



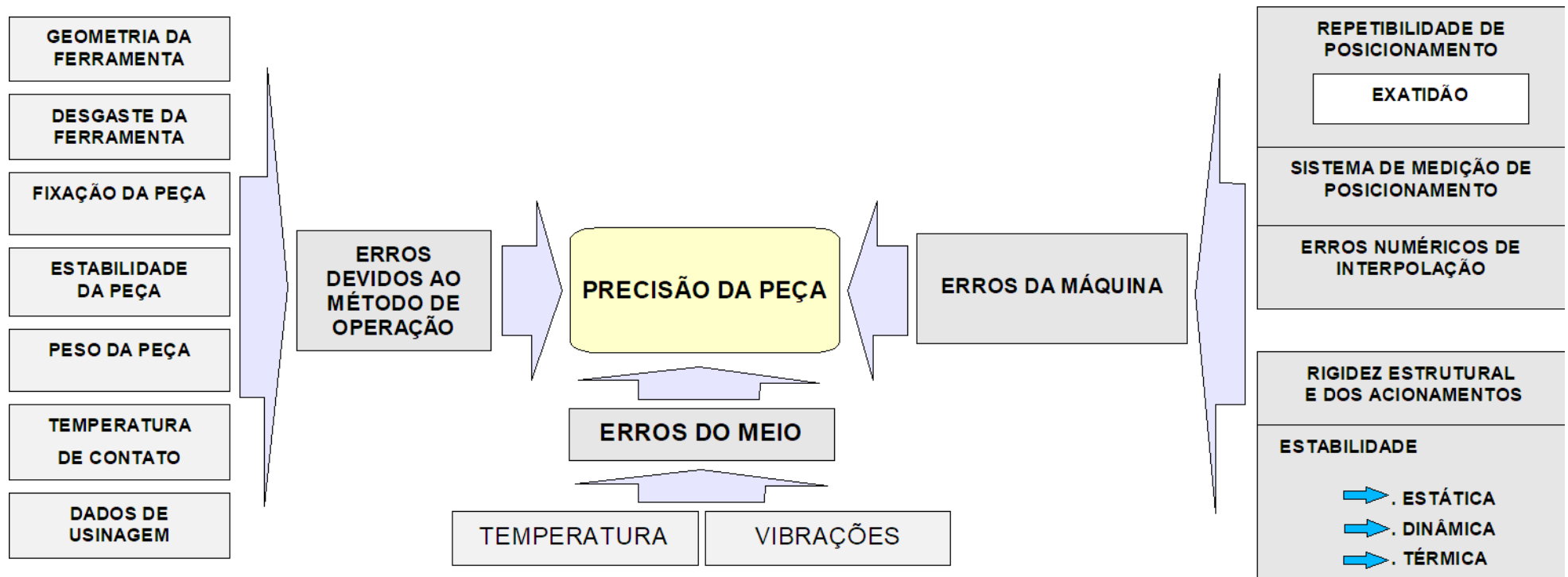
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMR 3301**

**– Automação e Monitoramento da Usinagem –  
2020.1**



## Relações que envolvem a qualidade de uma peça usinada

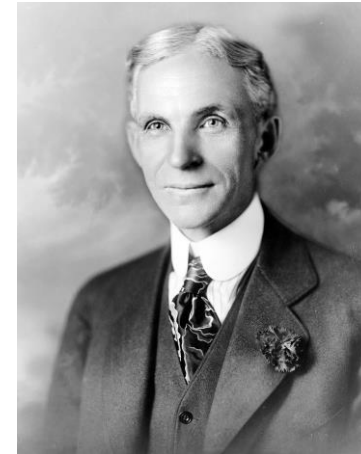




## Automatização da usinagem



**Frederick W Taylor**



**Henry Ford**

**Sistematização  
e racionalização  
do trabalho**

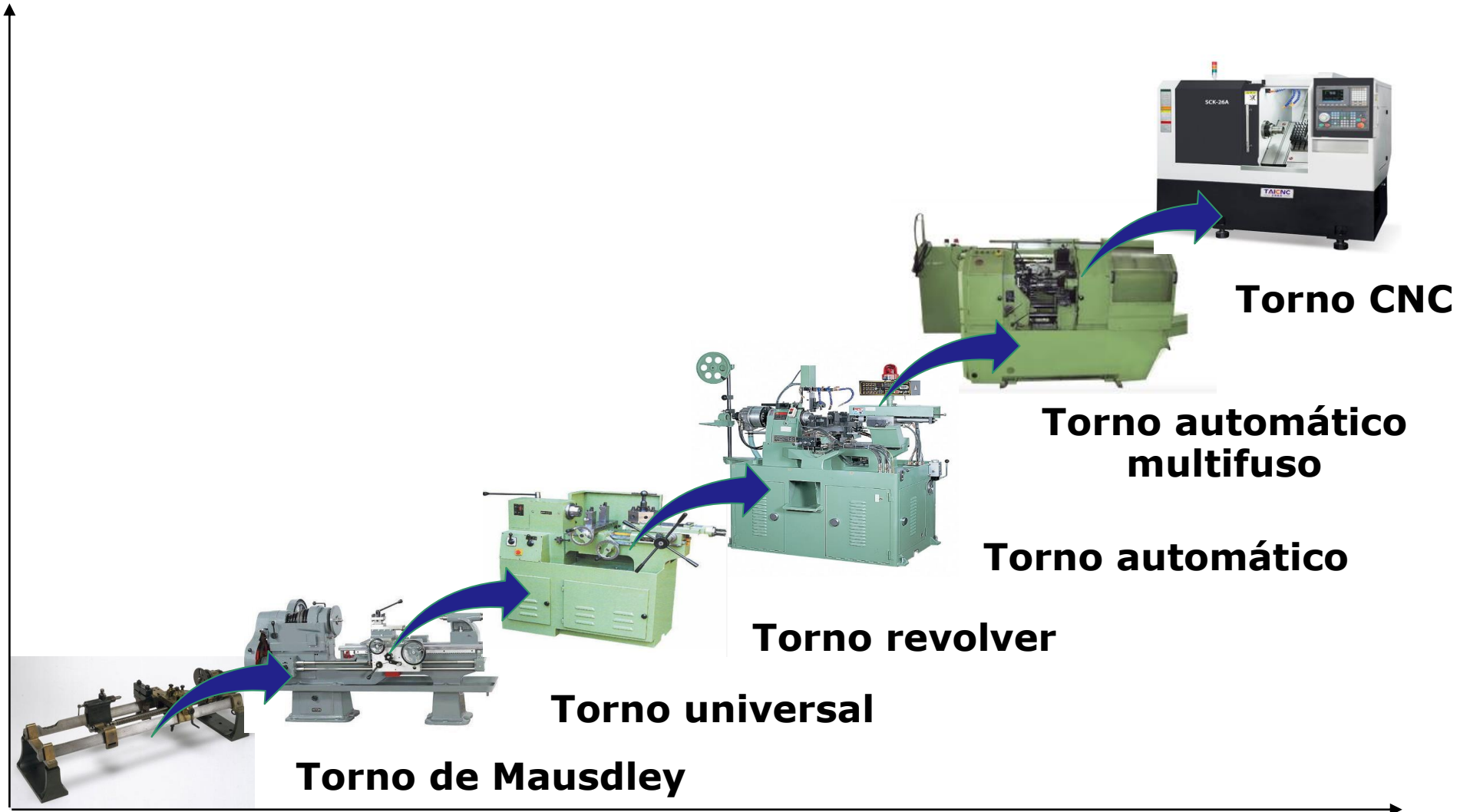
**Padronização e  
massificação da  
produção**





## Automatização da usinagem

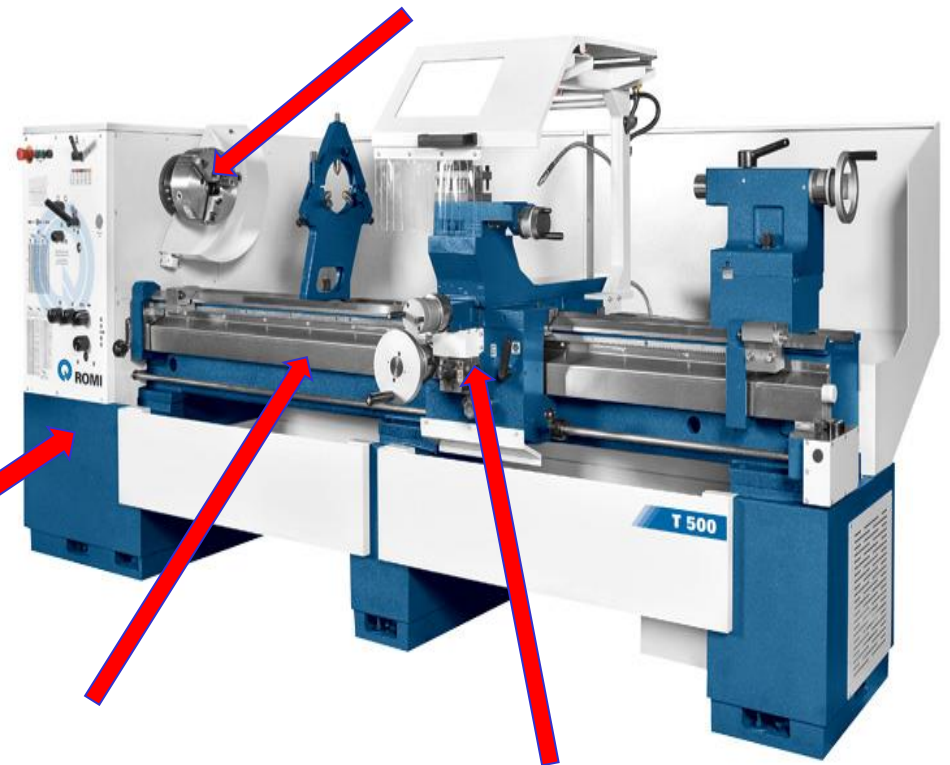
### Evolução da automatização dos tornos





## Automatização da usinagem

### Evolução da automatização dos tornos



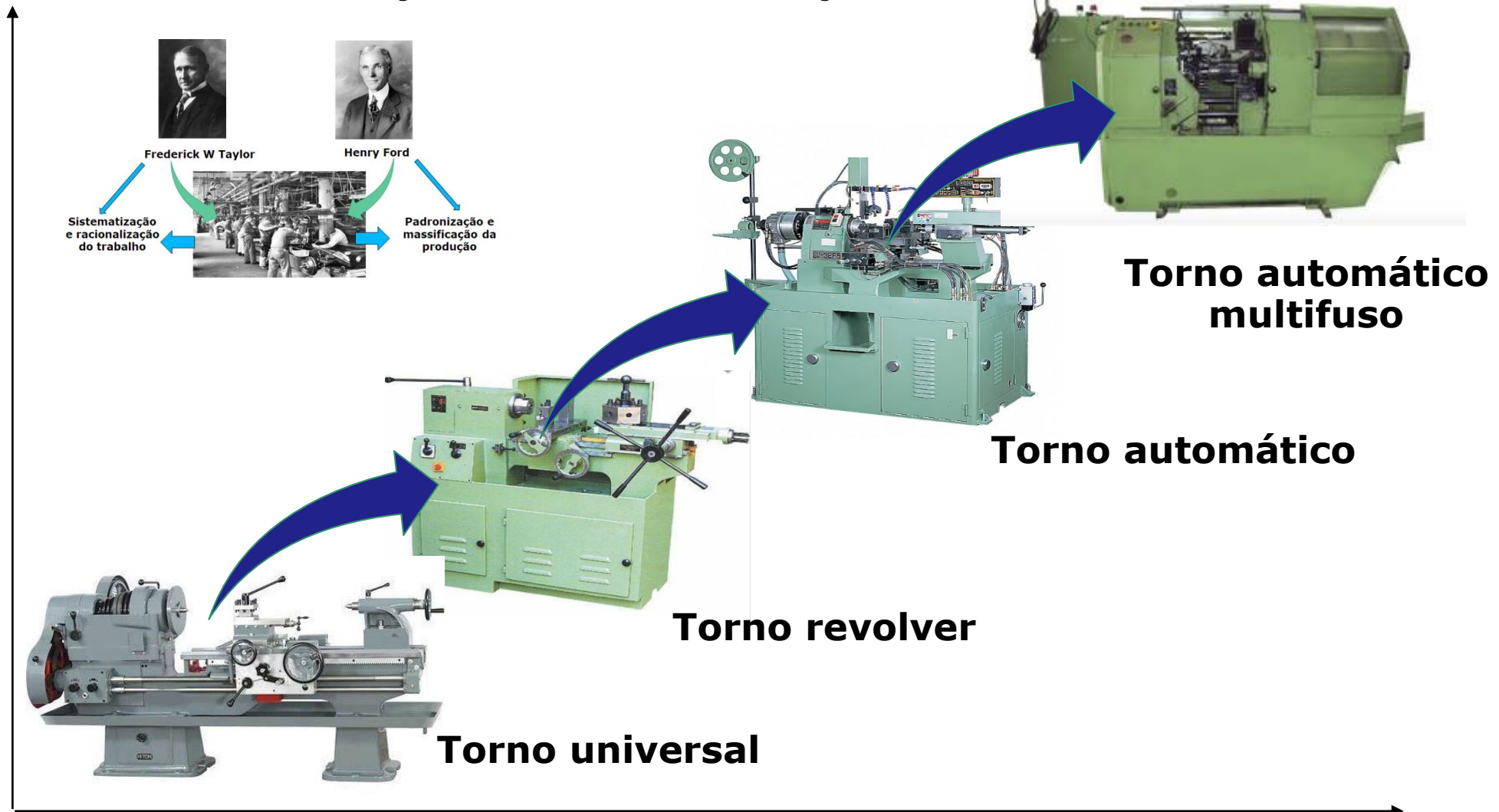
**Torno de Maudsley, início do sec.XIX**





