

Aula 12

- Máquinas-Ferramentas -

Tópicos

- Histórico
 - Considerações sobre o processo de usinagem
 - Relação entre os processos de Fabricação Tolerâncias e Acabamento
 - Nocões gerais de Teoria de Projeto aplicada a máquinas-ferramentas
 - Tendências no projeto de máquinas-ferramentas
 - Conceitos básicos
 - Constituintes de máquinas-ferramentas
-

- **Histórico**

- 6.000 A.C. – primeiras máquinas-ferramentas
- 1.500 A.C. – furadeiras a arco – antigo Egito
- 400 A.C. – primeiros tornos
- Século XIV – furação profunda
- Século XV – tornemanto ornamental
- Século XVI – ensaios de D'Vincci
- Século XIX – Torno de Maudslay
 - Primeiras máquinas automáticas
 - Novos tipos de máquinas
- Século XX – Novos sistemas de acionamentos
 - Desenvolvimento CNC
 - Máquinas de ultraprecisão, hexapod, HSC-HSM

Generalidades

Como forma de fazer sua parte no processo produtivo, uma máquina-ferramenta deve satisfazer os seguintes requisitos:

- independente da habilidade do operador, as peças a serem produzidas na máquina devem ser obtidas com tolerâncias de forma e dimensional dentro de limites permitíveis, juntamente com os requisitos de qualidade superficial.
 - como forma de ser competitiva na operação, ela deve mostrar alto desempenho técnico com eficiência econômica
-

Generalidades

O projeto de uma máquina-ferramenta seus elementos podem ser divididos em três grupos:

- a estrutura;
 - os acionamentos para a ferramenta, avanços e dispositivos de movimentação;
 - a operação e os dispositivos de controles.
-

Generalidades

As condições operacionais são determinadas pelos:

- movimentos requeridos pelos diferentes processos de usinagem (cinemática)
- avanços
- dispositivos de movimentação
- as características do processo de usinagem

A capacidade de forma corresponde a área ou volume útil coberto pelos movimentos relativos entre peça e ferramenta de uma máquina-ferramenta, independentemente da massa da peça.

Generalidades

Eficiência técnica e econômica

A eficiência econômica devem levar em consideração:

Aspectos estruturais

Aspectos inerciais

Aspectos de montabilidade

Aspectos de fabricabilidade

Aspectos de transporte e instalação

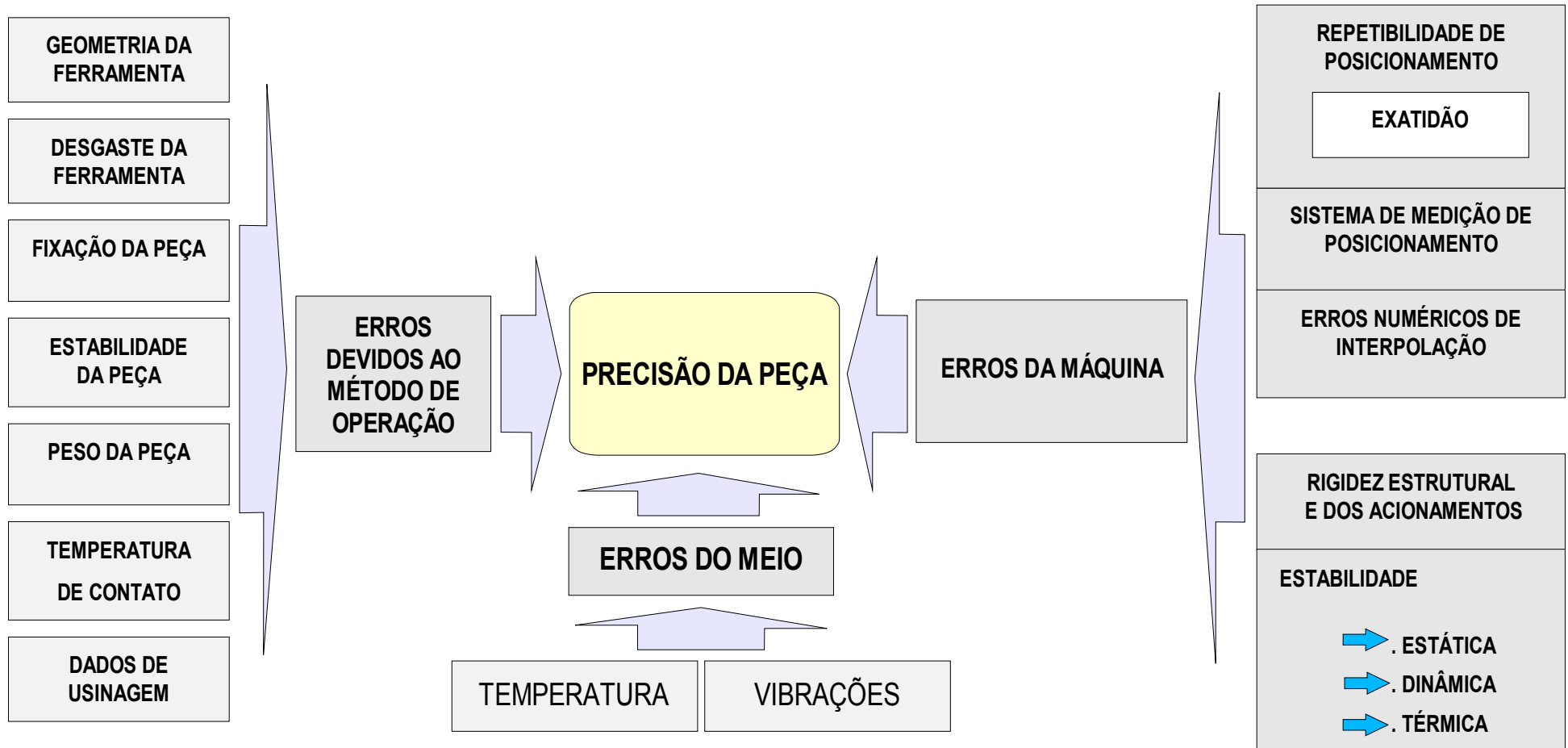
Aspectos de manutenção

Aspectos de acessibilidade e a disposição dos diversos constituintes

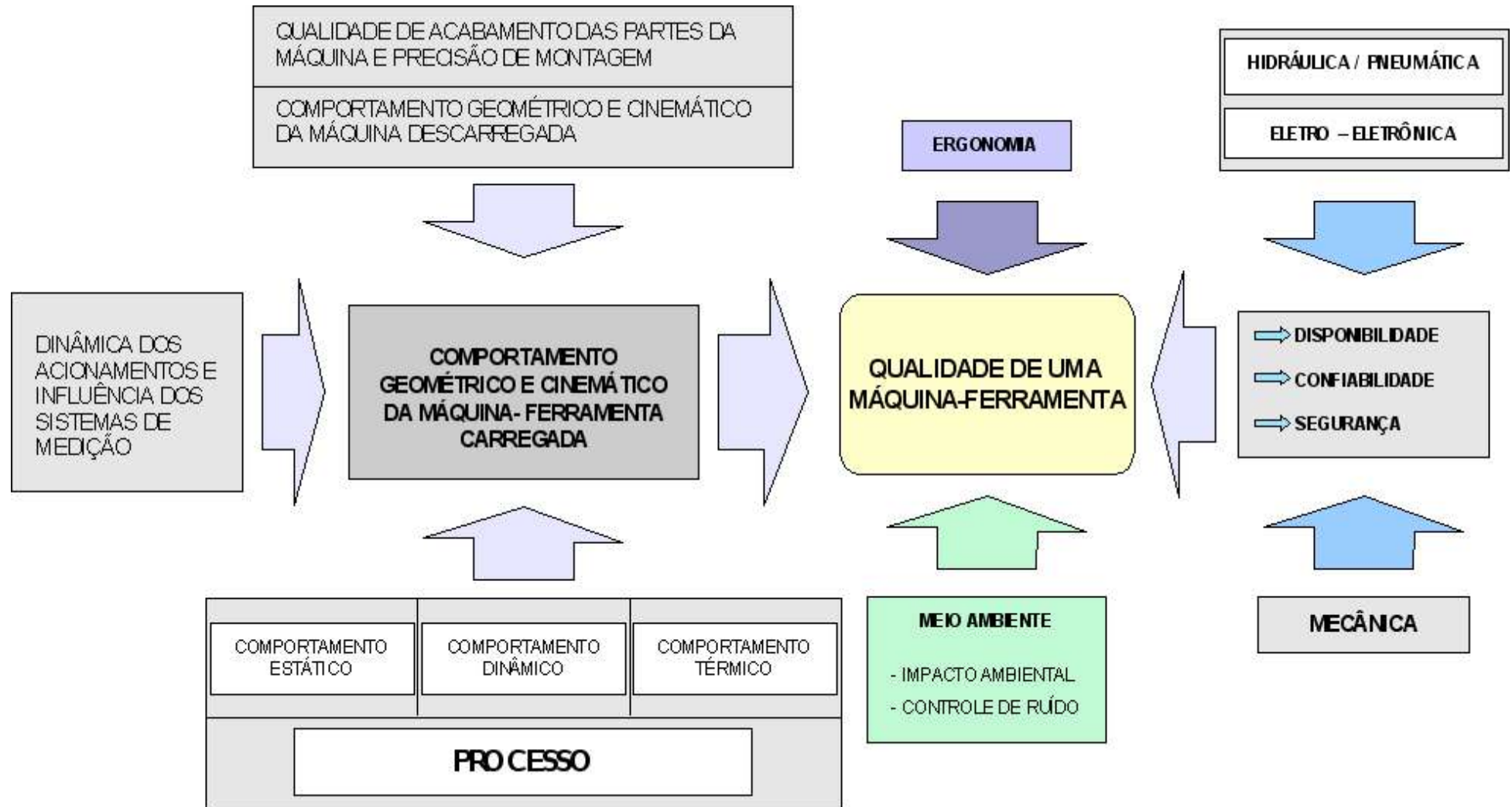
Aspectos de segurança e hergonômia

Aspectos de intercambiabilidade dos componentes

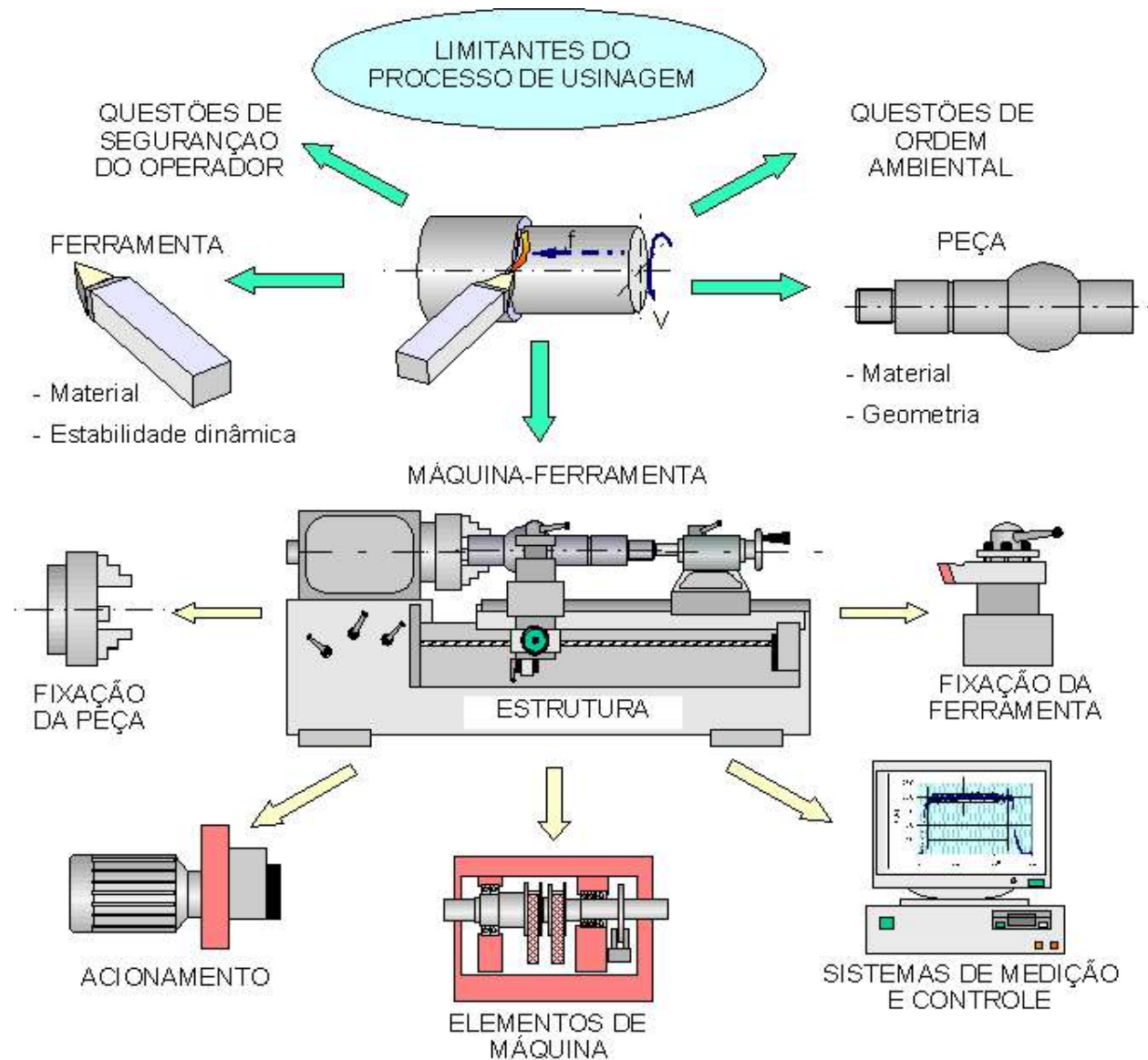
Fatores que determinam a qualidade de uma peça usinada



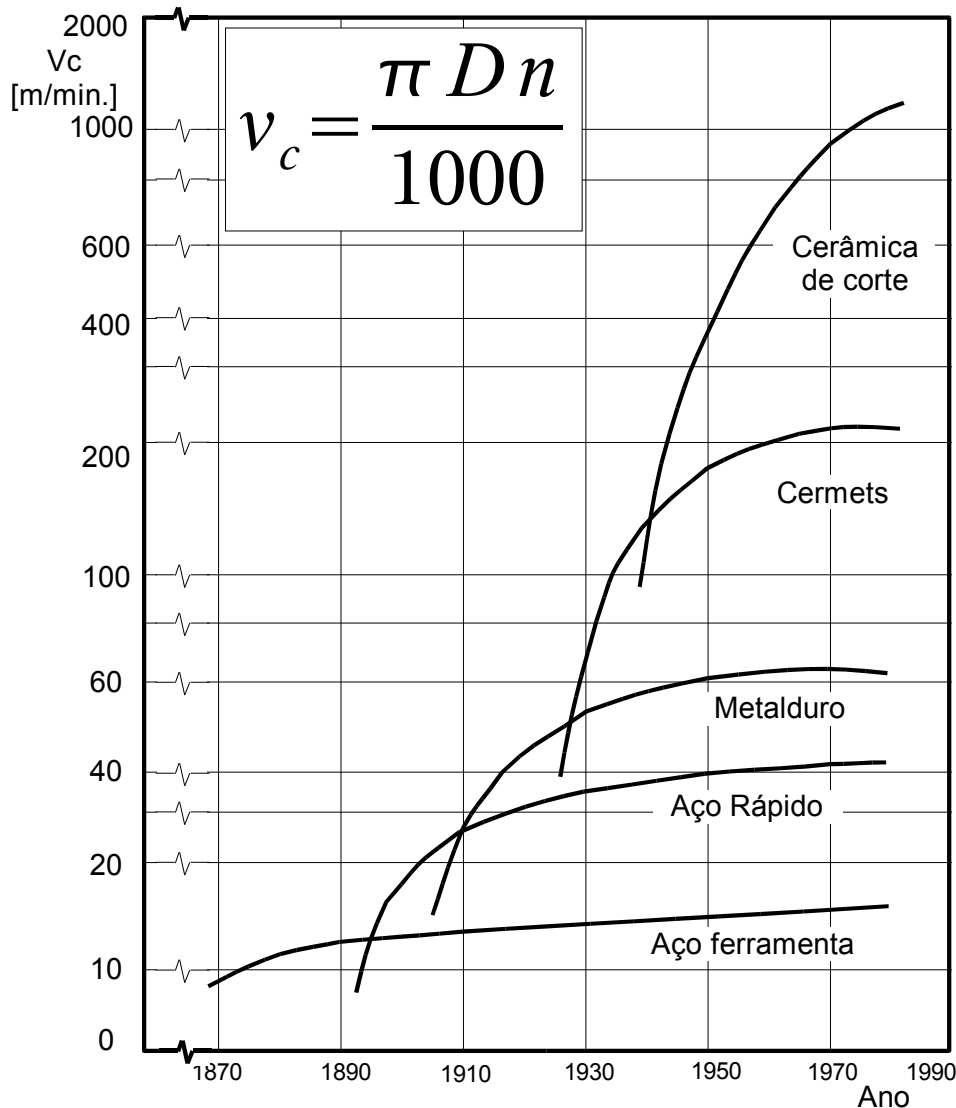
Fatores que determinam a qualidade de uma máquina-ferramenta



