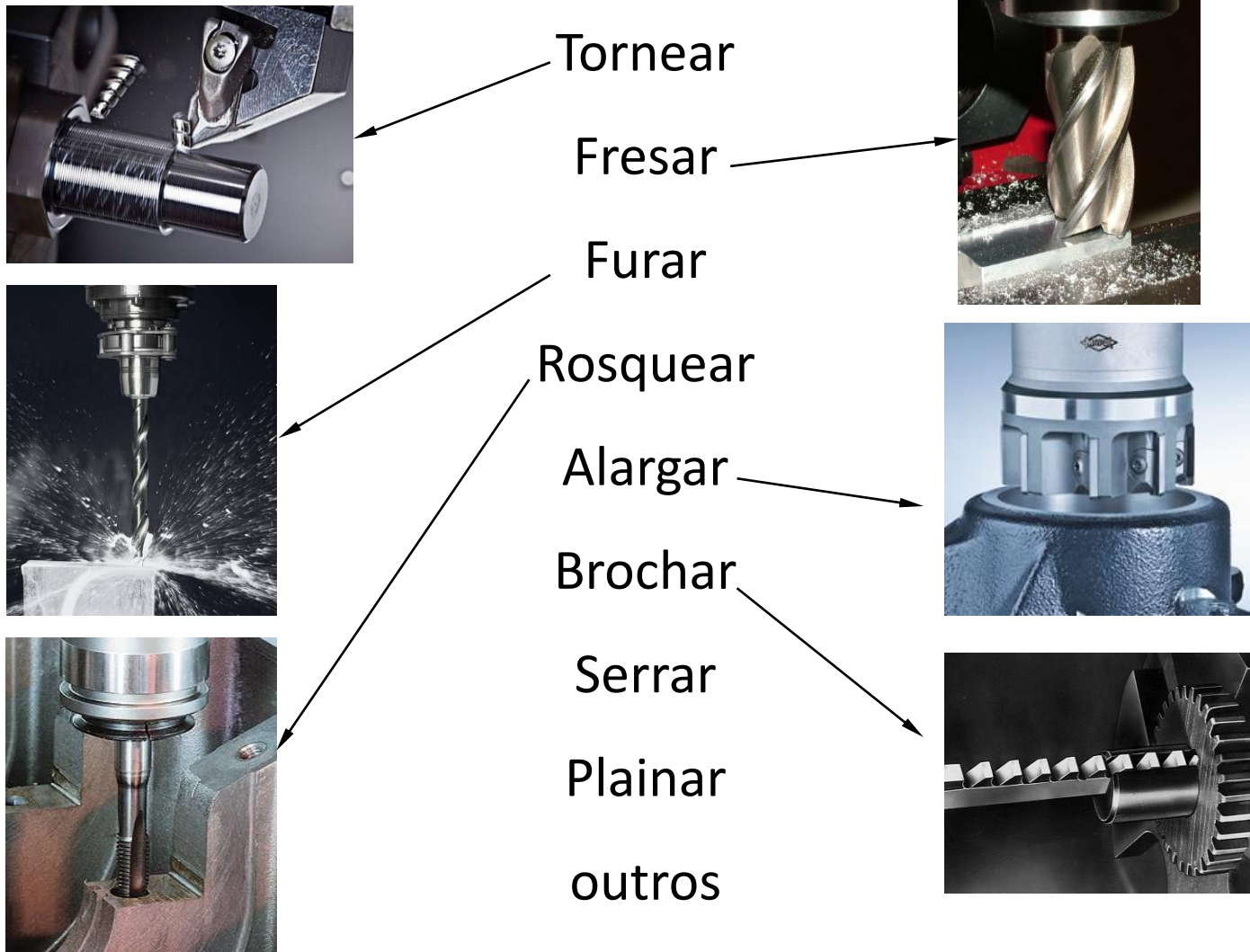
Divisão dos processos de fabricação





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem com Ferramentas de Geometria não Definida



Retificar

Brunir

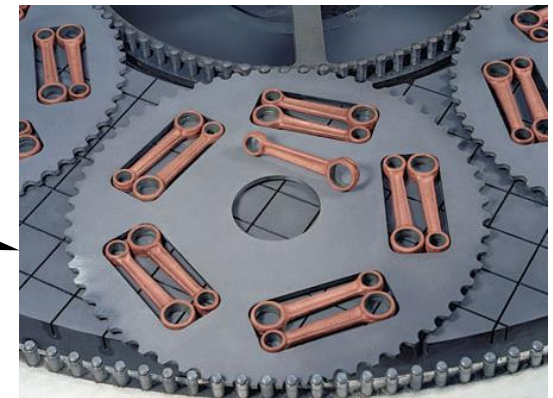
Lapidar

Lixar

Polir

Jatear

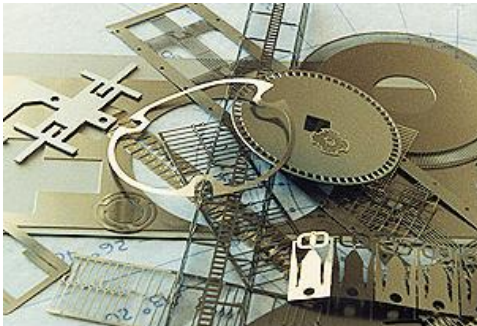
Tamborear, outros





Divisão dos processos de fabricação

Usinagem por Processos Não Convencionais



Remoção térmica

Remoção Química

Remoção Eletroquímica

Remoção por ultrassom

Remoção por jato d'água

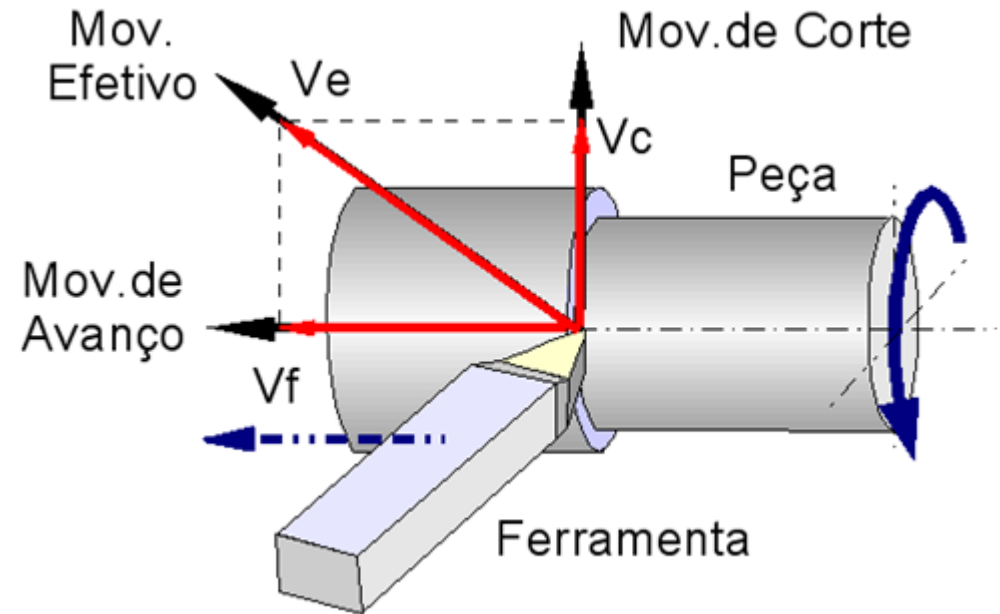
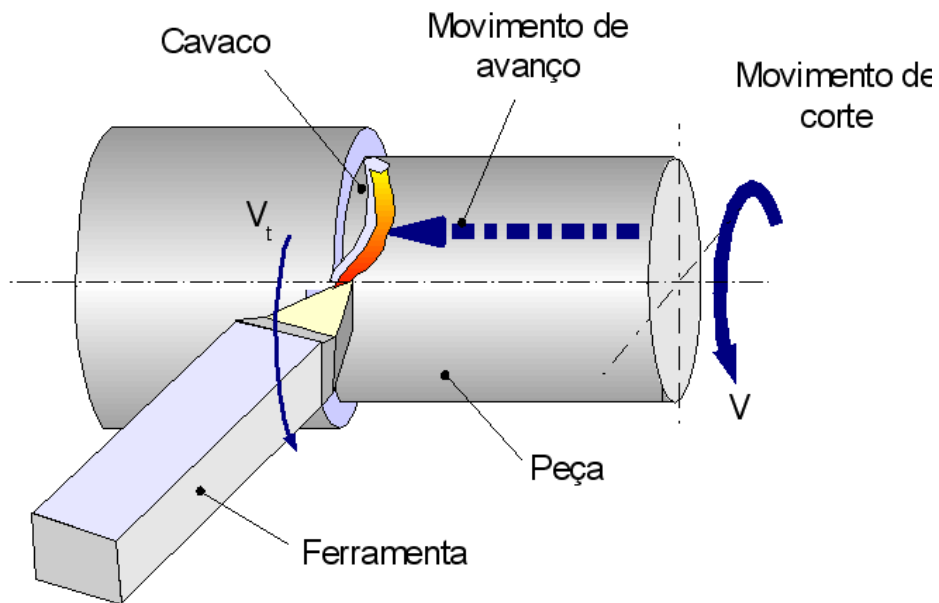
outros





Cinemática Geral dos Processos de Usinagem

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





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))

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

(Eq. 1)

→ Velocidade de Avanço (**V_f**)

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



Grandezas do processo de usinagem

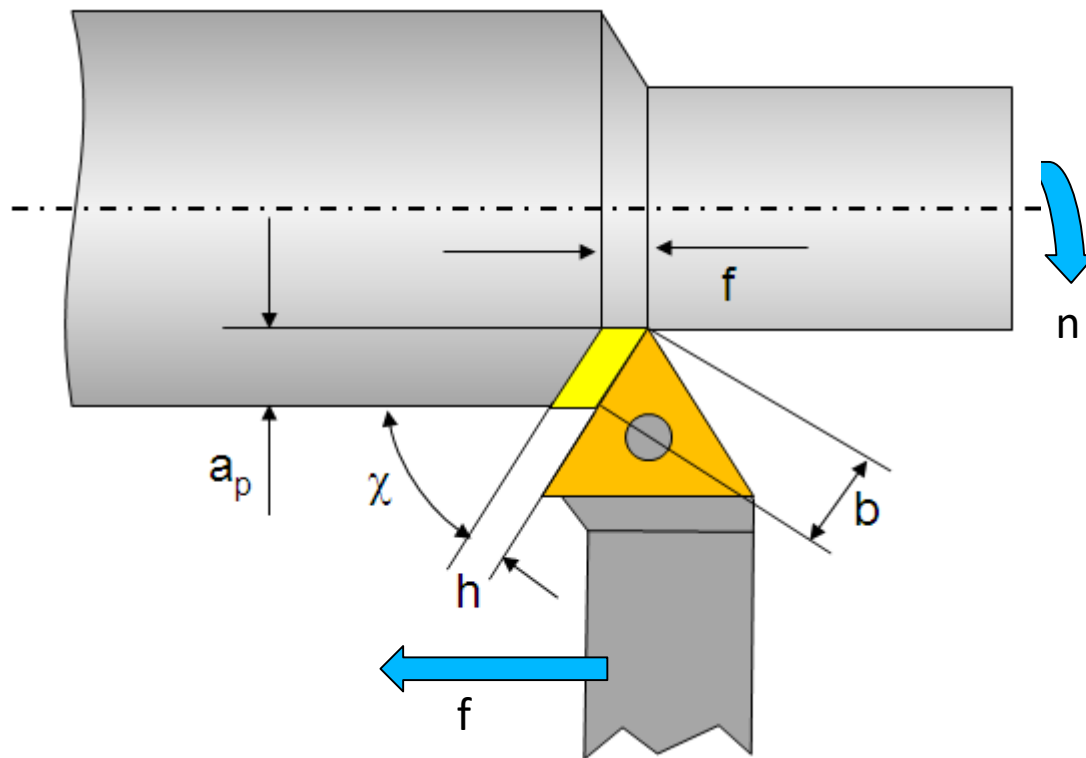
Velocidade de Corte (V_c)

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

- ⇒ 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

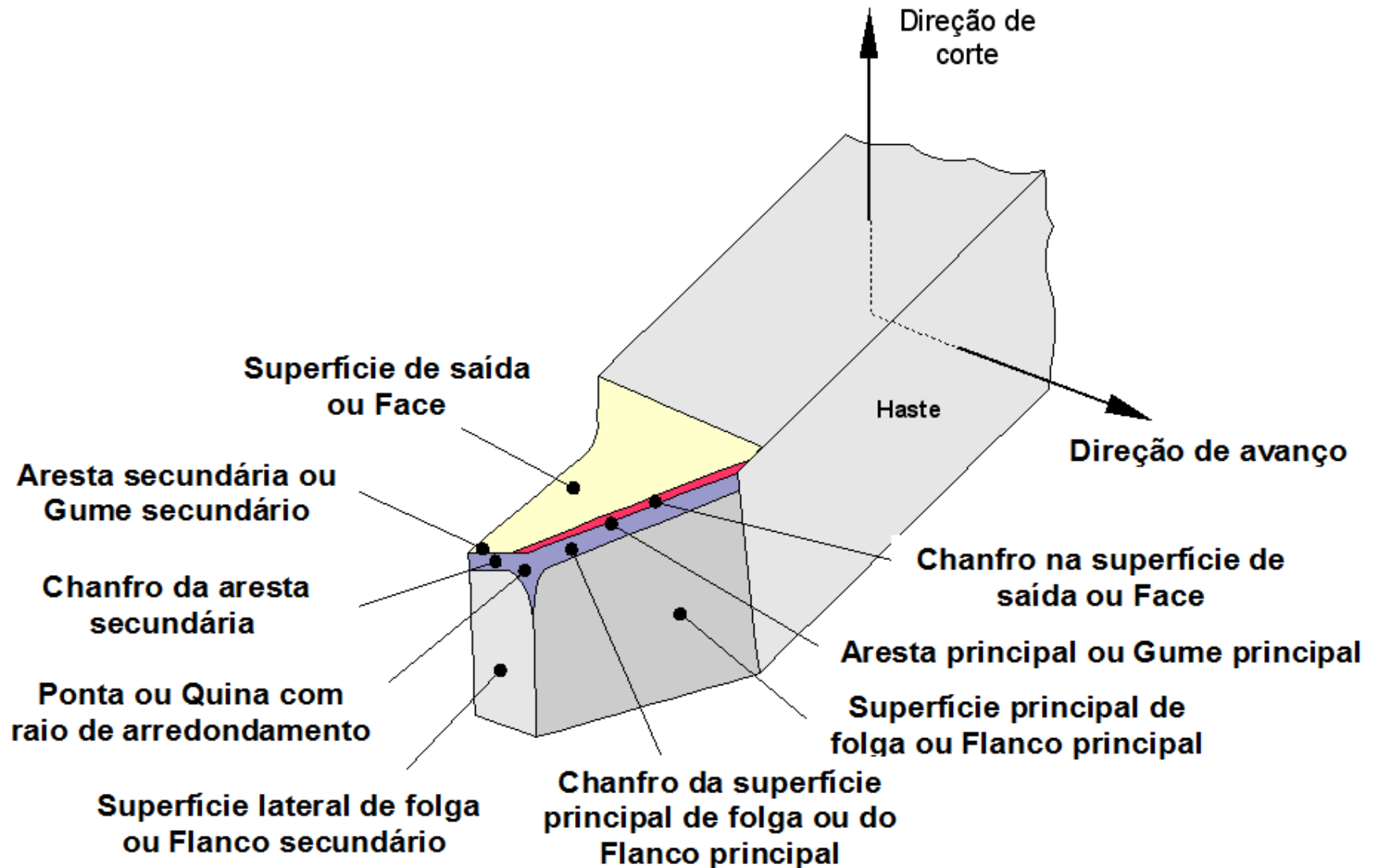


Onde:

