

ÍNDICE

2 – NOÇÕES SOBRE PROCESSOS DE USINAGEM.....	2
2.1 – Histórico.....	2
2.2 – Processos de Usinagem.....	5
2.2.1 – PROCESSOS DE TORNEAMENTO	5
2.2.2 – Processo de Aplainamento	7
2.2.3 – Processo de Furação.....	8
2.2.4 – Processo de Alargamento.....	9
2.2.5 – Processo de Rebaixamento	10
2.2.6 – MANDRILAMENTO	11
2.2.7 - FRESAMENTO.....	12
2.2.8 – SERRAMENTO	14
2.2.9 – BROCHAMENTO.....	15
2.2.10 -ROSCAMENTO.....	16
2.2.11 – LIMAGEM	17
2.2.12 - RASQUETEAMENTO	18
2.2.13 –TAMBORAMENTO	19
2.2.17 – POLIMENTO	19
2.2.18 – LIXAMENTO.....	20
2.2.19 – JATEAMENTO	20
2.2.20 – AFIAÇÃO.....	21
2.3 – FERRAMENTAS USADAS EM PROCESSOS DE USINAGEM	22

2 – NOÇÕES SOBRE PROCESSOS DE USINAGEM

2.1 – *Histórico*

Até a metade do século XVIII o principal material usado em engenharia era a madeira. O torno e outras poucas máquinas eram ainda fabricados usando-se a madeira e, também empregadas para fabricação de peças de madeira. Foi com as máquinas a vapor, com suas exigências de grandes cilindros metálicos e outras partes de grande precisão e exatidão dimensional, que se iniciou um grande desenvolvimento na usinagem de metais.

Os materiais com os quais os primeiros motores a vapor foram construídos não eram difíceis de usinar. Ferro fundido cinzento, aço forjado, latão e bronze eram normalmente cortados com ferramentas de aço carbono endurecido usando-se velocidades de até 5 m/min. Os métodos de tratamento térmico dos aços para ferramentas tinham sido desenvolvidos através dos séculos pelos artesãos e, ferramentas com razoável desempenho estavam disponíveis. Embora a maioria dos materiais pudessem ser usinados, as velocidades de corte eram muito baixas. Como exemplo, foram requeridos cerca de 27,5 dias de trabalho para se usinar o furo e face de um dos maiores cilindros pedidos por James Watt.

No princípio da era da máquina a vapor não existiam indústrias de máquinas-ferramentas, as quais surgiram, em sua maioria, entre 1760 e 1860. Pioneiros com Maudslay, Whitworth e Eli Whitney gastaram a maior parte de suas vidas desenvolvendo e aperfeiçoando os conceitos de máquinas-ferramentas ainda hoje empregados, como os tornos, os sistemas de roscas, etc. Já depois de 1860 as formas básicas requeridas pelas industriais de máquinas a vapor, tais como: superfícies planas, cilíndricas, furos, rasgos, etc., eram possíveis de se obter nos materiais comumente utilizados em peças e componentes.

Com o desenvolvimento em novos aços, estes passaram a substituir o FoFo, latão e bronze nas peças aquecidas do motor a vapor. Rapidamente a produção de aço aumentou a usinagem mais rápida passou a ser um grande desafio para os engenheiros de fabricação da época, uma vez que as velocidades de corte para aços eram muito baixas e, conseqüentemente, um processo de baixa produtividade. A Figura 2.1 mostra exemplos de algumas das primeiras máquinas, já no final do Século XIX.

