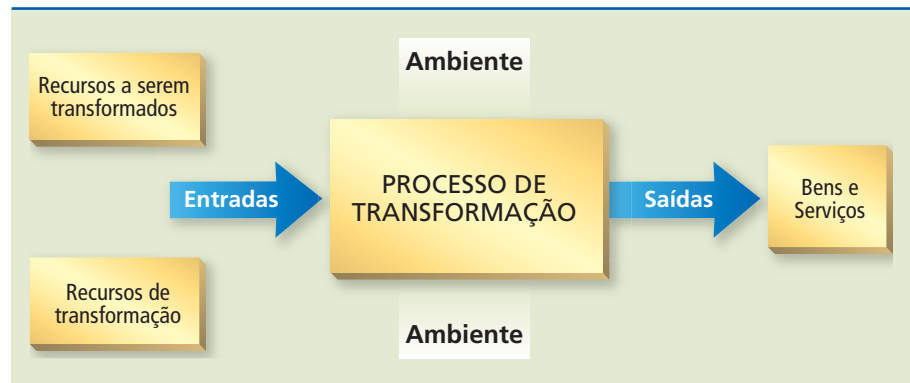


Capítulo 5

Usinagem – máquinas e operações

A fabricação é uma atividade que visa obter produtos ao mesmo tempo úteis e rentáveis. Envolve interações entre materiais, máquinas, mão de obra, método, entre outros, que se iniciam em um projeto e na produção de componentes montados em um produto final. Os sistemas de produção são definidos pelo tipo e pelos detalhes do processo utilizado e pela maneira como é organizada a produção. Um esquema dessa organização é mostrado na figura 5.1.

Figura 5.1
Fluxograma de um sistema de produção.



5.1 Processos de transformação por usinagem → manufatura

Na transformação por usinagem, muitas vezes ocorre grande mudança no formato da matéria-prima, enquanto em outras são feitas operações com pouca mudança. É importante saber quais serão os recursos transformados, a maneira de agir, e como serão a definição e a organização do fluxo de processo.

Os processos de fabricação em áreas afins são chamados segmentos, por exemplo:

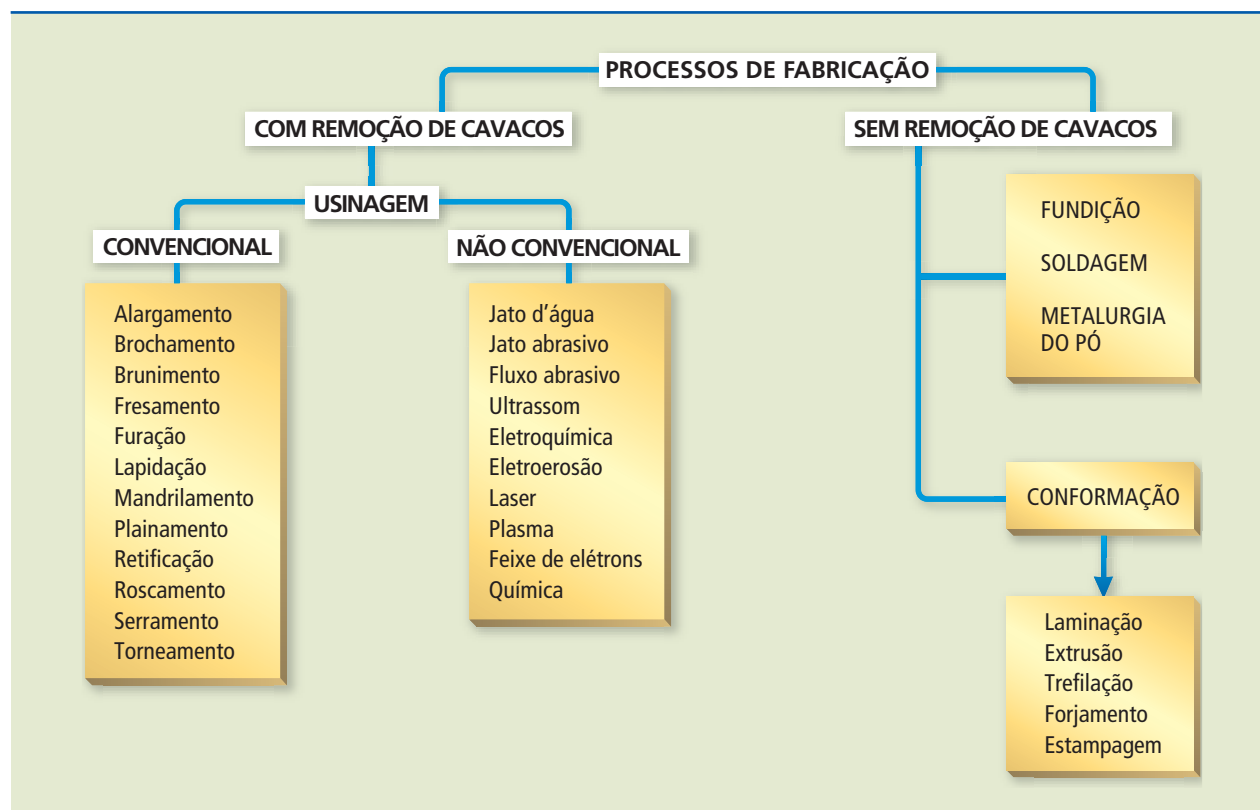
- a **indústria metal-mecânica**, em que o aço e suas ligas são a matéria-prima principal de fabricação, além de ligas de ferro fundido, alumínio e cobre, movimentando a indústria de equipamentos siderúrgicos, de máquinas, de matrizes etc.;
- a **indústria de plásticos**, que fabrica utensílios domésticos, embalagens e peças técnicas como a carcaça dos telefones celulares e os para-choques de