- 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 $b * h$

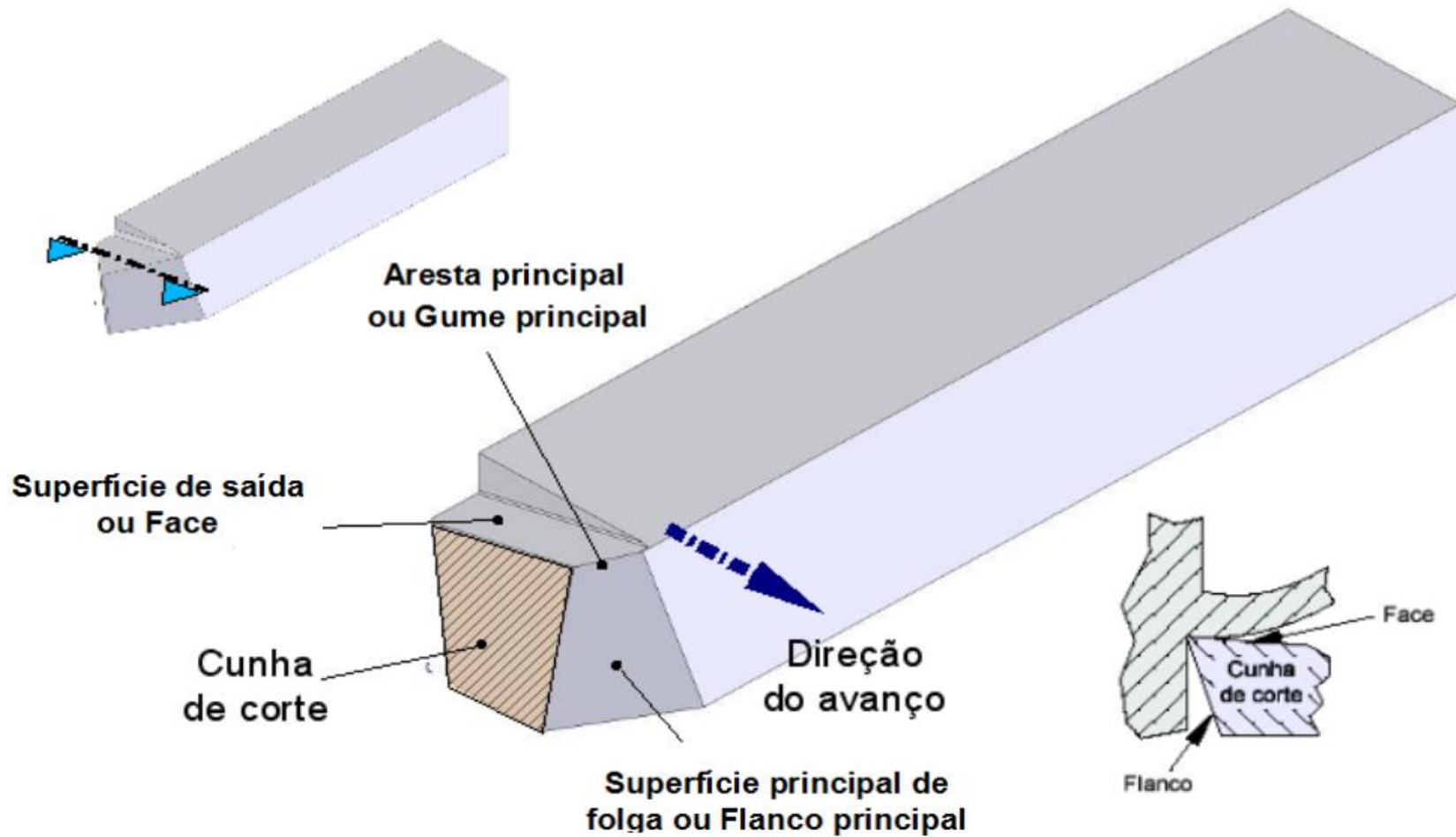


Denominações da ferramenta de corte





Cunha de corte





Geometria da Cunha de Corte

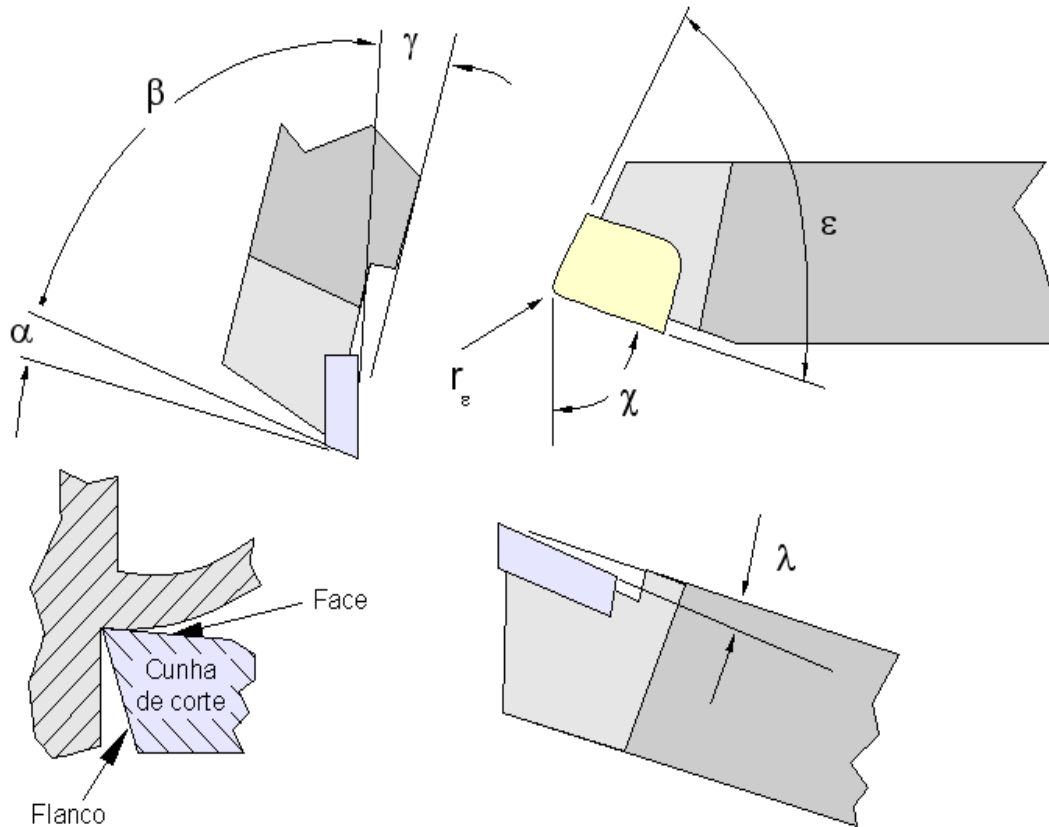
→ Para cada par material de ferramenta / material de peça têm uma geometria de corte apropriada ou ótima

A geometria da ferramenta influencia na:

- Formação do cavaco
- Saída do cavaco
- Forças de corte
- Desgaste da ferramenta
- Qualidade final do trabalho



Geometria da ferramenta de torneiar



α = ângulo de folga ou incidência

β = ângulo de cunha

γ = ângulo de saída

ε = ângulo de ponta ou quina

χ = ângulo de direção

λ = ângulo de inclinação

r_ε = raio de ponta ou quina

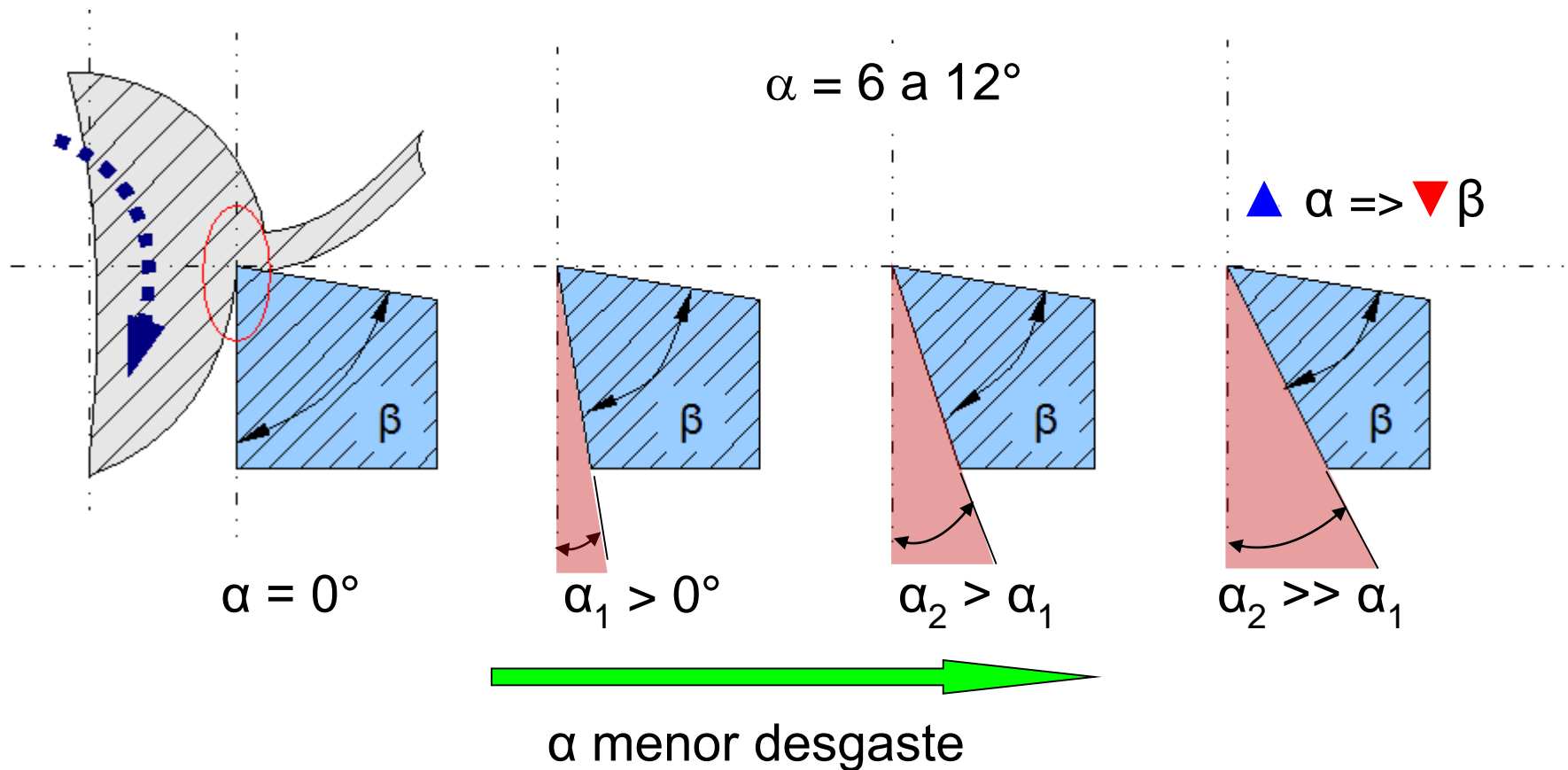
Escolha da geometria da ferramenta

- Material da ferramenta
- Material da peça
- Condições de corte
- Geometria da peça



Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

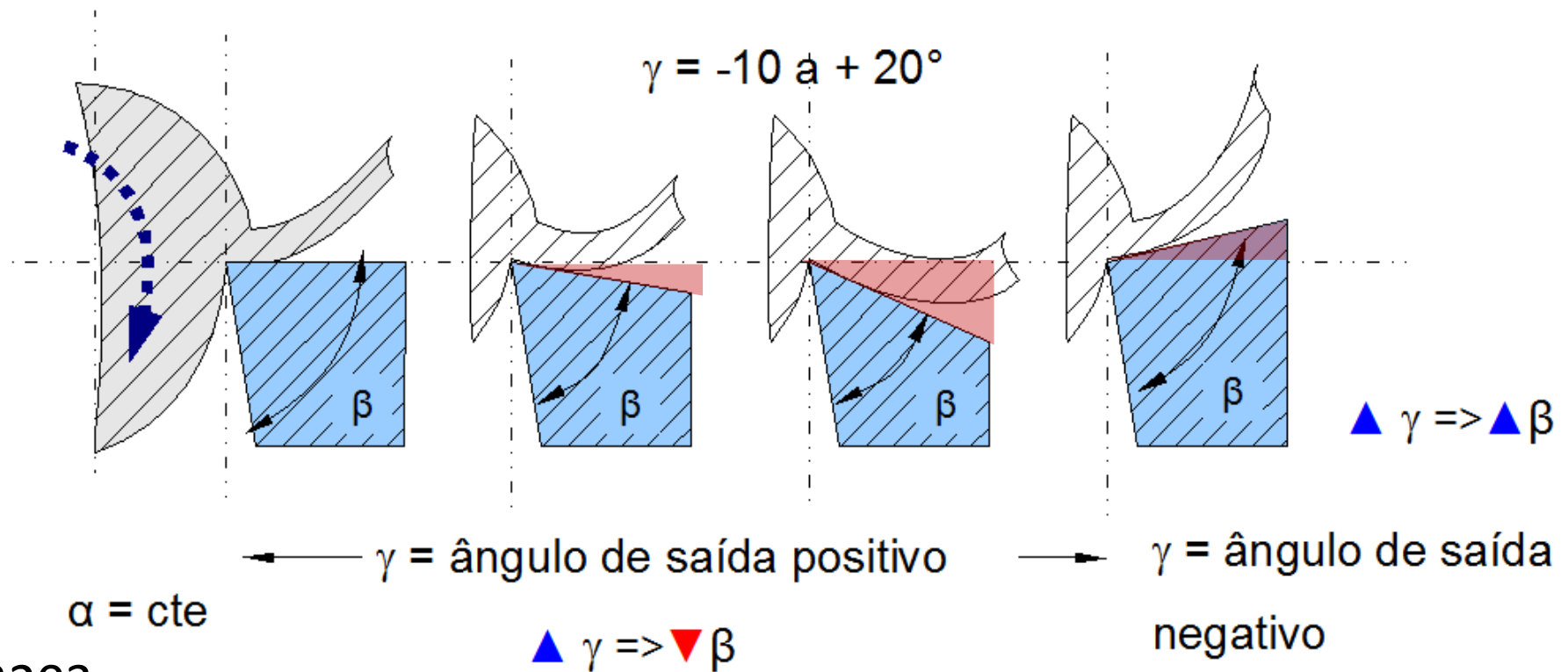
α = ângulo de folga ou incidência, reduz o atrito entre a superfície de folga e a peça e melhora a estabilidade da aresta de corte





Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

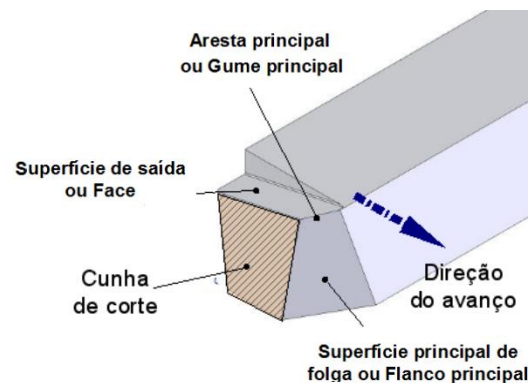
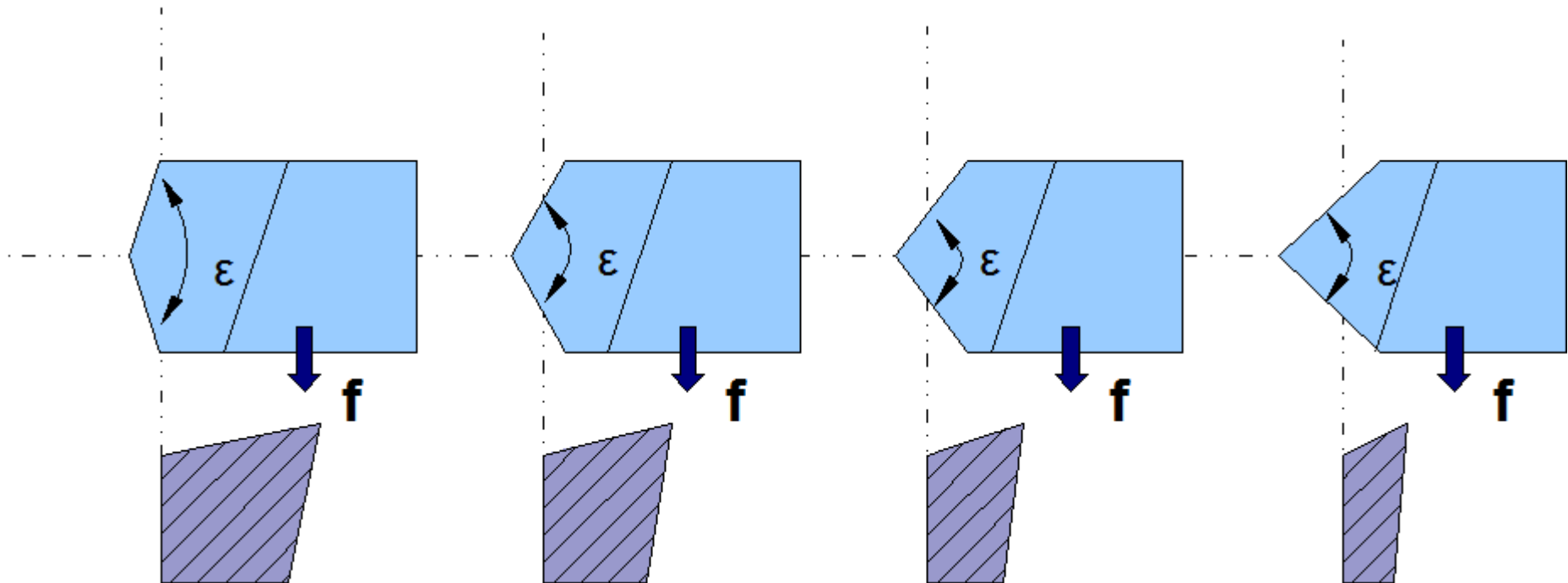
γ = ângulo de saída, melhora a formação do cavaco, melhora a superfície gerada na peça, reduz a força de corte (trabalho de dobramento do cavaco), facilita o escoamento do cavaco sobre a face





Influências da Geometria da ferramenta de tornear

ϵ = ângulo de ponta ou quina

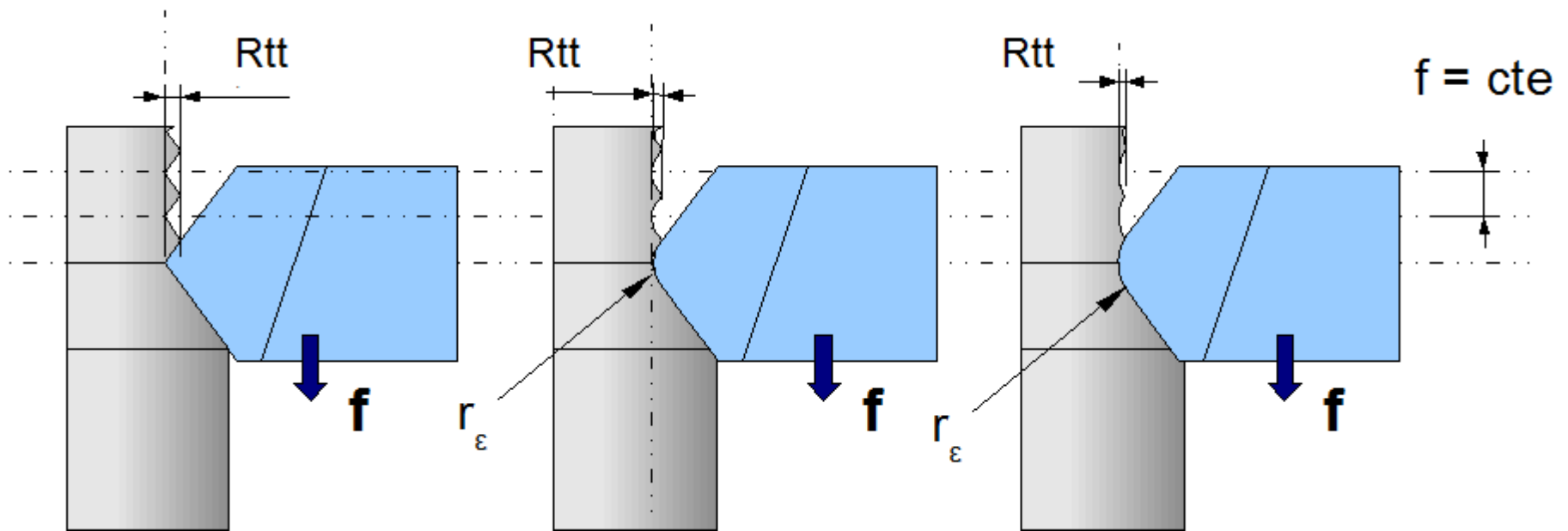


▲ ϵ => ▼ resistência da cunha



Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

r_ϵ = raio de ponta ou quina



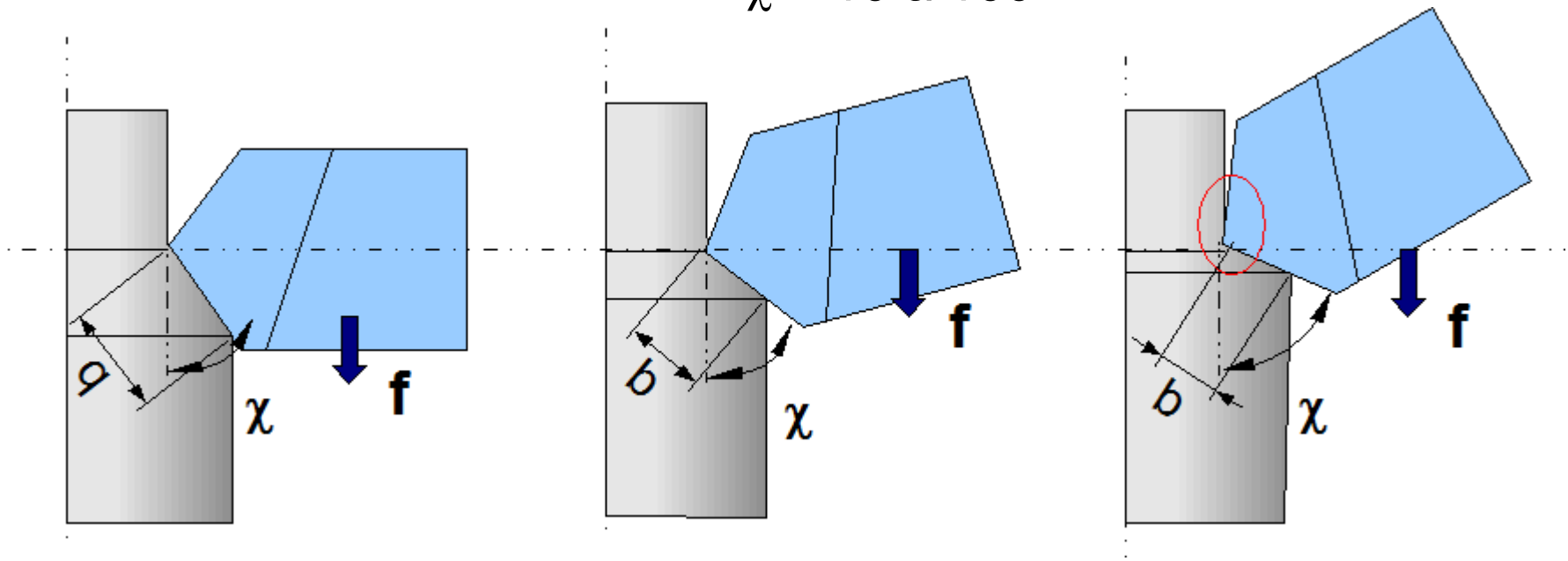
- ▲ r_ϵ = melhora na qualidade superficial
- ▲ r_ϵ = aumento do atrito
- ▲ r_ϵ = aumento das vibrações