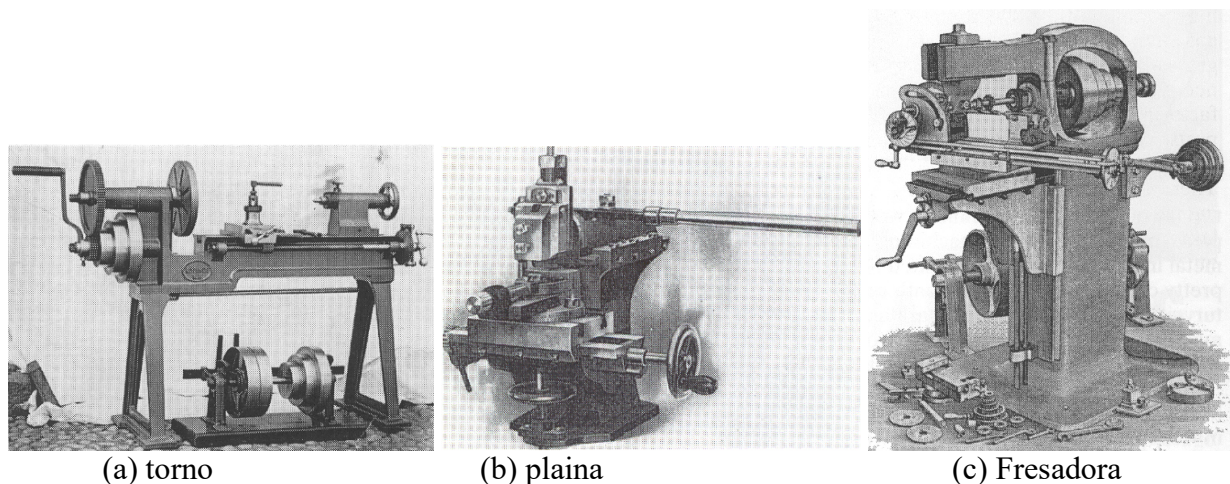
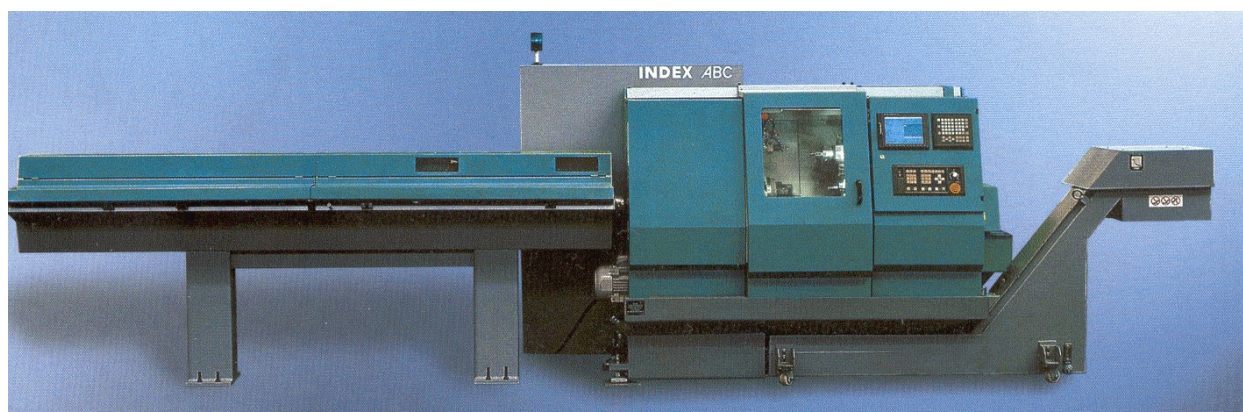
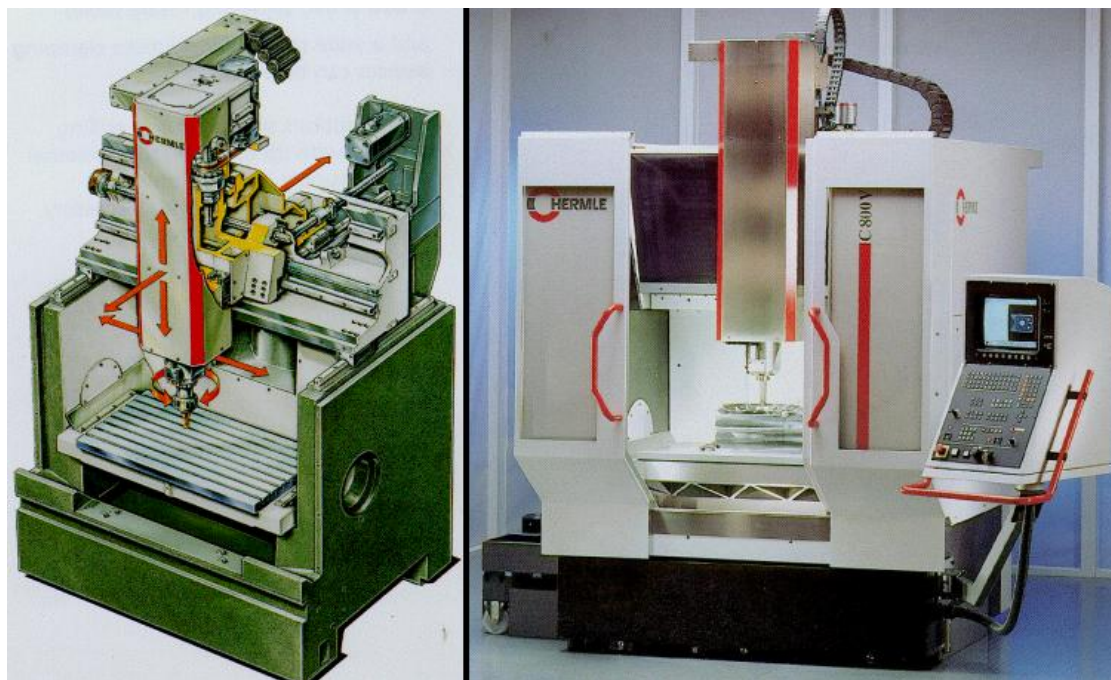