# Automatização da usinagem

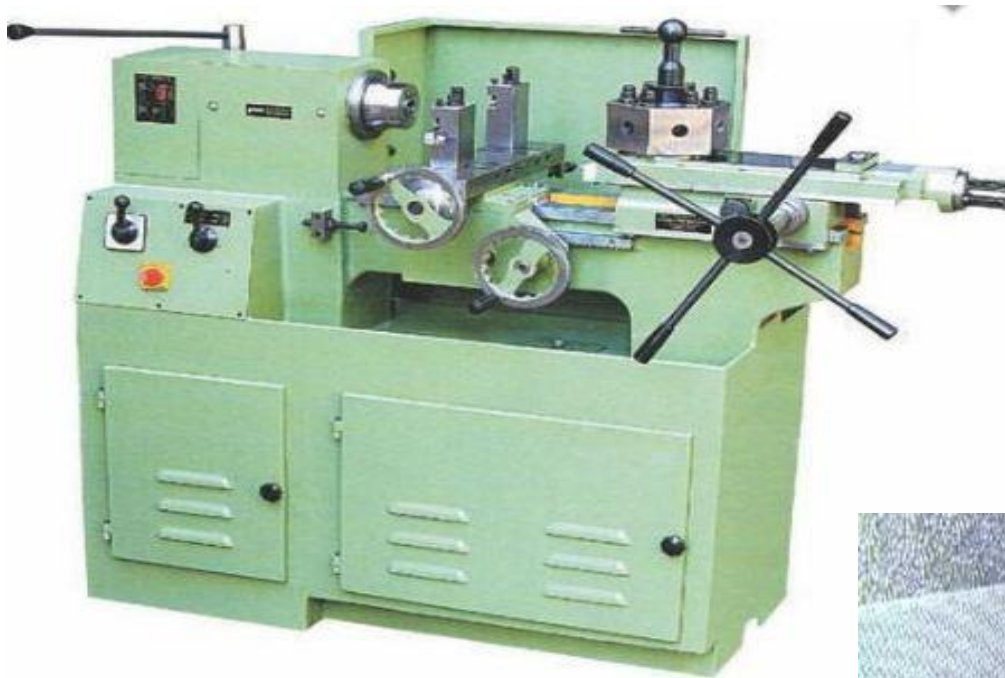
## Evolução da automatização dos tornos





## **Automatização da usinagem**

### **Evolução da automatização dos tornos**



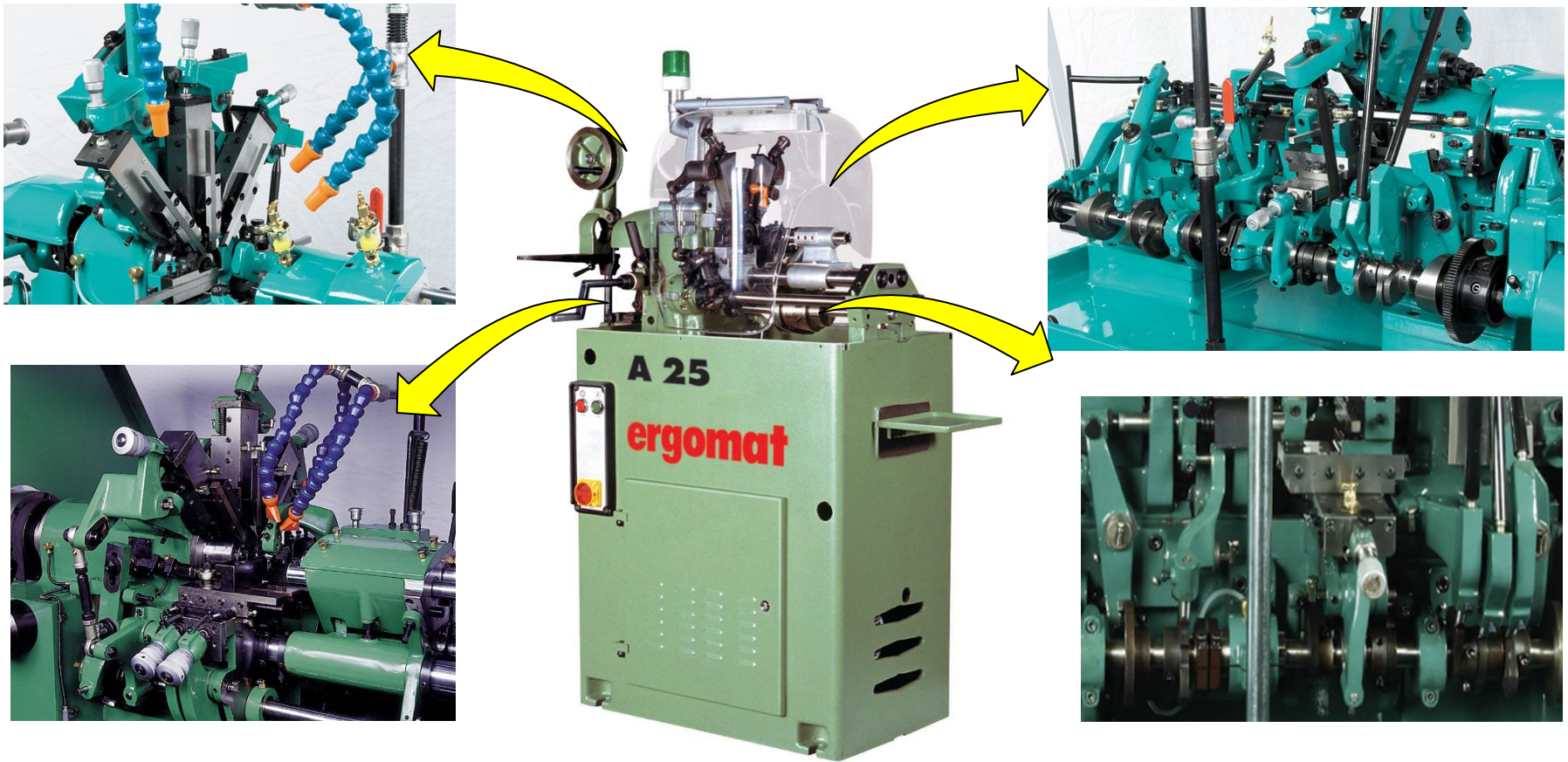
**Torno revolver**







## Automatização da usinagem Evolução da automatização dos tornos



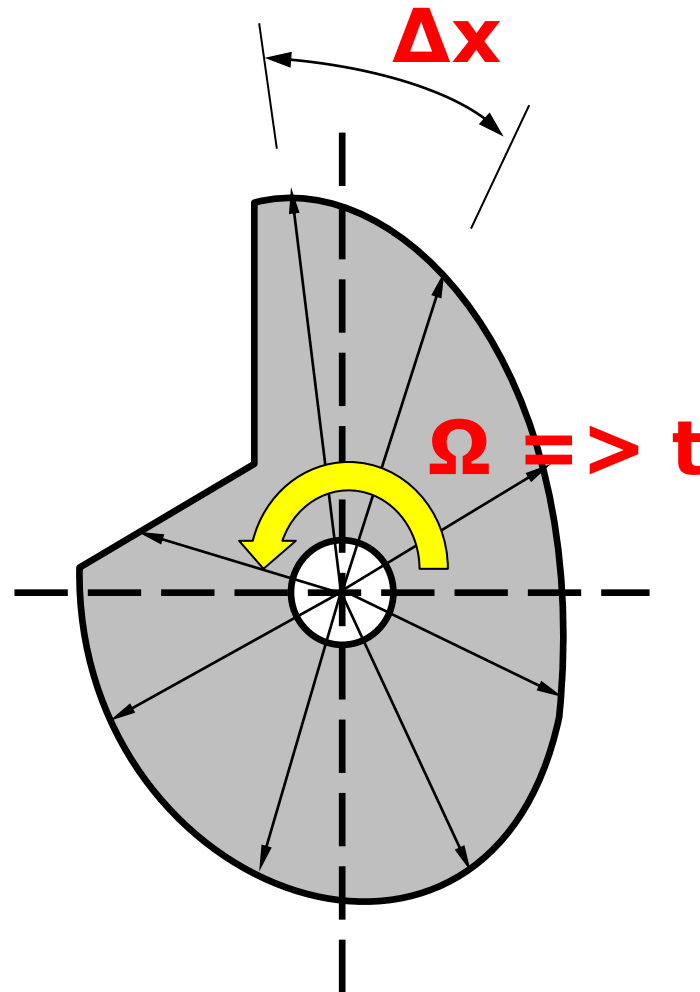
**Torno automático**





## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

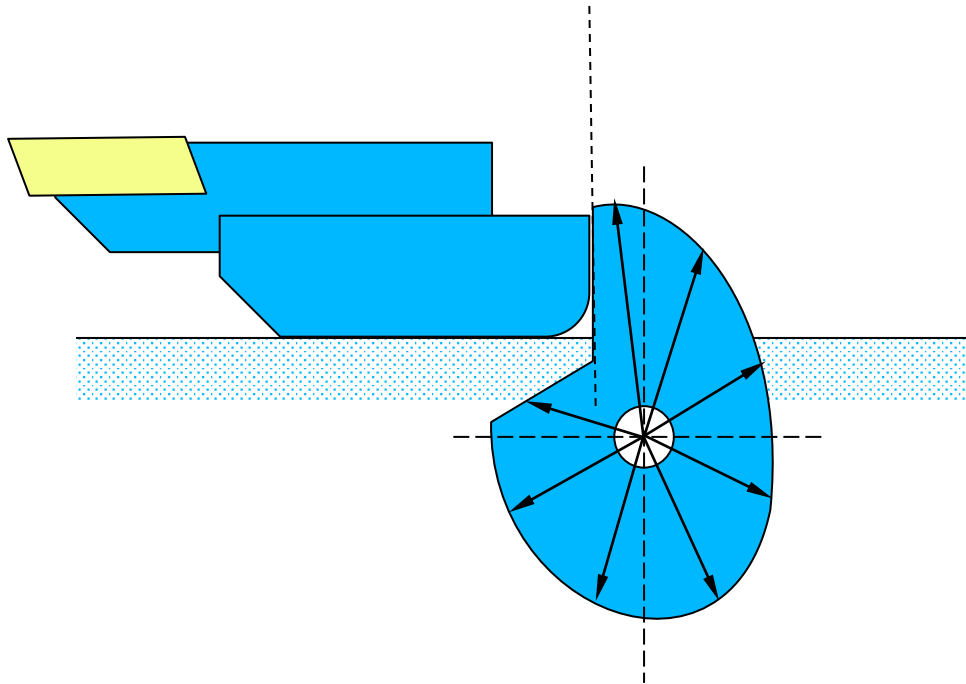


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

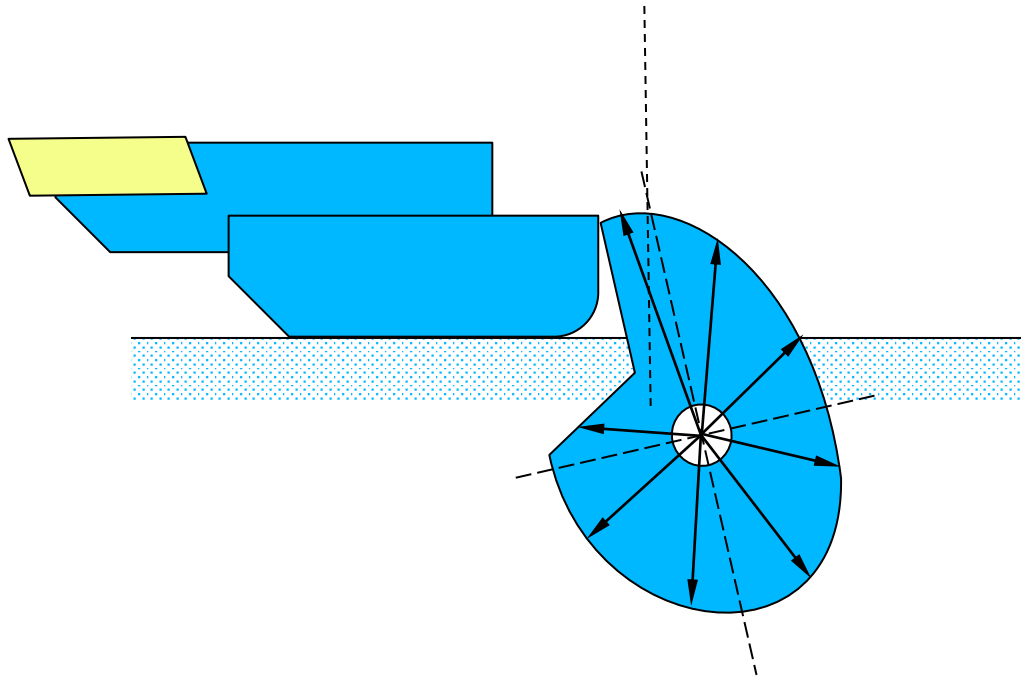


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames



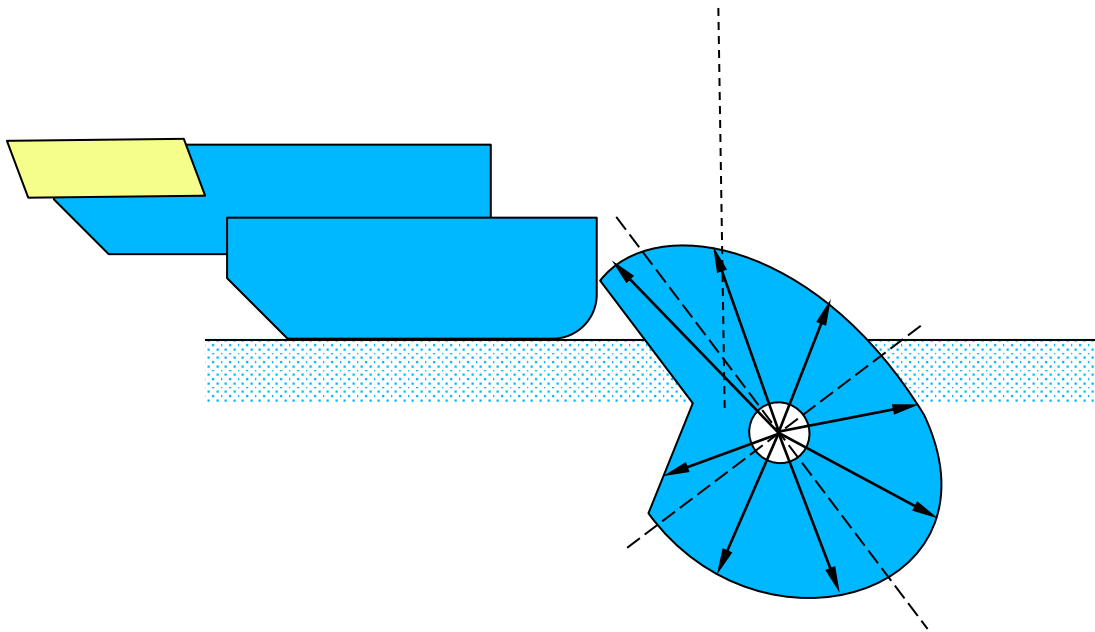
**Torno automático  
mecânico**





## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

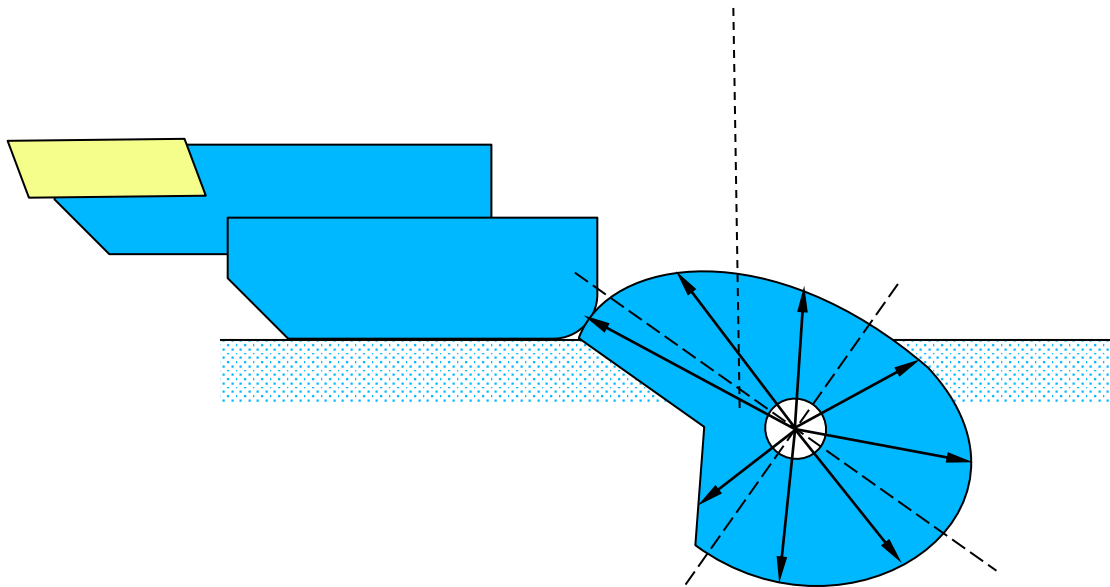


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

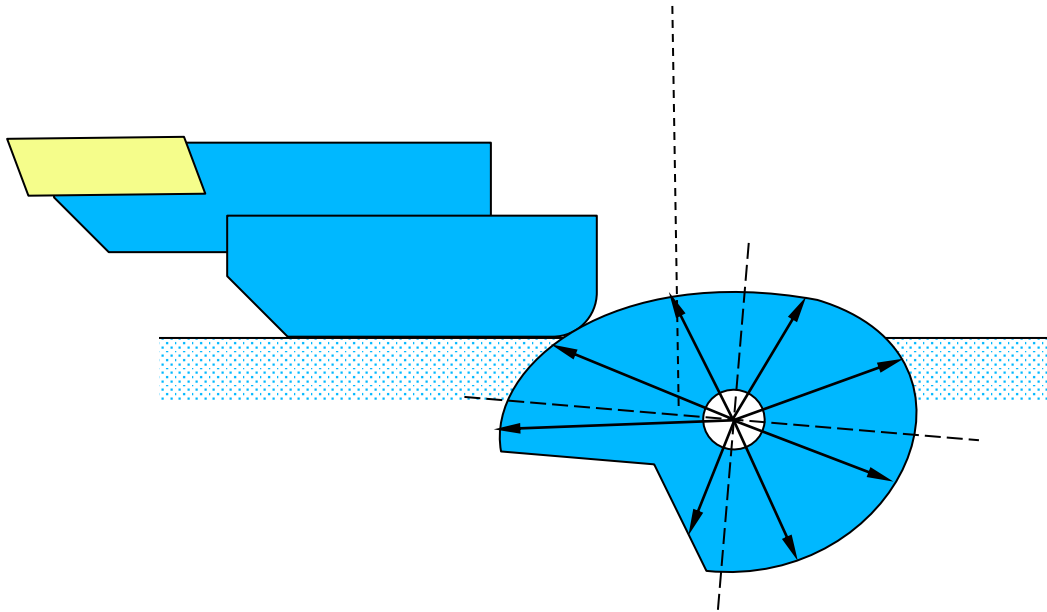


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames



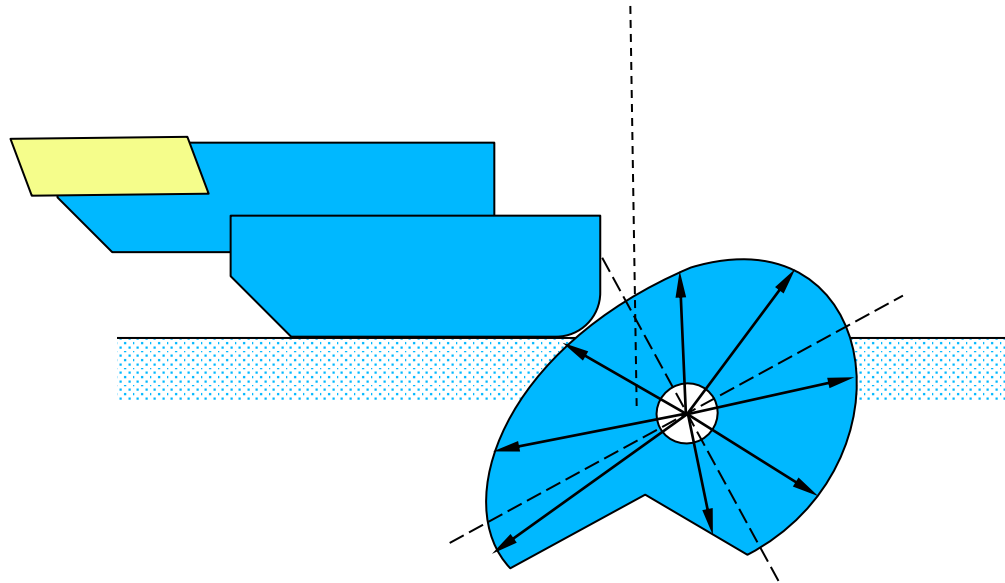
**Torno automático  
mecânico**





## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

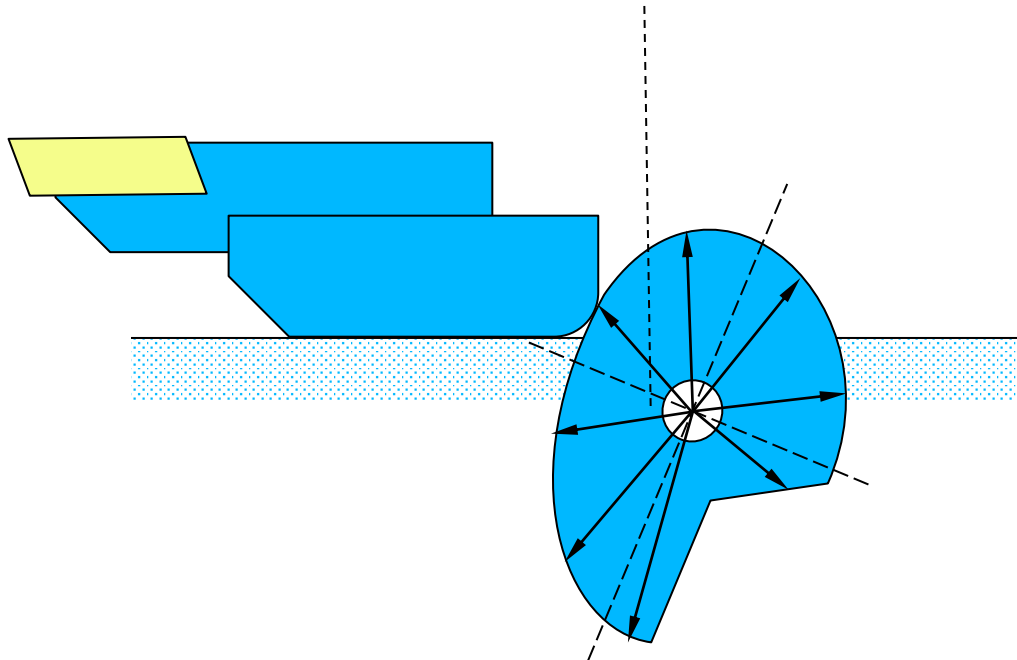


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

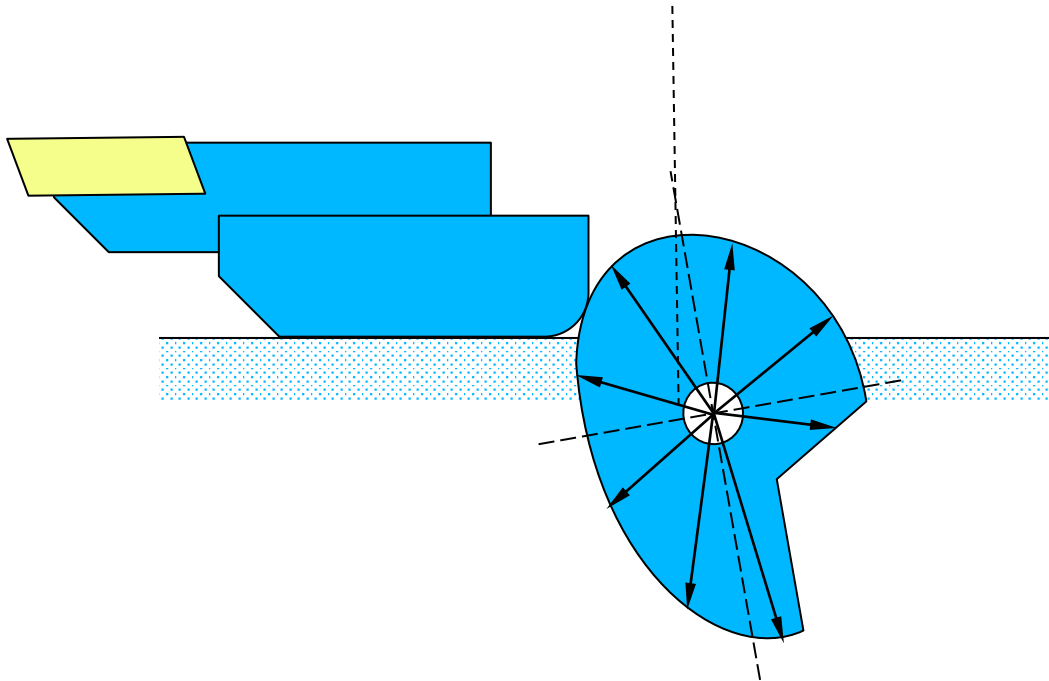


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames



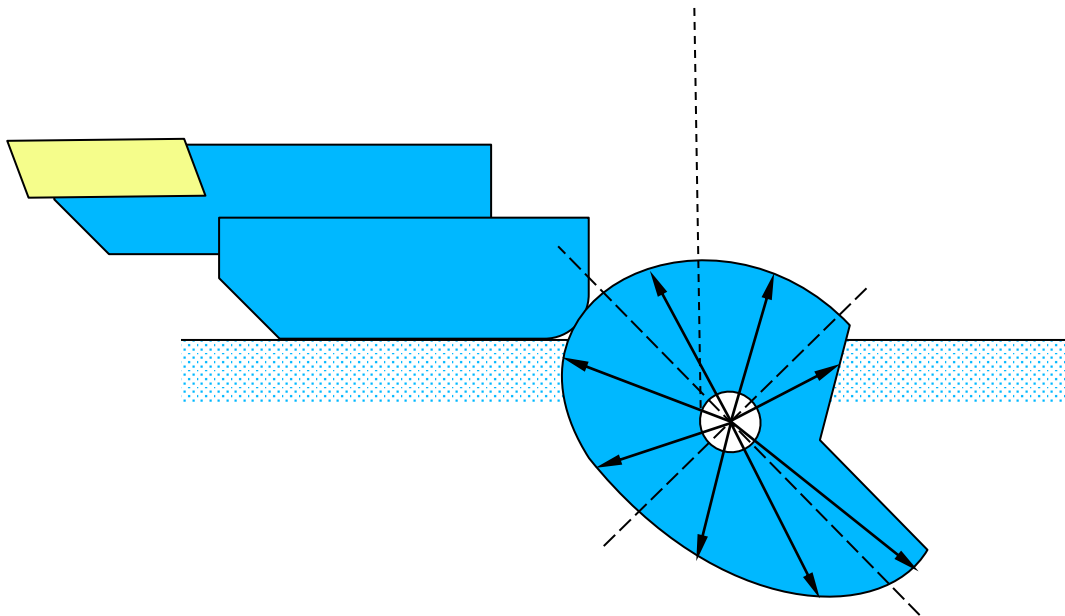
**Torno automático  
mecânico**





## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