Influências da Geometria da ferramenta de torneiar

χ = ângulo de direção

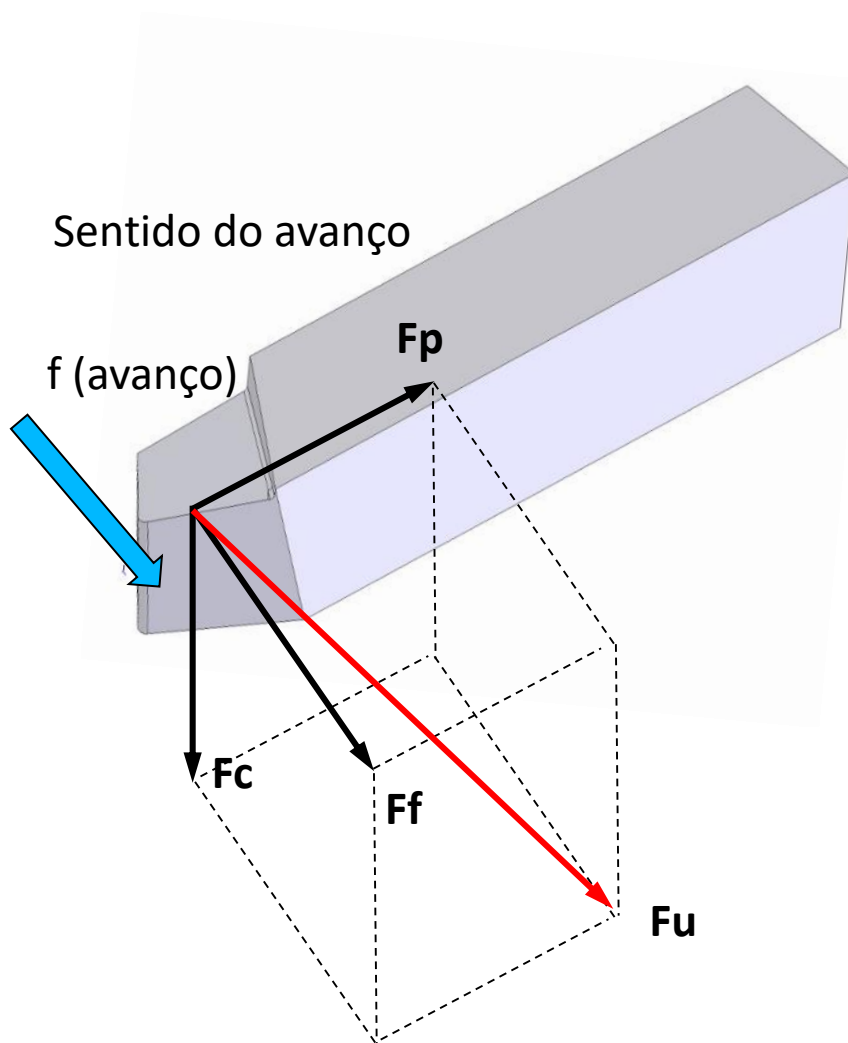
$\chi = 10$ a 100°



- ▲ $\chi \Rightarrow$ ▲ largura de usinagem – seção de usinagem
- ▲ $\chi \Rightarrow$ atrito do gume secundário contra a superfície gerada
- ▲ $\chi \Rightarrow$ redução de vibrações
- ▲ $\chi \Rightarrow$ redução de forças

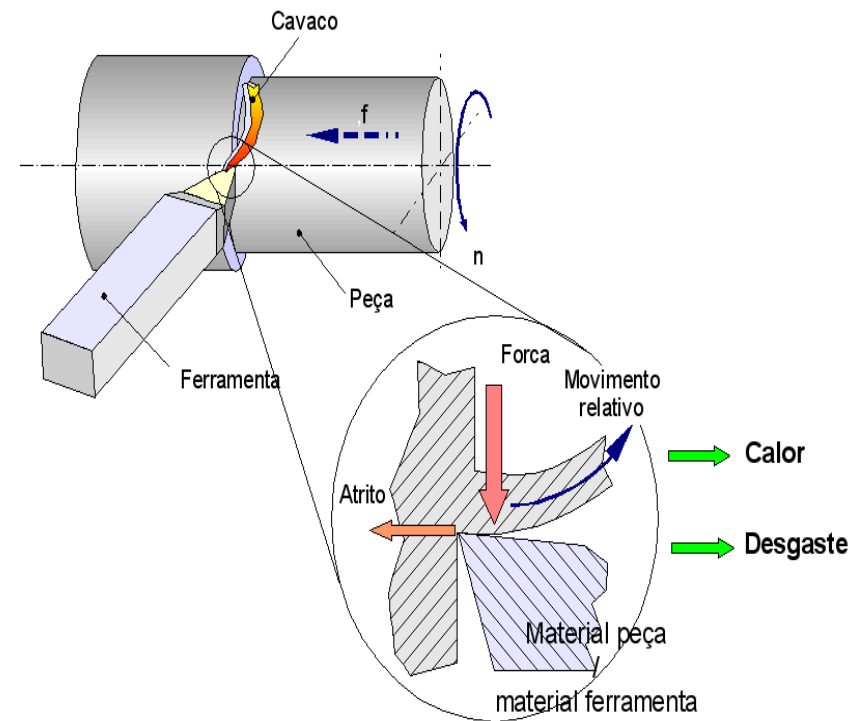


Forças na usinagem



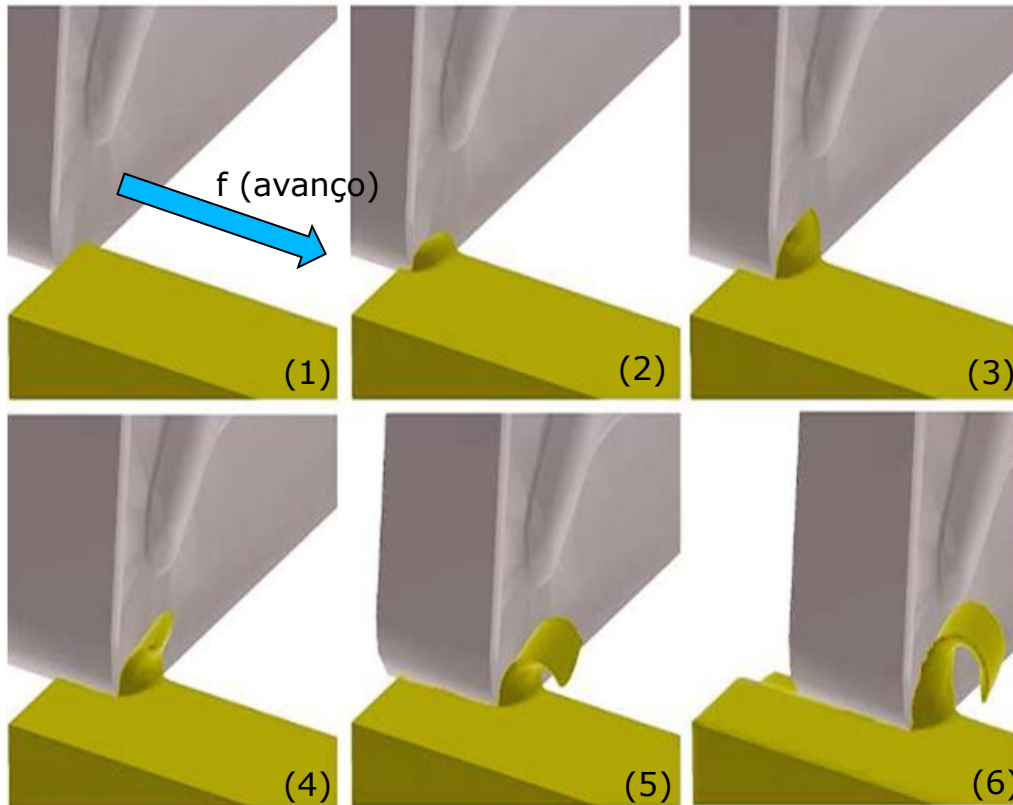
Onde:

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





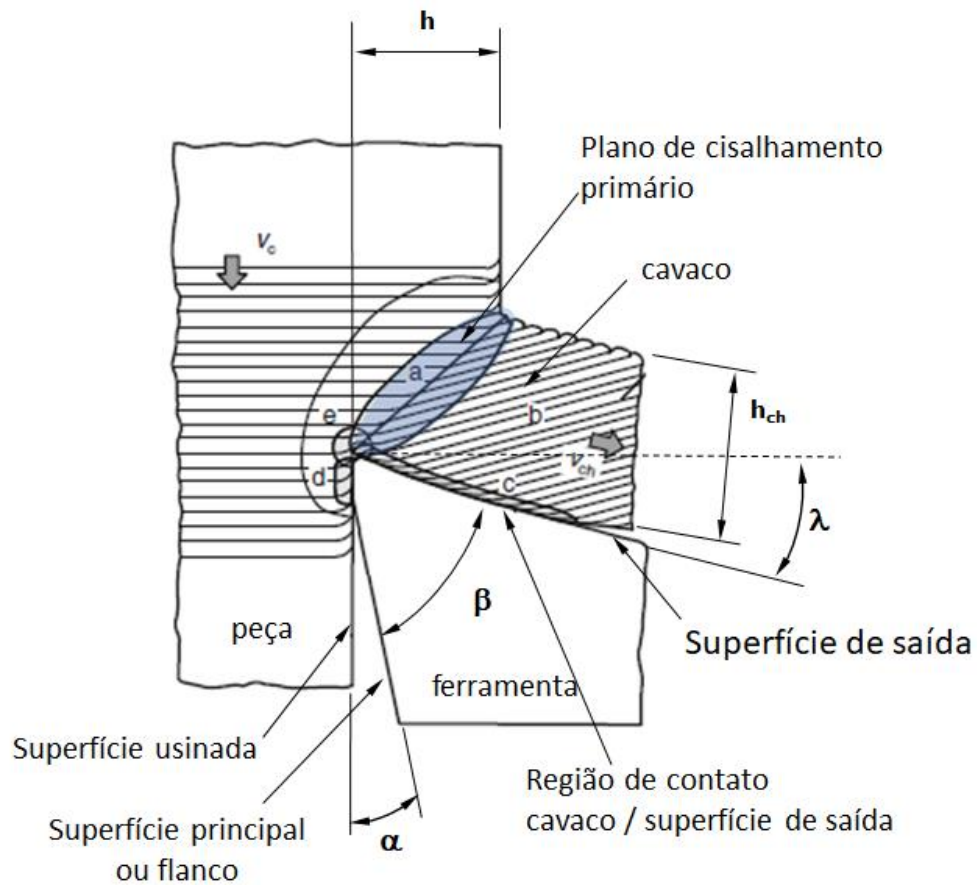
Formação do cavaco



- 1) Contato inicial ferramenta/peça
- 2) Deformação elástica e plástica
- 3) Deformação plástica além do limite de escoamento, início da ruptura
- 4) Formação de frente de cisalhamento
- 5) e 6) cavaco plenamente desenvolvido



Formação do cavaco



Onde:

α - ângulo de incidência

β - ângulo de cunha

γ - ângulo de saída

h - espessura de usinagem

h_{ch} - espessura do cavaco ou de corte

λ - índice de esbeltes do cavaco

V_c - velocidade de corte

V_{ch} - velocidade de saída do cavaco

a) Zona de cisalhamento primária

b) Estrutura do cavaco

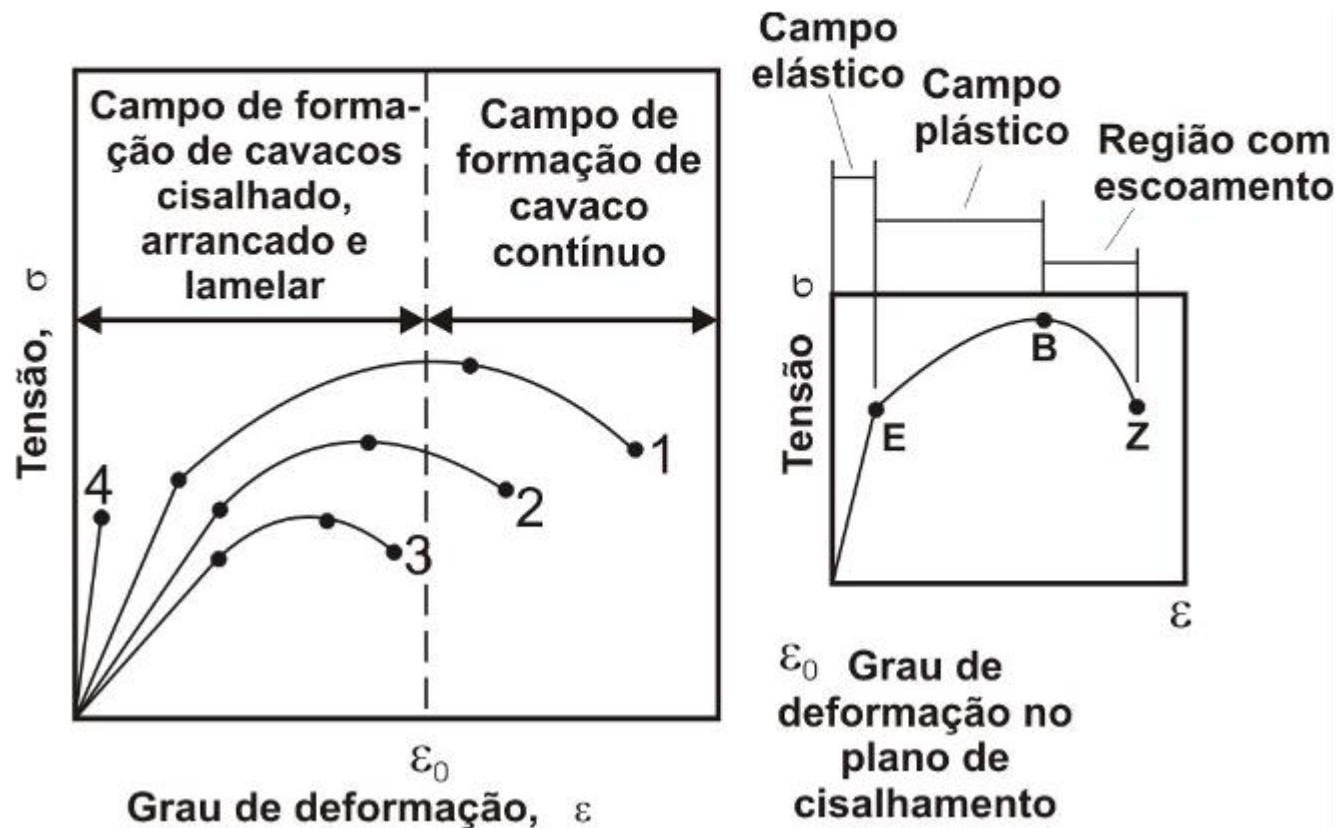
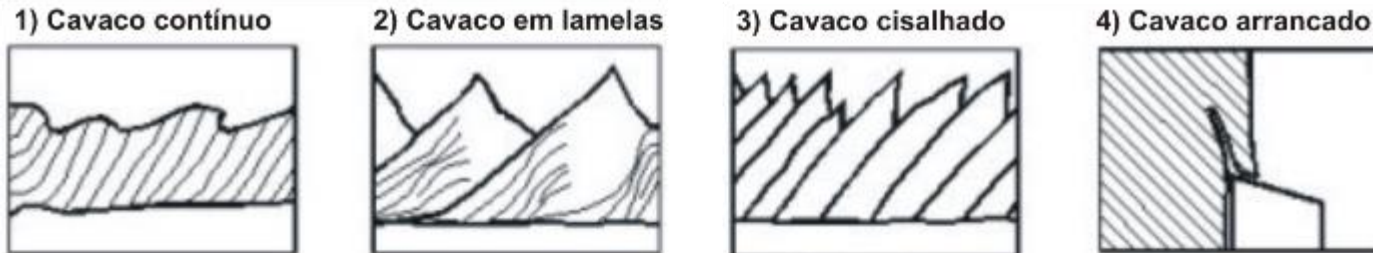
c) Separação cavaco/superfície de saída