Figura 2.1 – Primeiras máquinas-ferramentas do início do Século XIX.

Ao final do século XIX os custos de usinagem estavam se tornando muito altos, em termos de mão-de-obra e investimentos (Trent, E.M., 1984). Neste sentido, a substituição do aço carbono como ferramentas e o aperfeiçoamento das máquinas-ferramentas foi um passo inevitável. Neste sentido foram desenvolvidos novos materiais para ferramentas, tais como aço rápido (HSS), o carbeto de tungstênio (WC), mais tarde cerâmicos e outros materiais mais recentes. Fabricantes de máquinas-ferramentas rapidamente acompanharam os desenvolvimentos, aumentando as velocidades e a potência das máquinas, permitindo o rápido aumento de produtividade. Já no século XX as máquinas-ferramentas incorporaram os desenvolvimentos ocorridos na microeletrônica, com os microprocessadores, produzindo máquinas automáticas com controle numérico computadorizados (CNC). Mais recentemente, com a versatilidade da internet, as máquinas passaram a ser conectadas em redes, muitas com acesso direto à World Wide Web (WWW), trocando dados, programas e todo tipo de informação importante ao setor produtivo e ao seu gerenciamento. Máquinas-ferramentas já trabalham em redes, com intensa comunicação entre si, com fabricantes, clientes e fornecedores. A Figura 2.2 mostra exemplos de máquinas-ferramentas fabricadas no início do Século XXI.



(a) Exemplo de torno CNC (Cortesia INDEX Tornos Automáticos do Brasil)



(b) Centro de usinagem CNC (evolução da fresadora). Cortesia Bertold Hermle Gmb.

Figura 2.2 – Máquinas-ferramentas de fabricação no início do Século XXI

Na atual sociedade industrial, não há um só item que não sofra um processo de usinagem durante sua fabricação, ou que não contenha um processo de usinagem envolvido em sua cadeia produtiva. Por exemplo, todo componente metálico, passou por um processo de usinagem, ou algum processo de conformação, cujas ferramentas foram usinadas; todos os componentes plásticos foram obtidos por ferramentas de injeção, ou conformação, usinadas; e assim por diante. Embora ainda seja um processo de fabricação de alto custo, a usinagem de materiais é inevitável, principalmente quando se necessitam de peças ou componentes com alta precisão e exatidão dimensional.

Na medida em que componentes são cada vez mais exigidos em seu desempenho, produtores de materiais desenvolvem a cada dia novas ligas capazes de resistir severas condições de tensão, temperatura, corrosão, etc., as quais devem ser usinadas. Alguns desses materiais, como ligas de alumínio e de magnésio, são relativamente fáceis de usinar, porém outras, com as de níquel, são extremamente difíceis. Pelo fato de manterem suas propriedades mecânicas, já superiores à maioria dos metais, também em altas temperaturas, essas ligas são extremamente difíceis de se romper, para a formação de cavacos. Neste sentido, fabricantes de ferramentas de corte se empenham em melhorar a cada dia seus produtos, de forma a propiciar um tempo de vida de ferramenta o mais longo possível a custos aceitáveis, melhorando a produtividade do processo

de usinagem dessas ligas. O bom desempenho de um processo de usinagem depende de uma combinação de uma série de fatores, tais como, máquina-ferramenta, ferramenta, condições de corte, sistemas de fixação das peças e ferramentas e do bom gerenciamento do processo produtivo.