veículos, movimentando a indústria de máquinas, de equipamentos hidráulicos, de moldes etc.;

Outros tipos de indústrias são destacados nessa segmentação, como a agroindústria, a indústria de energia, de componentes ortopédicos, aeroespacial, farmacêutica etc. Todos esses segmentos concentram conhecimento e vivências específicas.

5.2 Tipos de processos de fabricação

A figura 5.2 mostra os diferentes processos de fabricação.



Para saber que tipo de transformação a indústria de usinagem realiza, é preciso avaliar o custo/benefício em função do fluxo de produção:

- em regime de produção contínua (em linha ou produção em massa) predominam a transformação de fundidos e forjados;
- em produção intermitente (por lotes ou por encomenda) ou produção em grandes projetos (sem repetição), ocorrem os fundidos, mas predominam os laminados.

Em todos os casos, os fatores de decisão são o custo e a qualidade da matéria-prima, que deve estar em consonância com o projeto do produto.

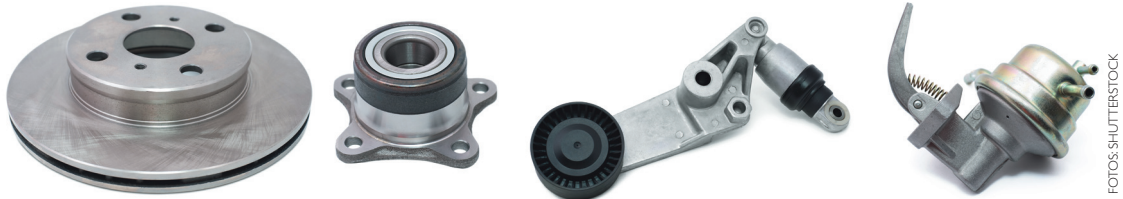
Os processos de obtenção da matéria-prima metálica em geral não garantem os formatos necessários nas peças, como rebaixos, saliências, furos calibrados

Figura 5.2
Processos de fabricação.

Figura 5.3

Exemplos de peças feitas com alumínio injetado em automóveis que passam por operações de usinagem após a fundição.

ou roscados etc. Apresentam superfícies grosseiras e de tolerâncias muito “abertas” para que um componente possa ser montado com funcionalidade e intercambiabilidade, características cada vez mais exigidas na mecânica. Esses processos primários precisam das operações de usinagem para atender às necessidades de montagem e funcionalidade (ver exemplo da figura 5.3).



5.3 Conceito e importância da usinagem

Operações de usinagem são aquelas em que, ao conferirem à peça a forma, o acabamento, as dimensões, ou ainda a combinação deles, produzem cavaco (FERRARESI, 1977). A usinagem é o processo de fabricação mais empregado no mundo. Como exemplos da importância da usinagem para a sociedade, podem ser citados:

- as engrenagens para transmissão, que são quase todas usinadas;
- a maioria dos componentes da indústria aeroespacial é usinada;
- todos os pinos odontológicos e a maioria dos ortopédicos são usinados.