d) Região de deformação na aresta de corte

e) região de cisalhamento na aresta de corte



Relação ente propriedades dos materiais e cavaco



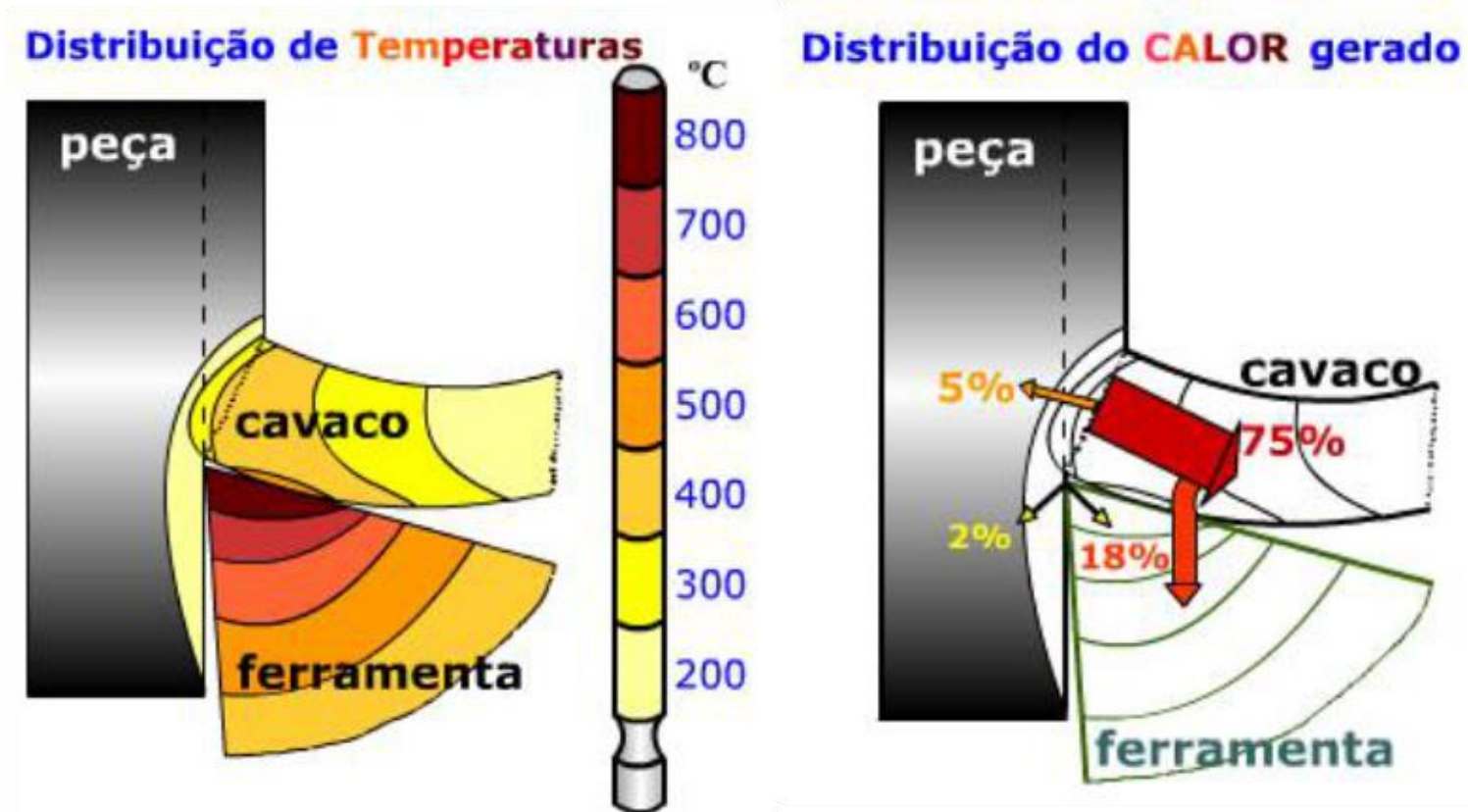


Classificação dos cavacos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMARANHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLÍQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCADOS
desfavorável			médio		favorável			médio	



Distribuição de calor e temperatura no cavaco





Materiais de ferramentas de corte





Requisitos para materiais de ferramentas

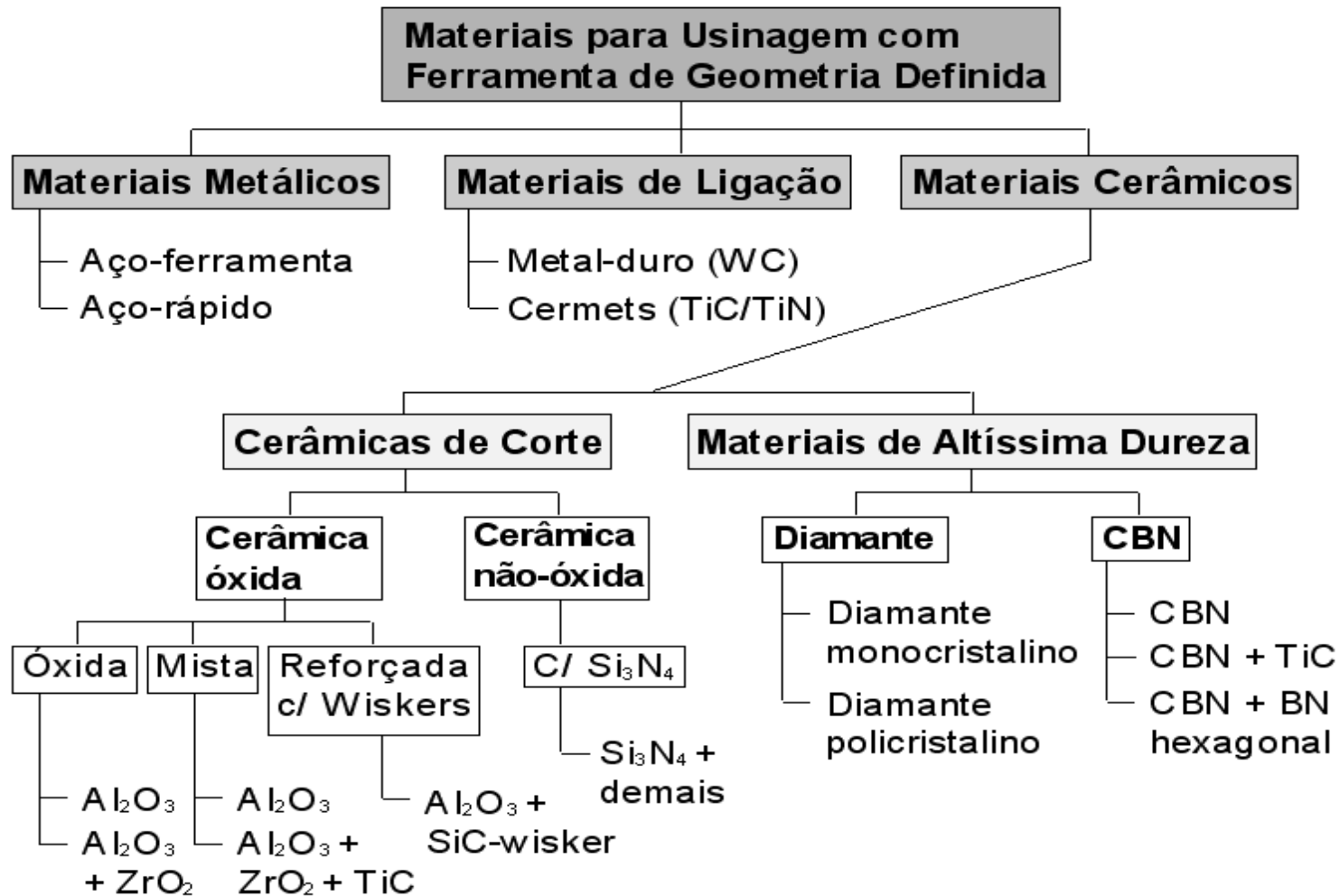
- ferramentas de corte
- Resistência à compressão
- Dureza
- Resistência à flexão e tenacidade
- Resistência do gume
- Resistência interna de ligação
- Resistência a quente
- Resistência à oxidação
- Pequena tendência à fusão e caldeamento
- Resistência à abrasão
- Condutibilidade térmica, calor específico e expansão térmica



Nenhum material de ferramenta possui todas estas características

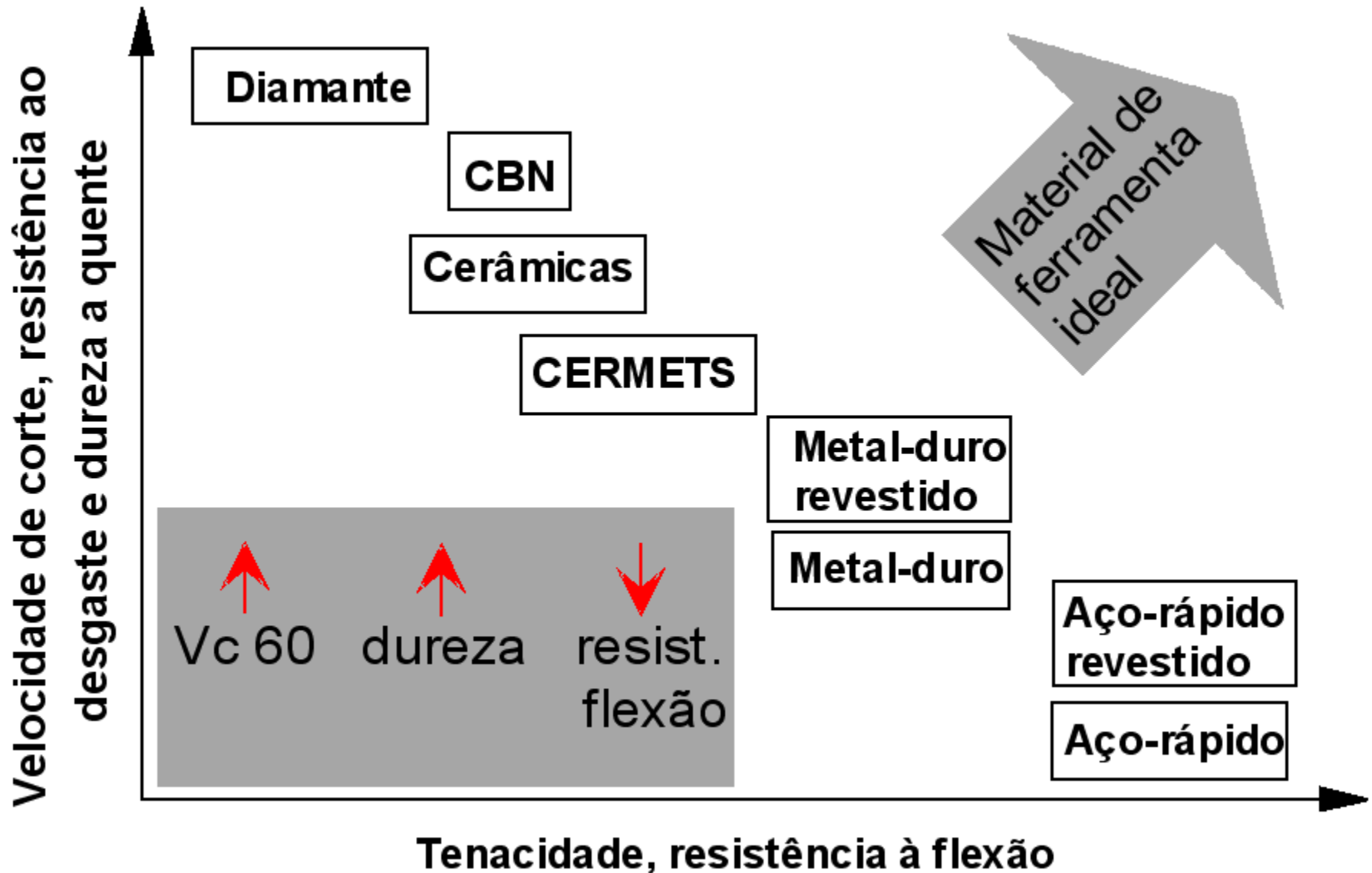


Classificação dos materiais de ferramentas de usinagem



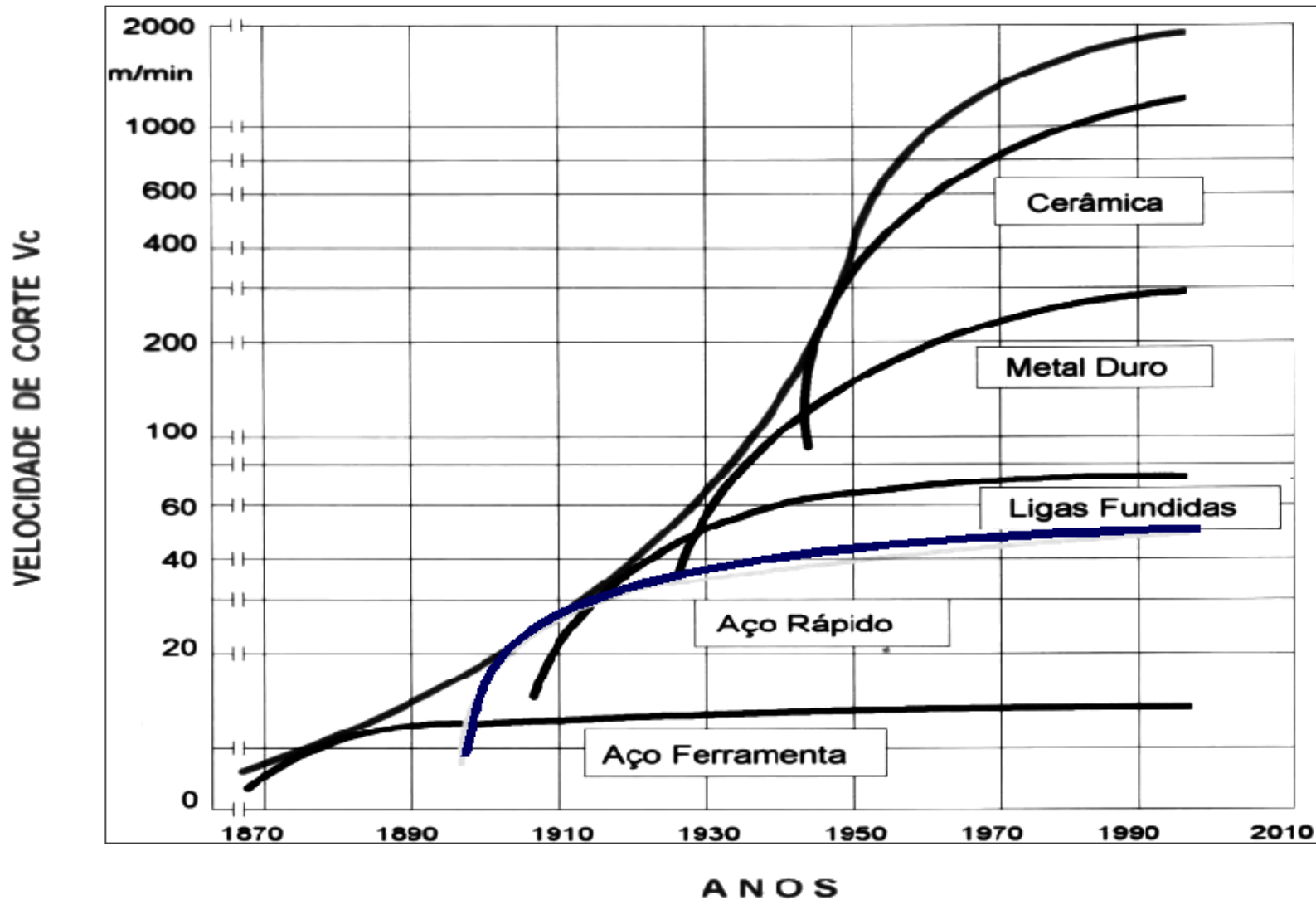


Propriedades dos materiais de ferramentas





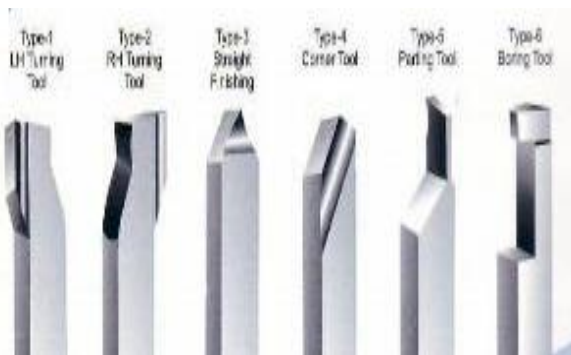
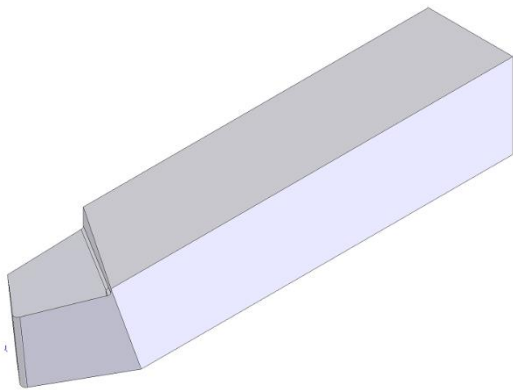
Propriedades dos materiais de ferramentas



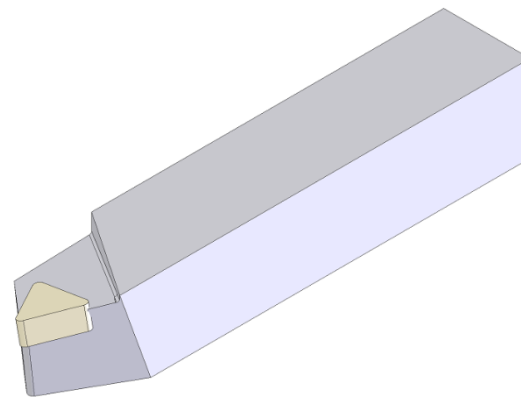


Formas usuais das ferramentas

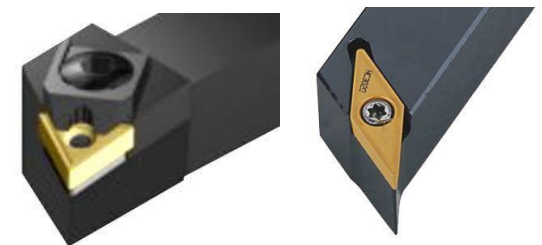
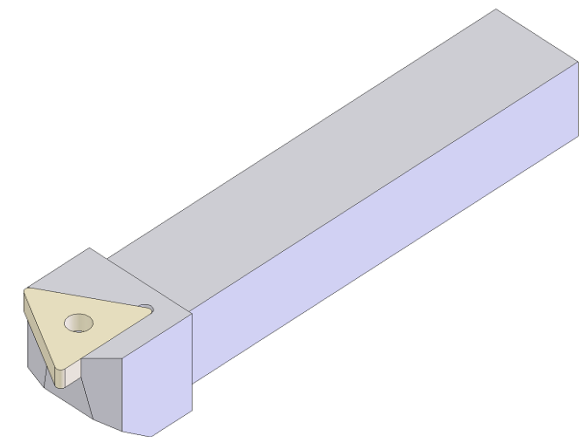
Integrais