2.2 – Processos de Usinagem

Os processos de usinagem são classificados e têm sua nomenclatura normalizada para que haja apenas uma linguagem comum aos engenheiros que trabalham nesta área. A seguir apresenta-se uma classificação adotada por Ferraresi, 1975, a qual deu origem à normalização adotada pela ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas, P.TB-83 de 1971.

2.2.1 – PROCESSOS DE TORNEAMENTO

É um processo de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes, ou seja, de apenas uma aresta de corte (ou gume cortante). Para tanto, a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória co-planar com o referido eixo. Quanto à forma da trajetória, o torneamento pode ser *retilíneo* ou *curvilíneo*. O *torneamento retilíneo* é o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea. O torneamento retilíneo pode ser ainda *torneamento cilíndrico*, no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória paralela ao eixo principal de rotação da máquina. Pode ser *externo*, Figura 2.3(a), ou *interno*, Figura 2.3(b).

Quando o torneamento cilíndrico visa obter uma peça com entalhe circular, na superfície perpendicular ao eixo principal de rotação da máquina, o torneamento é denominado *sangramento axial*, Figura 2.3(c).

O processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, inclinada em relação ao eixo principal de rotação da máquina é chamado *torneamento cônico*. Pode ser *externo*, Figura 2.3(d) ou *interno*, Figura 2.3(e).

O processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, perpendicular ao eixo principal de rotação da máquina é chamado *Torneamento radial*. Quando o torneamento radial visa a obtenção de uma superfície plana, o torneamento e

denominado *torneamento de faceamento*, Figura 2.3(f). Quando o torneamento radial visa a obtenção de um entalhe circular, o torneamento é denominado *sangramento radial*, Figura 2.3(g).

O *perfilamento* é o processo de torneamento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea radial, Figura 2.3(h) ou axial, Figura 2.3(i), visando a obtenção de uma forma definida, determinada pelo perfil da ferramenta.

Quando a ferramenta se move em uma trajetória curvilínea o processo de torneamento é chamado de torneamento curvilíneo, Figura 2.3(j).