Limitantes

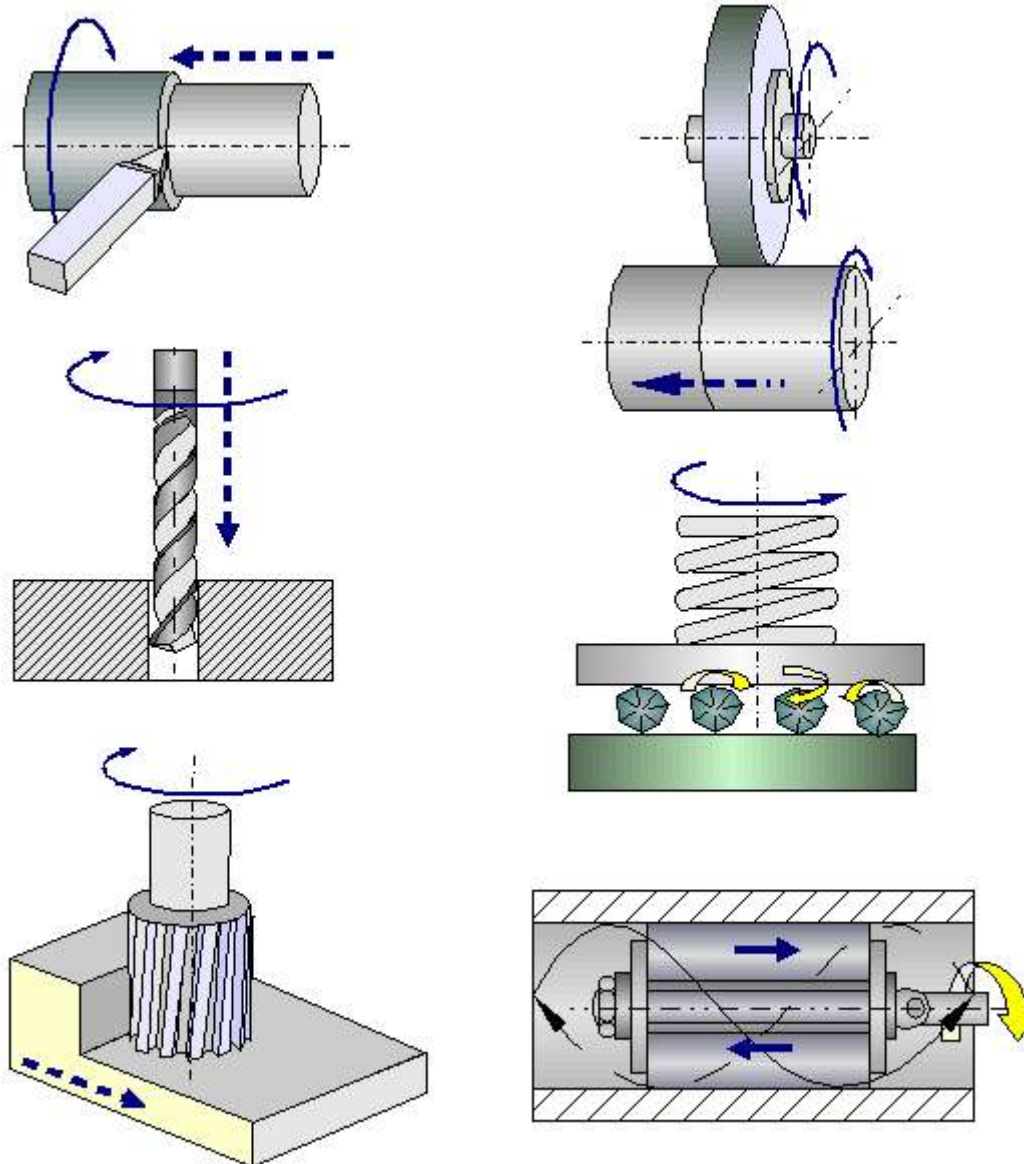


Efeito da evolução dos materiais de ferramentas nas máquinas-ferramentas

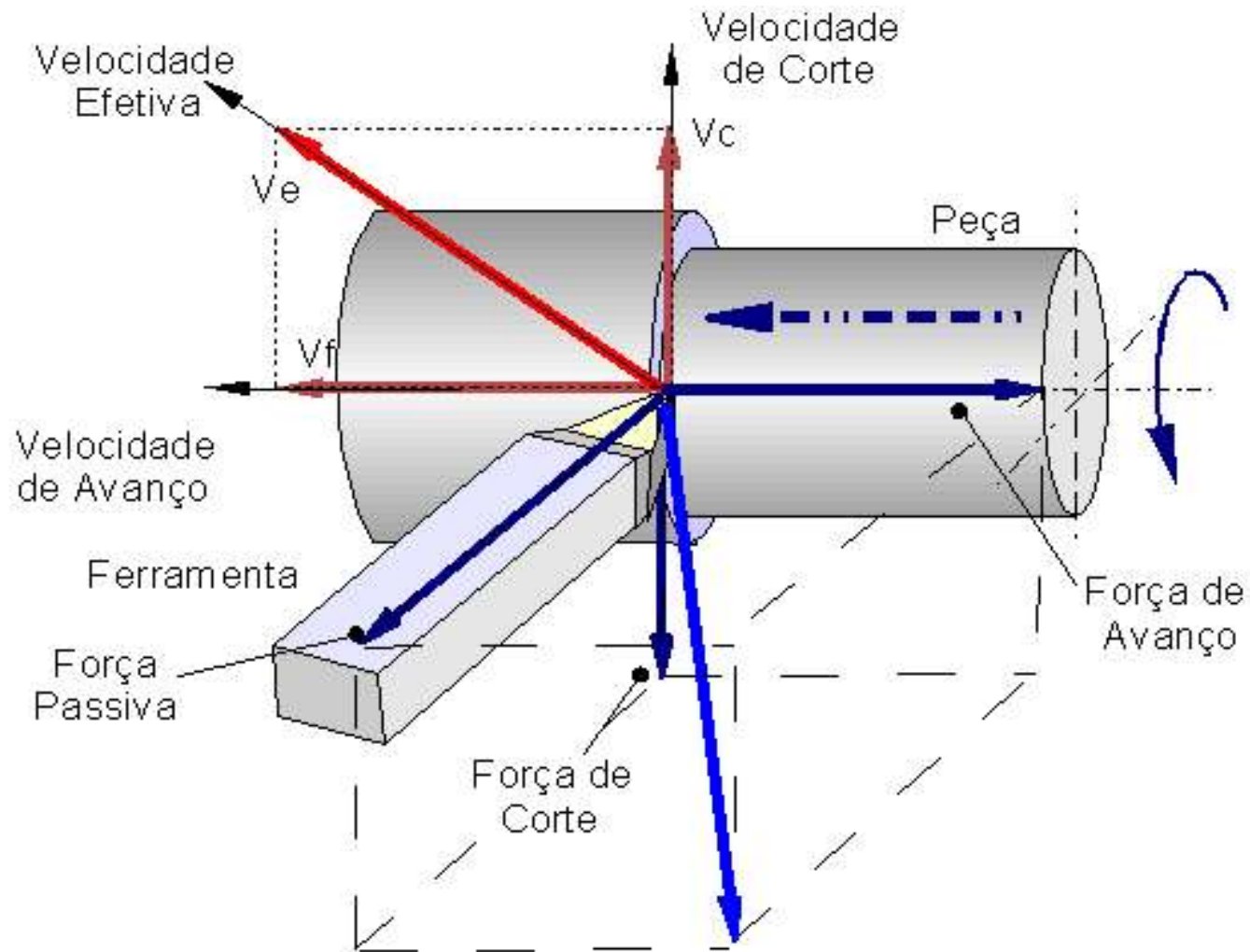


- Maiores rotações
- Maiores avanços
- Maiores profundidades de corte
- Maiores forças
- Maiores potências
- Maiores considerações de segurança
- Novos acionamentos (melhores dinâmicas)
- Maiores solicitações térmicas
- outras

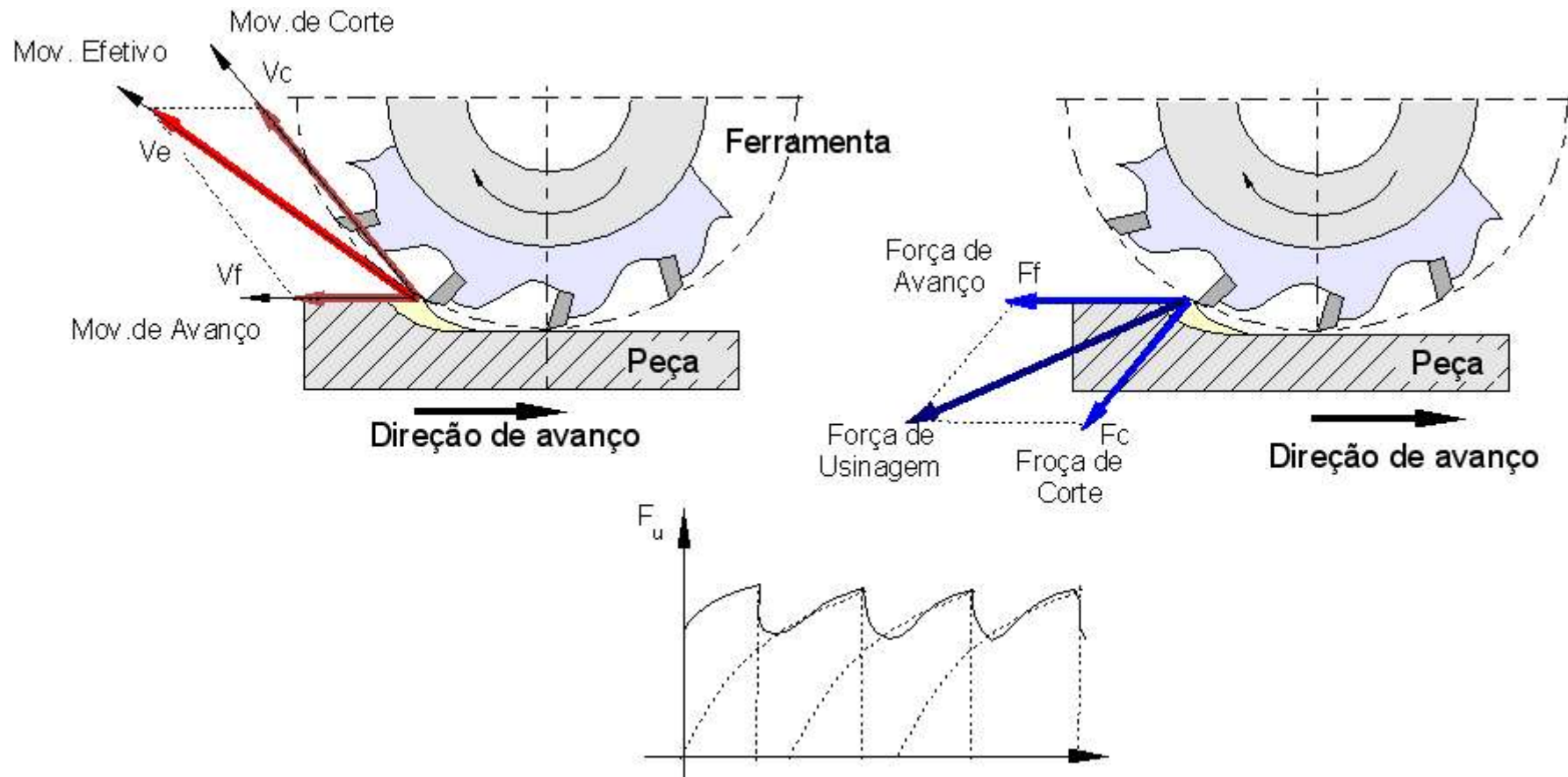
Considerações sobre o processo de usinagem



Considerações sobre o processo de usinagem



Considerações sobre o processo de usinagem



Relação entre os processos de Fabricação Tolerâncias e Acabamento

Tabela I.2 – Relação entre processo de fabricação e qualidade superficial (Whitehouse, 1994)

PROCESSO	VALORES DE RUGOSIDADE (mm R _a)													
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,0125	
FURAÇÃO														
FRESAMENTO														
TORNEMANENTO,														
RETIFICAÇÃO														
BRUNIMENTO														
POLIMENTO														
LAPIDAÇÃO														
FUNDIÇÃO EM AREIA														
LAMINAÇÃO A QUENTE														
FORJAMENTO														
LAMINAÇÃO A FRIO														
FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO														
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,0125	

Relação entre os processos de Fabricação Tolerâncias e Acabamento

Tabela I.3 - Relação entre precisão e mecanismo de usinagem.