Insertos brasados



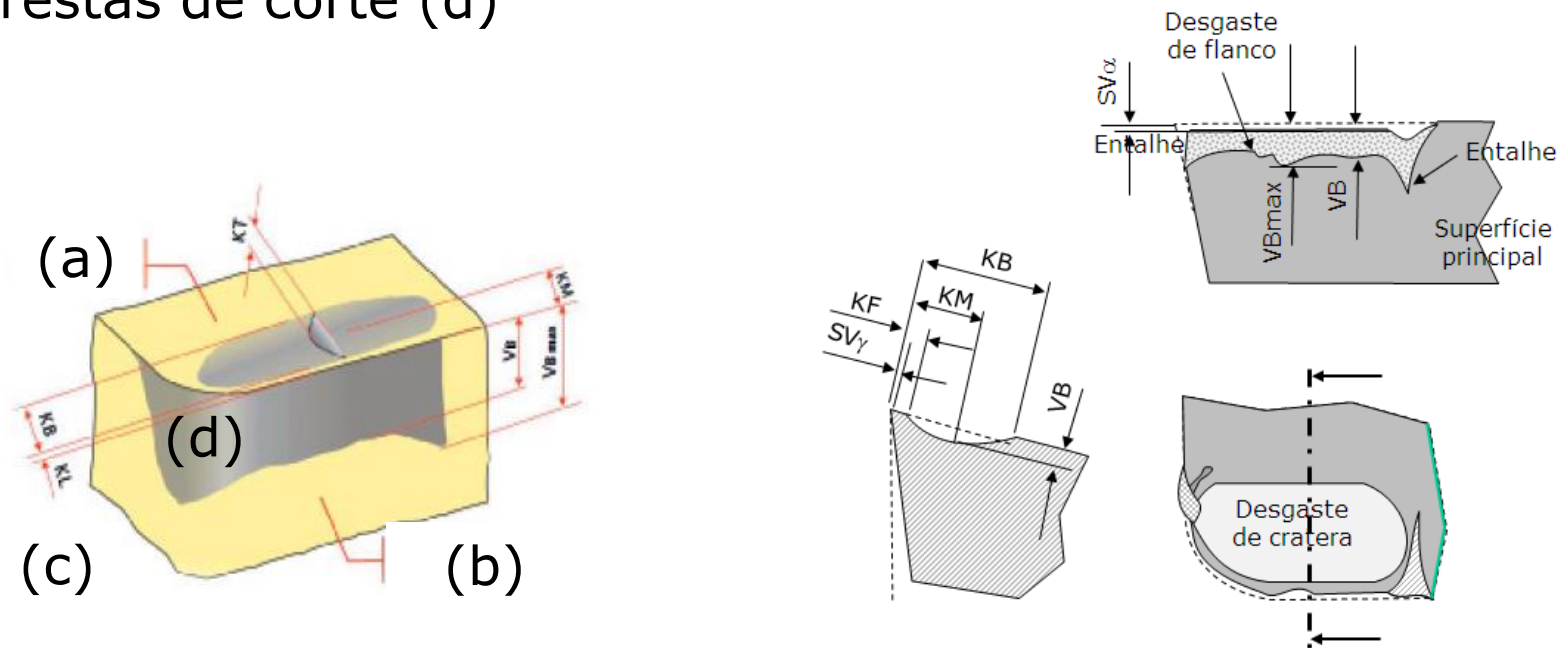
Insertos intercambiáveis





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 (d)





Crítérios de fim de vida

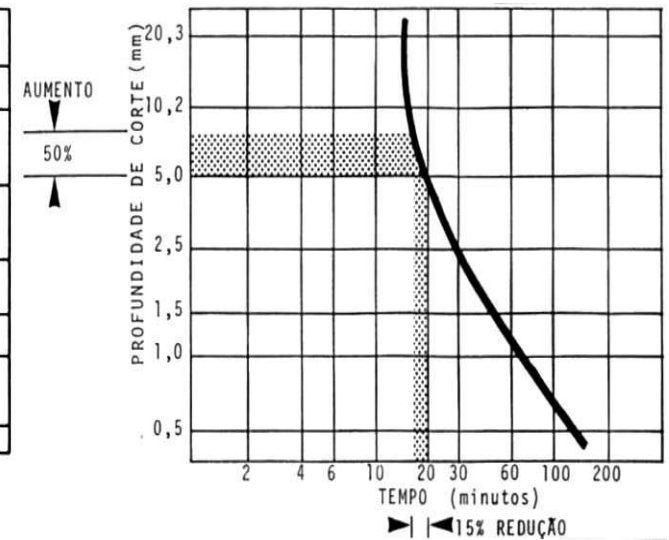
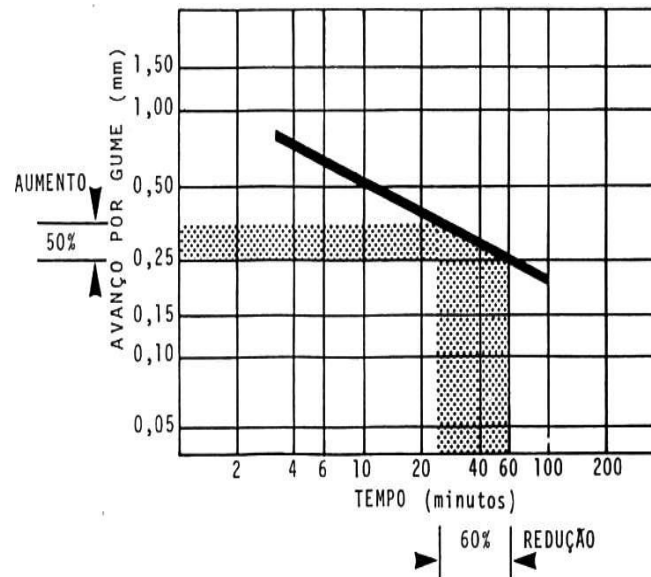
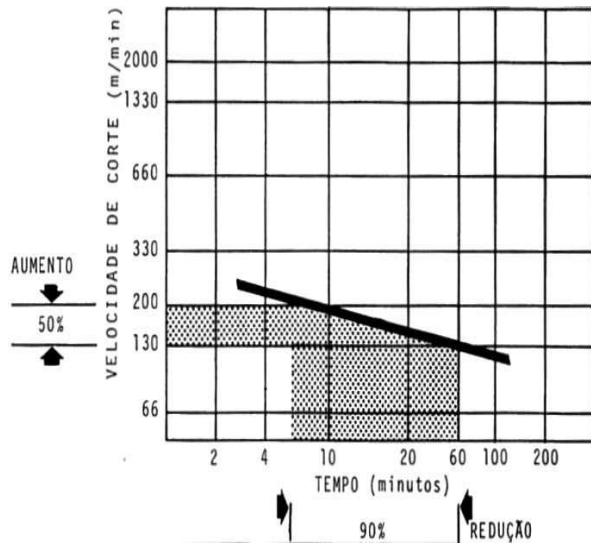
São critérios que são utilizados para determinar quando uma ferramenta deve ser substituída no processo.

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



Influência dos parâmetros de corte na Vida da Ferramenta





Usinabilidade

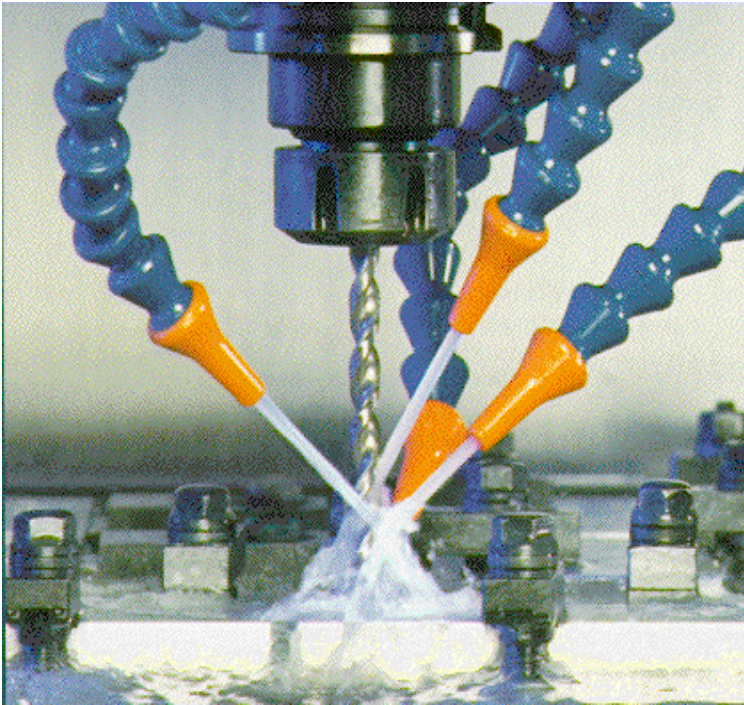
“Na usinagem com remoção de cavacos verifica-se que os diversos materiais se comportam de modo distinto, sendo que alguns podem ser trabalhados com grande facilidade, enquanto que outros oferecem uma série de problemas ao operador”

Definição: Usinabilidade pode ser definida como sendo a capacidade dos materiais de peça em se deixarem usinar

Descreve todas as dificuldades que um material apresenta na sua usinagem, compreendendo todas as propriedades do material que têm influência sobre o processo de usinagem.



Fluidos de Corte



Principais Fluidos de Corte

- Óleos de corte
- Emulsões: combinação de óleo em água, com cerca de 4 a 12% de concentração de óleo.



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



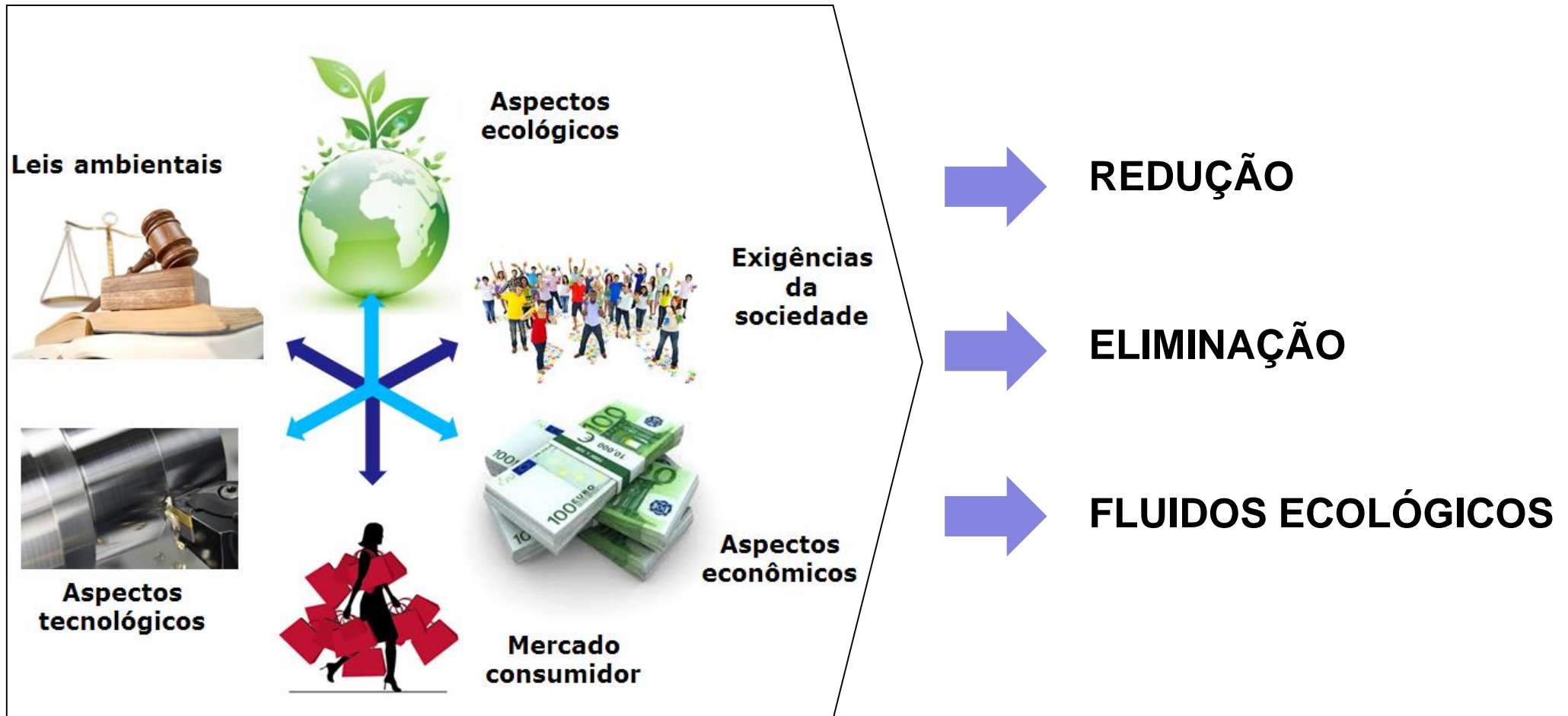
Critérios para seleção dos fluidos de corte

Fatores que influenciam na escolha:

- Material;
- Economia;
- Prazo;
- Baixa geração de espuma;
- Fácil descarte;
- Não agredir o meio ambiente;
- Não dissolver a pintura ou corroer partes da máquina;
- Não agredir a saúde e garantir a segurança do operador;



Tendências no uso de Fluidos de Corte





Metrologia industrial



Generalidades

→ **Definição** - Metrologia é definida pelo *International Bureau of Weights and Measures* (BIPM) como a ciência da medição, abordando tanto as determinações experimentais quanto teóricas com um nível de incerteza, sendo inerente a todas as áreas da ciência e da tecnologia.

A Metrologia é um amplo campo de estudo e está dividida em três áreas:

- Metrologia científica ou fundamental
- Metrologia aplicada ou industrial ou da produção
- Metrologia legal



Fundamentos de metrologia

A **Metrologia** é um amplo campo de estudo e está dividida em três áreas:

LEGAL

Se ocupa com requisitos regulatórios das medições e dos instrumentos de medições para a proteção da saúde, segurança, meio ambiente, taxações, proteção ao consumidor e relações e negociações comerciais.

INDUSTRIAL

Se ocupa com a aplicação da ciência da medição a produção e outros processos, e seu uso na sociedade, garantindo a confiabilidade de instrumentos de medição, sua calibração e o controle de qualidade das medições.

CIENTÍFICA

Se ocupa com a aplicação da ciência da medição a produção e outros processos, e seu uso na sociedade, garantindo a confiabilidade de instrumentos de medição, sua calibração e o controle de qualidade das medições.

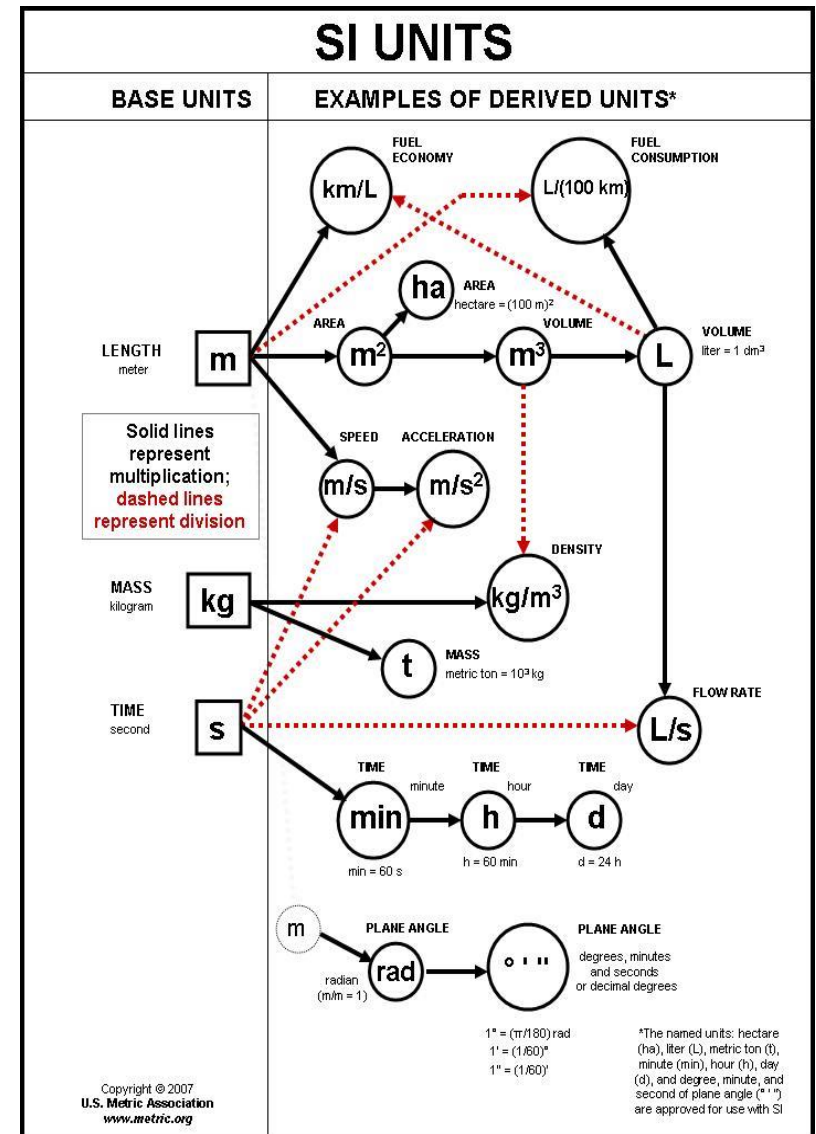
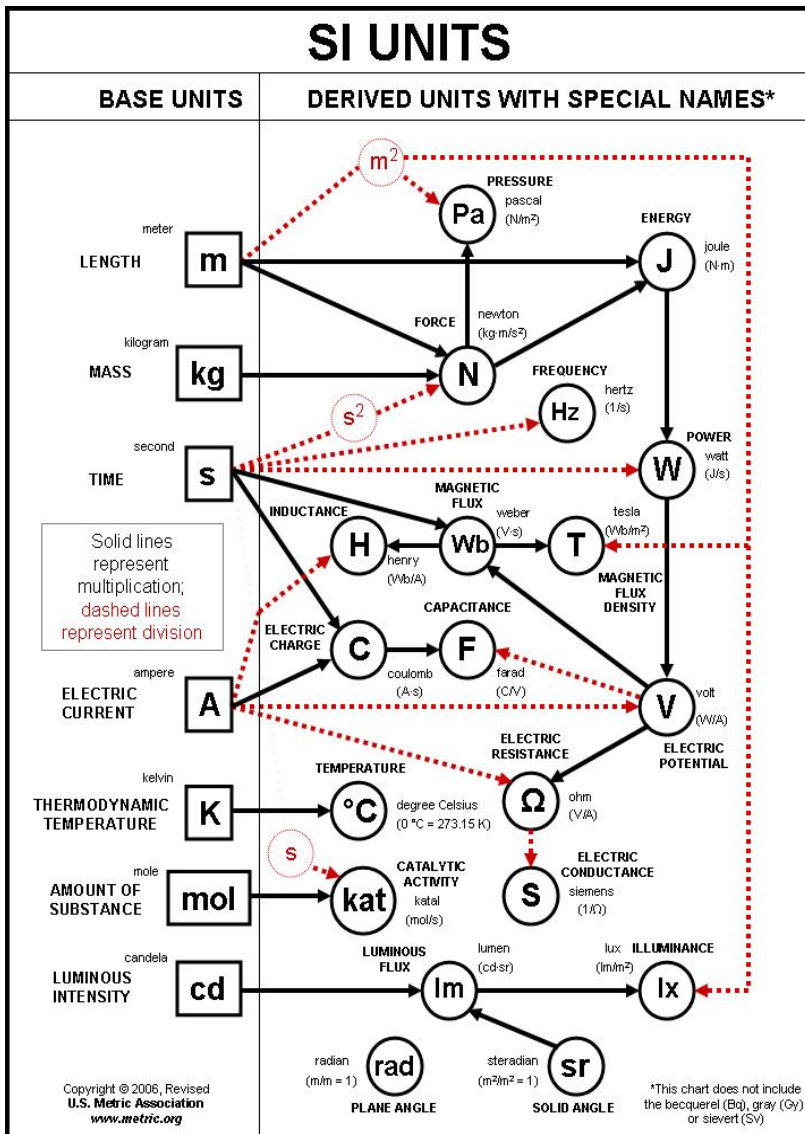