A usinagem depende das variáveis: máquinas operatrizes, ferramentas e acessórios. A seleção dessas variáveis é muito importante, pois existe grande oferta de tipos, formas e tamanhos para diferentes trabalhos. A escolha correta possibilita a execução do trabalho, cumpre os procedimentos destacados nas folhas de processo ou de operações, atende às definições diversas até mesmo de segurança industrial, ganha tempo e reduz desperdícios.

Como exemplo de escolha ou de seleção de processo de usinagem, utilizamos a tabela 5.1, com valores de rugosidade que se podem obter com diversos processos de fabricação. Para uma necessidade de rugosidade de 0,2 Ra que exija escolha da retificação, em geral ocorrem: a geração da matéria-prima, a preparação para início de usinagem, as etapas iniciais de usinagem (prevalecendo o torneamento), aplicação de tratamentos térmicos e, finalmente, o uso do processo de retífica.

Também devem ser considerados fatores de tolerâncias dimensionais e o fator geométrico na escolha do processo de usinagem. Quanto maior a exigência, maior é a necessidade de processos mais precisos e de grande controle, que em consequência são mais caros.

Historicamente, o desenvolvimento dos processos de usinagem começou com a transformação e execução dos movimentos lineares e de rotação. A combinação entre esses movimentos permitiu a realização de trabalhos com maior precisão e

menor esforço. À medida que novos desenvolvimentos aconteceram, máquinas mais sofisticadas e processos modernos viabilizaram operações que não eram conseguidas, em formato e tolerâncias, com a rugosidade desejada.

Processo	Valores de rugosidade (em Ra)												
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	
Oxicorte													
Serra													
Plainamento													
Furação													
Usinagem química													
Eletroerosão													
Fresamento													
Brochamento													
Alargamento													
Feixe de elétrons													
Laser													
Eletroquímica													
Tornearamento													
Roletamento													
Retificação													
Brunimento													
Polimento													
Lapidação													
Super finishing													
Fundição em areia													
Laminação a quente													
Forjamento													
Fundição molde permanente													
Fundição de precisão													
Extrusão													
Laminação a frio													
Fundição sob pressão													

Tabela 5.1

Valores de rugosidade para vários processos de fabricação

À medida que as ferramentas e as máquinas tornam-se mais precisas e versáteis, alteram-se as condições de projeto das peças, com base no que as máquinas podem realizar quando se procura a melhoria de precisão e durabilidade dos componentes de mecanismos. A tabela 5.2 mostra o tipo de usinagem em função da precisão a ser atingida.

Usinagem	Precisão atingível	
	até ano 1980	de 1980 até ano 2000
Normal	5 μm	1 μm
de precisão	0,5 μm	0,1 μm
de ultraprecisão	0,05 μm	0,01 μm

Tabela 5.2

Tipo de usinagem em função da precisão a ser atingida

5.4 Processos e qualidade na usinagem

Utiliza-se máquina-ferramenta para usinar componentes com qualidade de tolerâncias dimensional, geométrica e de rugosidade. Mesmo indiretamente, como no caso de peças produzidas por processos de conformação ou injeção, a qualidade resultante é uma função dos processos de usinagem utilizados na obtenção dos moldes. A qualidade de uma máquina-ferramenta está associada a seus sistemas, ao uso a que é destinada, aos esforços mecânicos e térmicos a que se submete, à forma como afeta o meio ambiente e às precisões e acabamento estipulados para a peça.