EXATIDÃO DIMENSIONAL	MECANISMO DE USINAGEM
10 μm	ELETROEROSÃO POR FAÍSCA USINAGEM QUÍMICA CORTE COM FIOS ABRASIVOS
1 μm	ELETROEROSÃO DE PRECISÃO POLIMENTO ELETROLÍTICO USINAGEM FINA OU RETIFICAÇÃO FOTOLITOGRAFIA (LUZ VISÍVEL)
0,1 μm	RETIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIES ESPELHADAS LAPIDAÇÃO DE PRECISÃO FOTOLITOGRAFIA (LUZ ULTRAVIOLETA) USINAGEM COM FERRAMENTA DE GUME ÚNICO
0,01 μm	USINAGEM POR ULTRA-SOM LAPIDAÇÃO MECÂNICO-QUÍMICA LAPIDAÇÃO REATIVA USINAGEM A LASER EXPOSIÇÃO A FEIXE DE ELÉTRONS EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO
0,001 μm (1 nm)	LAPIDAÇÃO SEM CONTATO USINAGEM IÔNICA USINAGEM QUÍMICA
SUBNANÔMETRO	USINAGEM POR FEIXES ATÔMICOS OU MOLECULARES

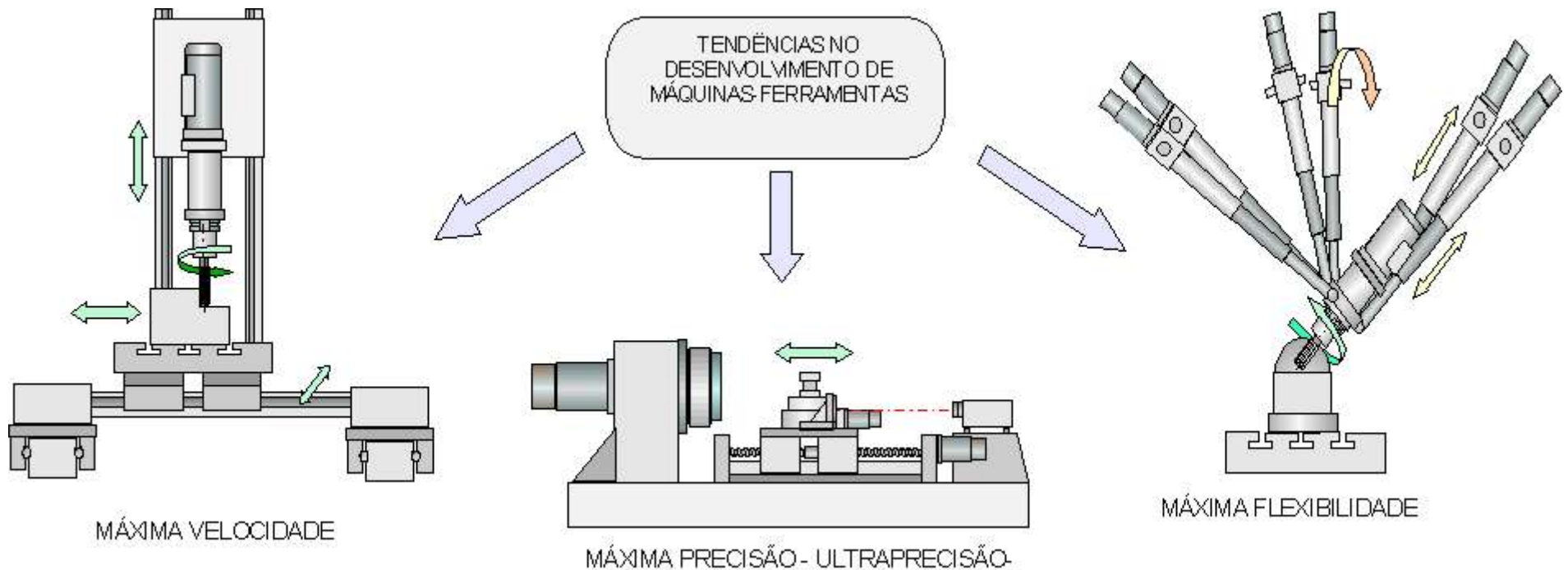
Considerações para a escolha de uma máquina-ferramenta

- **Peça de produção:** Quais os tipos (formas) que se deseja produzir?
 - **Tolerâncias:** Quais as tolerâncias dimensionais e geométricas envolvidas?
 - **Qualidade superficial:** Qual a qualidade superficial desejada?
 - **Materiais de produção:** os materiais que poderão ser utilizados na fabricação das peças de produção
 - **Tamanho dos lotes a serem produzidos:** Os tamanhos dos lotes envolvidos são em geral pequenos e médios, sendo muito comuns os lotes de peça única.
-

Considerações para a escolha de uma máquina-ferramenta

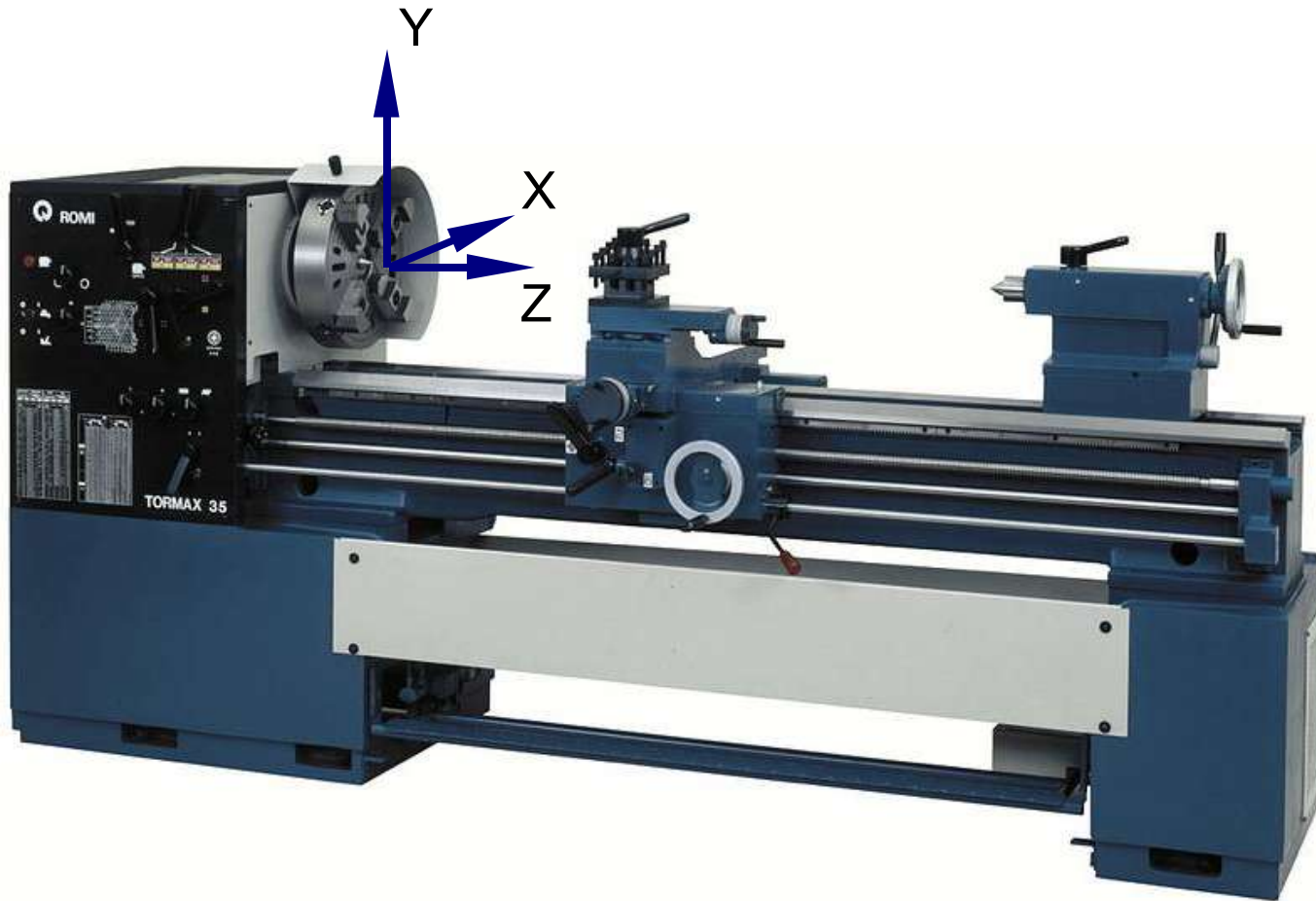
- **Geometria:** qual é o tamanho total aproximado?
- **Montagem:** a máquina pode ser montada de forma econômica?
- **Transporte:** a máquina pode ser transportada com facilidade?
- **Manutenção:** quais as frequências de manutenção exigidas, e como afetam a operacionalização geral da fábrica?
- **Ergonomia:** Como todos os fatores de projeto podem ser combinados para melhorar a relação com o operador?

Tendências no projeto de máquinas-ferramentas

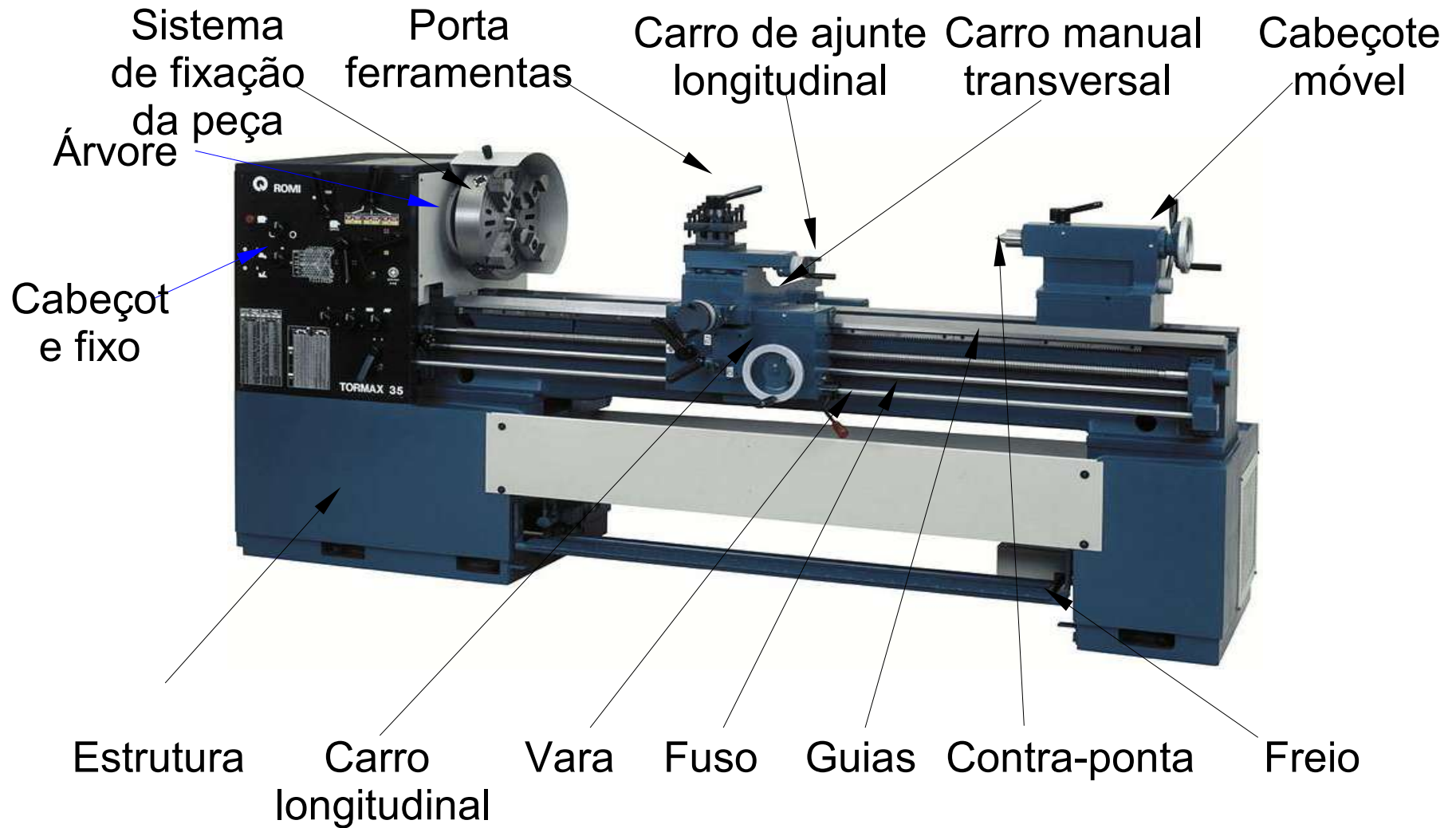


Conceitos básicos

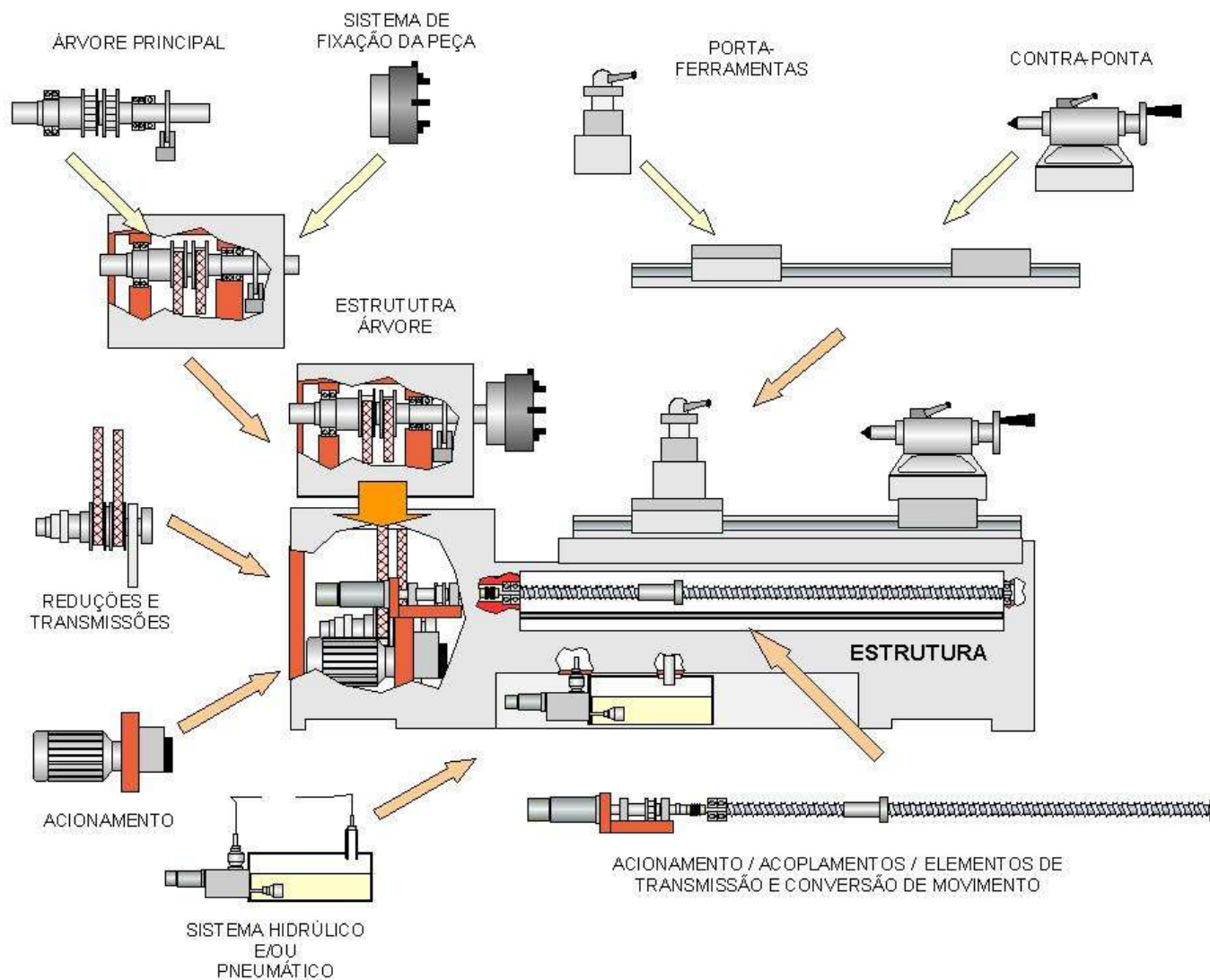
- Eixos coordenados



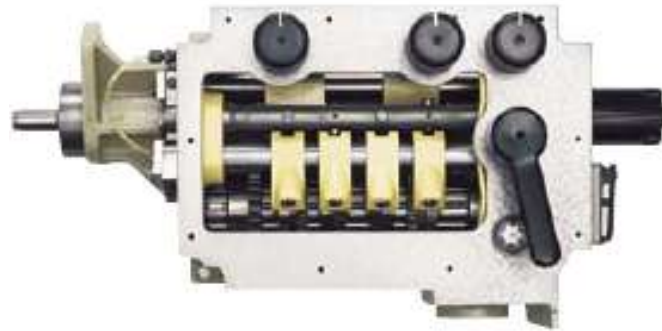
Constituintes de um torno convencional - universal