Fundamentos de metrologia





Relações entre as unidades base do SI e as unidades derivadas





Metrologia Industrial

- A metrologia industrial está fortemente relacionada com os conceitos de teste e controle da produção.
- Exerce uma forte ação primária nos sistemas de gerenciamento da qualidade
- Não se limita somente aos procedimentos de teste e medição
- Enfrenta desafios constantes no sentido da melhoria contínua da qualidade das peças de produção



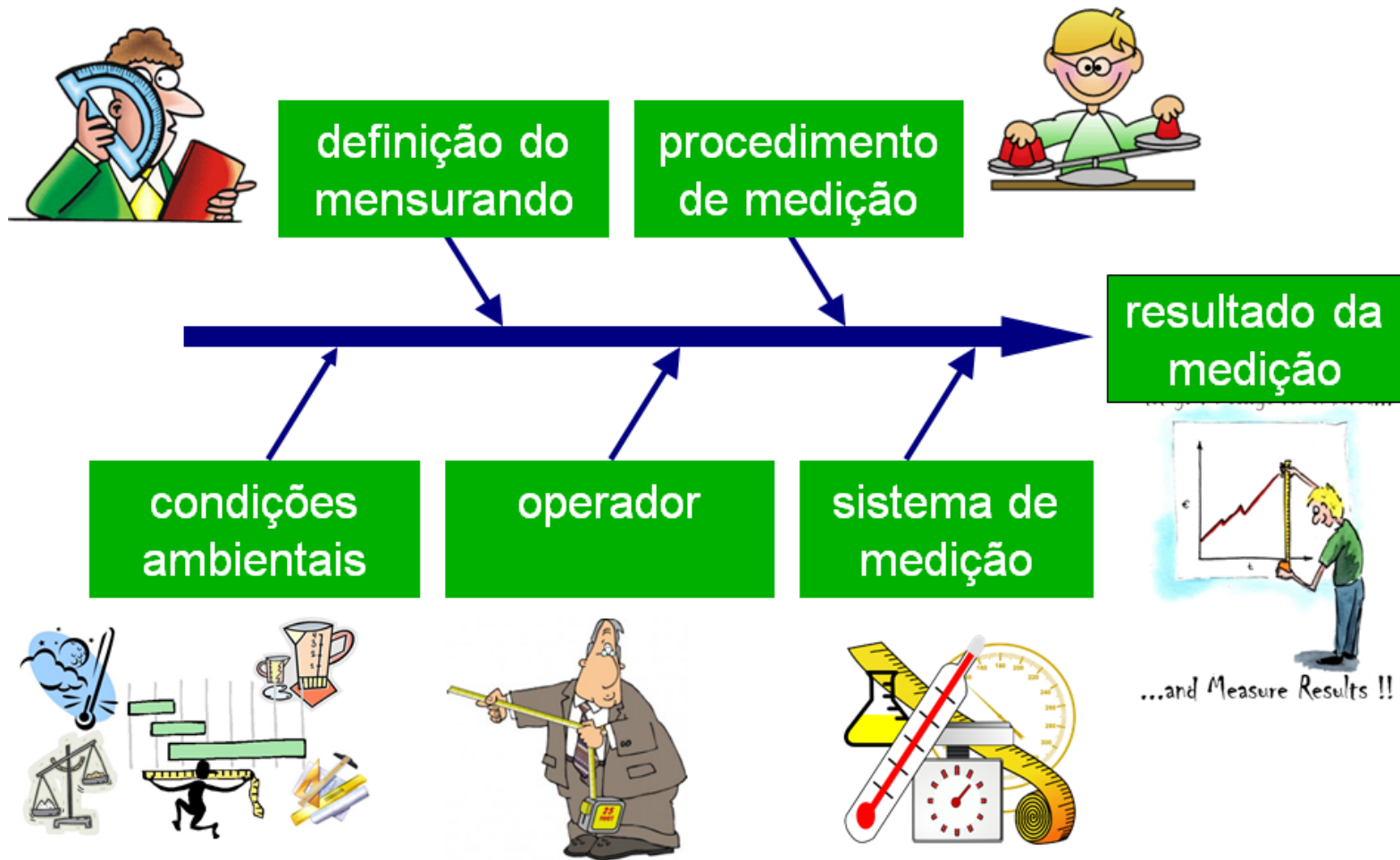
Testes e medições dentro da metrologia industrial



90% dos testes realizados dentro da Metrologia Industrial são Testes Geométricos

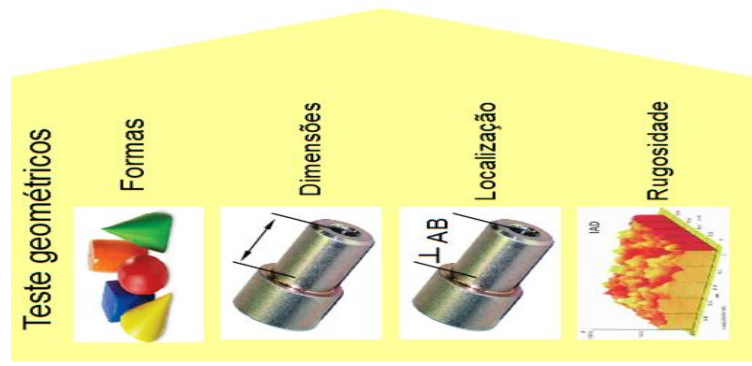
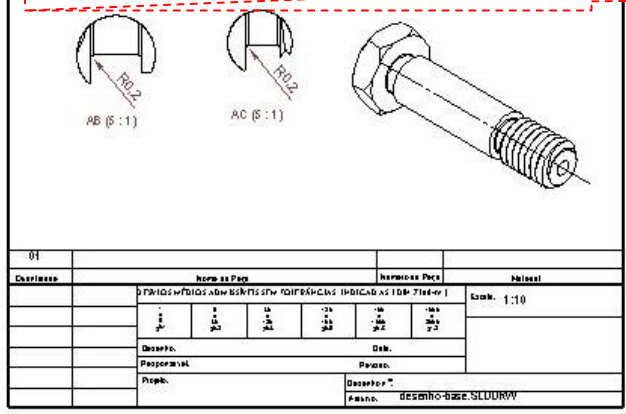
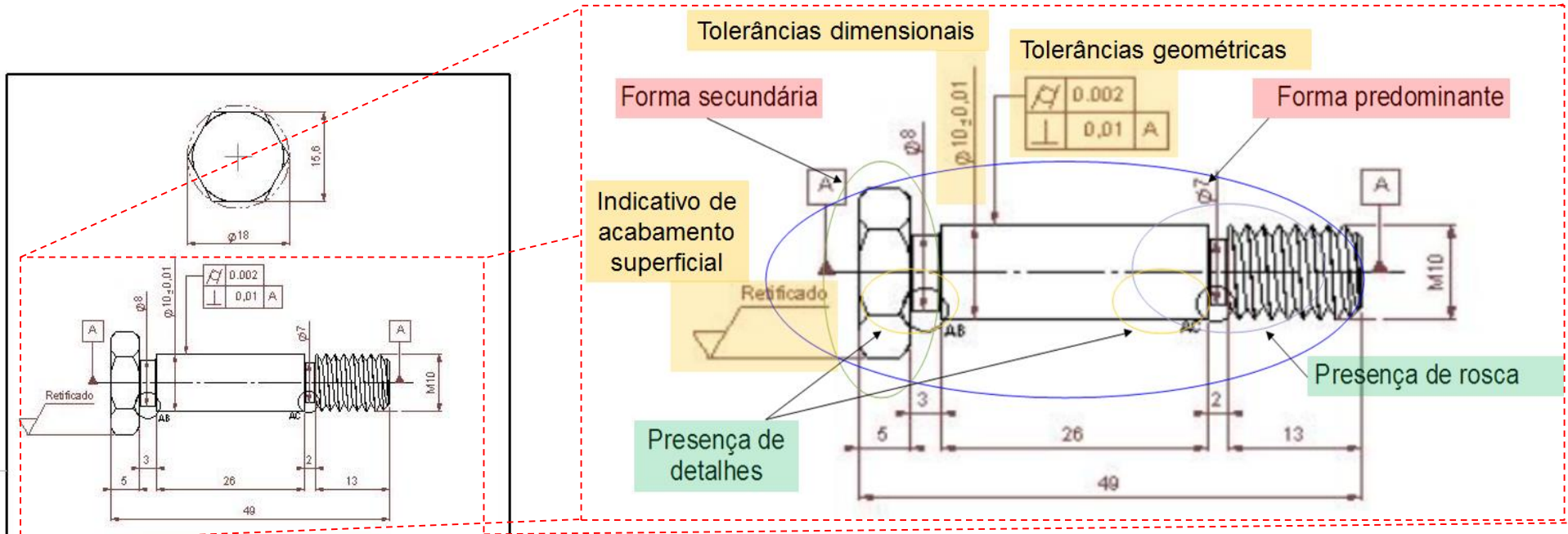


Relações que envolvem a qualidade de medição de uma peça



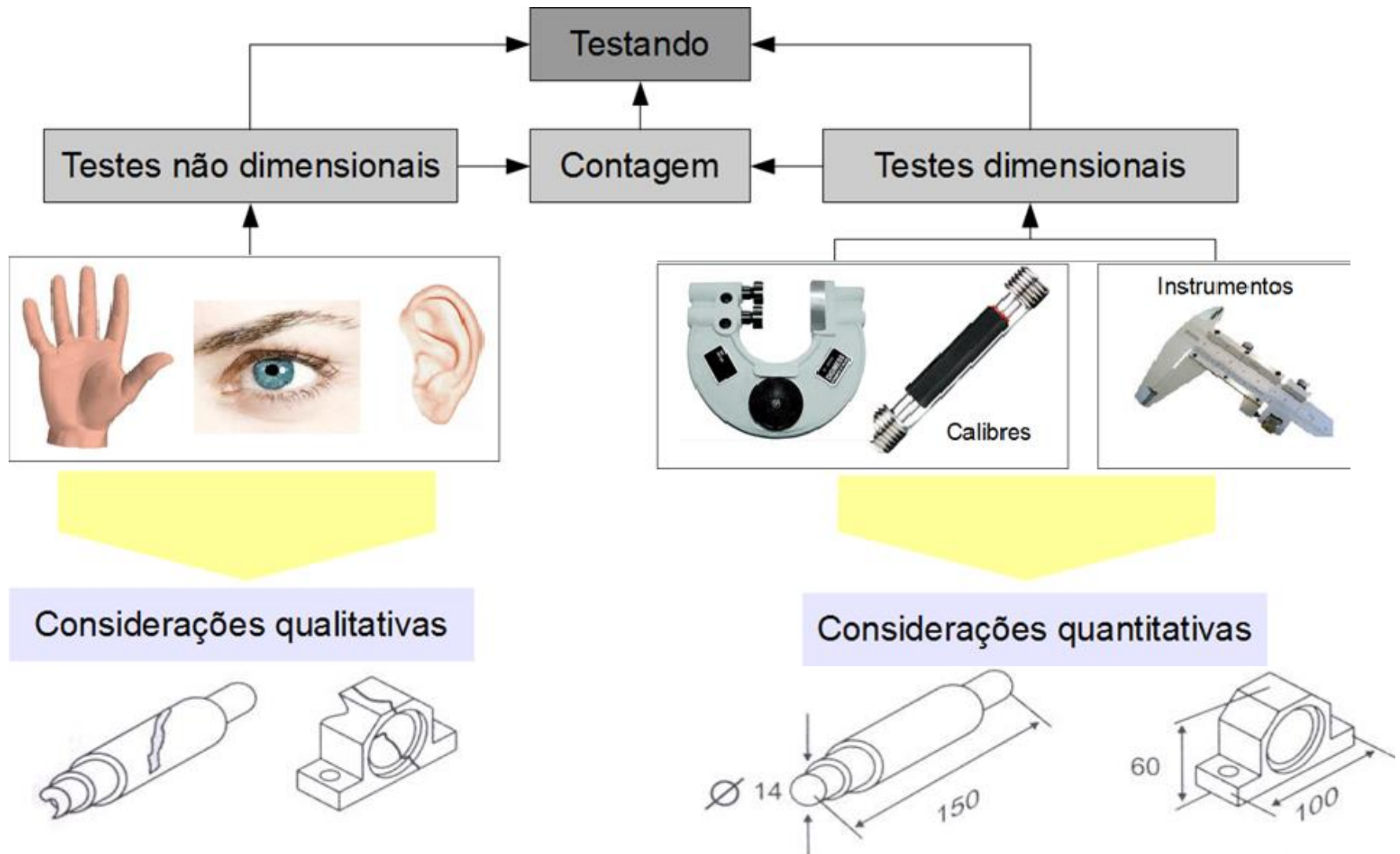


Informações em um desenho de produção





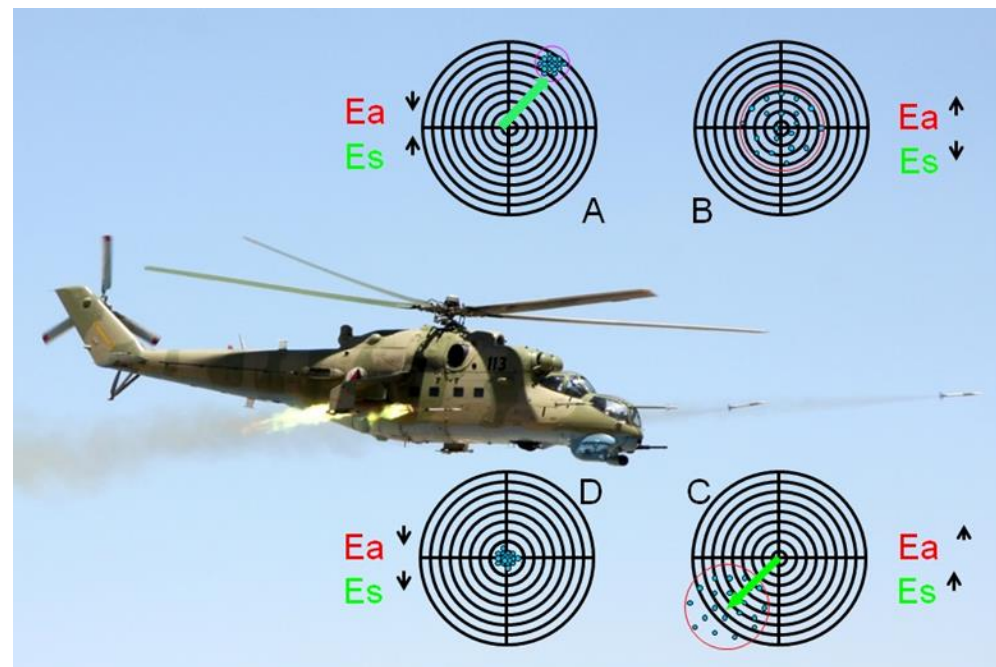
Formas de avaliação e quantificação dos erros de uma peça





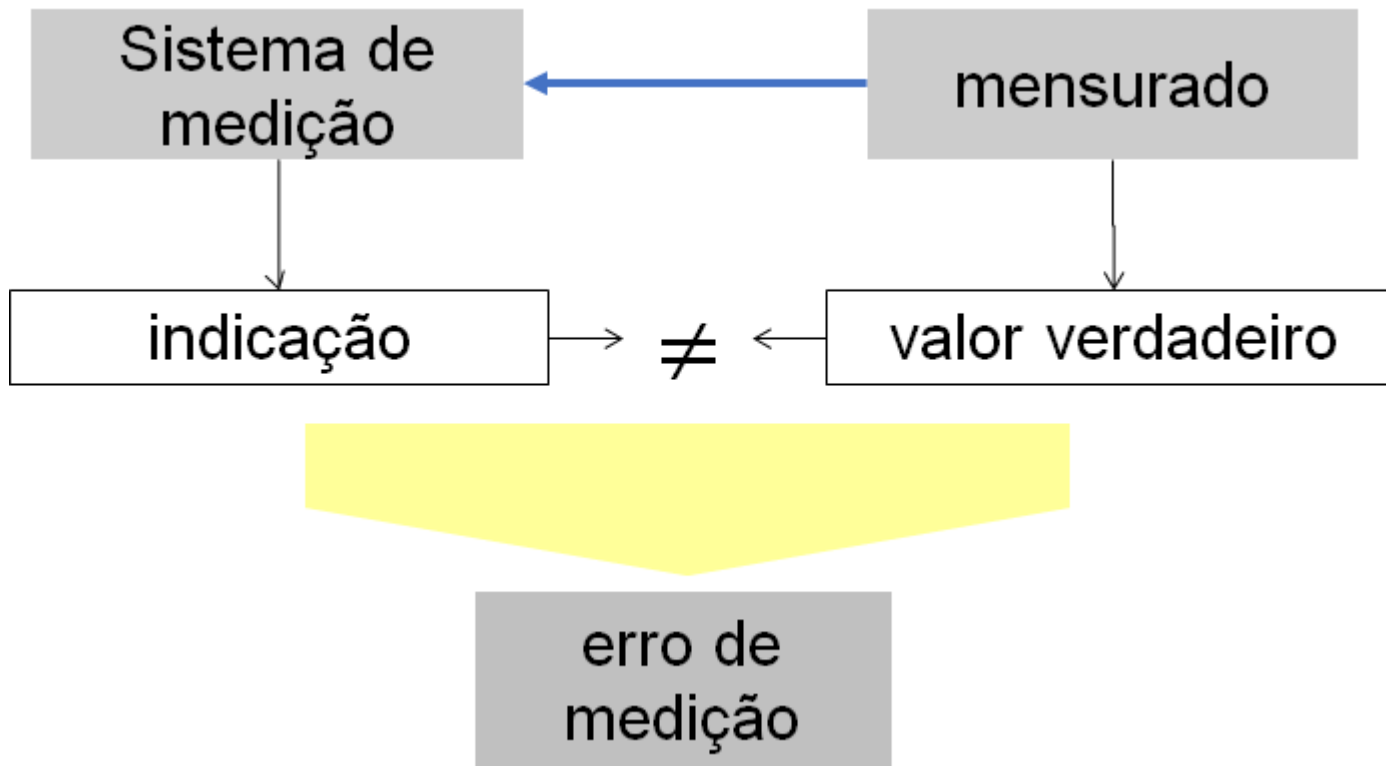
Exatidão e precisão

- São parâmetros **qualitativos** associados ao desempenho de um sistema.
- Um sistema com ótima **precisão** repete bem, com **pequena dispersão**.
- Um sistema com excelente **exatidão** praticamente **não apresenta erros**.