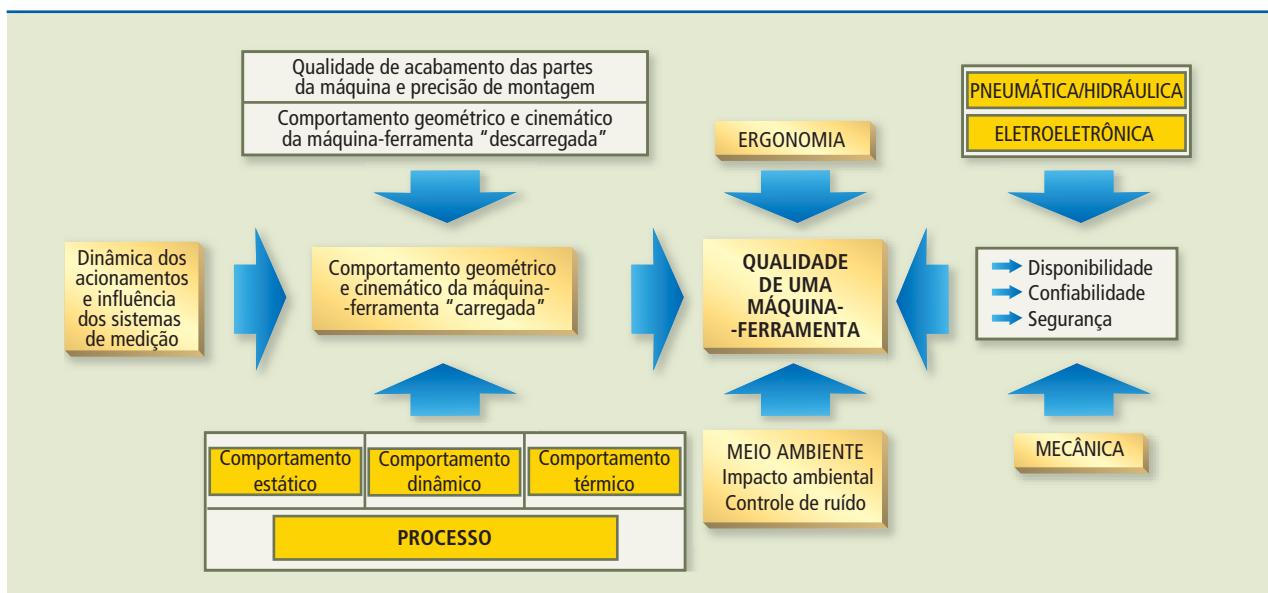
A máquina é o item de maior custo na usinagem, incluindo os operadores. Porém, mesmo a melhor das máquinas pode apresentar resultados de usinagem não satisfatórios, quando, por exemplo:

- não é instalada corretamente – fundação ineficiente, falta de estabilização da energia elétrica;
- não se utiliza a correta fixação da peça e das ferramentas de corte.

Com apoio nas figuras 5.4 e 5.5, podem ser resumidos os fatores mais importantes dos processos de usinagem, visando a melhor precisão da peça usinada:

- máquina-ferramenta – estrutura, estabilidade, tamanho, componentes e precisão;
- fixação da peça e da ferramenta;
- peça a ser usinada – tipo de material, geometria e tolerâncias;
- ferramenta de corte – material da ferramenta, formato/geometria, estabilidade;
- segurança do operador e questões de ordem ambiental – tolerâncias apertadas de peças sujeitas à dilatação térmica requerem ambiente controlado;
- sistemas de controle e medição – é preciso consonância dos instrumentos e métodos com os requisitos de projeto e processo.

Figura 5.4
Influência da qualidade da máquina-ferramenta.



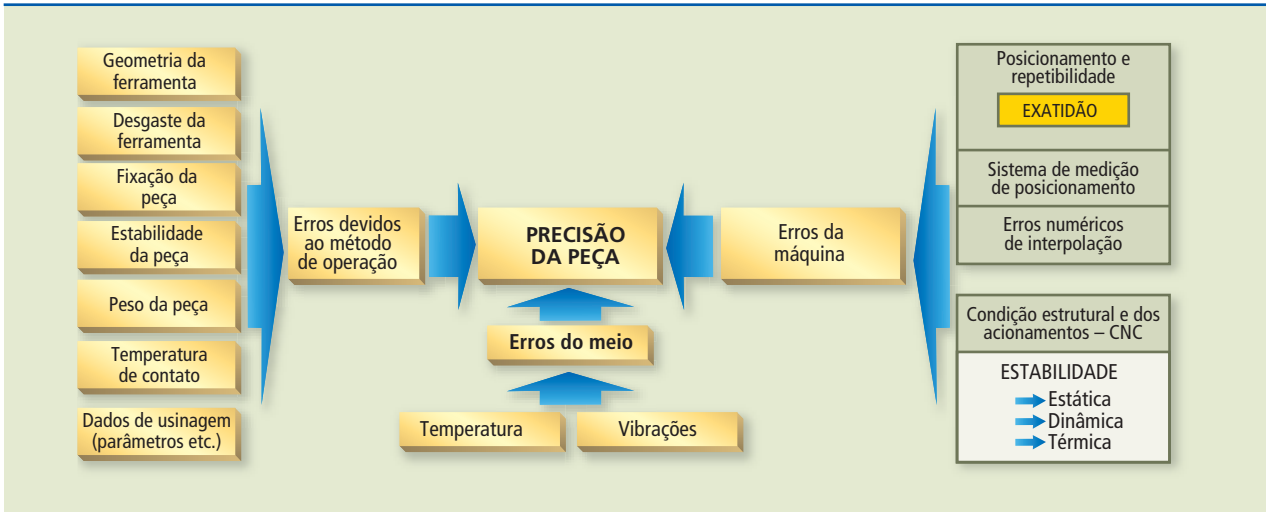


Figura 5.5
Precisão da peça.