Constituintes de máquinas-ferramentas



Constituintes de um torno convencional - universal



Transmissão



Cabeçote fixo



Avental



Caixa de
avanço e roscas

Constituintes de um torno convencional - universal

- Acessórios - Lunetas



Luneta fixa

Luneta móvel

Constituintes de um torno convencional - universal

- Acessórios – sistemas de fixação de peças



Placa de quatro
castanhas



Placa Lisa



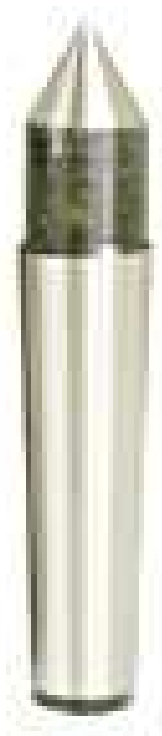
Placa de três
castanhas

Outros tipos de placas para fixação



Constituintes de um torno convencional - universal

- Acessórios – Contra-ponta e arrastadores frontais



Contra-ponta fixo



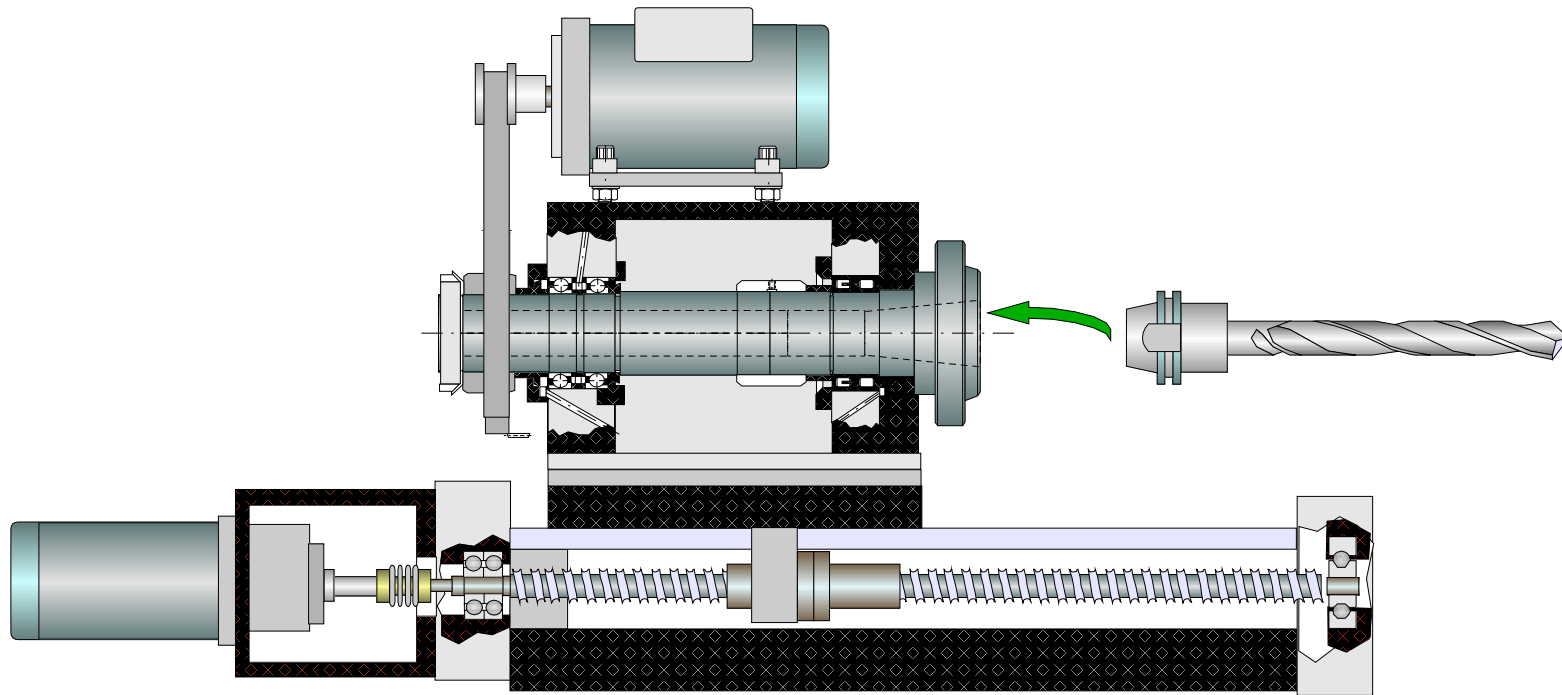
Contra-ponta
rotativo



Contra-ponta
com mandril

Arrastador
frontal

Exemplo de um conjunto árvore mesa acionamentos

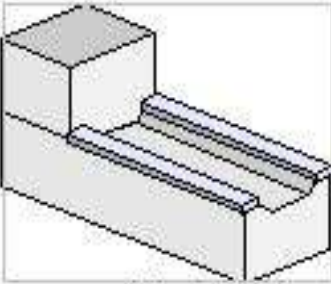
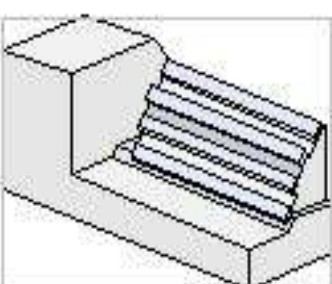
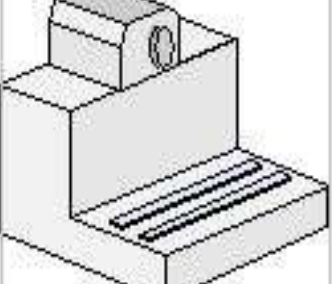
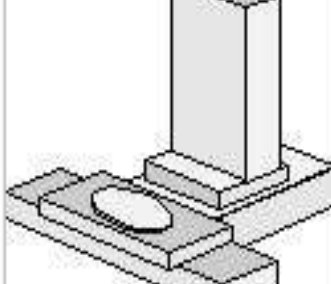
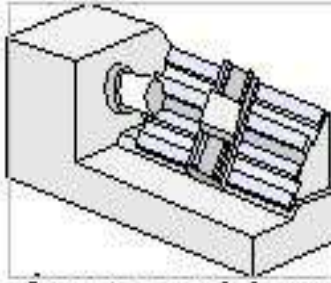
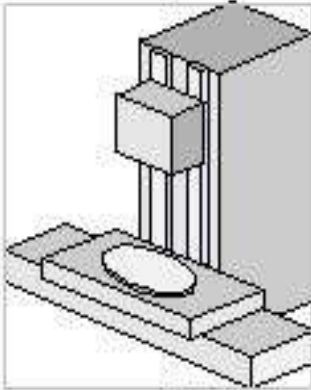
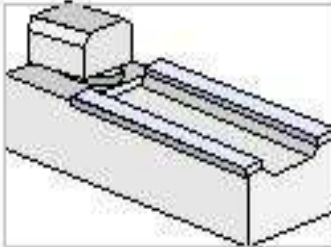


Estrutura de máquinas-ferramentas

Requisitos de Estruturas de Máquinas-Ferramentas:

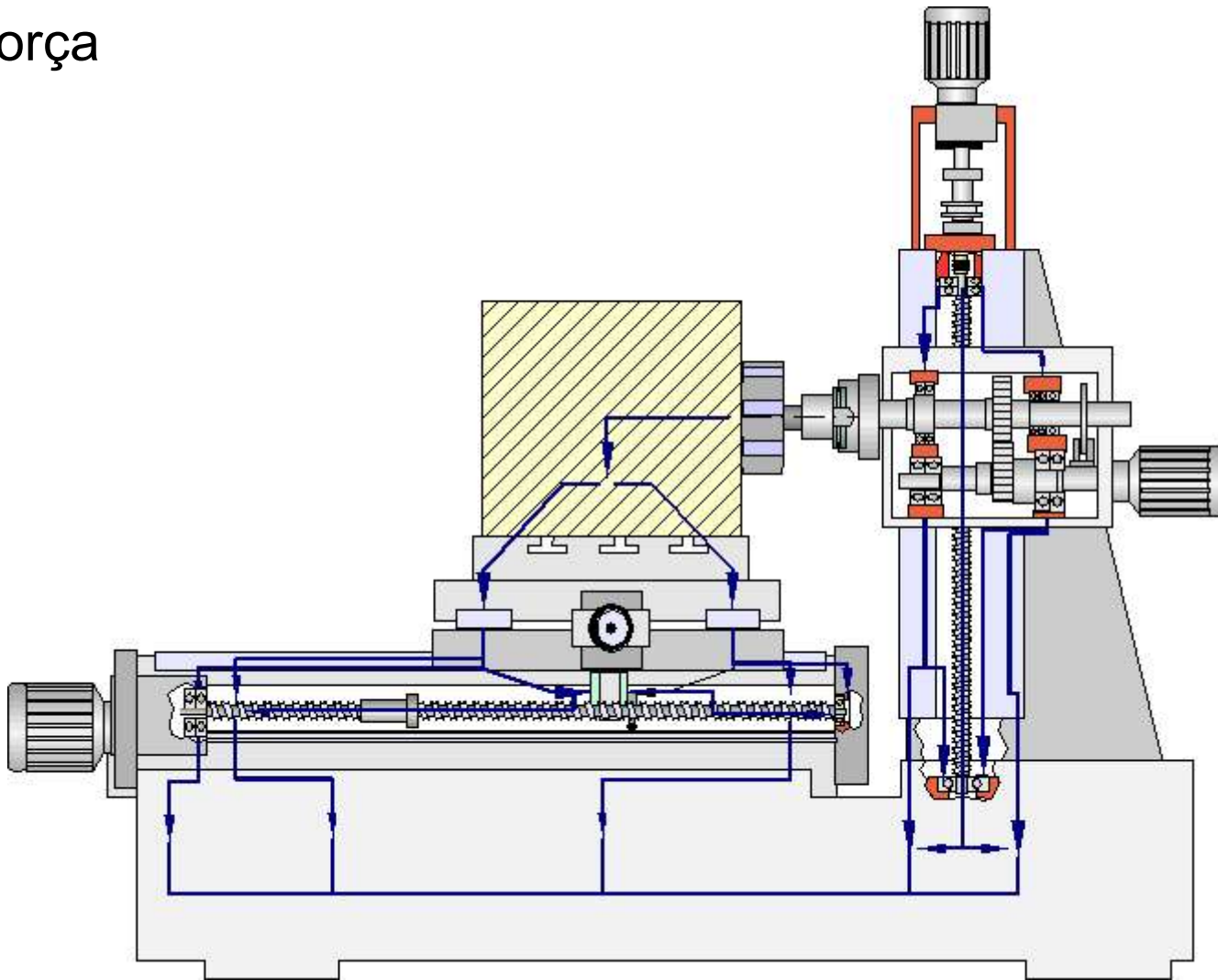
- rigidez estática
- rigidez dinâmica
- estabilidade térmica
- estabilidade química
- facilidade de manipulação
- acessibilidade aos componentes internos

Arranjos de estruturas de máquinas-ferramentas

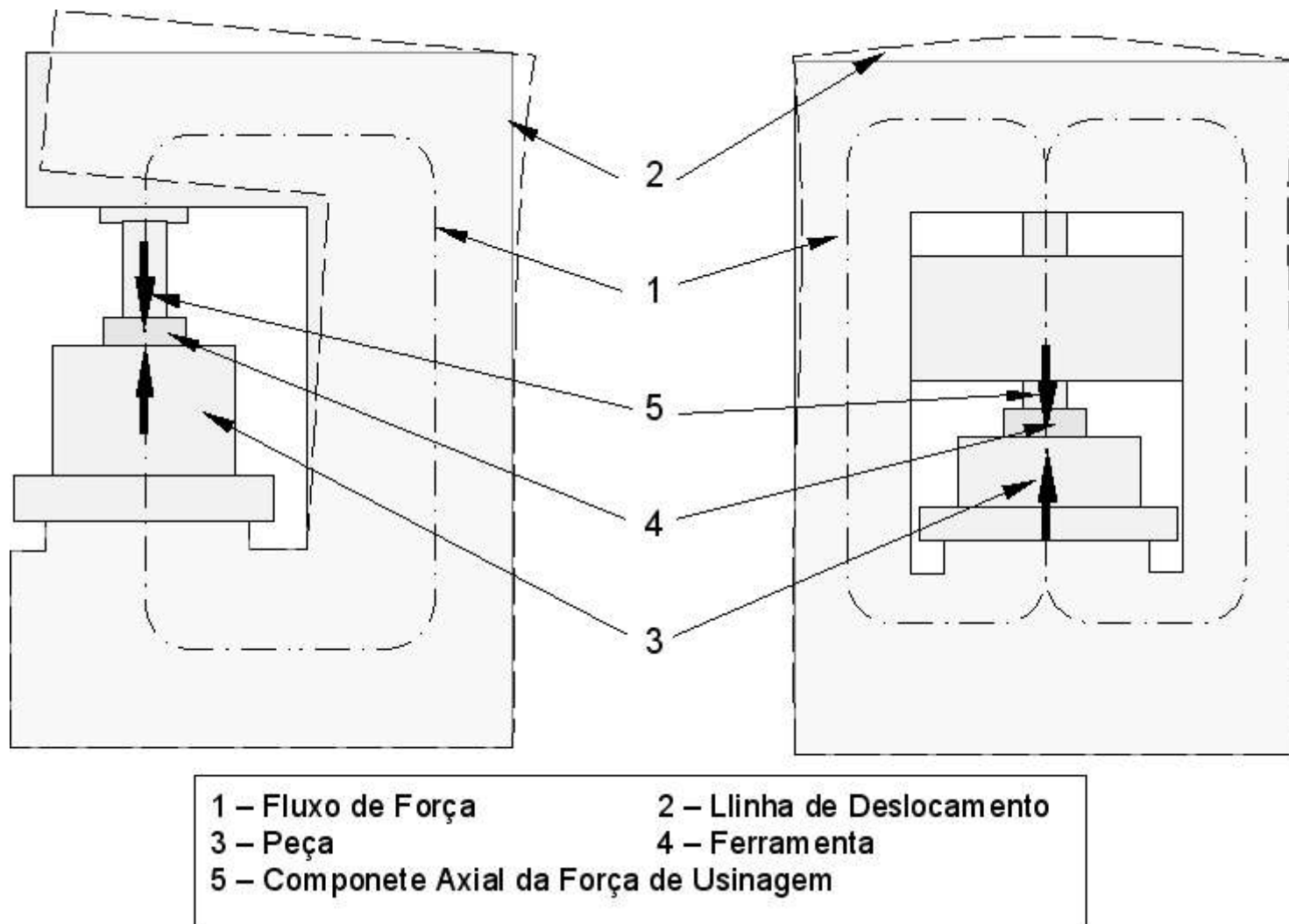
<i>Forma da estrutura</i>	 <p><i>Plana</i></p>	 <p><i>Inclinada</i></p>	 <p><i>Frontal</i></p>	 <p><i>Coluna</i></p>
<i>Movimento relativo entre peça e ferramenta</i>	 <p><i>Árvore paralela ao chão</i></p>	 <p><i>Árvore perpendicular ao chão</i></p>		 <p><i>Árvore com pivotagem ao plano do chão</i></p>