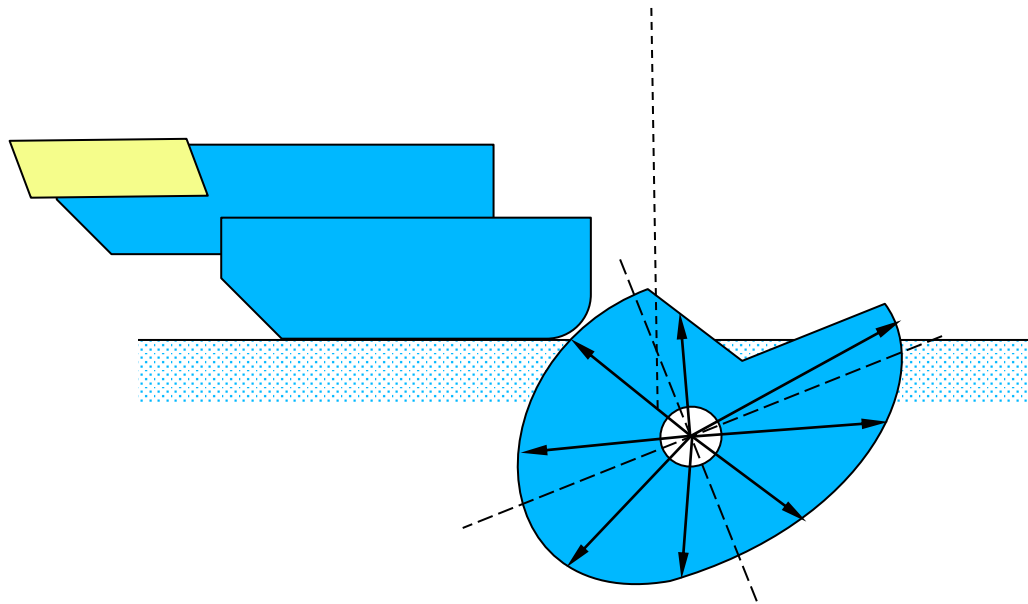


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

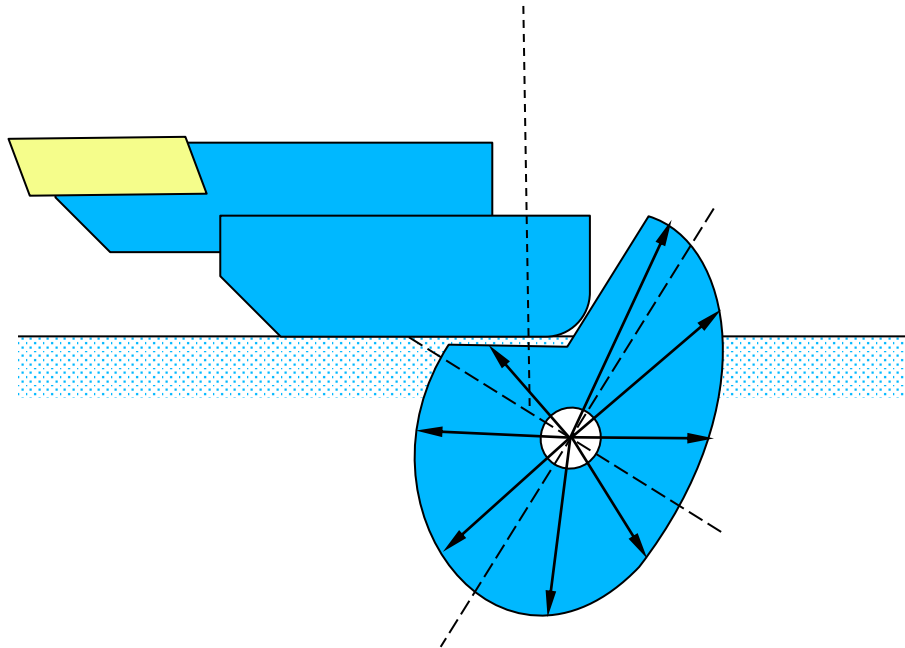


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

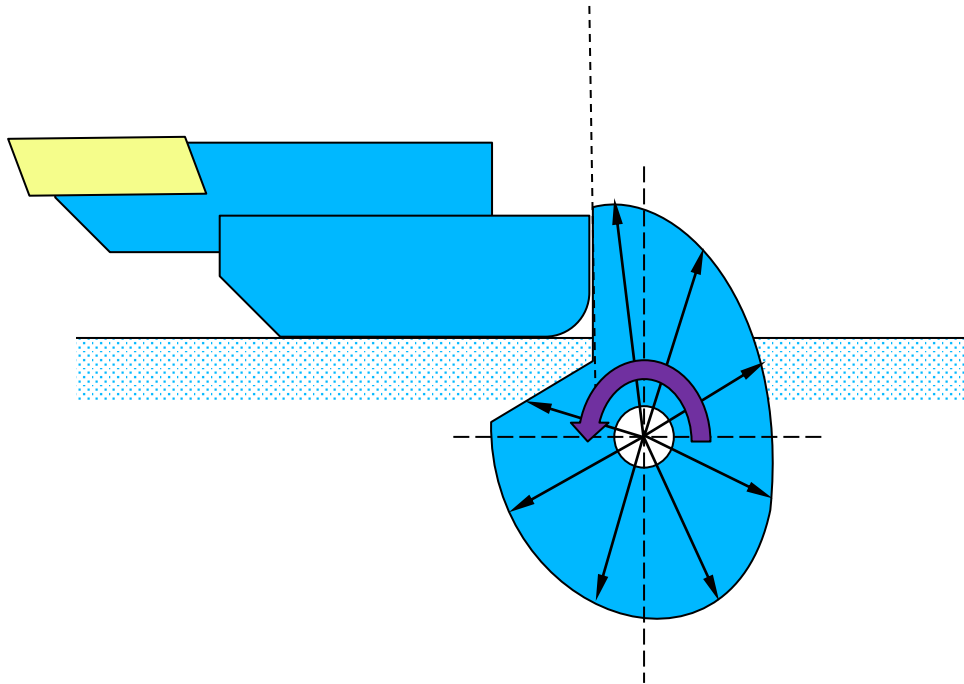


**Torno automático  
mecânico**



## Automatização da usinagem

### Automatização mecânica com cames

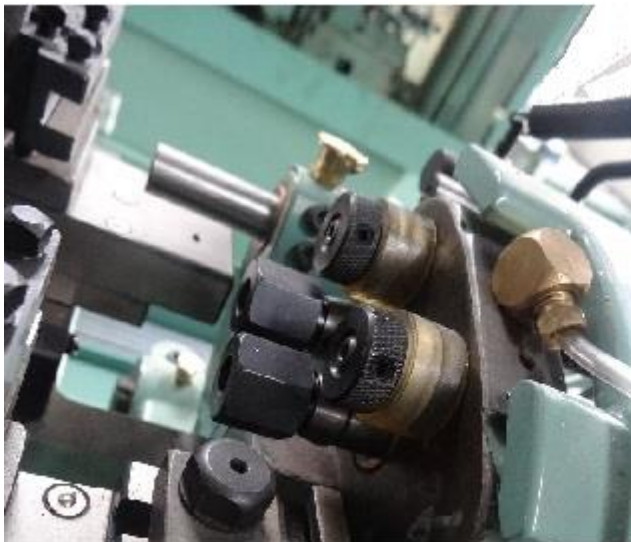


**Torno automático  
mecânico**



## **Automatização da usinagem**

### **Automatização mecânica com cames**





## Automatização da usinagem

### Comando Numérico computadorizado

#### Histórico

- 1942 – John T. Parson ⇒ idéia de usar “computadores” IBM com cartões perfurados para calcular trajetórias de ferramentas
- 1952 - Primeira máquina-ferramenta NC é demonstrada no *Massachusetts Institute of Technology*







## Automatização da usinagem

### Comando Numérico computadorizado

#### Histórico

- 1955 - Giddings e Lewis desenvolveram a primeira máquina NC comercial. Era uma fresadora "5 eixos" com fitas-magnéticas e tinha uma mesa de 1,98 X 5,94 m (6-18') com dois cabeçotes cada um se movendo ao longo de dois eixos





## Convencional X Comando numérico





## Aplicações do Comando Numérico



**torneamento**



**fresamento**



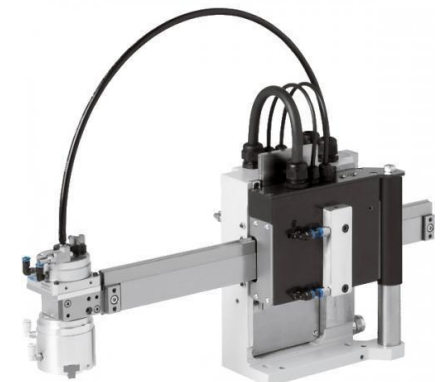
**Máquinas de medir por coordenadas**



**robôs**



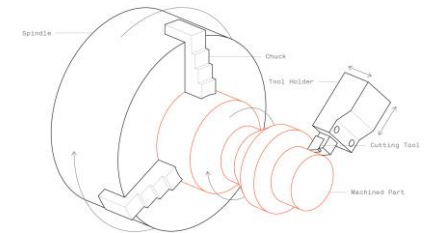
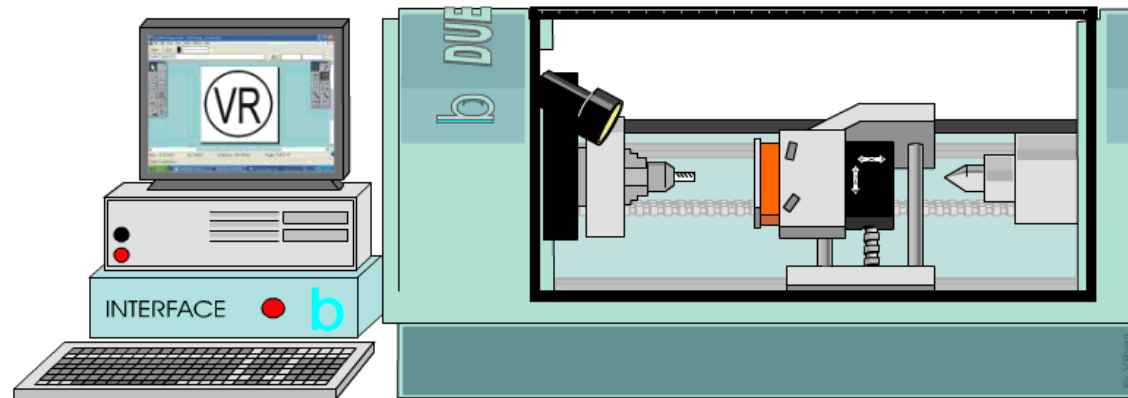
**Máquinas de corte a Laser/plasma**