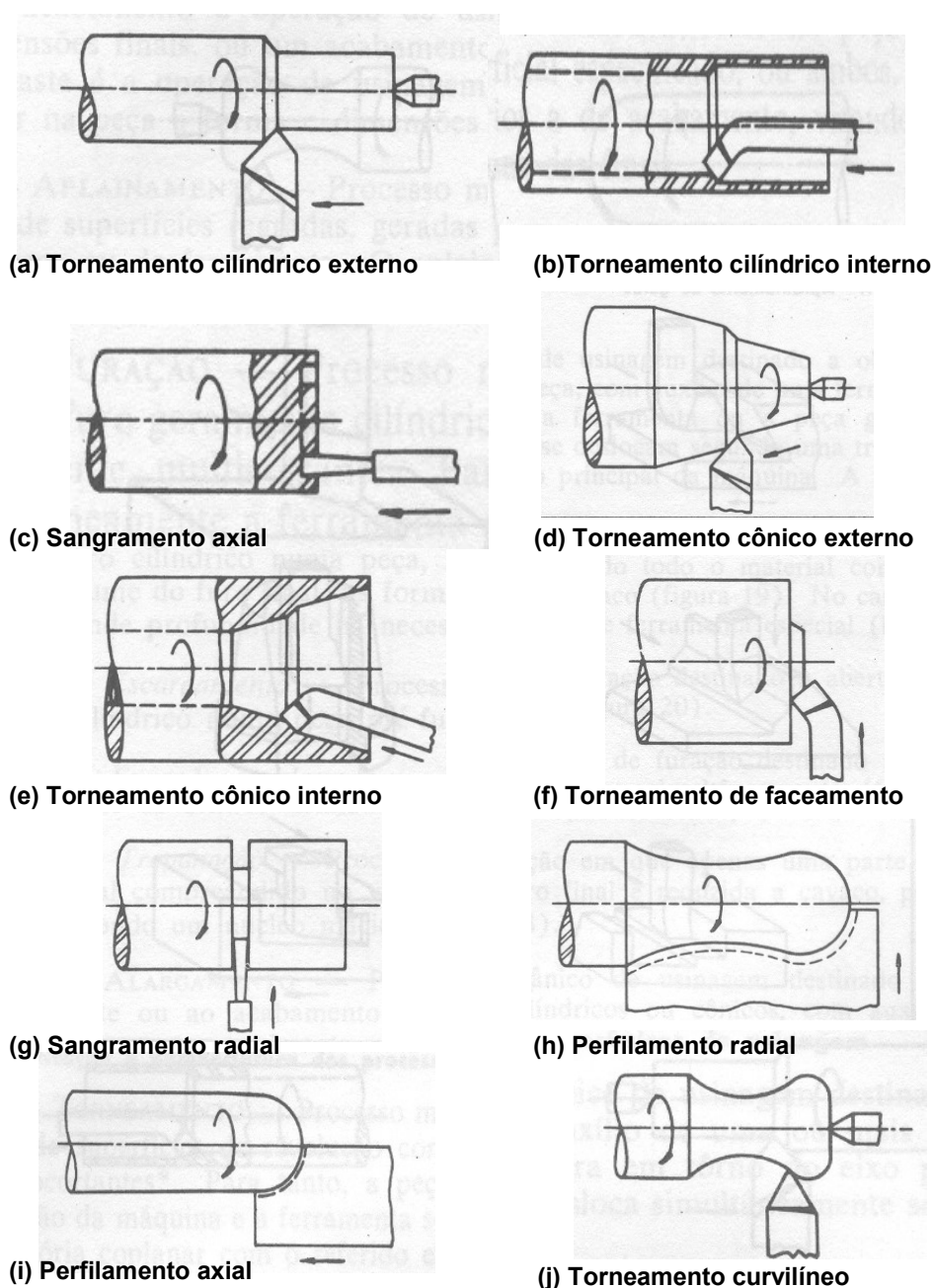


Figura 2.3 – Esquemas de operações de torneamento com suas terminologias.

2.2.2 – Processo de Aplainamento

É o processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de superfícies regradadas, geradas por um movimento retilíneo alternativo da peça ou da ferramenta. O aplainamento pode ser *horizontal* ou *vertical*, Figura 2.4. Quanto à finalidade, as operações de aplainamento podem ser classificadas ainda em *aplainamento de desbaste* e *aplainamento de acabamento*.