Considerações quanto a Rigidez Estática

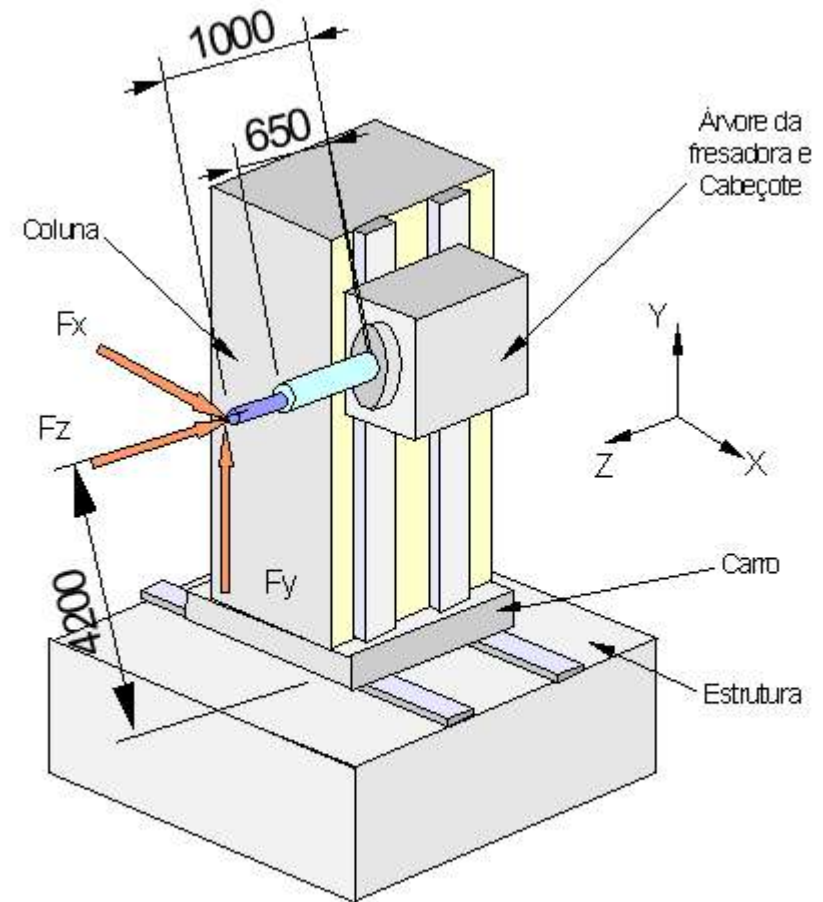
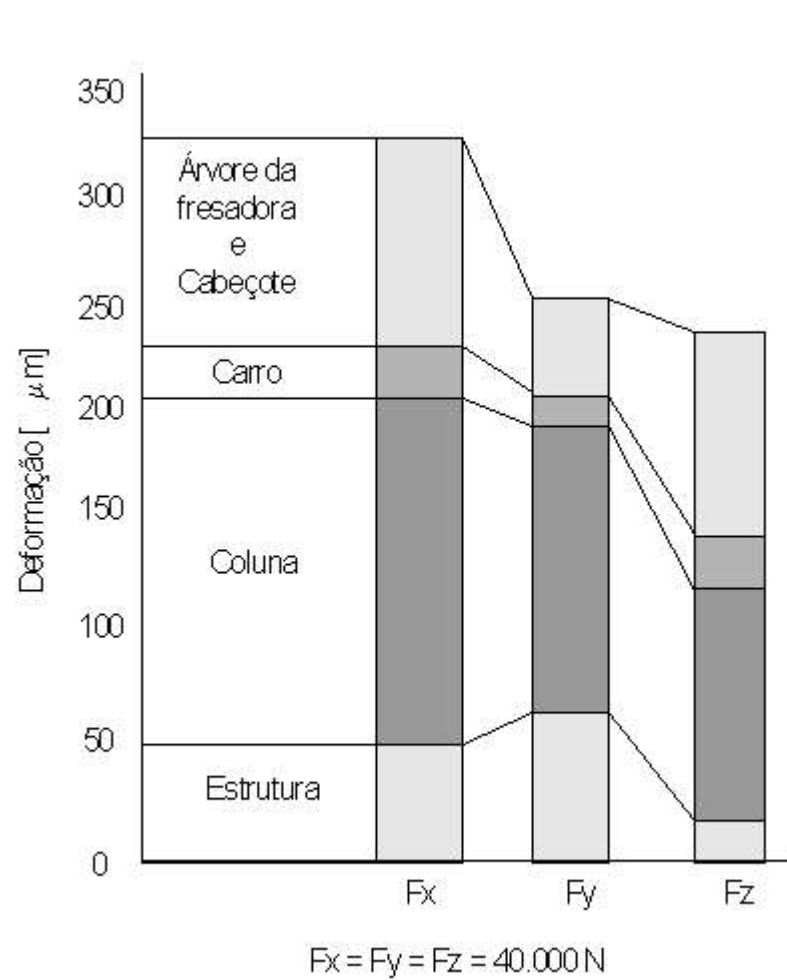
Fluxo de força



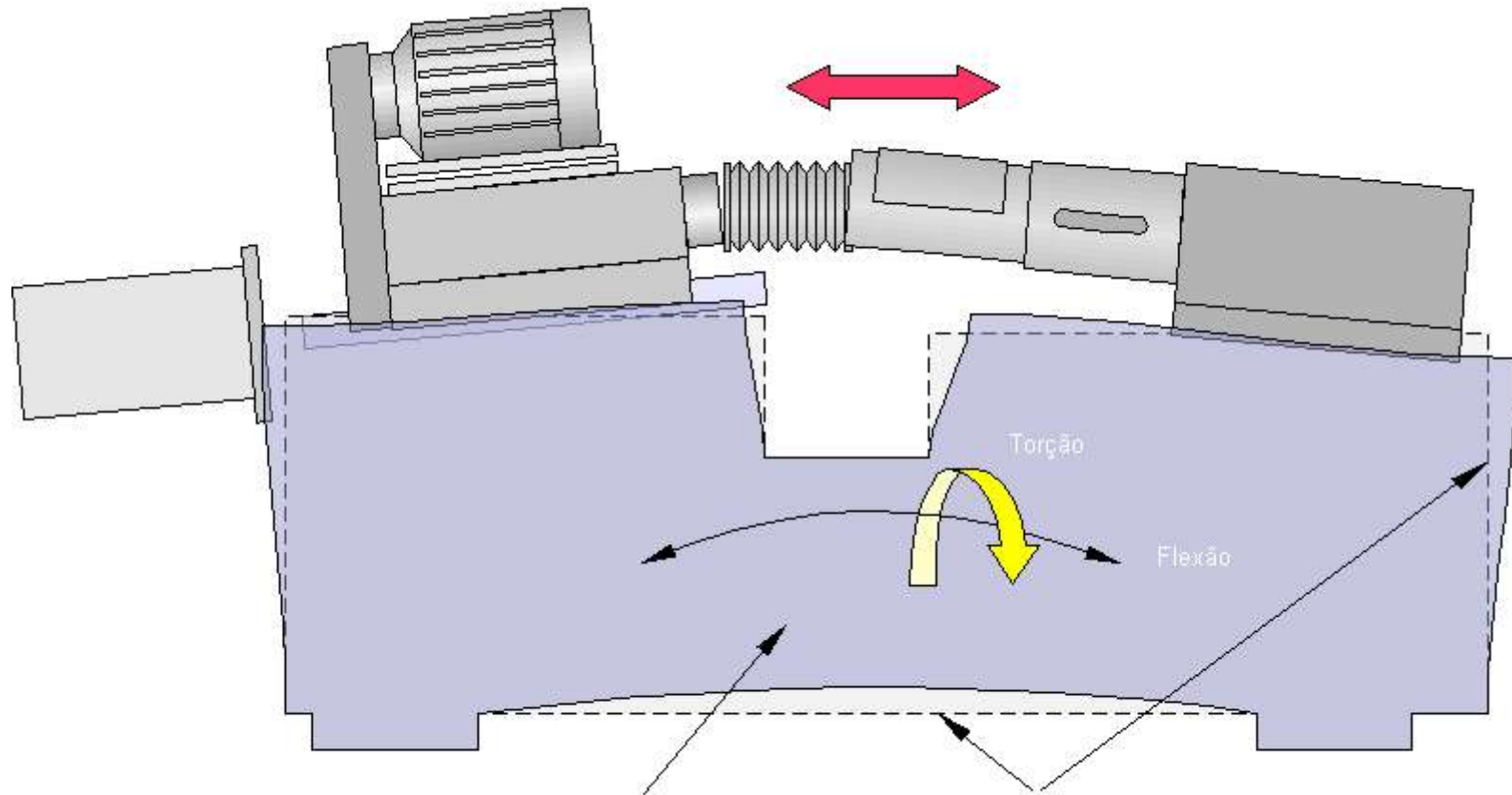
Considerações quanto a Rigidez Estática



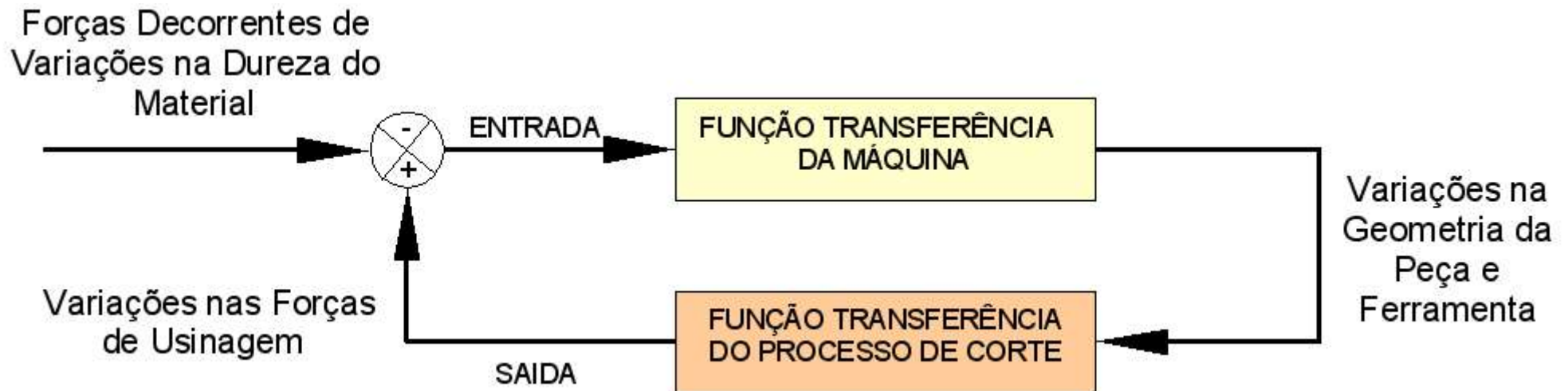
Considerações quanto a Rigidez Estática



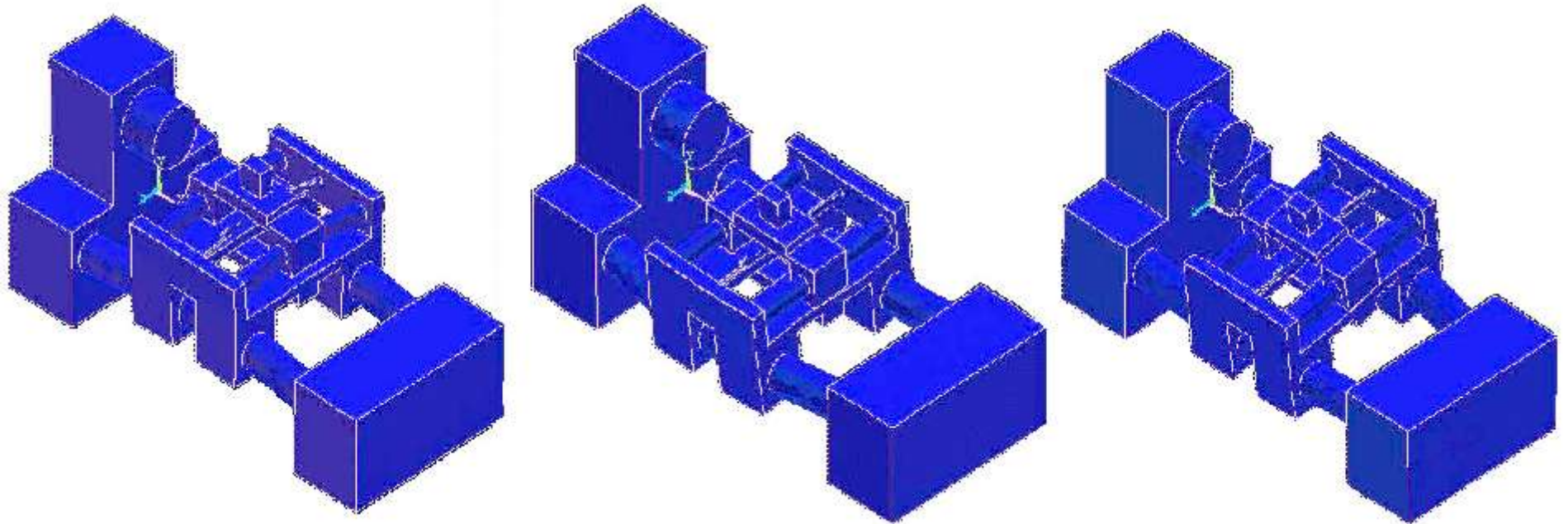
Considerações quanto a Rigidez Estática



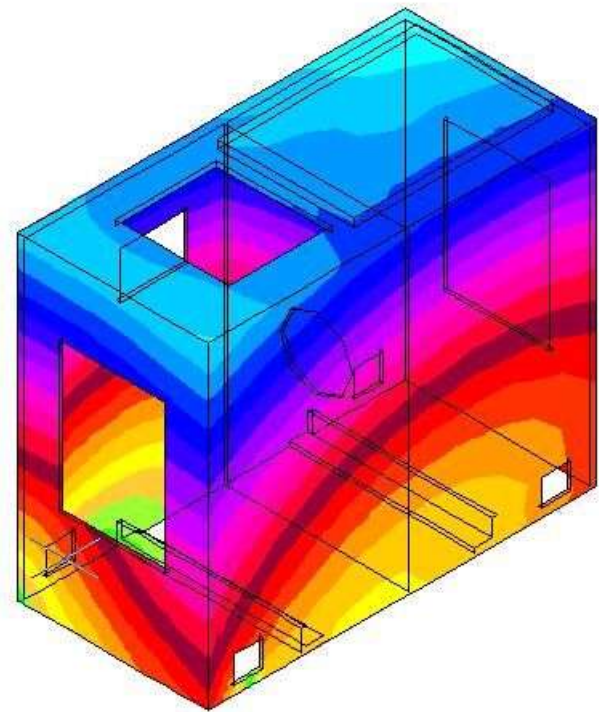
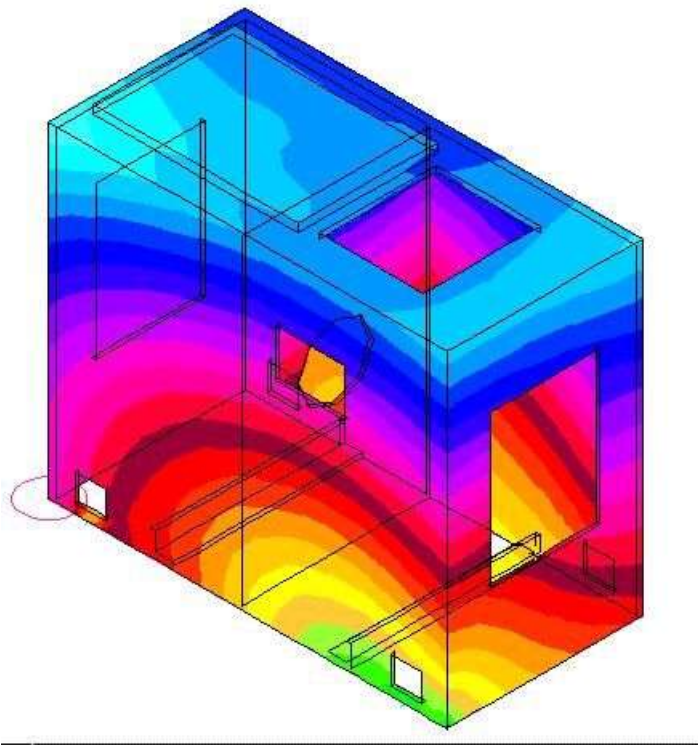
Considerações quanto a Rigidez Dinâmica