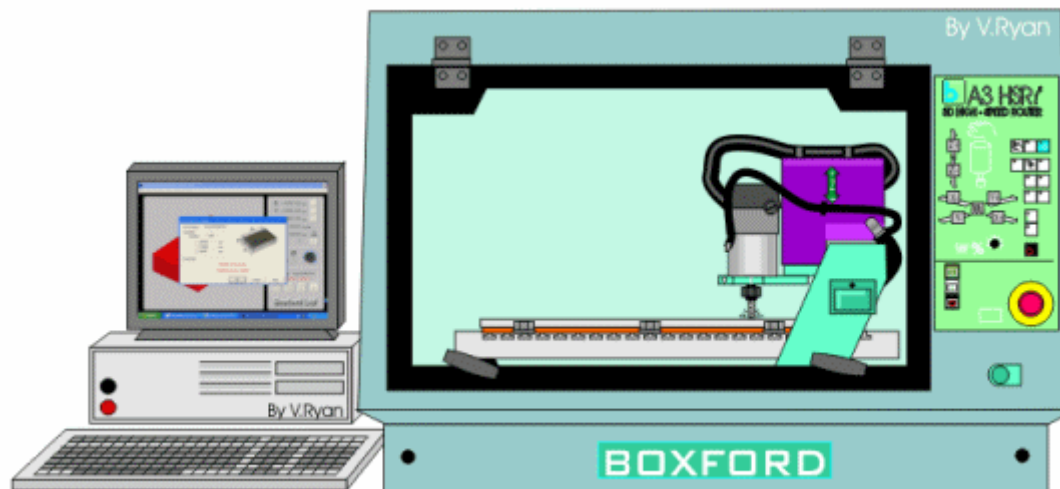
**manipuladores**



## Exemplo de torneamento CNC



## Exemplo de fresamento CNC





## **Vídeos Exemplos**

### **Walter Tools WFL Demo 2.0**

<https://www.youtube.com/watch?v=tHEJafOXhAE>

### **Cnc Machine Metal Machining**

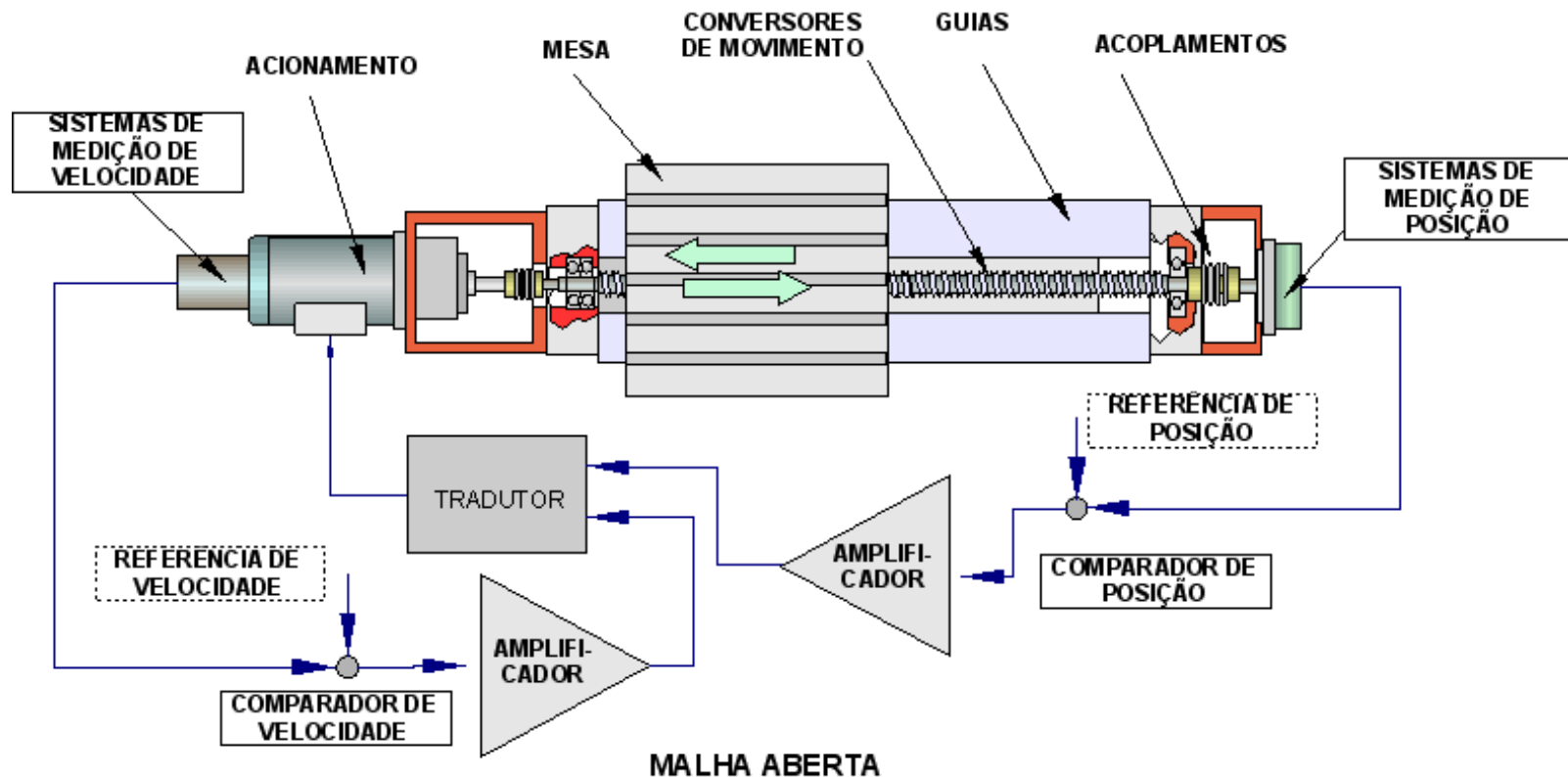
<https://www.youtube.com/watch?v=81UjjSH2iFw>





## Controle de movimentação

- **Sistema em malha fechada** - onde há a necessidade de se realimentar a malha com informações de posição, velocidade ou equivalentes





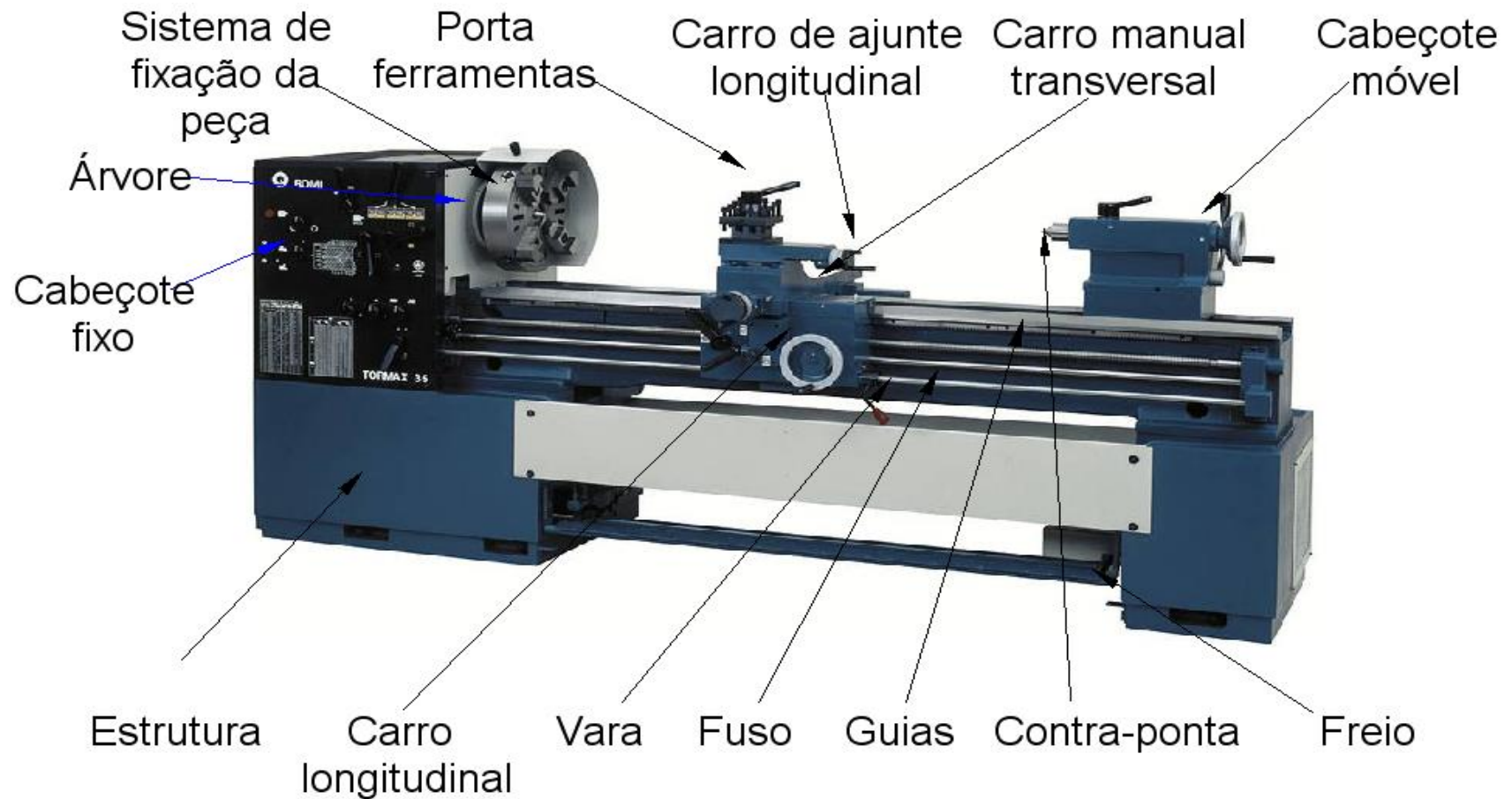


## Informações controladas pelo computador

- **primárias** ==> controle dos movimentos principais da máquina (rotação da árvore, movimento, incremento e sincronismos dos eixos de movimentação, acelerações e velocidades de avanço, etc.)
- **secundárias** ==> controle dos sistemas auxiliares, (refrigeração, troca de ferramentas, transporte de cavacos, pressão nas linhas ar comprimido e fluido hidráulico, vácuo, etc.)

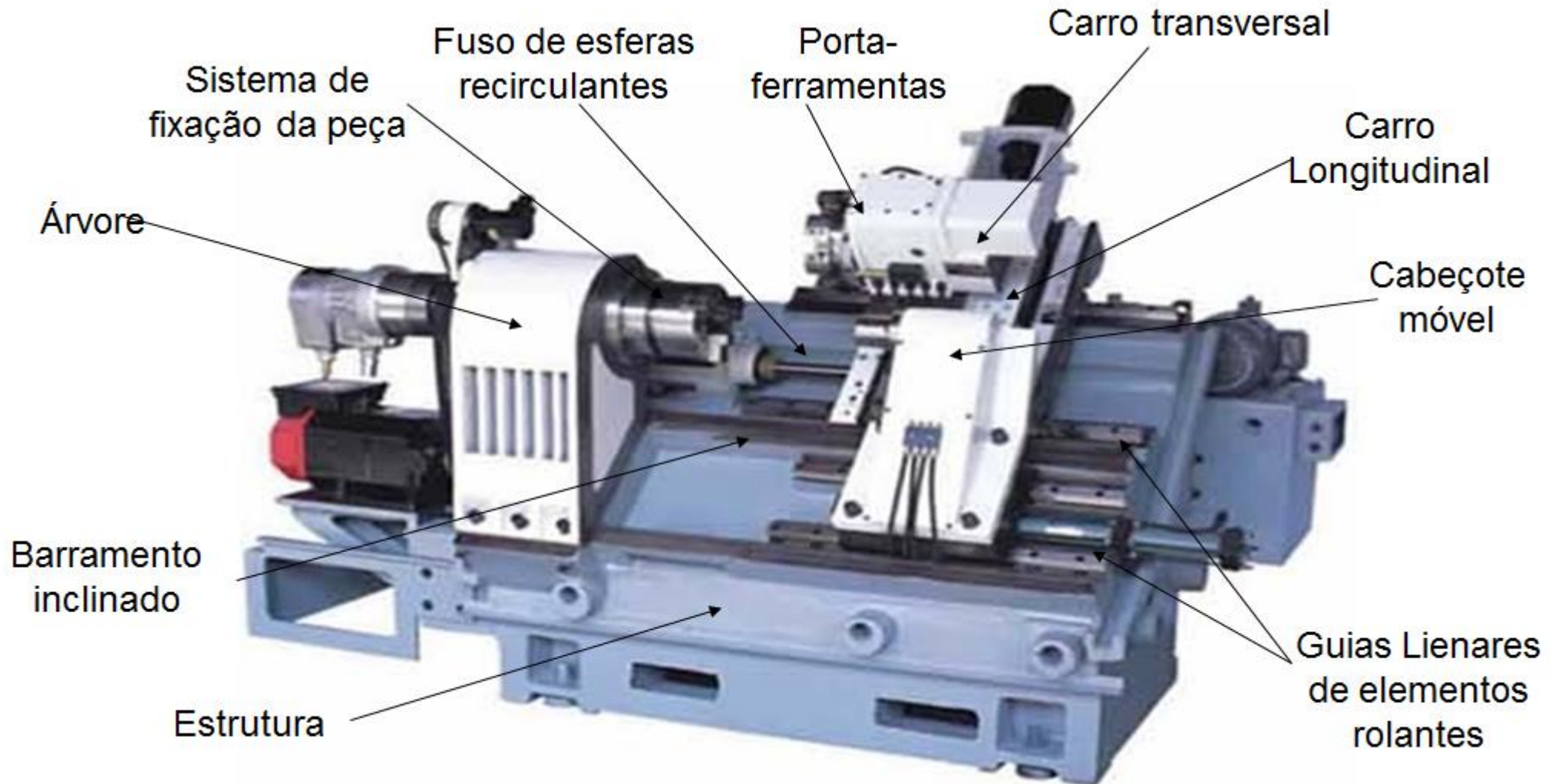


## Torno convencional



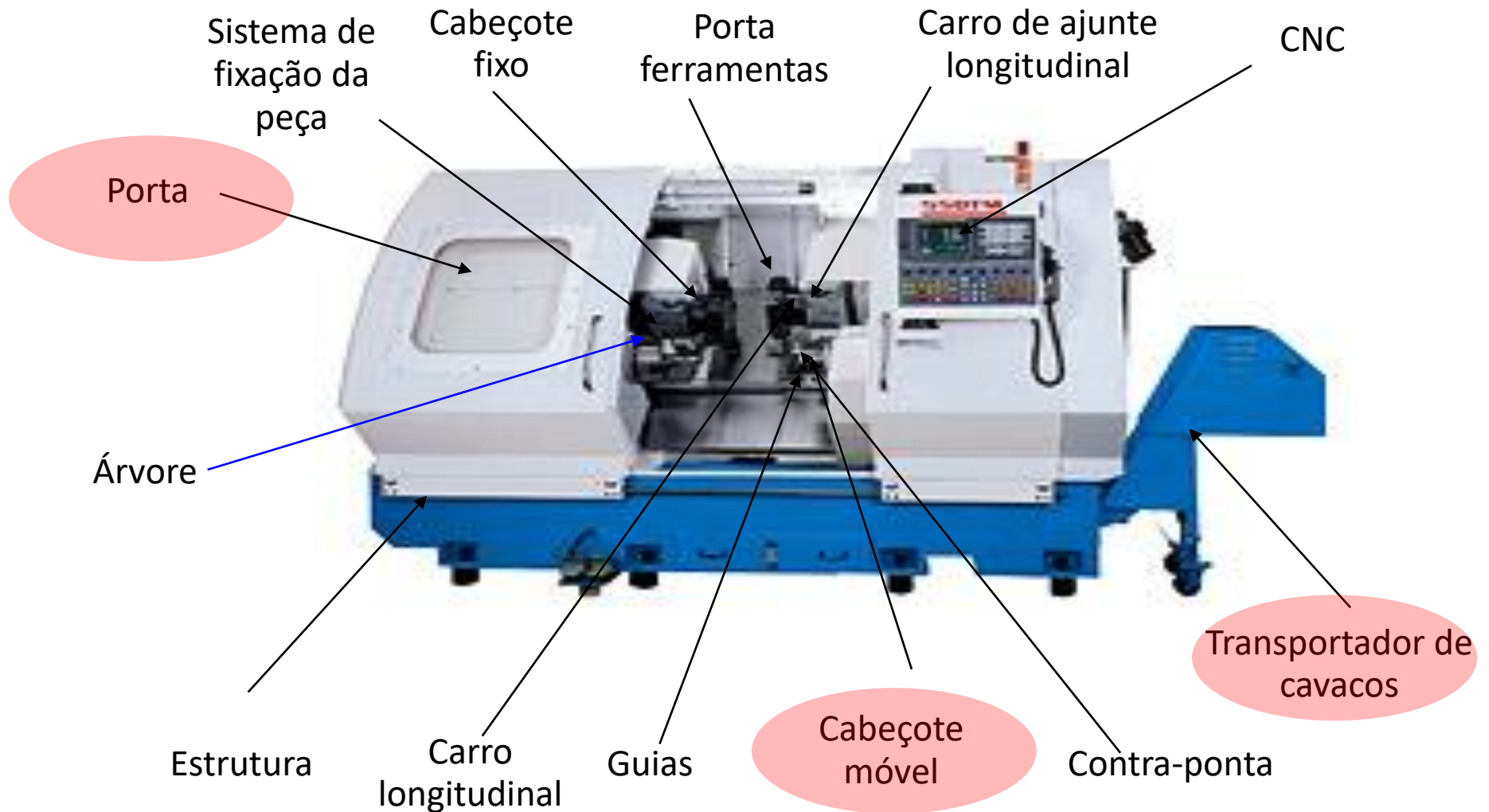


## Torno de comando numérico





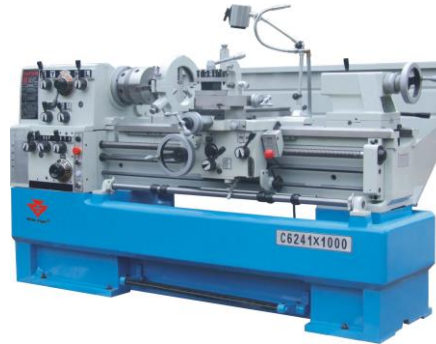
## Torno de comando numérico







## Torno de convencional X comando numérico



- |   |                         |                          |
|---|-------------------------|--------------------------|
| → Velocidade da árvore  | ▪ Baixa (~3.600 rpm)    | ▪ alta (10.000+ rpm)     |
| → Velocidades de avanço   | ▪ Baixas                | ▪ Altas                  |
| → Potência na árvore  | ▪ Baixas                | ▪ Altas                  |
| → Velocidades contínuas   | ▪ Não                   | ▪ Sim                    |
| → Exatidão de posicionamento  | ▪ Baixa (~0,05 $\mu$ m) | ▪ Baixa (~0,001 $\mu$ m) |
| → Flexibilidade   | ▪ Baixa                 | ▪ Alta (múltiplos prog.) |
| → Integração com sistemas de manufatura<br>(robôs, células, linhas transfers, etc.) | ▪ Não, difícil          | ▪ Sim, fácil             |
| → Dependência do operador   | ▪ Alta                  | ▪ Muito baixa            |



## **Automatização da usinagem**

### **Células de manufatura**

#### **Tecnologia de Grupo**

Técnica e filosofia de aumento da eficiência da produção através do agrupamento de peças variadas. O agrupamento pode ser feito por semelhanças de forma, dimensões ou rota de processo, ou qualquer combinação destas.

Proporciona o efeito de produção em massa em pequenos e médios lotes.

Esta técnica é extremamente eficiente em processos produtivos que envolvam grande variedade de produtos e ou na produção de pequenos lotes.