Os processos de usinagem são empregados para transformar as superfícies de peças metálicas em geral, visando atingir os requisitos de formato, dimensões, tolerâncias e rugosidades. Existem processos diversos de usinagem. Os processos convencionais de usinagem são as operações de retificar, brunir, lapidar, torneiar, fresar, furar, alargar, brochar, mandrilar, plainar, rosca, serrar. As operações mais frequentes são representadas nas figuras 5.6 e 5.7:

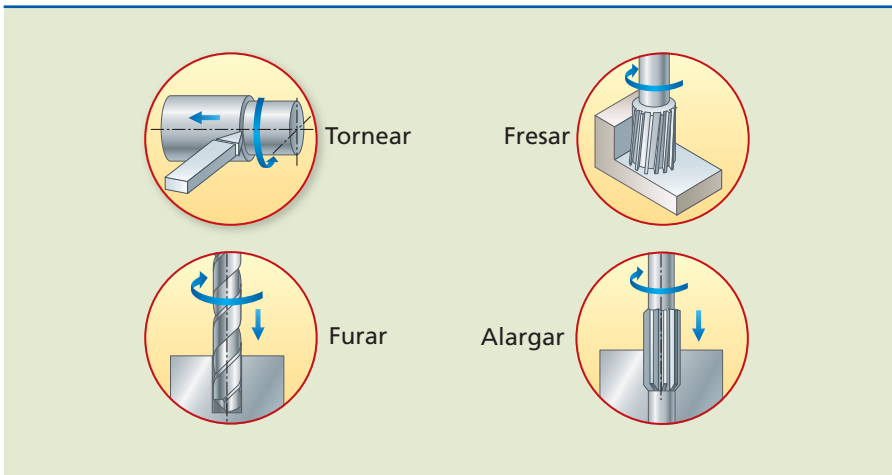


Figura 5.6
Operações de torneamento, fresamento, furação e alargamento.

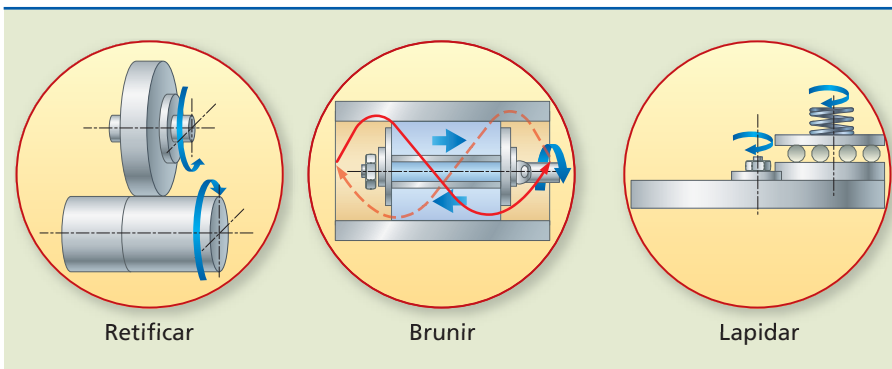


Figura 5.7
Operações de retificar, brunir e lapidar.

5.4.1 Tendências no desenvolvimento de máquinas-ferramenta

Entre as principais tendências no desenvolvimento de máquinas-ferramenta para usinagem, temos os conceitos de máximos avanços com grande precisão (até mesmo em termos de nanotecnologia) e de máxima flexibilidade.

A manufatura em pequena escala (no nível nano) está limitada pela falta de estabilidade dos parâmetros dos materiais. Em usinagem com CNC (comando numérico computadorizado), verifica-se atualmente que os componentes eletrônicos estão possibilitando o nanoposicionamento, existindo limitação na parte mecânica. É o caso das novas máquinas para usinagem de moldes. Em algumas versões, é possível visualizar as coordenadas dos eixos em 0,0001 mm de posicionamento; as máquinas possuem controles térmicos e compensação de posicionamento baseada em fórmulas térmicas.