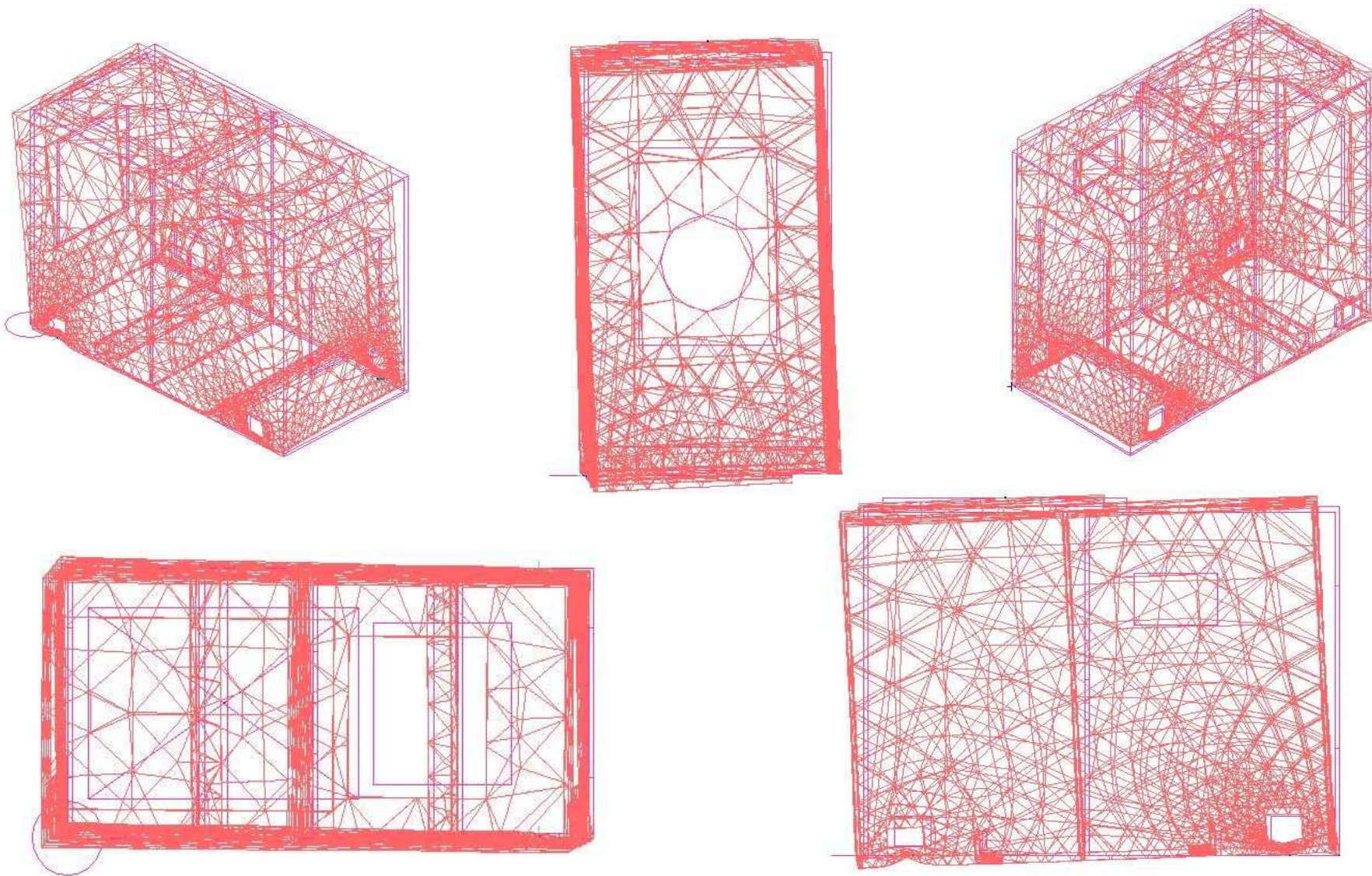
Considerações quanto a Rigidez Dinâmica



Distribuição de tensões nas estruturas



Deformação nas estruturas



Árvores de máquinas-ferramentas

Árvores de máquinas-ferramentas

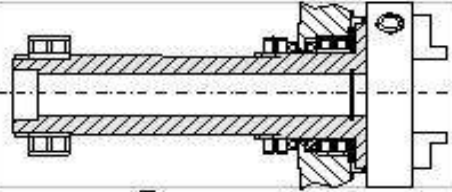
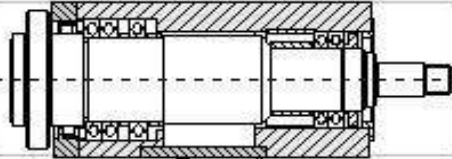
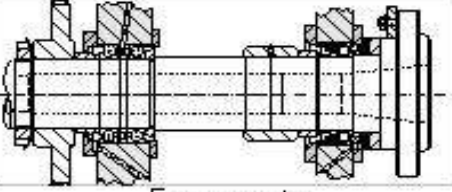
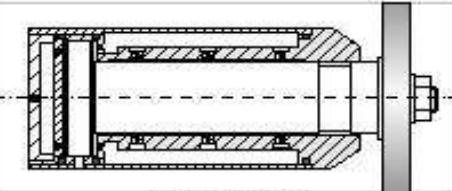
Definição: Conjunto de elementos responsáveis por prover movimento rotativo a peça ou à ferramenta

- As árvores são elementos complexos que necessitam de um projeto apurado e um dimensionamento correto
- Grande parte de todos os esforços de usinagem são absorvidos por seus mancais, principalmente naquelas que empregam ferramentas de geometria definida.

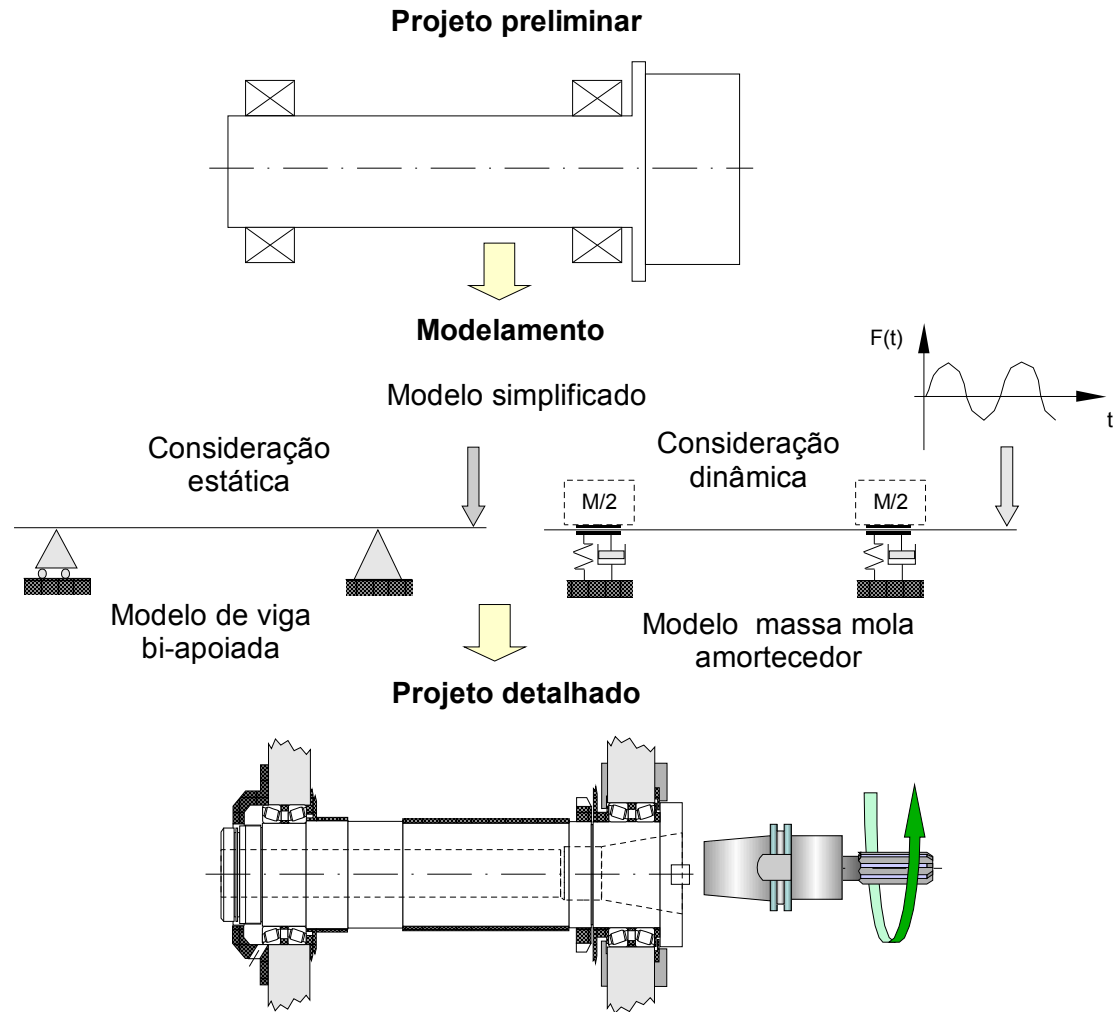
A escolha do tipo de mancal a ser empregado depende:

- capacidade de carga
 - tipo e direções dos esforços principais
 - velocidades a serem empregadas
 - exatidão de giro requerida
 - suavidade do movimento
 - do torque a que será submetida
 - calor gerado durante a operação e do tipo de refrigeração
 - forma do acionamento
 - outros
-

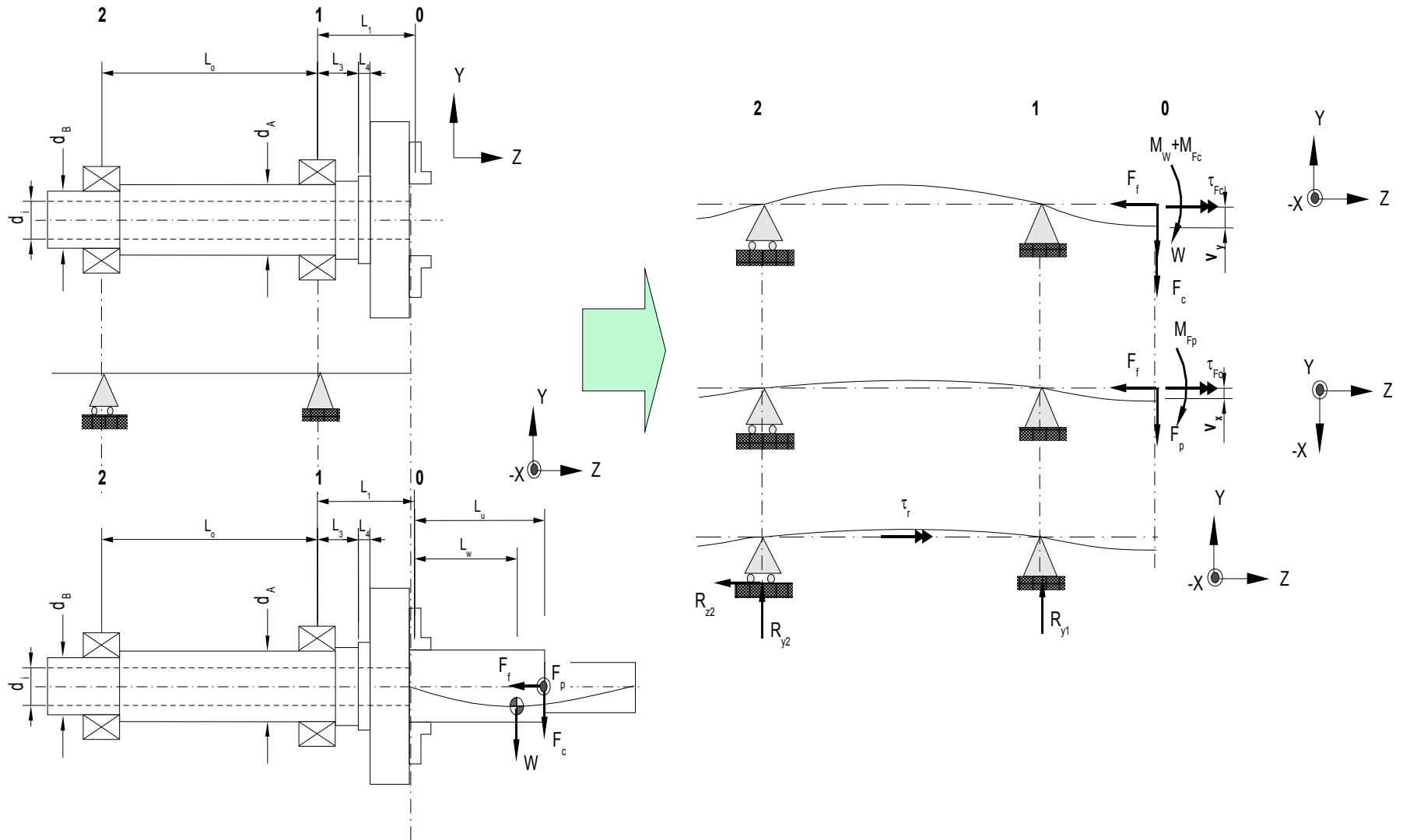
Requisitos dos principais tipos de árvores de máquinas

Aplicação	Esforços principais		Requisitos		
	direção	intensidade	capacidade de carga	velocidade	rigidez
 Torneamento	Y ↑ Z →	alta	alta	baixa (até 2.000 rpm) média (≈ 6.000 rpm) alta (< de 8.000 rpm)	alta
 Furação	Z →	média	média/baixa	baixa (até 800 rpm) média (≈ 2.000 rpm) alta (< de 5.000 rpm)	I alta
 Fresamento	Y ↑ Z →	alta	alta/média	baixa (até 1.500 rpm) média (≈ 8.000 rpm) alta (< de 8.000 rpm)	alta
 Retificação	X ↑ Y ↗	baixa	baixa	baixa (até 5.000 rpm) média (≈ 20.000 rpm) alta (< de 50.000 rpm)	Muito alta