## **Automatização da usinagem**

### **Células de manufatura**

#### **Vantagens da Tecnologia de Grupo**

- Padronização do projeto de peças e minimização da duplicação de projetos.
- o projeto de novas peças podem ser feitos baseados em projetos anteriores
- Informações relativas ao projeto e fabricação da peça preparadas por um engenheiro experiente podem ser utilizadas por todos



## **Automatização da usinagem**

### **Células de manufatura**

#### **Vantagens da Tecnologia de Grupo**

- Custos de fabricação podem ser estimados mais facilmente e com maior exatidão
- Planos de processo podem ser padronizados e programados de modo eficiente, ordens de produção podem ser agrupadas, tempos de preparação podem ser reduzidos, ferramentas, dispositivos de fixação e máquinas podem ser compartilhados pela família de peças.



## **Automatização da usinagem**

### **Células de manufatura**

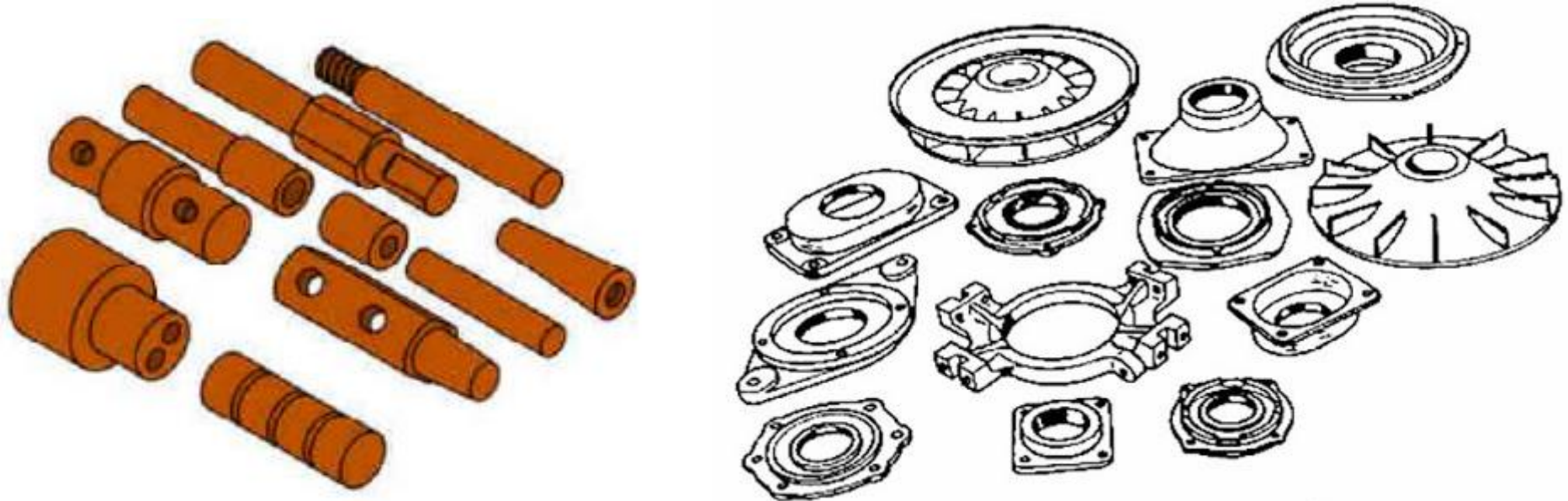
#### **Vantagens da Tecnologia de Grupo**

- uso de CAD/CAM e integração de sistemas computacionais (CIM-Fábrica digital)
- Redução do Custo do Material em Processo e Estoque: ocorre pela redução do ciclo de fabricação, melhor resposta a demanda e à diminuição dos estoques intermediários combinados ao estoque final.



## Automatização da usinagem Células de manufatura

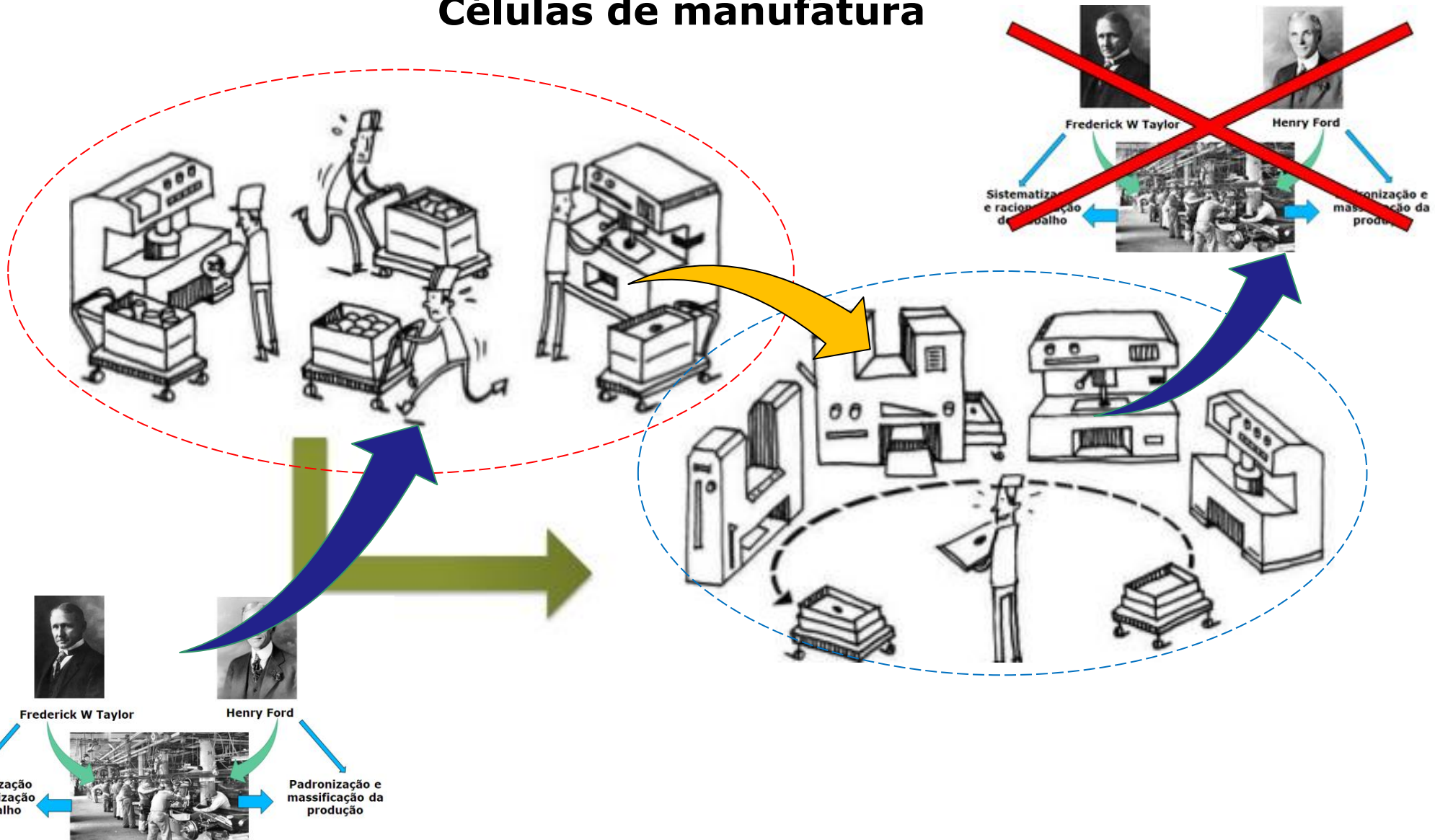
### Exemplos de famílias de peças





# Automatização da usinagem

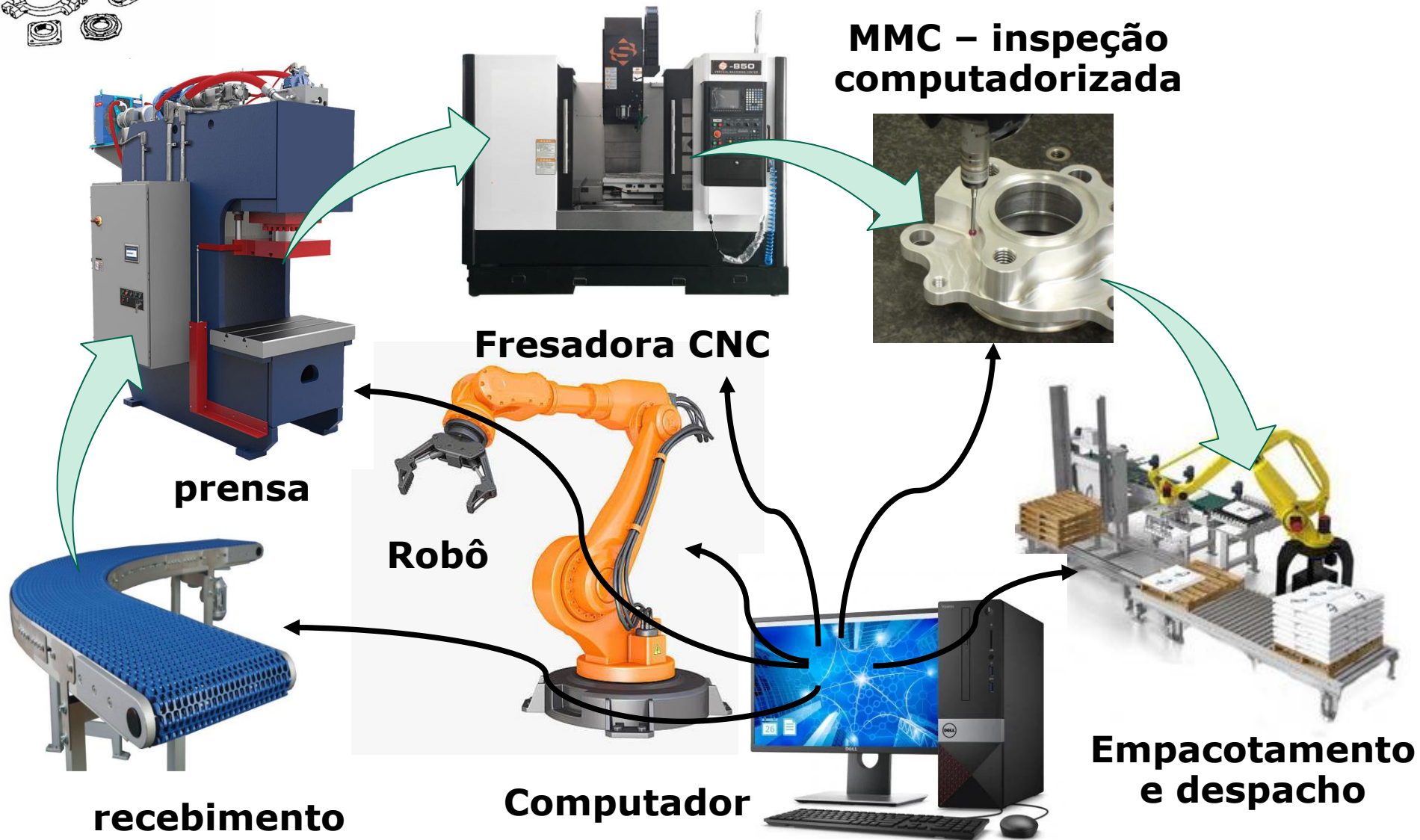
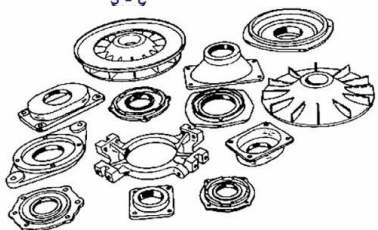
## Células de manufatura







## Automatização da usinagem Célula de manufatura

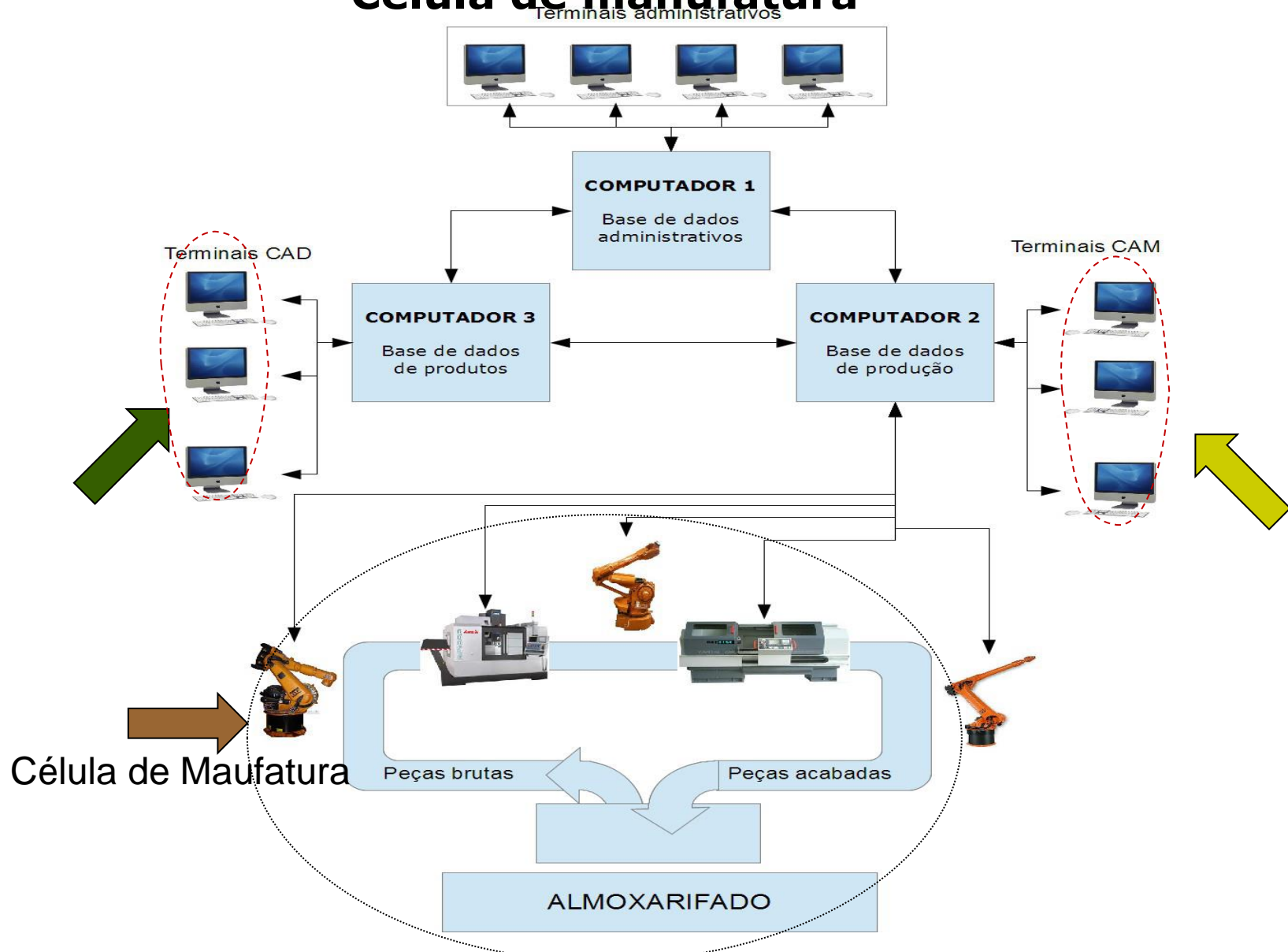


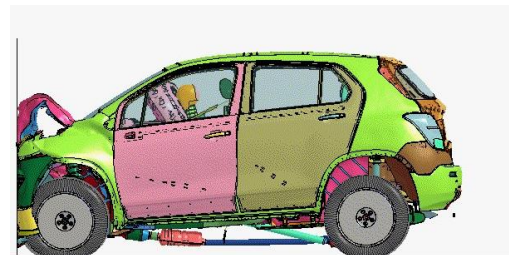
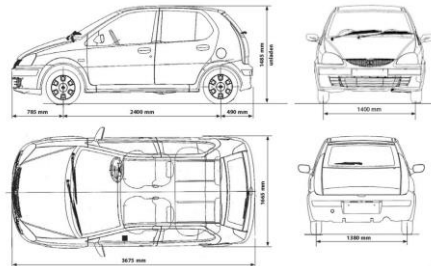
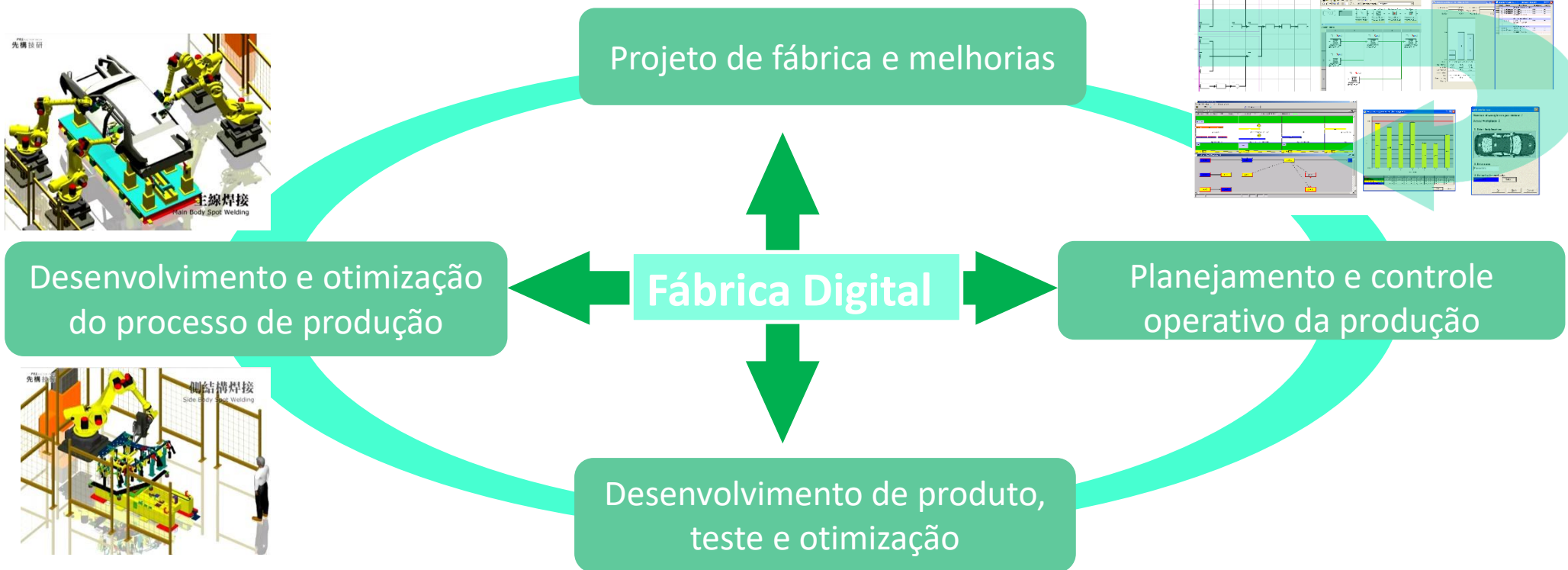
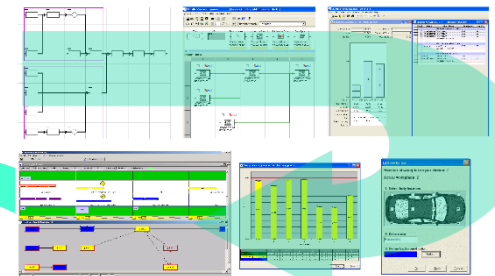
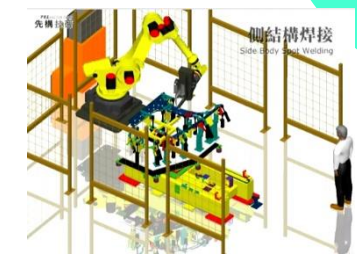
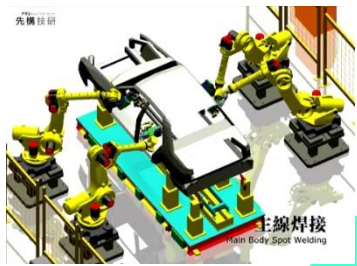
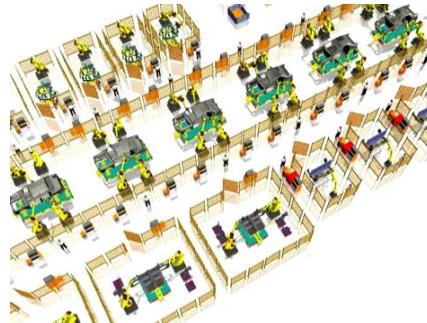