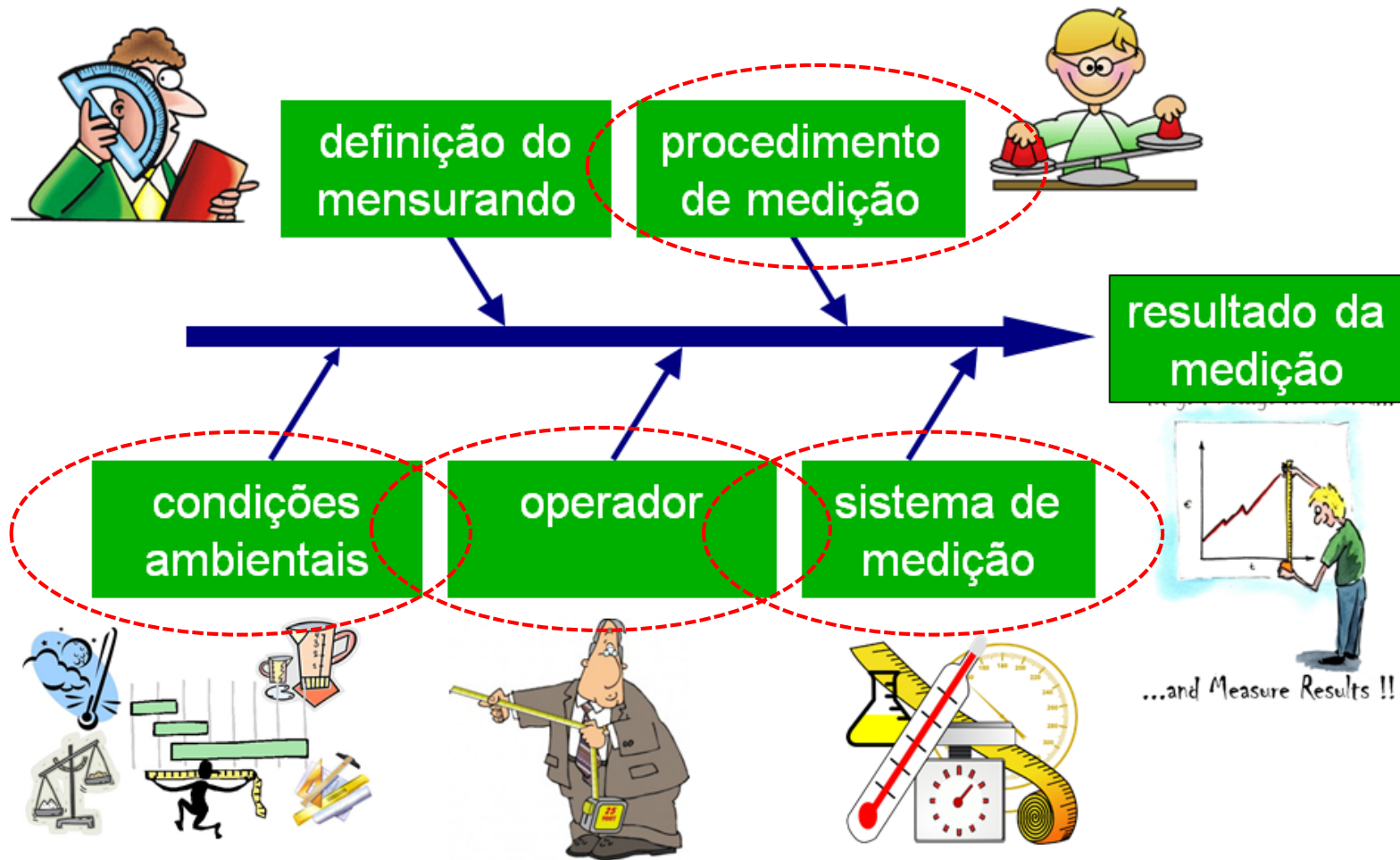


Erros de medição





Fontes de erro no processo de medição de uma peça



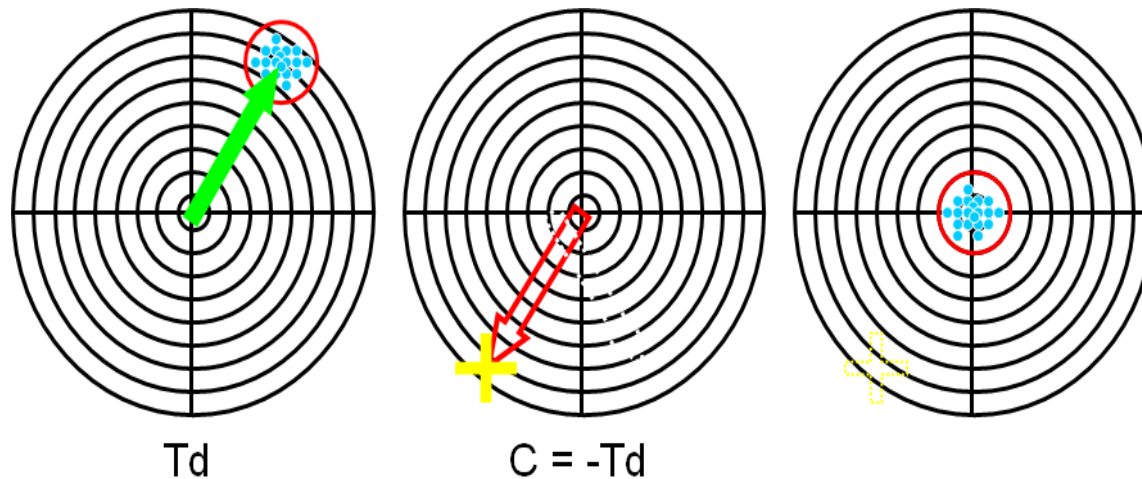
...and Measure Results !!



Tipos de erros de medição

- **Erro sistemático:** é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- **Erro aleatório:** é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações.

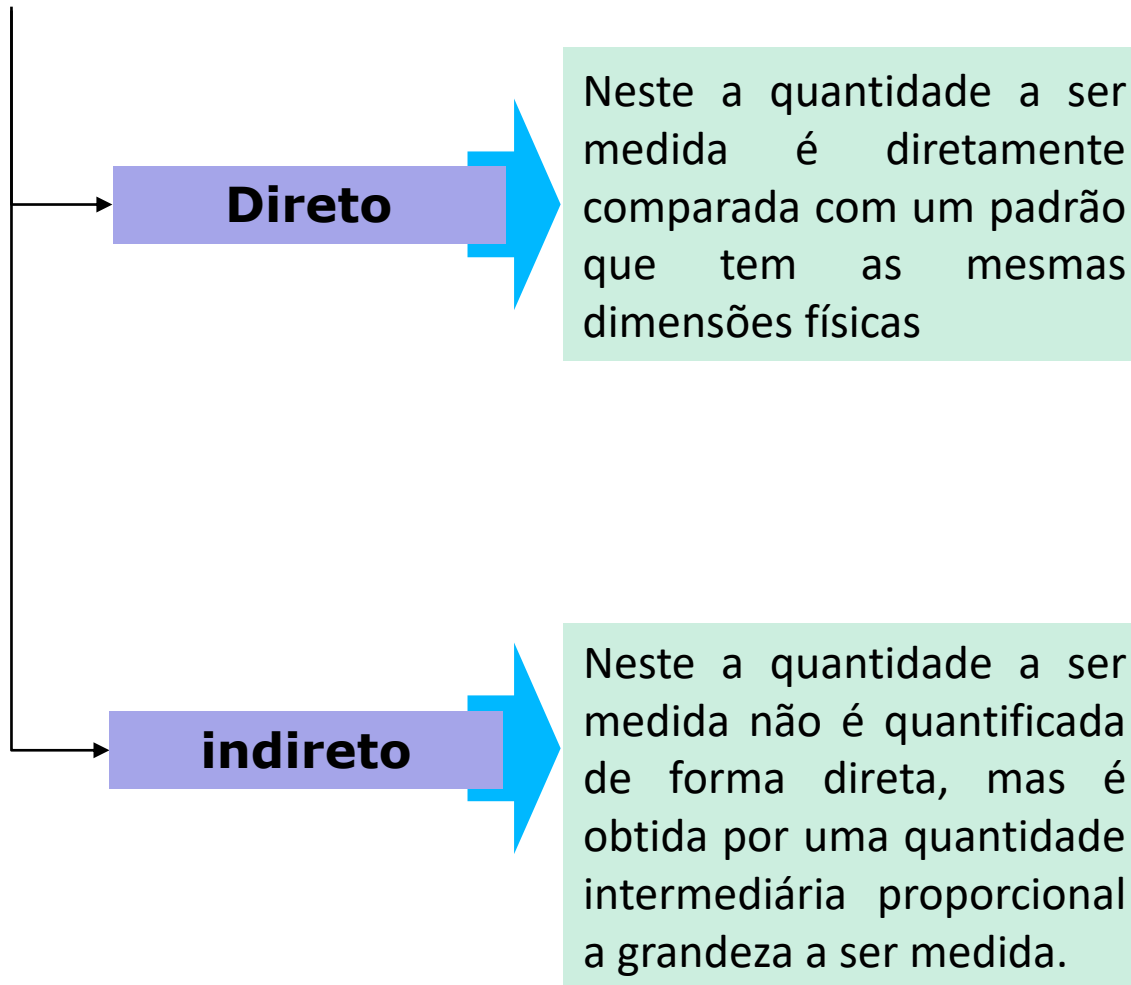
Correções dos erros sistemáticos





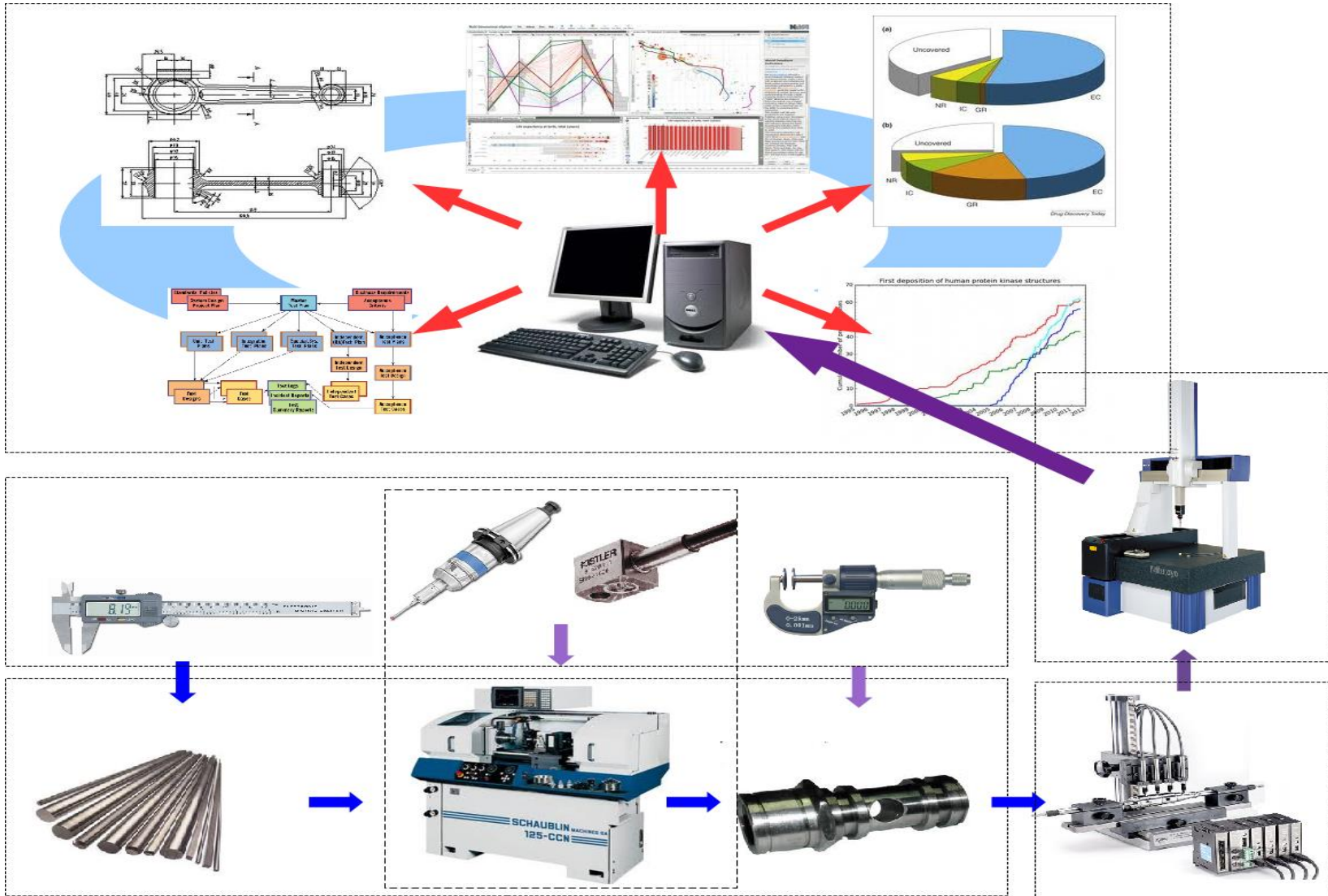
Métodos de medição

Existem dois métodos de medição :





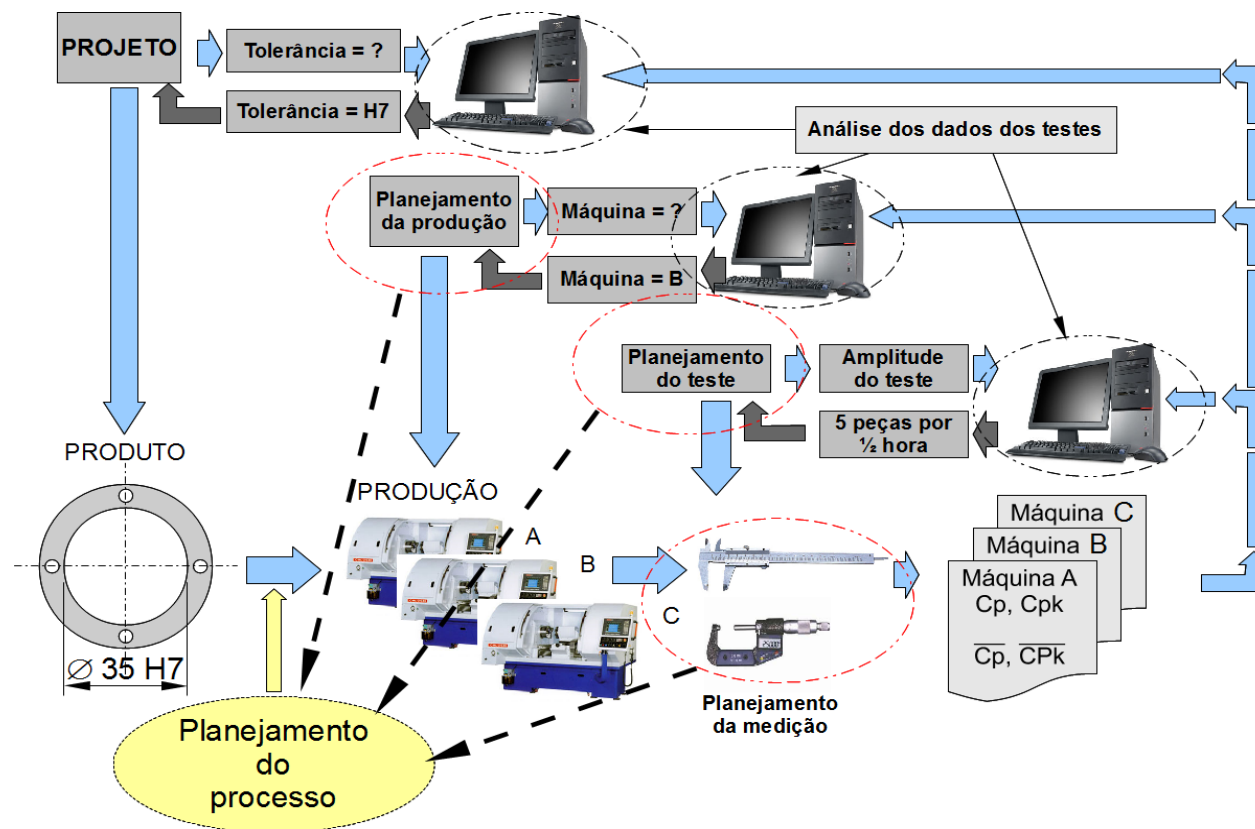
Níveis de medição





Estratégias de medição

- A seleção dos métodos e procedimentos de medição devem ser feitas de formas a minimizar a influência dos erros, flexibilidade, tempo e custos.





Equipamentos básicos de medição

→ Instrumentos manuais

PAQUÍMETRO



MEDIDORES DE ÂNGULOS

MICRÔMETRO



Equipamentos básicos de inspeção



MEDIDORES DE ÂNGULOS

COMPARADORES



INSTRUMENTOS ANALÓGICOS



Máquina de medir por coordenadas

- MMC – são sistemas de medição que utilizados para caracterizar dimensional e geometricamente um objeto.
- São controladas por computador e a interferência do operador é mínima durante o processo de medição
- A medição é realizada por meio de um sensor apalpador.
- MMC não permitem identificar porque um componente está fora das tolerâncias.
- Estas permitem identificar o quanto uma determinada *feature* do componente (por exemplo um furo) está com relação a dimensão ou forma geométrica.





Qual o equipamento mais apropriado para a medição

REQUISITOS

- faixa de operação
- Incerteza de medição
- aplicabilidade
- capacidade
- adaptabilidade a produção
- custo
- outros



SELEÇÃO



Planejamento da Fabricação



Como Fabricar?

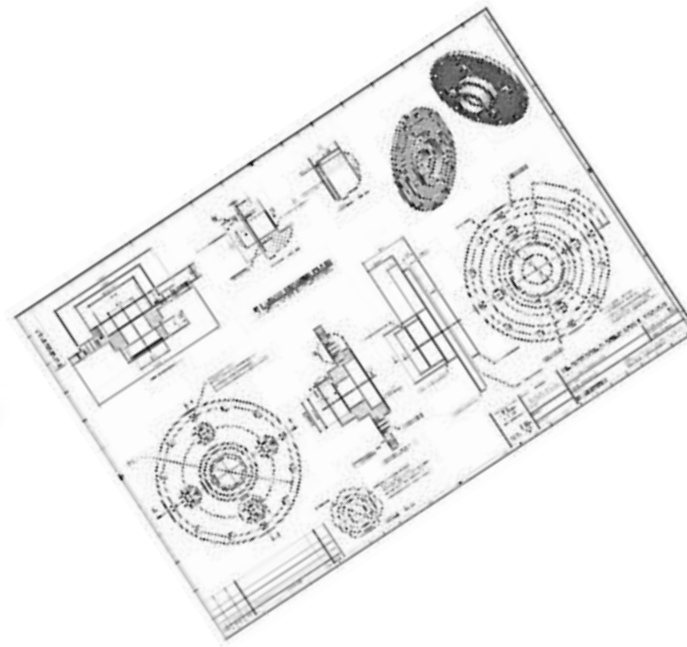


Quais máquinas?