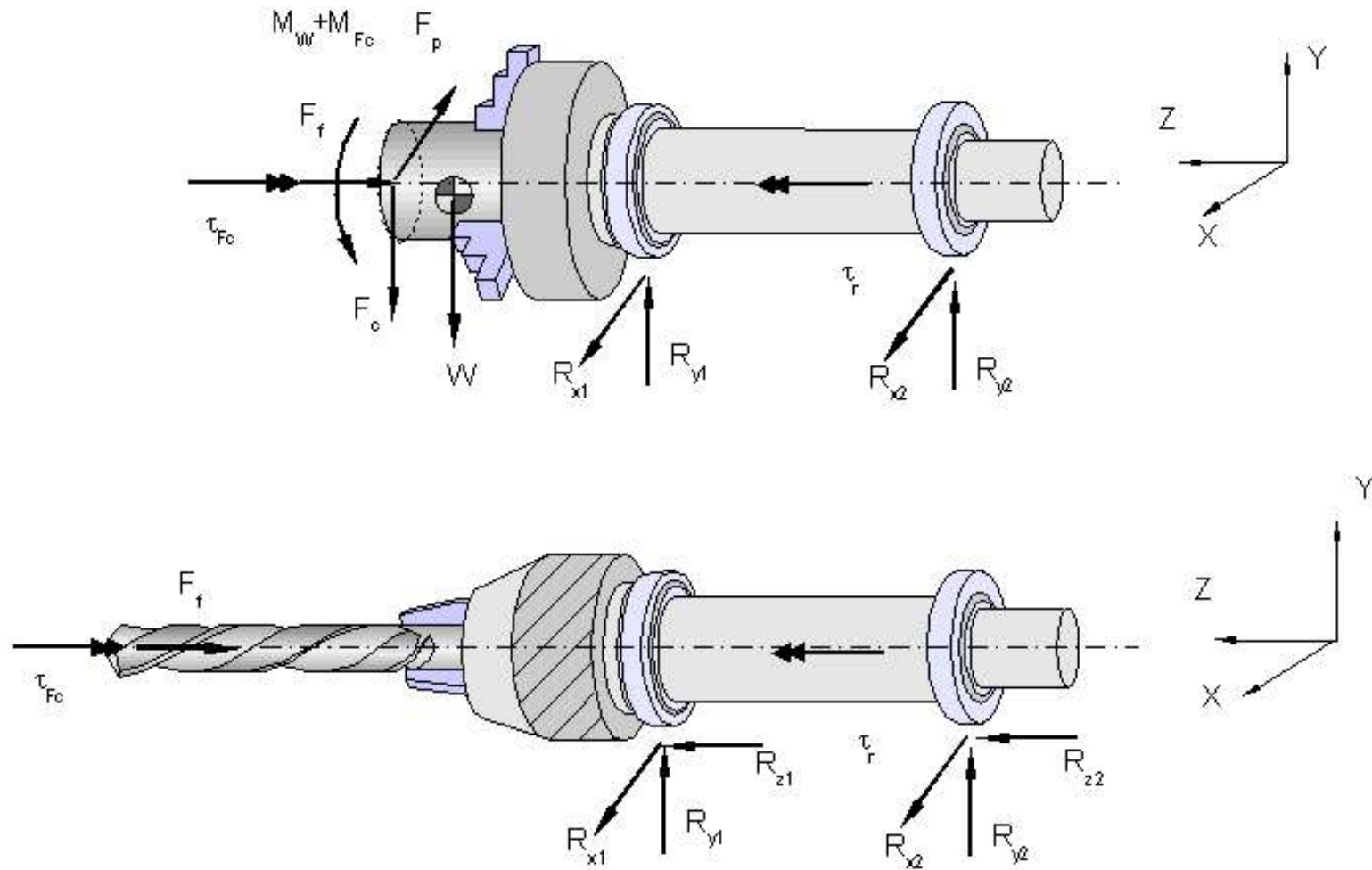
Considerações sobre o projeto de árvores de máquinas



Determinação da distância ótima entre mancais



Forças atuando sobre as árvores de máquinas-ferramentas



Mancais para Máquinas-Ferramentas

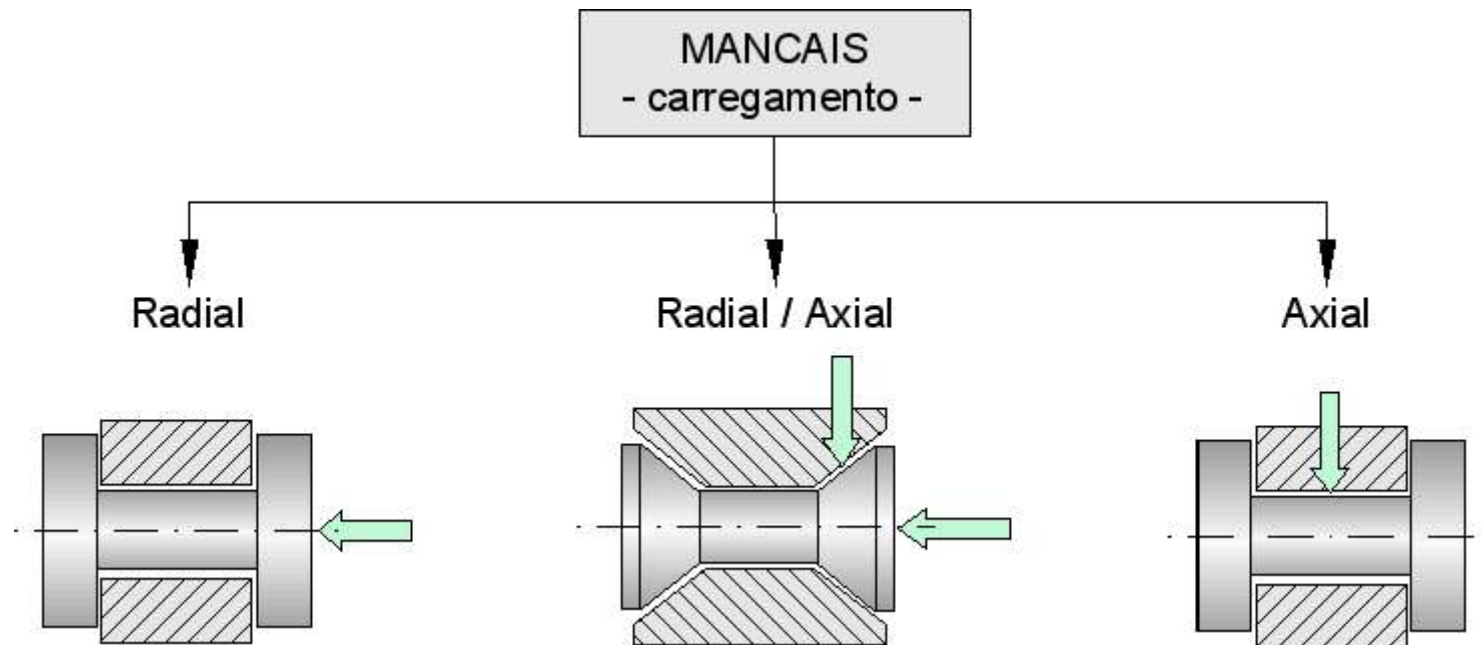
Mancais para máquinas-ferramentas

Definição

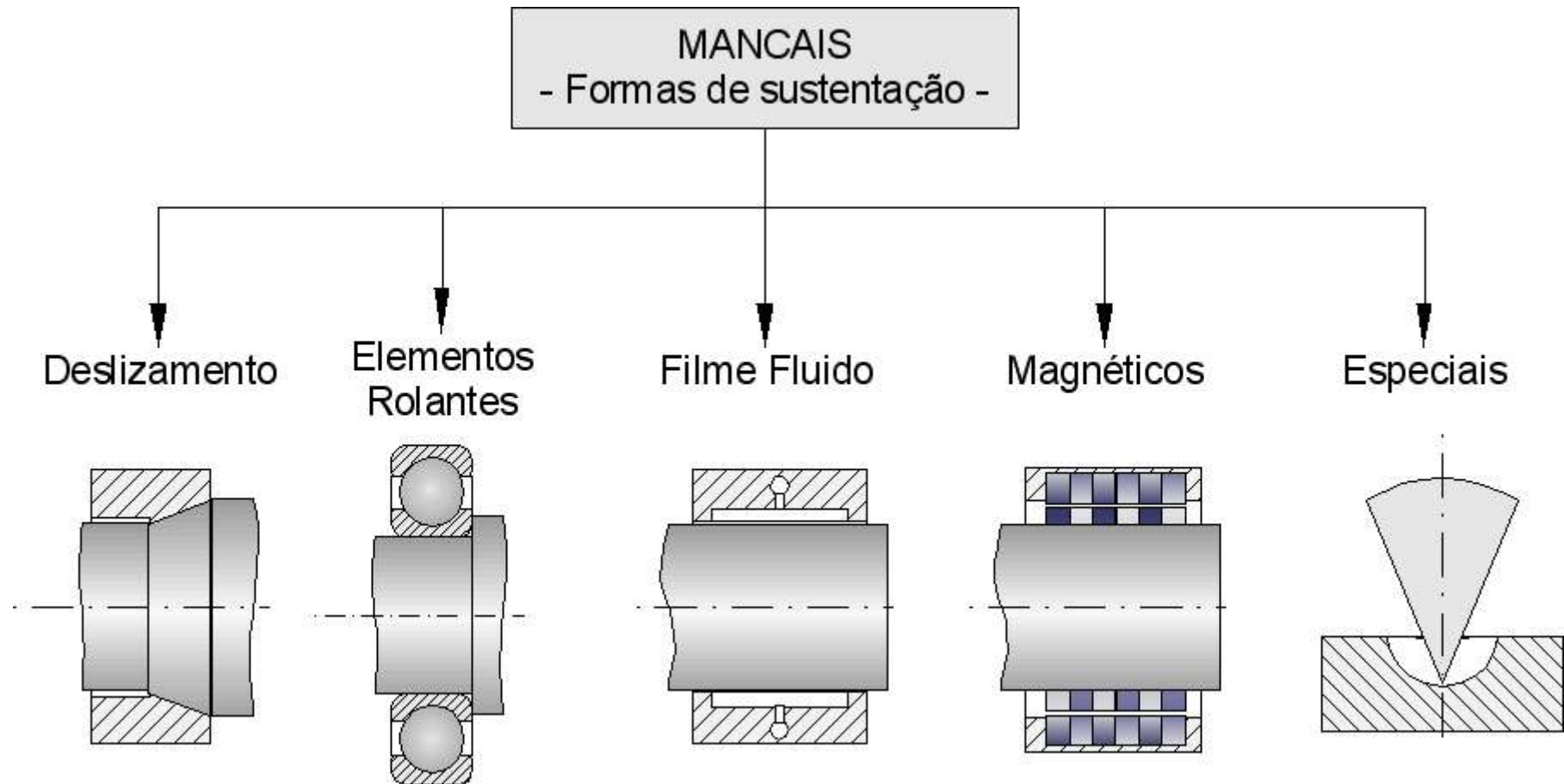
- Mancais podem ser definidos como elementos de máquinas que apresentam um movimento relativo entre seus elementos constituintes.
- Mancais podem também serem definidos como sendo todos os elementos onde o movimento de translação em qualquer direção deve ser minimizado, se não proibido, deixando livre a rotação somente em torno de um eixo.

Classificação dos mancais

- A classificação dos mancais requer dois parâmetros
 - a direção preferencial do carregamento



Tipos de mancais

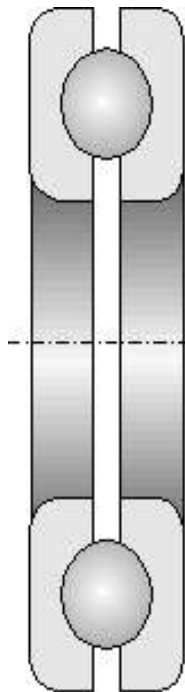


Mancais de Elementos Rolantes

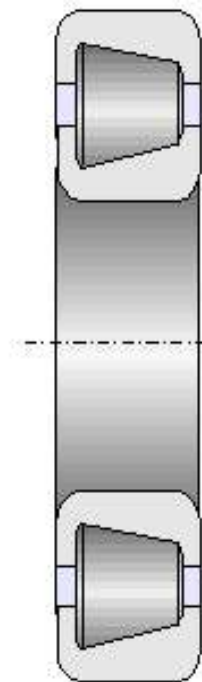
São o tipo de mancal antifricção mais largamente utilizado

Requisito:

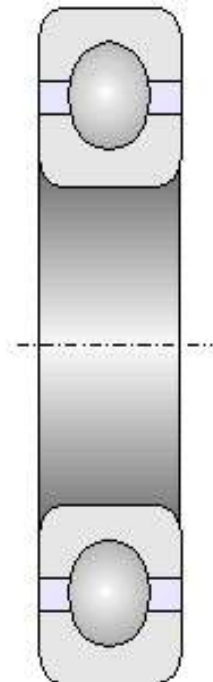
- a) fácil movimentação;
- b) mínimo atrito



Axial

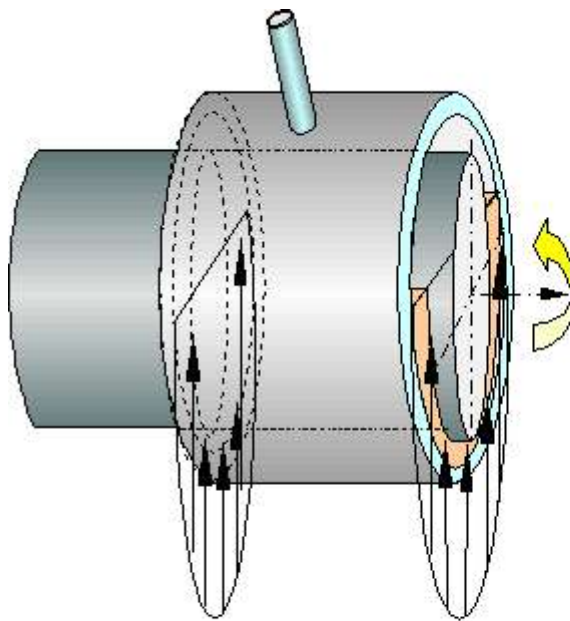


Radial / Axial

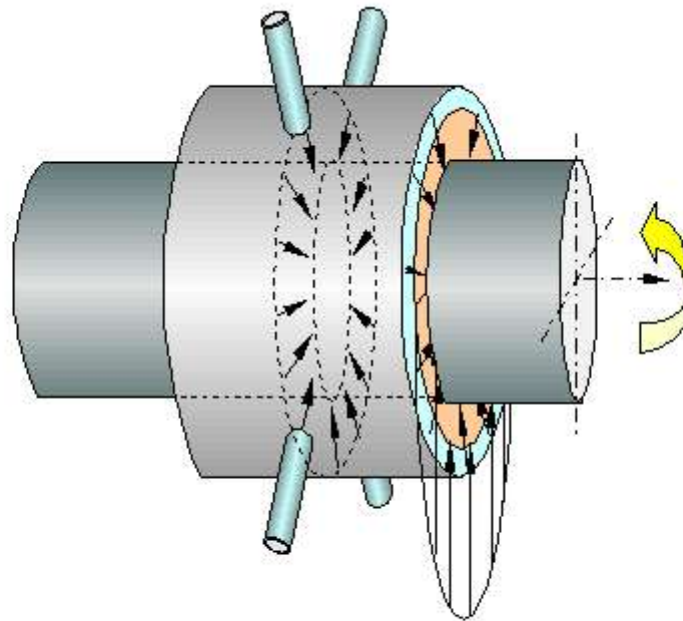


Radial

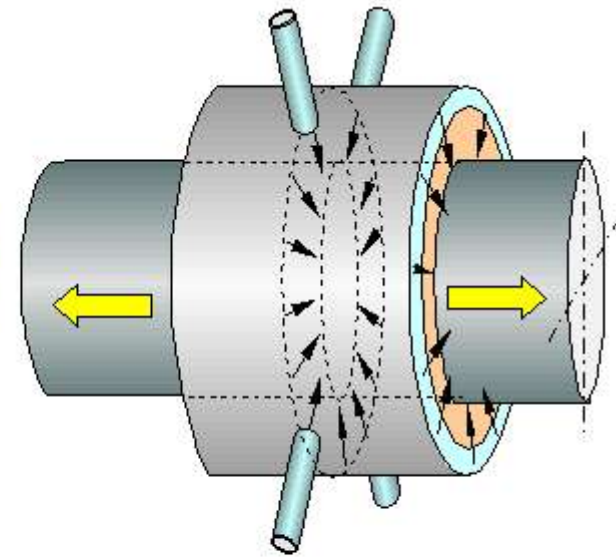
Mancais Lubrificados a Filme Fluido



Hidrodinâmico



Híbrido
Hidroestático + Hidrodinâmico



Hidroestático

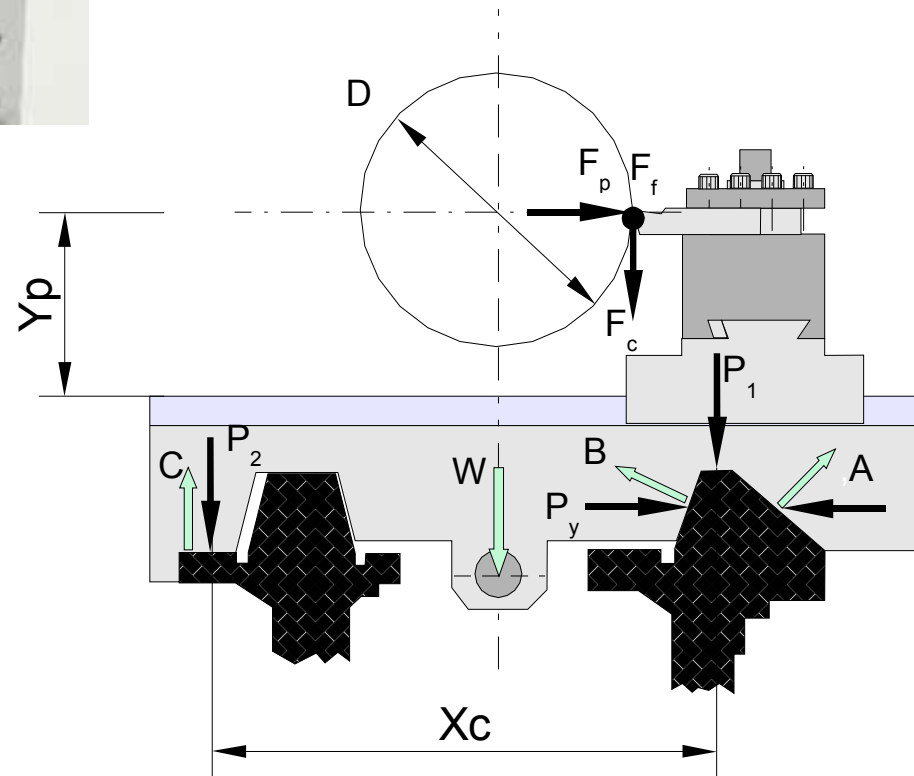
Guias

Guias

Definição

→ Elementos que permitem a absorção de carregamentos e o movimento dentro de um padrão linear, realizando as mesmas funções dos mancais rotativos empregado nas árvores.