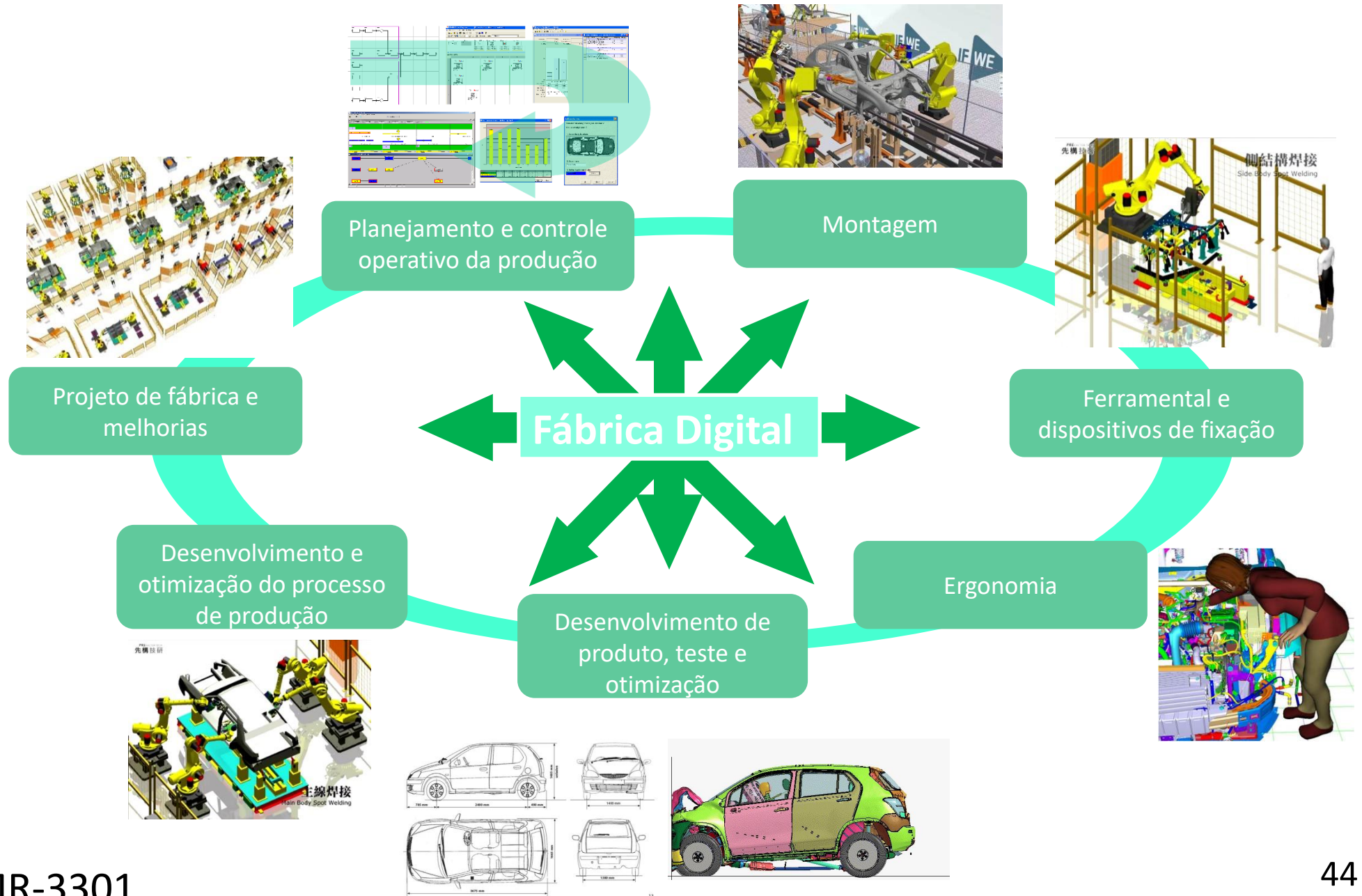


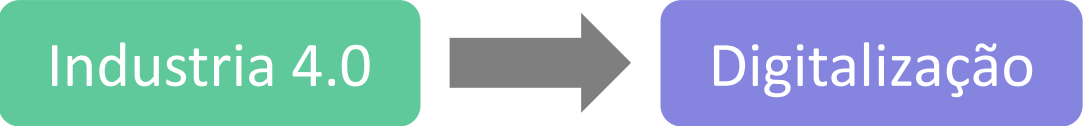
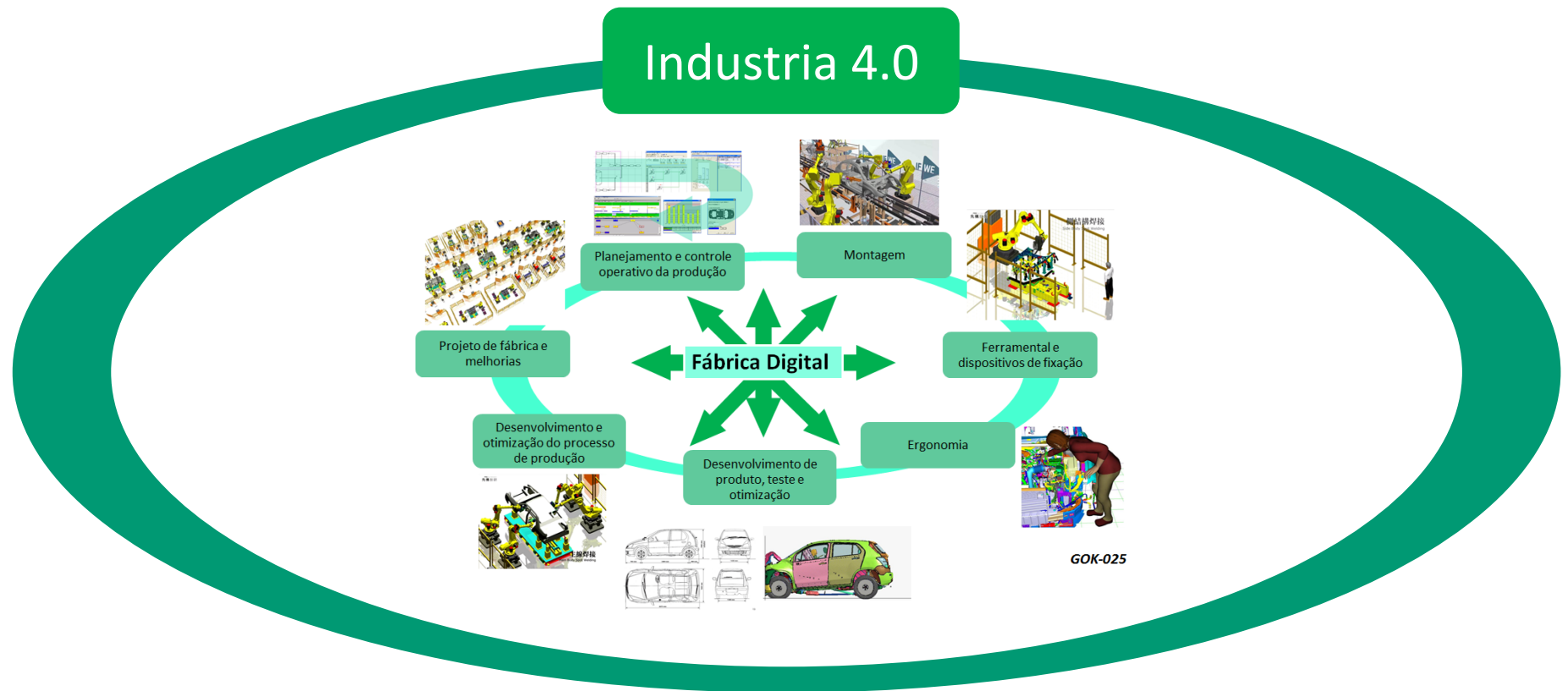
## Automatização da usinagem

### Célula de manufatura







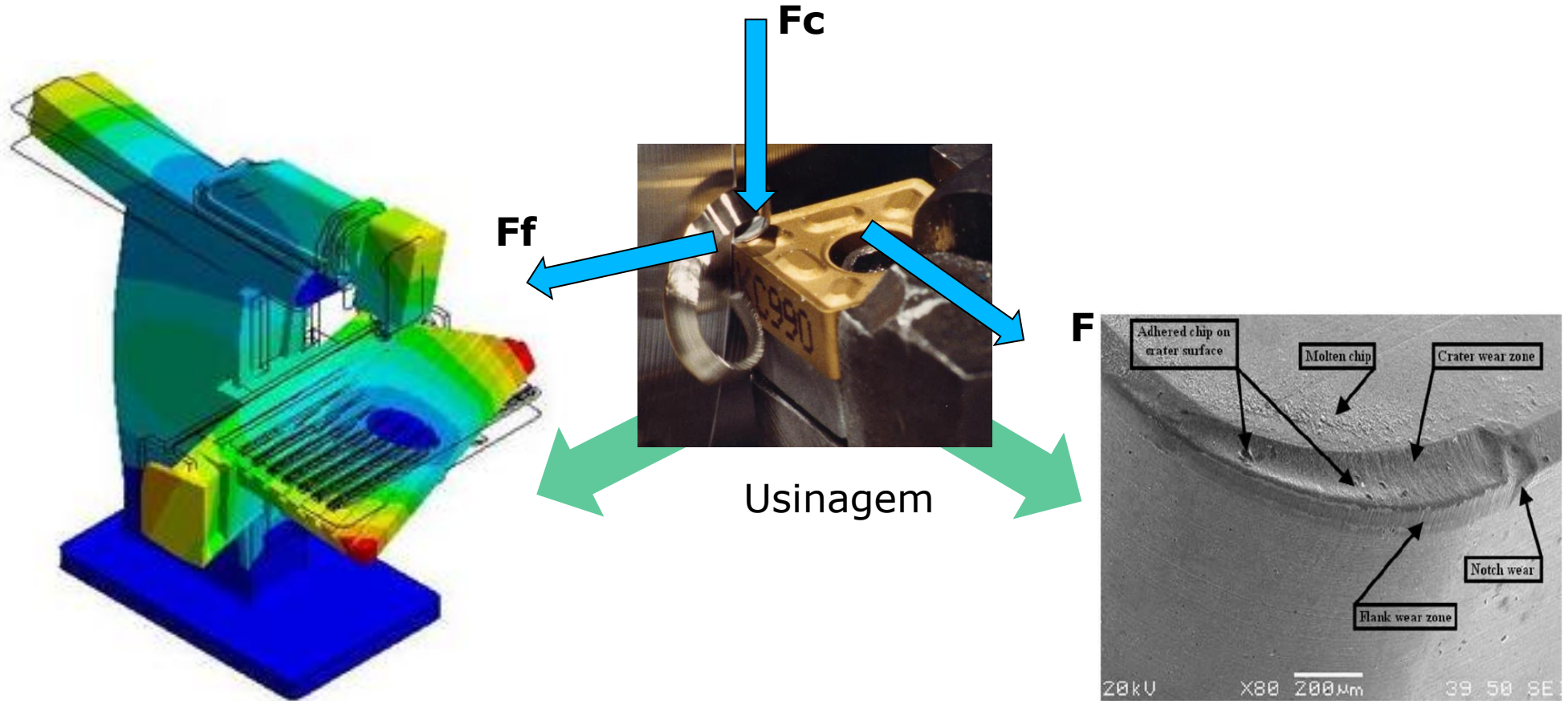






## Automatização da usinagem

## Monitoramento do processo



Deformações estáticas, dinâmicas e térmicas na estrutura

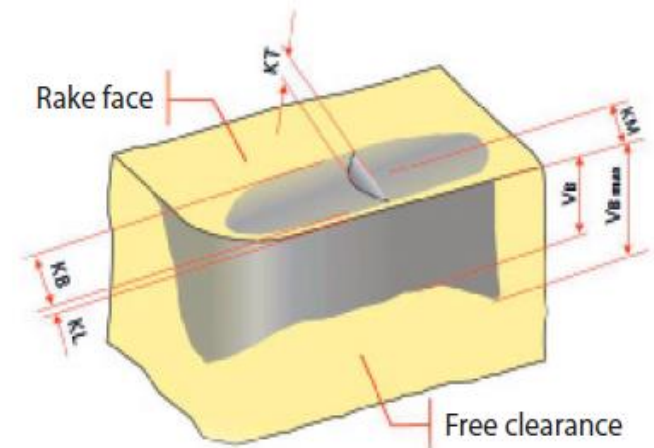
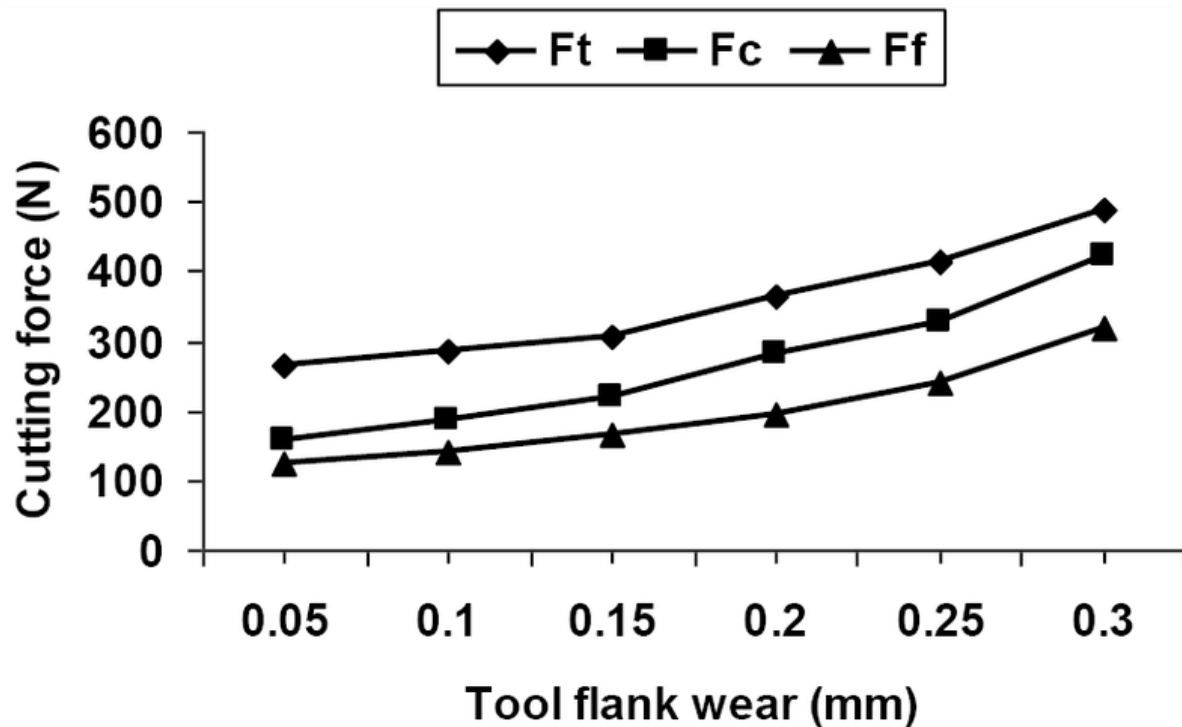
Desgaste da ferramenta