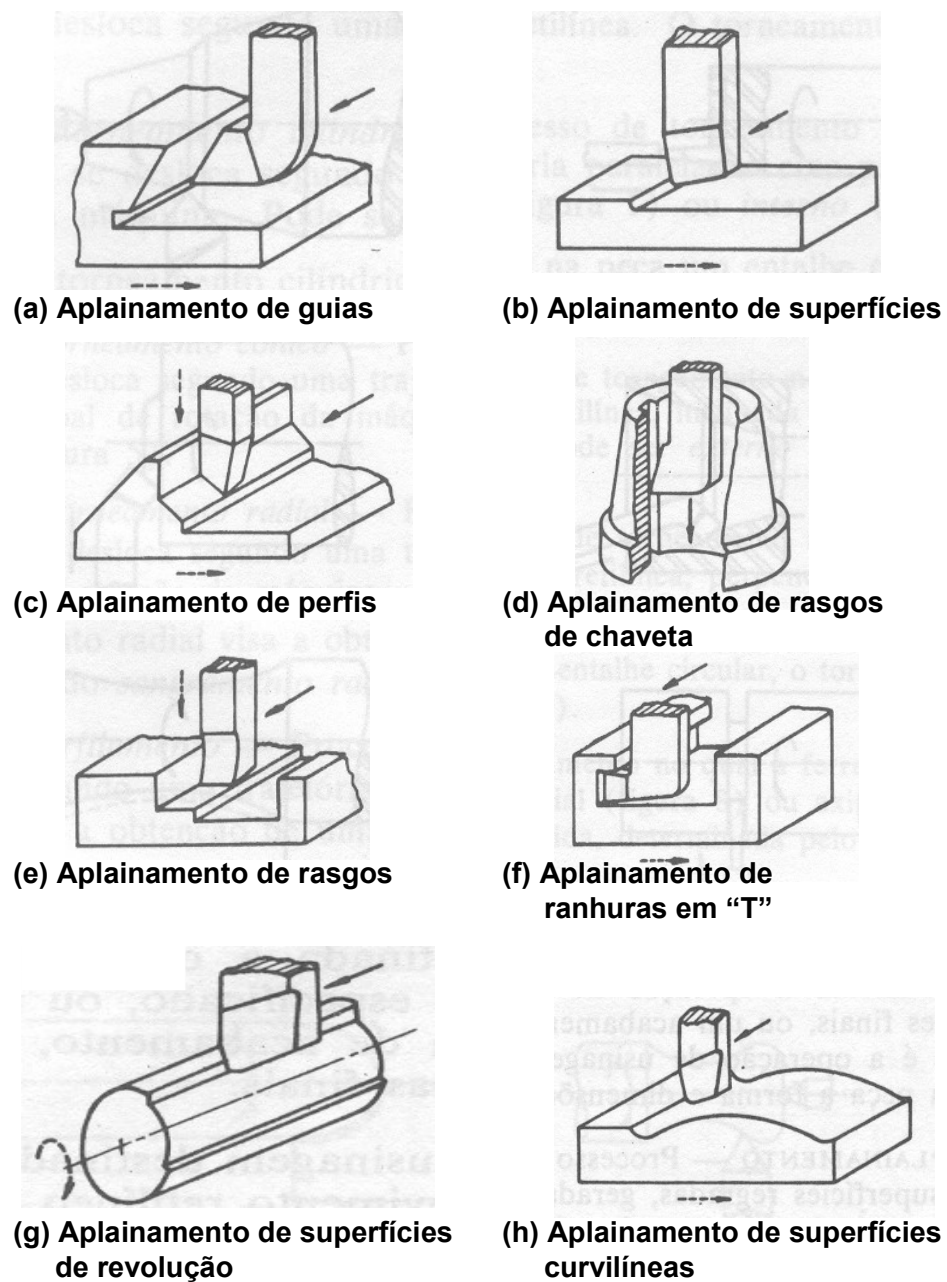


Figura 2.4 - Esquemas de operações de aplainamento com suas terminologias.

2.2.3 – Processo de Furação

É o processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de um furo geralmente cilíndrico numa peça, com auxílio de uma ferramenta, geralmente multicortante. Para tanto, a ferramenta, ou a peça, giram e simultaneamente a ferramenta, ou a peça, se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. A furação subdivide-se nas seguintes operações:

- *Furação em cheio*: processo de furação destinado à abertura de um furo cilíndrico numa peça, removendo todo o material compreendido no volume do furo final, na forma de cavaco, Figura 2.5(a). No caso de furos de grande profundidade há necessidade de ferramenta especial, Figura 25(e).
- *Escareamento* : processo de furação destinado à abertura de um furo cilíndrico numa peça pré-furada, Figura 2.5(b) .
- *Furação escalonada*: processo de furação destinado à obtenção de um furo com dois ou mais diâmetros, simultaneamente, Figura 2.5(c).
- *Furação de centros*: processo de furação destinado à obtenção de furos de centro, visando uma operação posterior na peça, de furação ou de torneamento entre centros, Figura 2.5(d) .
- *Trepanação*: processo de furação em que apenas uma parte de material compreendido no volume do furo final é reduzida a cavaco, permanecendo um núcleo maciço, Figura 2.5(f) .