Quais ferramentas?

Qual ferramental?

Como controlar o processo?



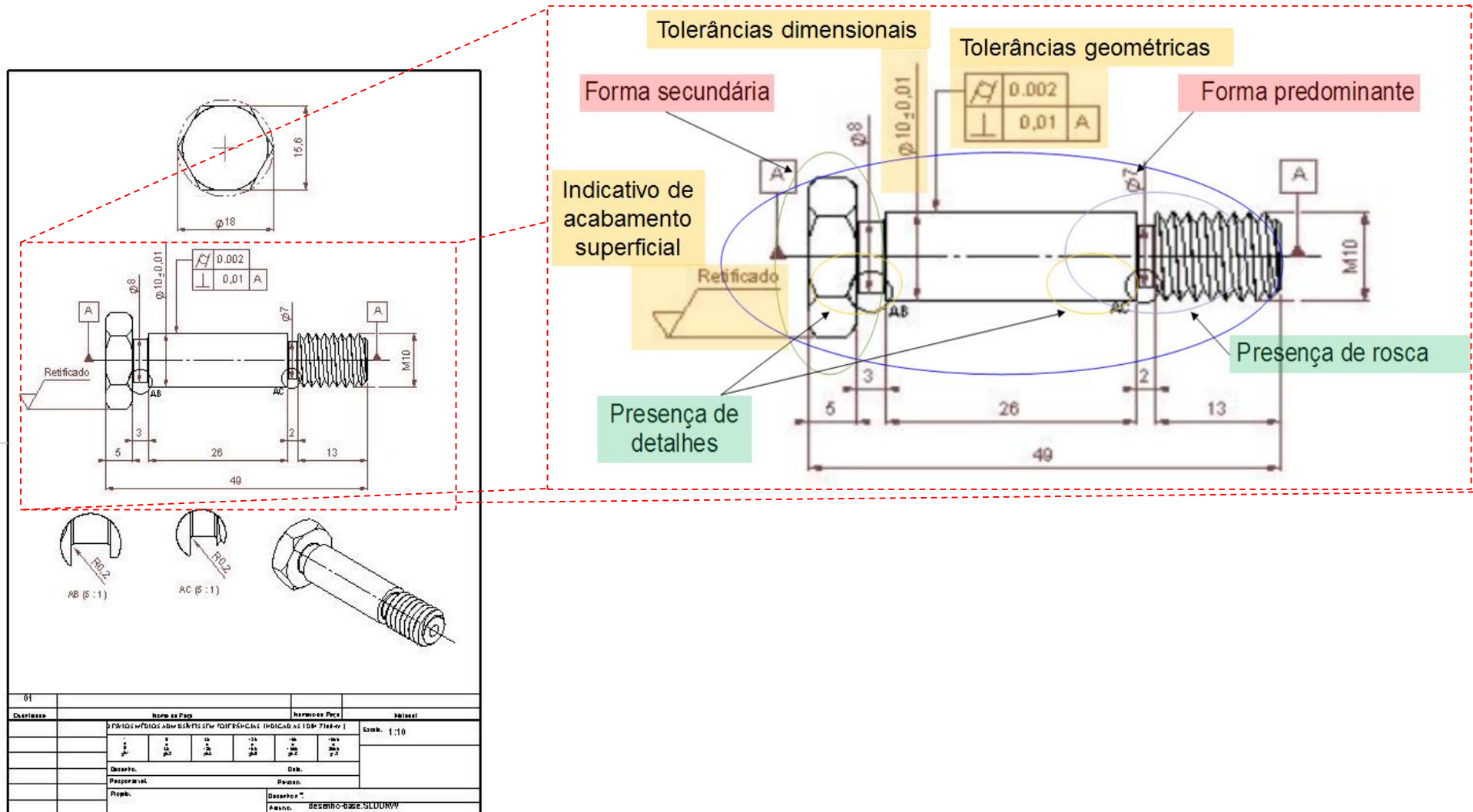
A que custo?

Quais parâmetros?

Com que prazo?



Informações em um desenho de produção





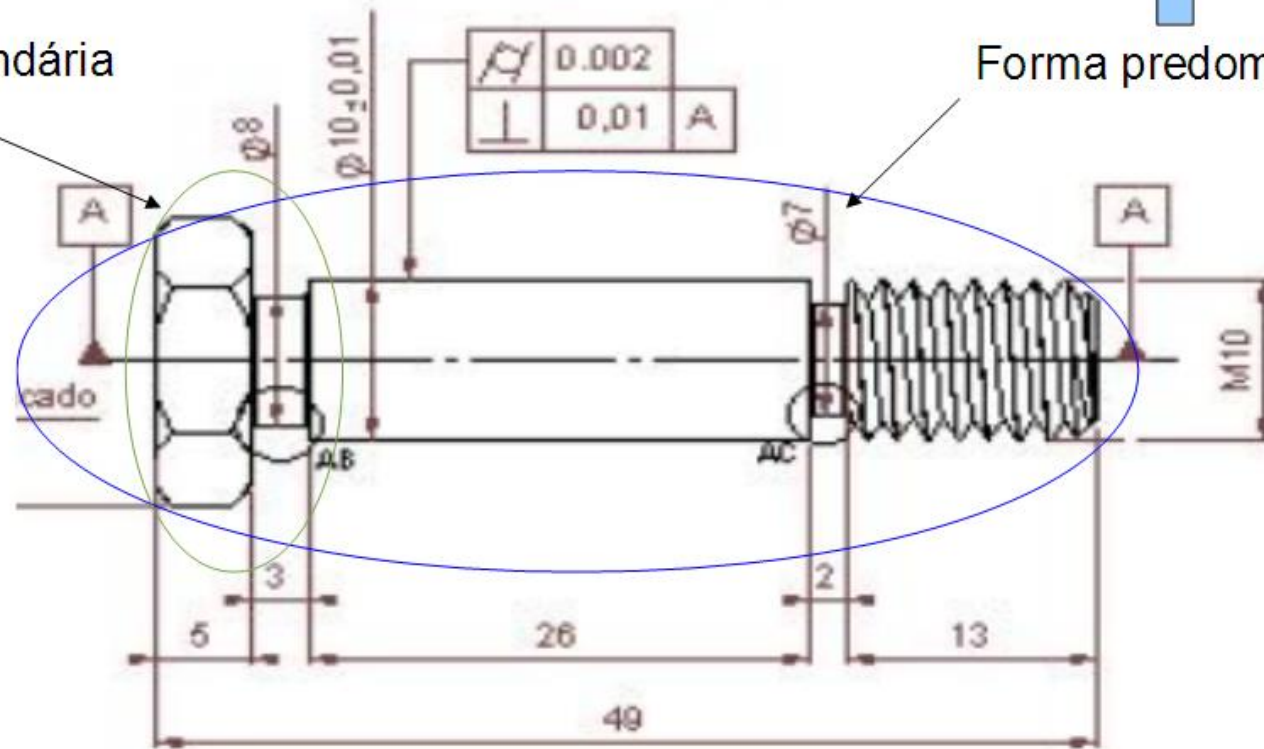
Análise dos desenhos de fabricação

- Geometria -



Forma predominante

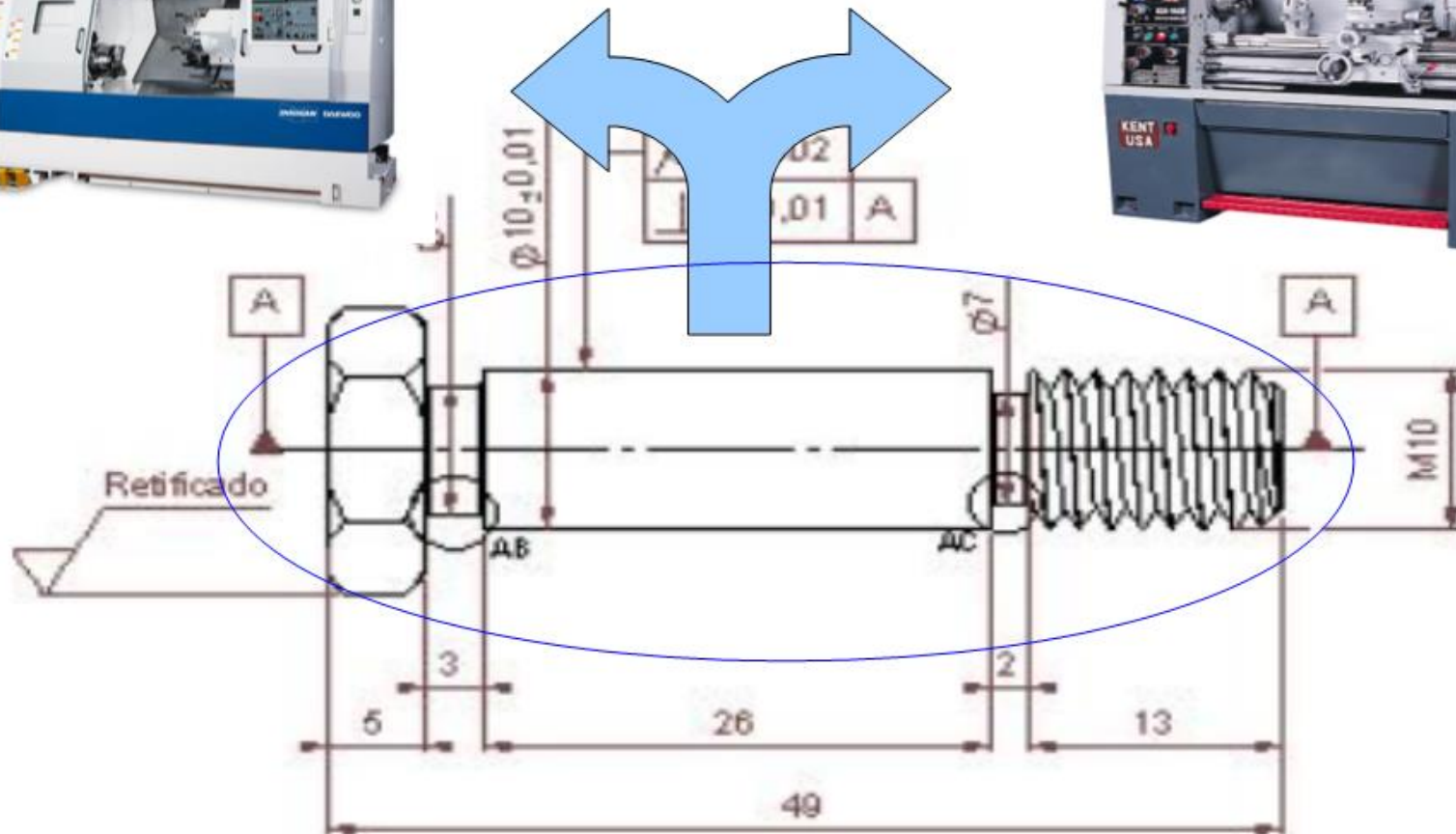
Forma secundária





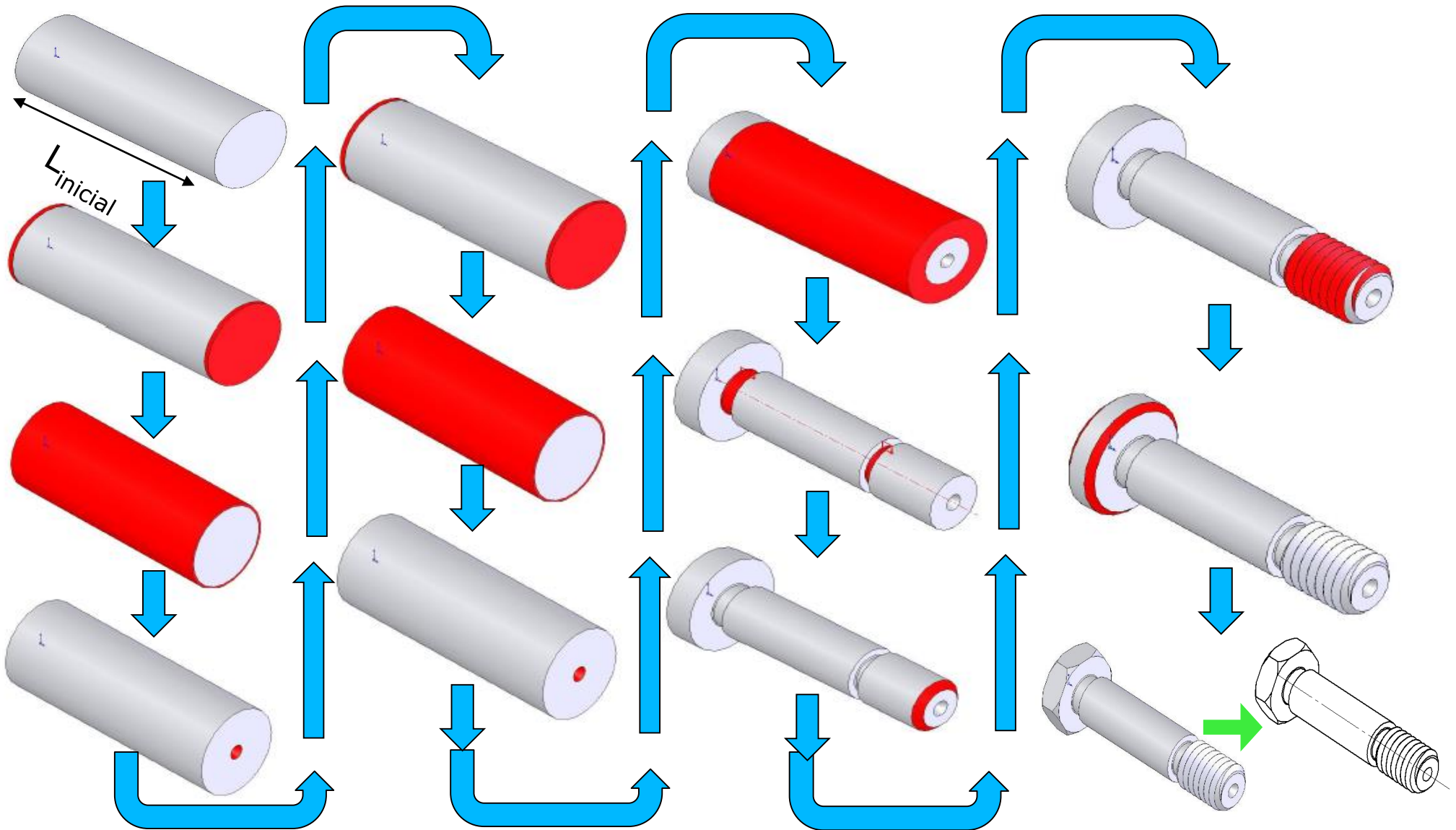
Análise dos desenhos de fabricação

- Tamanho do Lote -





Sequência de fabricação

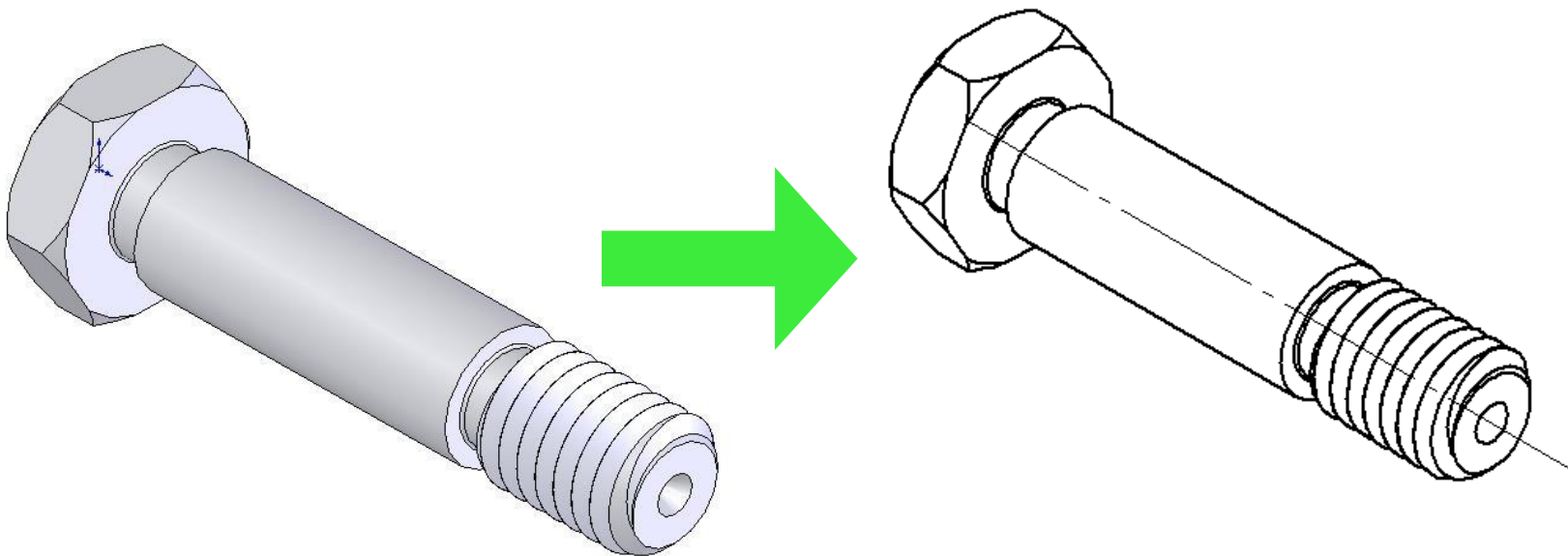




Sequência de fabricação

- Fim das operações de usinagem -

- Limpar a peça
- Remover rebarbas
- Levar para inspeção dimensional





Custos de fabricação

Composição dos custos de usinagem

→ Custos diretos

- ✓ Máquina-ferramenta
- ✓ Ferramentas
- ✓ Mão de obra

→ Custos indiretos

- ✓ Impostos
- ✓ Amortizações
- ✓ outros



TOOLSTATION





Seleção dos processos de fabricação

A seleção dos processos de fabricação é feita em função dos requisitos estabelecidos durante a fase de detalhamento de projeto.

Requisitos como:

- peso,
- custo,
- resistência,
- tolerâncias,
- volume e
- tempo de produção

determinam os processos de fabricação de um componente.



Regras Gerais Seleção dos Processos

Considerar os seguintes aspectos:

- Quantidade
- Complexidade do formato
- Natureza do material
- Tamanho da peça
- Espessuras de parede
- Exatidão dimensional
- Custo da matéria-prima, defeitos e taxa de refugo
- Processos anteriores e posteriores



- Instruções para a aula de Laboratório -



- Fim da Aula 02 -