## Monitoramento do processo

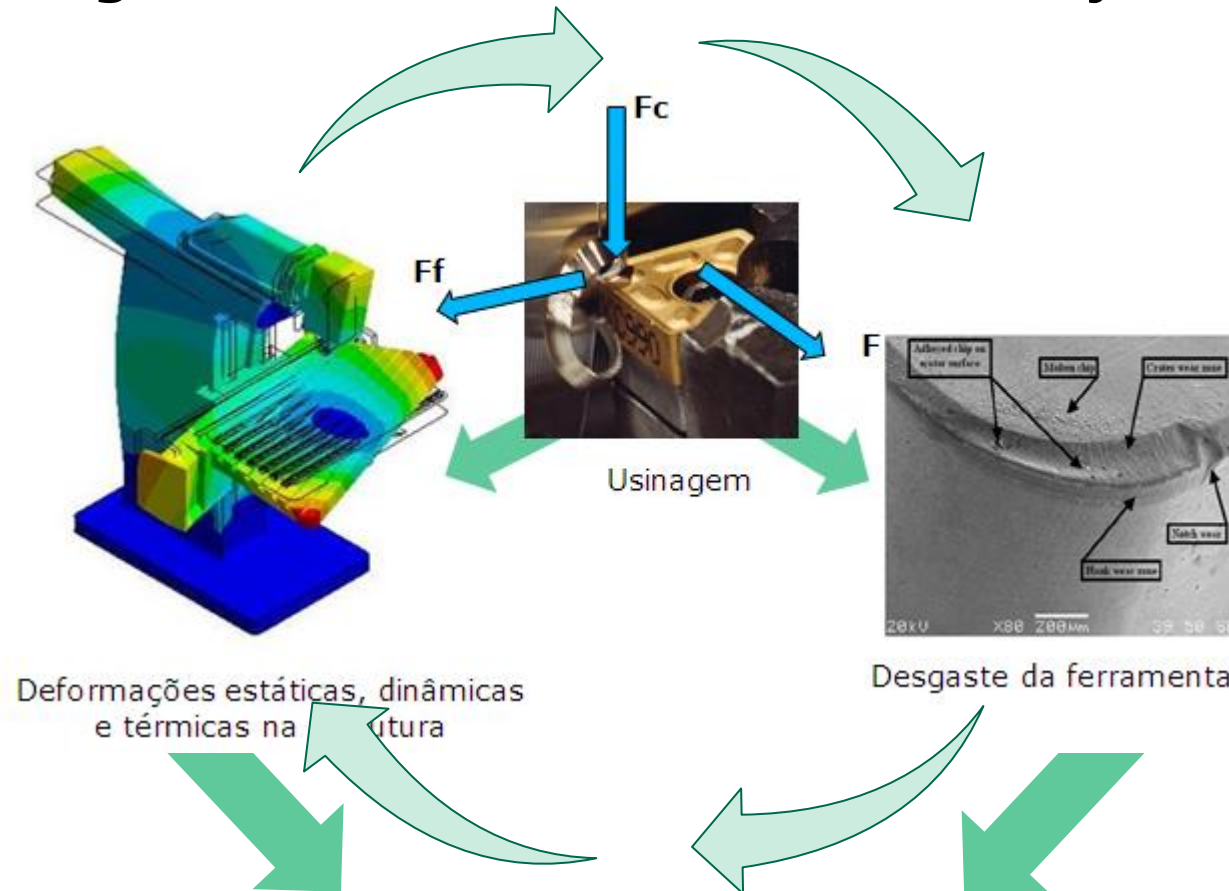
### Efeito do desgaste da ferramenta sobre as forças





## Monitoramento do processo

### Efeito do desgaste da ferramenta sobre as forças e máquina



- Perdas de qualidade da peça
- Aumento dos custos de produção
  - Danos na máquina



## Monitoramento do processo de usinagem

Os principais fatores responsáveis por paradas não programadas nos processos convencionais de usinagem são:

- ⇒ fim de vida prematuro da ferramenta
- ⇒ quebra ferramenta
- ⇒ formação de cavacos irregular

A única forma de automatizar o processo, com garantia de aumento de produtividade, está na inserção de sensores que possibilitem o estabelecimento de uma malha de controle baseada nas relações de causa e efeito dos processos de usinagem.



## Monitoramento do processo de usinagem

### **Objetivos**

O monitoramento tem como objetivos:

- ⇒ maximizar os tempos principais
- ⇒ evitar o refugo de peças
- ⇒ evitar a necessidade de retrabalho de peças
- ⇒ reduzir ou eliminar os risco de colhisões entre ferramenta e peças ou máquina
- ⇒ eliminar problemas de imperícia de operadores e programadores



## Monitoramento do processo de usinagem

### **Objetivos**

- ⇒ detecção de colisões
- ⇒ detecção de contato
- ⇒ detecção de falta
- ⇒ detecção de quebra
- ⇒ monitoramento dos mancais da árvore
- ⇒ detecção de desgaste
- ⇒ balanceamento de peças
- ⇒ detecção e limitação de desbalanceamentos
- ⇒ monitoramento da condição de componentes da máquina ferramenta





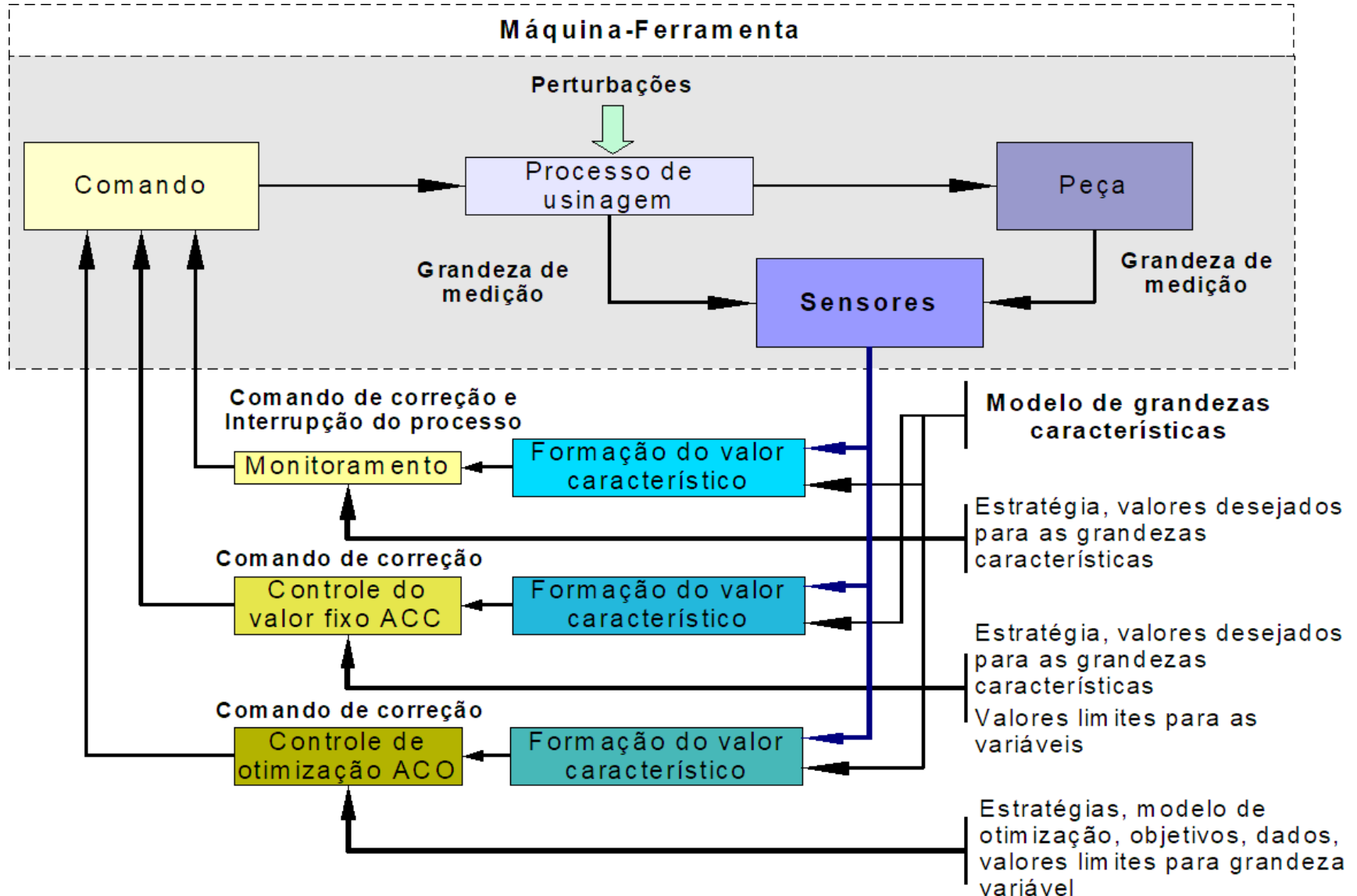
## Monitoramento do processo de usinagem

### **Requisitos dos sistemas de monitoramento**

- ⇒ Velocidade de resposta - capacidade desse de interferir no processo de forma quase imediata
- ⇒ devem ser autônomos e funcionais, ou seja, devem operar de forma independente do tipo de controle a que estão acoplados
- ⇒ Compatibilidade com diversos sensores
- ⇒ Processamento dos sinais dos sensores sem a necessidade de tratamento de sinal prévio ==> defasagem



## Diagrama funcional de um sistema de controle de processo

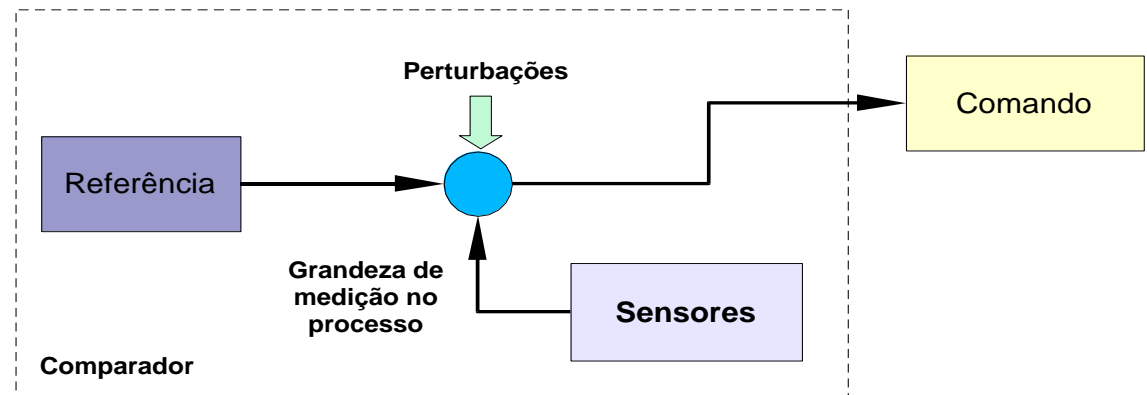




## Monitoramento do processo de usinagem

### Grandezas que podem ser monitoradas

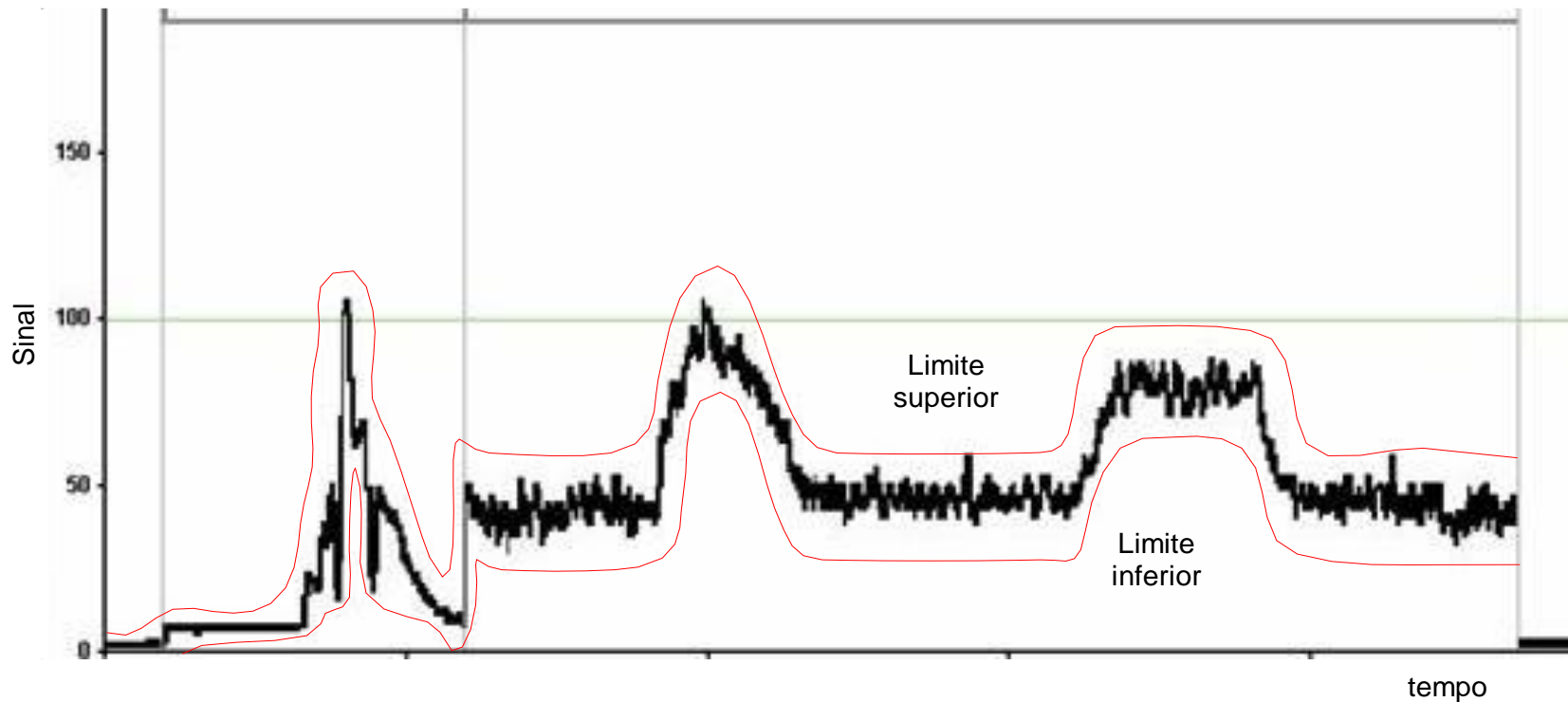
- ⇒ Potência
- ⇒ Forças
- ⇒ Emissão acústica
- ⇒ Vibrações
- ⇒ Fator de potência
- ⇒ Momento torsor
- ⇒ Deformação
- ⇒ Temperaturas





## Formas de processamento do sinal

- O reconhecimento de falha no processo é estabelecido através da comparação com um valor de referência, estabelecido para o ciclo de usinagem do componente





## Formas de processamento do sinal

- Reconhecimento de falha ocorre por sinais deslocados no tempo, amplificados ou reduzidos pela:
  - quebra da ferramenta
  - encurtamento da peça
  - Falta da ferramenta ou da peça
  - Ferramenta errada (*pre-set*)
  - peça errada ou fora das dimensões

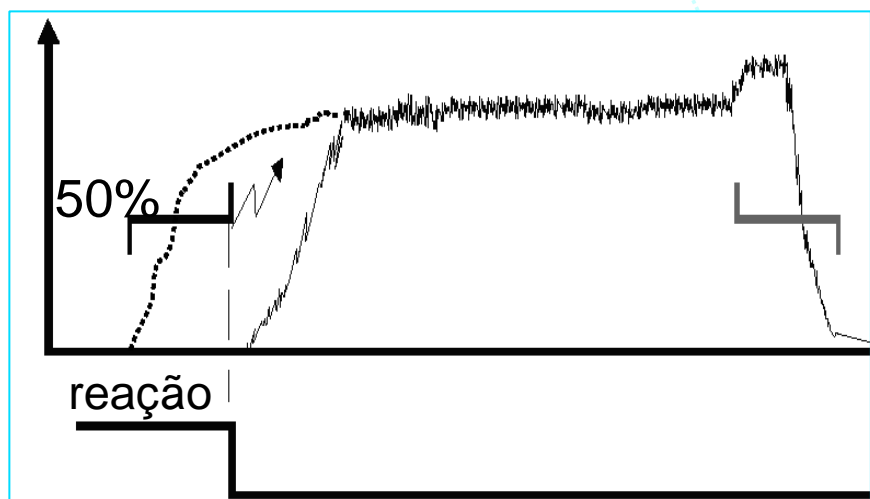
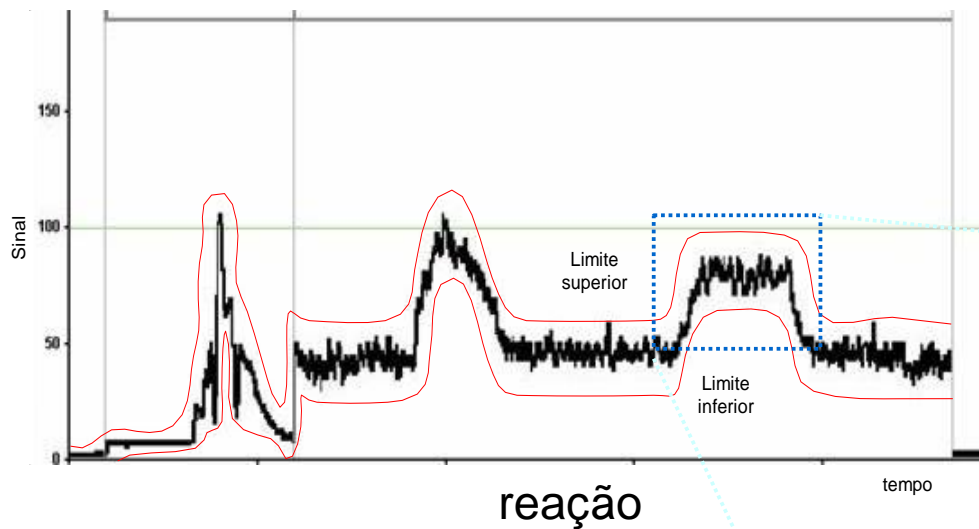