Guias de escorregamento



Guias de elementos rolantes



Acionamentos

Acionamentos

- Definição - São elementos cuja a função, em uma máquina-ferramenta, é prover movimento e força para os sistemas de movimentação da peça e ferramenta
- Requisitos:
 - custo
 - facilidade de controle
 - dinâmica (aceleração X tempo, torque X rotação, etc.)
 - suavidade de movimento
 - torque
 - outros

Acionamentos

Classificação

- Quanto a forma de ação
 - Linear
 - hidráulicos/pneumáticos
 - eletromagnéticos
 - Rotativa
 - Hidráulicos
 - Eletromagnéticos
 - outros

Sistemas de controle

Controles flexíveis

Definição

- ➔ O sistema de controle, e sua respectiva eletrônica, é responsável por gerenciar todas as informações relevantes da máquina

- ➔ Formas de controle flexível
 - ➔ malha aberta
 - ➔ malha fechada

Sistemas de controle

Controles flexíveis

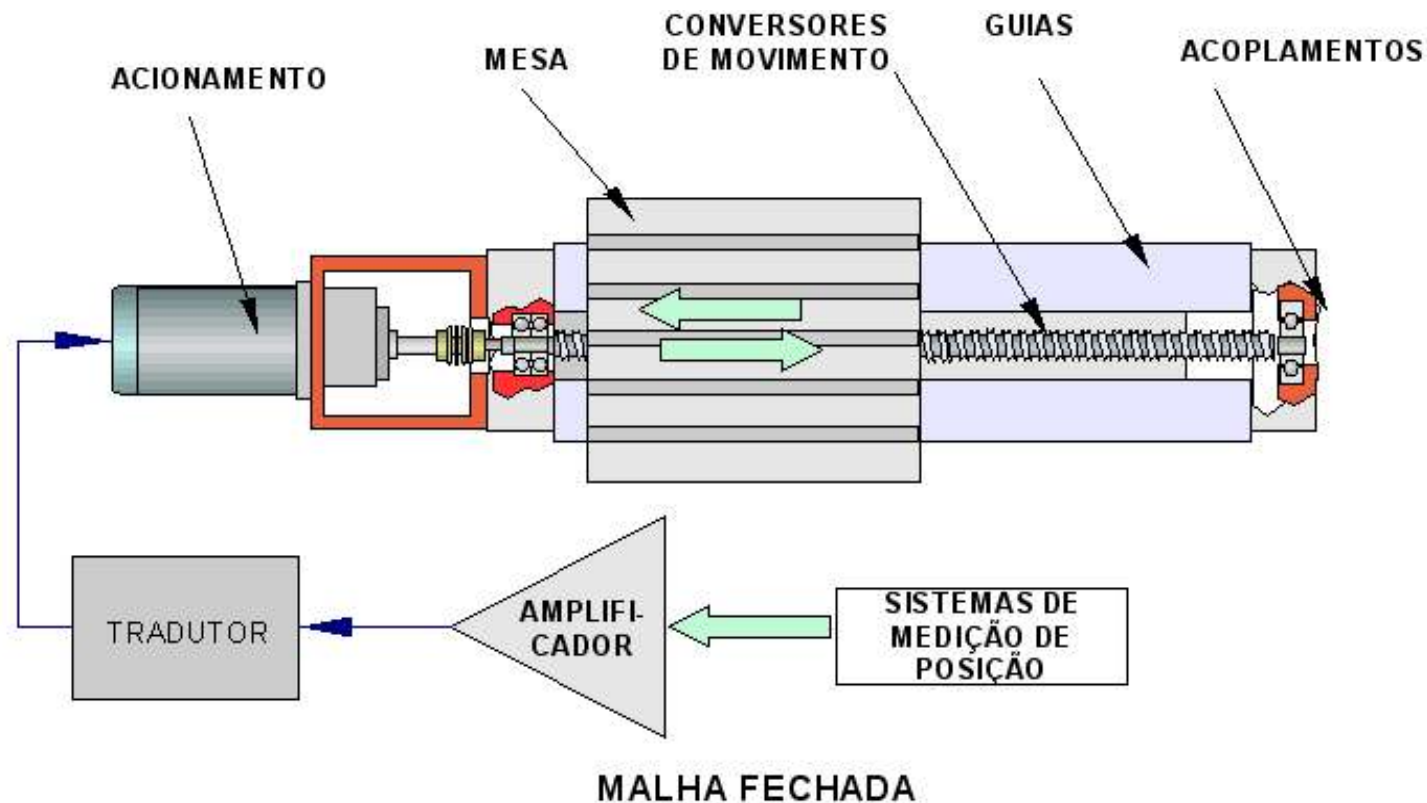
Funções

- ➔ Controle dos movimentos
- ➔ Controle das funções secundárias
- ➔ Monitorar o processo
- ➔ prover ao usuário informações gerais sobre o estado da máquina e o andamento do processo
- ➔ Servir de interface entre o usuário e a máquina

Sistemas de controle

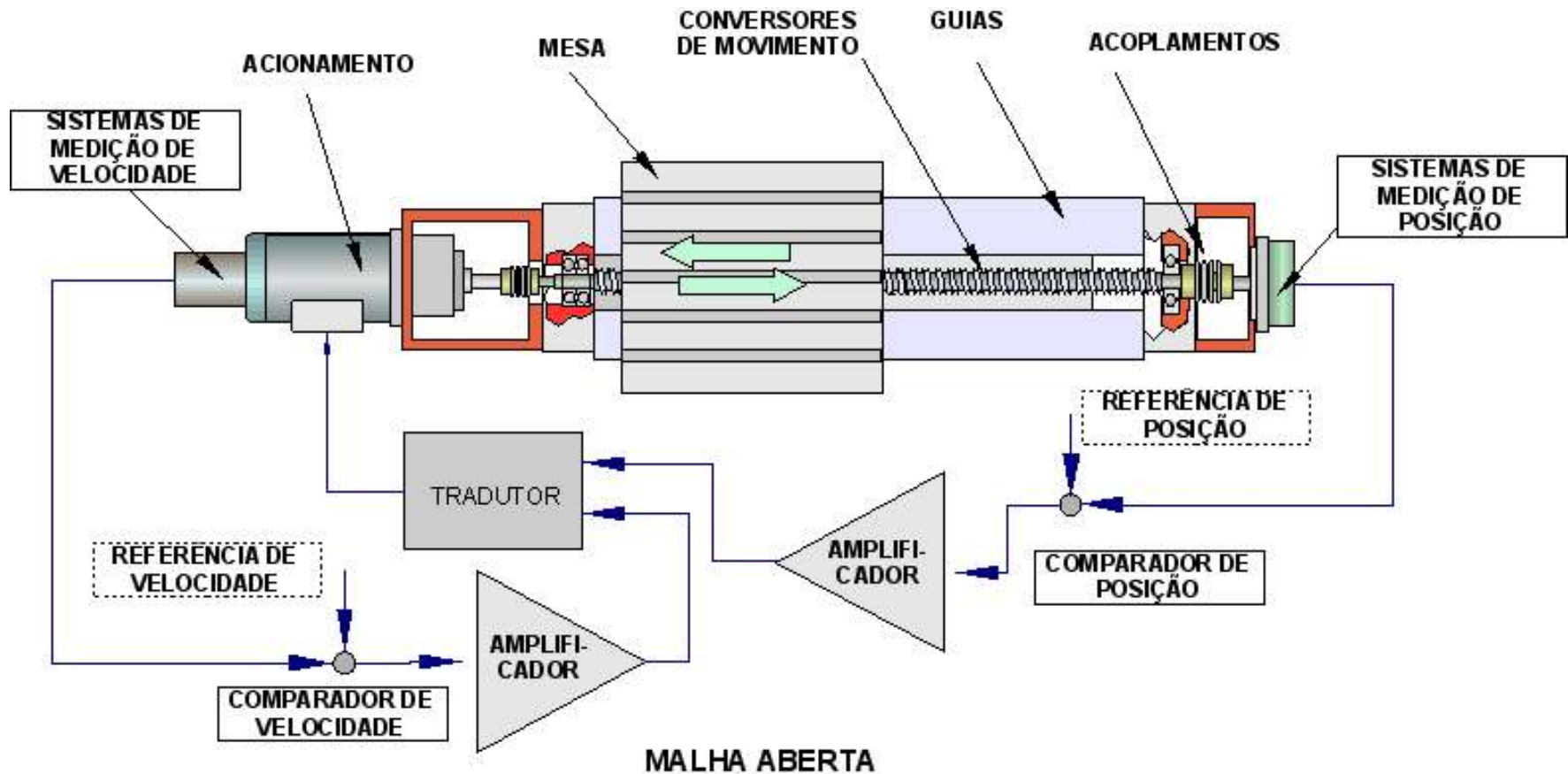
Malha aberta

- ➔ malha aberta, onde não há realimentação de posição e o deslocamento é controlado pelo número de pulsos enviados aos acionamentos



Sistemas de controle

Malha fechada: onde há a necessidade de se realimentar a malha com informações de posição, velocidade ou equivalentes



Erros em Máquinas-Ferramentas

Erros nos carros de movimentação

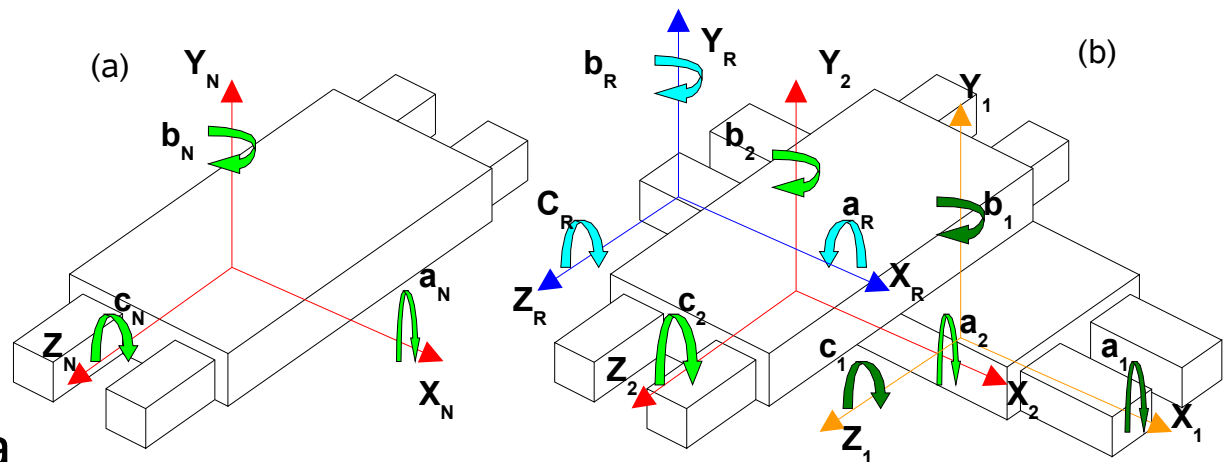
➔ A qualificação das guias pode ser realizada tomando por base os resultados obtidos com:

➔ ensaio de perpendicularismo

➔ linearidade

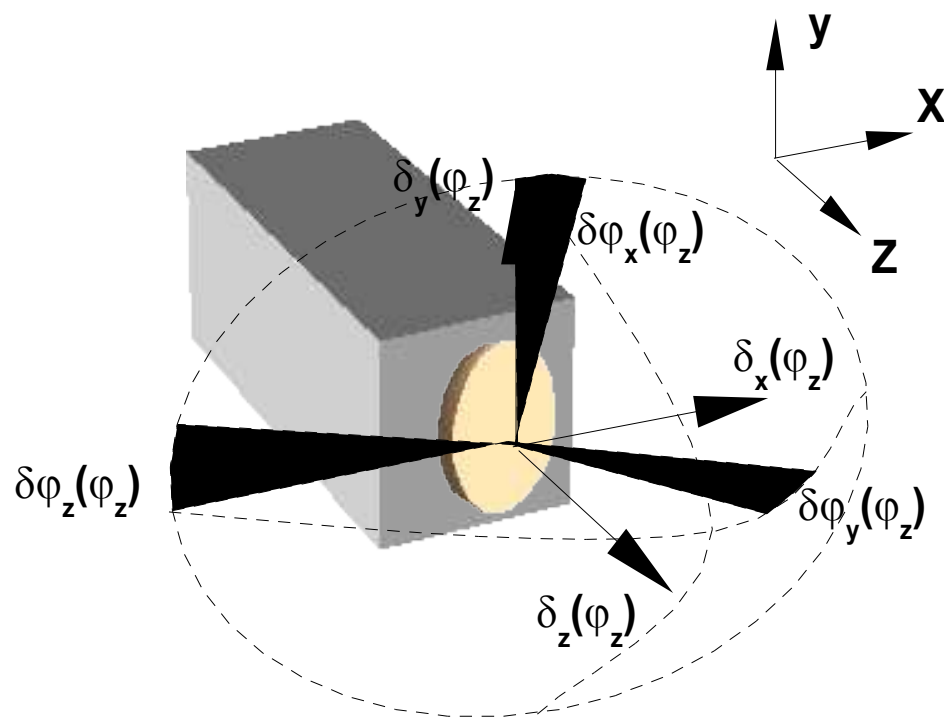
➔ posicionamento

➔ aferição da velocidade



Erros na árvore

Erros básicos de um eixo-árvore



ONDE:

$\delta_x(\varphi_x)$ - ERRO DE MOVIMENTO RADIAL - X

$\delta_y(\varphi_y)$ - ERRO DE MOVIMENTO RADIAL - Y

$\delta_x(\varphi_z)$ - ERRO DE MOVIMENTAÇÃO

$\delta\varphi_z(\varphi_z)$ - ERRO DE POSICIONAMENTO

$\delta\varphi_y(\varphi_z)$ - BATIMENTO EM TORNO DE Y

$\delta\varphi_x(\varphi_z)$ - BATIMENTO EM TORNO DE X

FIM