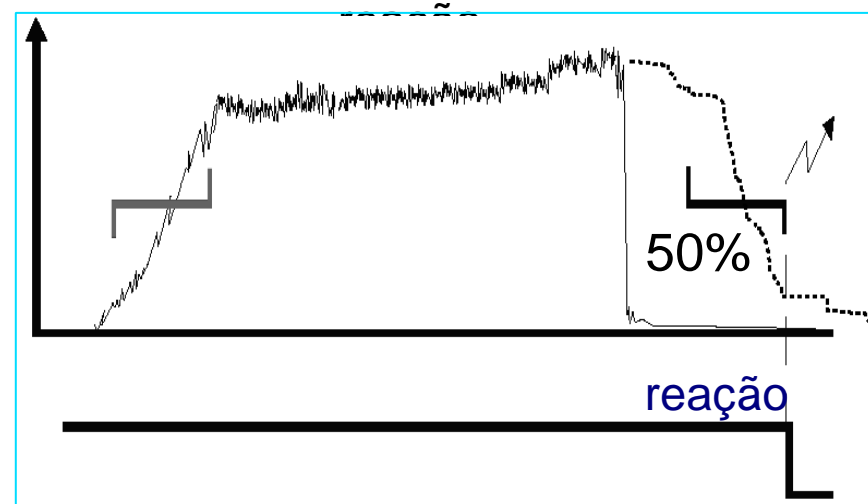
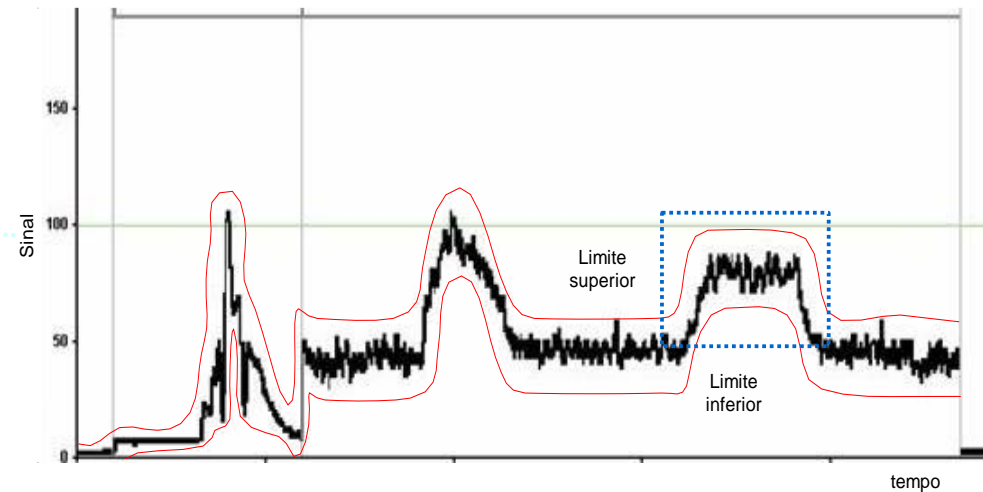


## Formas de processamento do sinal

### ➤ Sinal ascendente



### ➤ Sinal descendente





## Limites dinâmicos

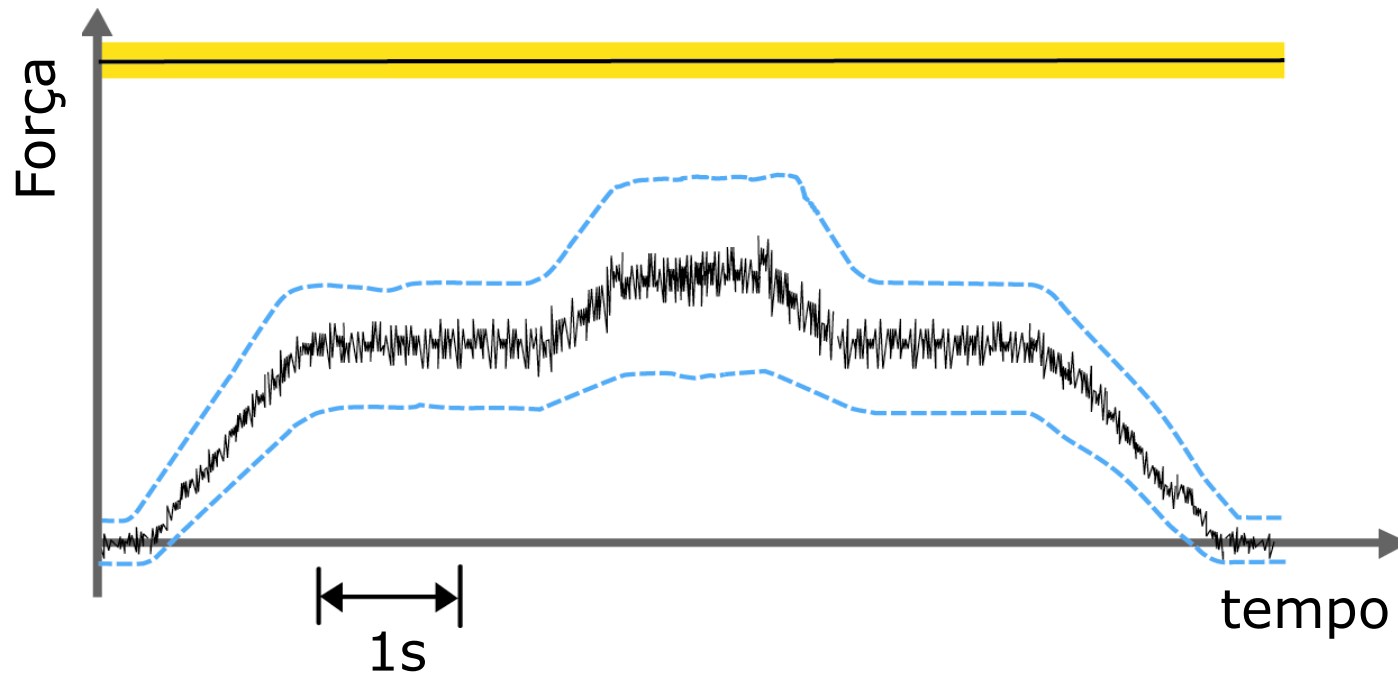
Indispensável para a detecção da quebra de ferramenta durante o desbaste de peças brutas no torneamento de peças fundidas e peças forjadas

- detecção da quebra da ferramenta em 5 ms
- parada total dos avanços depois da quebra da ferramenta após uma rotação da peça
- danos secundários minimizados de forma eficiente



## Limites dinâmicos

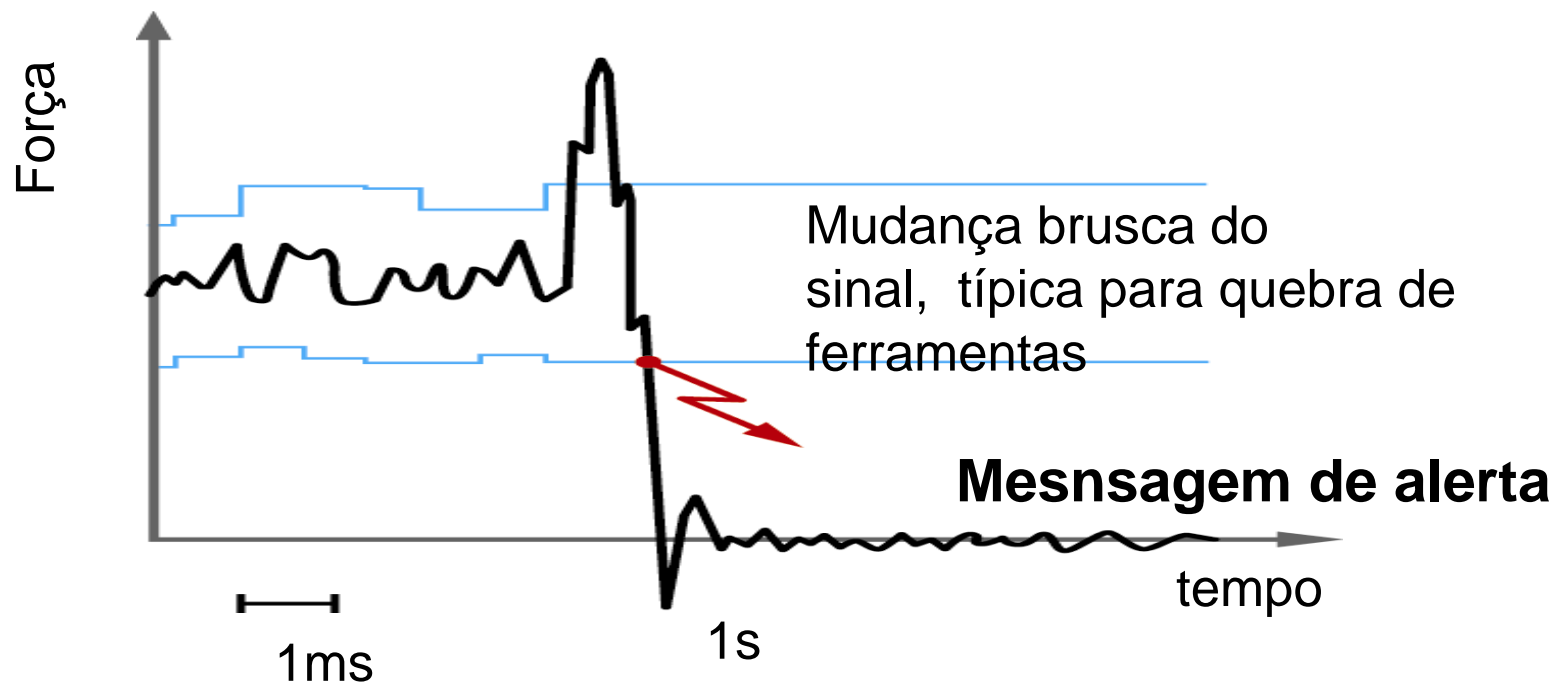
O alarme é ativado se, para o tempo pré-estabelecido, o sinal ascendente ou descendente não passou pelo limite





## Limites dinâmicos

- sempre numa distância ótima ao sinal de força
- detecção de quebra durante o desbaste no torneamento de peças brutas forjadas e fundidas
- ativo independentemente do ajuste dos limites





## Sensores

Sensores para a detecção de:

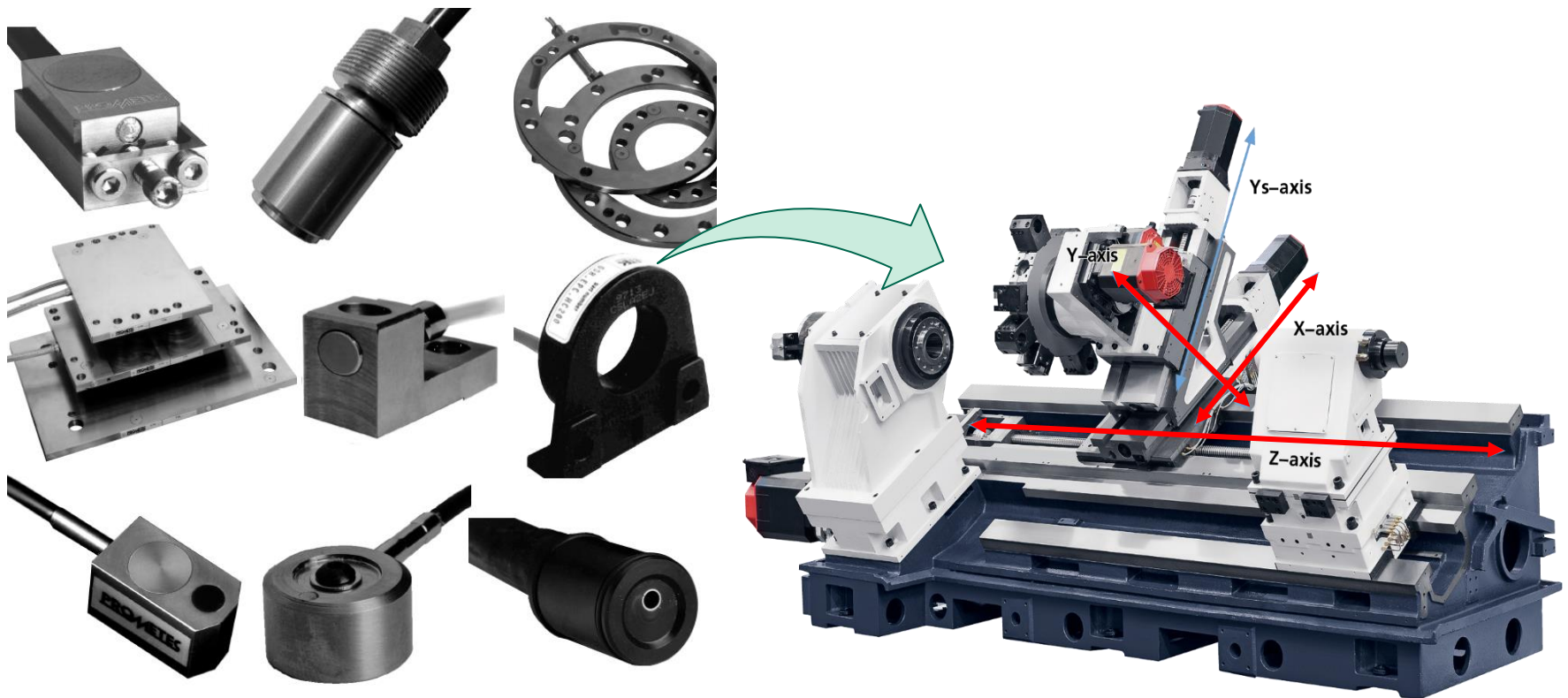
- ⇒ Força
- ⇒ Potência efetiva
- ⇒ Emissão acústica
- ⇒ Emissão acústica por via fluídica
- ⇒ Vibração
- ⇒ Distância
- ⇒ Informação diretamente dos sensores dos servo acionamentos







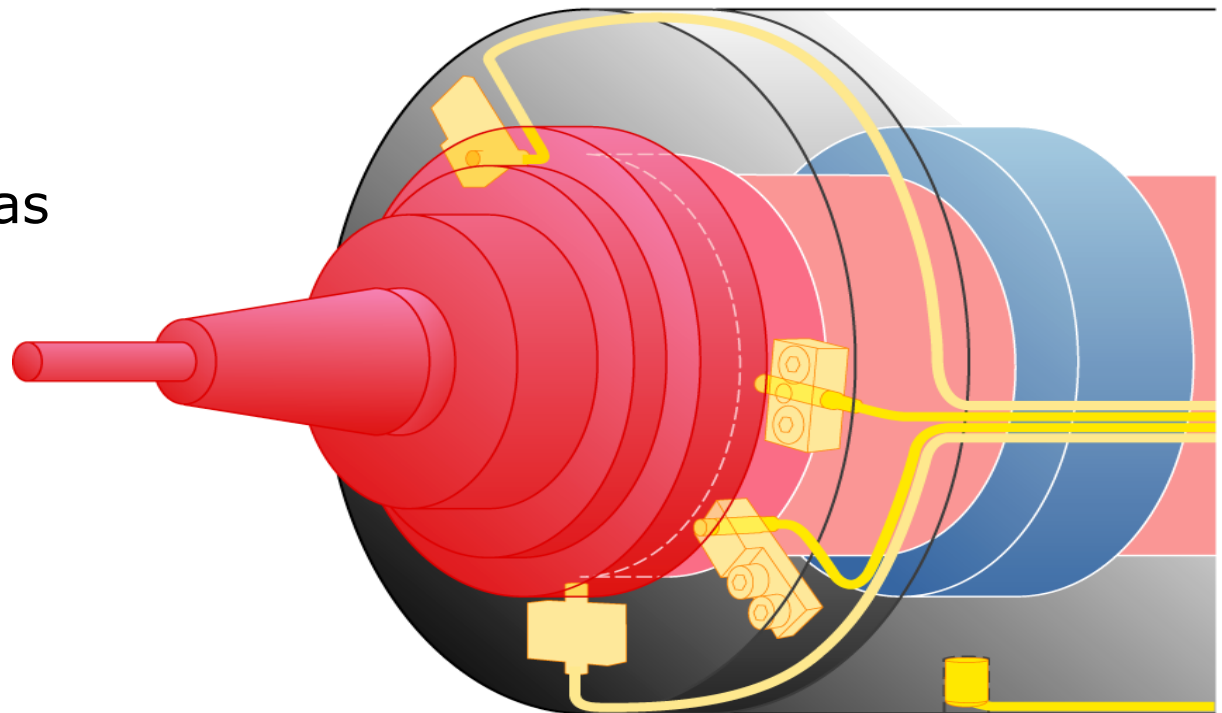
## Sensores





## Medição na árvore

- ⇒ Monitoramento de forças radiais e axiais
- ⇒ monitoramento dos mancais da árvore
- ⇒ detecção e limitação de desbalanceamentos
- ⇒ monitoramento da condição de componentes da máquina ferramenta
- ⇒ detecção de desgaste
- ⇒ balanceamento de peças
- ⇒



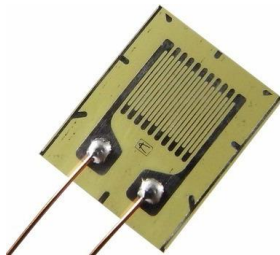


## Outras formas de monitoramento

⇒ Medição nos acionamentos



⇒ Medição na estrutura



extensômetros



Termopares ou  
termo resistores





## **Outras formas de monitoramento**

⇒ Monitoramento por vídeo





## **monitoramento**

⇒ vídeos

### **Tool and Process Monitoring - Artis 2010**

[https://www.youtube.com/watch?v=i1SRmE\\_A5SQ](https://www.youtube.com/watch?v=i1SRmE_A5SQ)

### **What Force Analysis Can Tell You About Your Machining Process**

<https://www.youtube.com/watch?v=kk60zREPqX4&t=158s>





## Questionamentos finais

1. Porque automatizar?
2. Porque flexibilizar a automação (CNC)?
3. Automação rígida X flexível
4. Porque monitorar o processo de usinagem?
5. A automação flexível pode ser utilizada em sistemas de produção rígidos (ex. linhas de produção/transfers)?



**- Fim da Aula -**