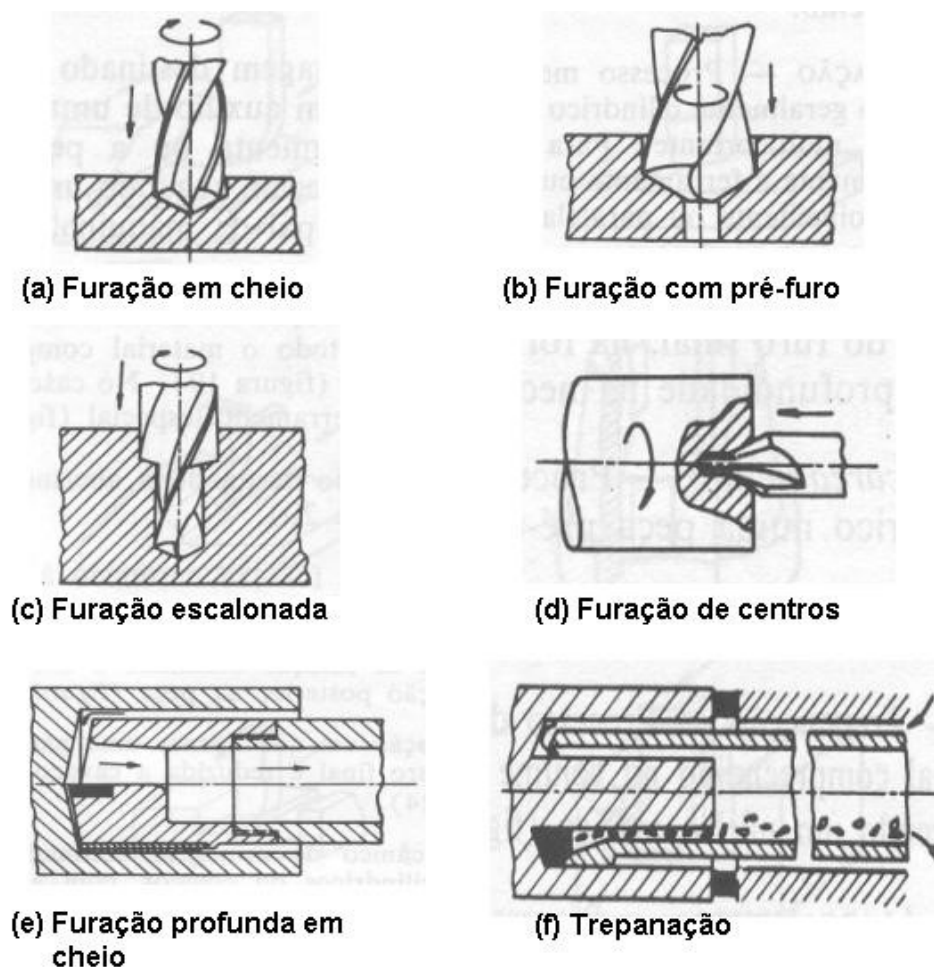
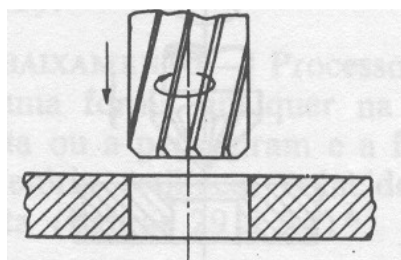


Figura 2.5 - Esquemas de operações de furação com suas terminologias.

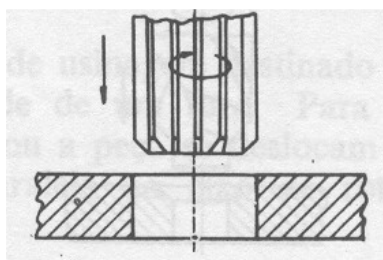
2.2.4 – Processo de Alargamento

Processo mecânico de usinagem destinado ao desbaste ou ao pré-acabamento de furos cilíndricos ou cônicos, com auxílio de ferramenta mono- ou multicortante. Para tanto, a ferramenta, ou a peça, giram e a ferramenta, ou a peça, se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente com, ou paralela, ao eixo de rotação da ferramenta. O alargamento pode ser:

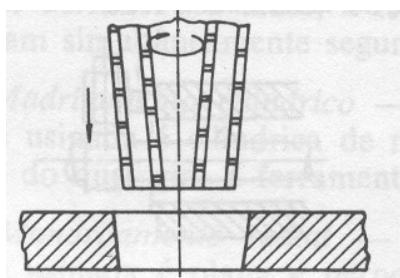
- *Alargamento de desbaste*: processo de alargamento destinado ao desbaste da parede de um furo cilíndrico, Figura 2.6(a), ou cônico, Figura 2.6(c).
- *Alargamento de acabamento*: processo de alargamento destinado ao acabamento da parede de um furo cilíndrico, Figura 2.6(b), ou cônico, Figura 2.6(d).



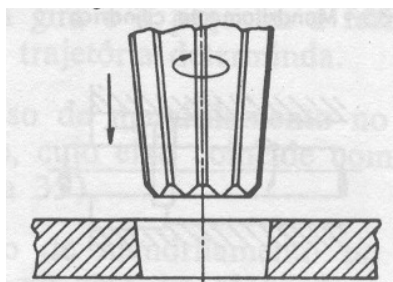
(a) Alargamento cilíndrico de pré-acabamento



(b) Alargamento cilíndrico de acabamento



(c) Alargamento cônico de pré-acabamento



(d) Alargamento cônico de acabamento

Figura 2.6 - Esquemas de operações de alargamento com suas terminologias.

2.2.5 – Processo de Rebaixamento

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de uma forma qualquer na extremidade de um furo. Para tanto, a ferramenta, ou a peça, giram e a ferramenta, ou a peça, se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente, ou paralela, ao eixo de rotação da ferramenta, Figura 2.7. Esses processos também podem ser chamados de *escareamento*.

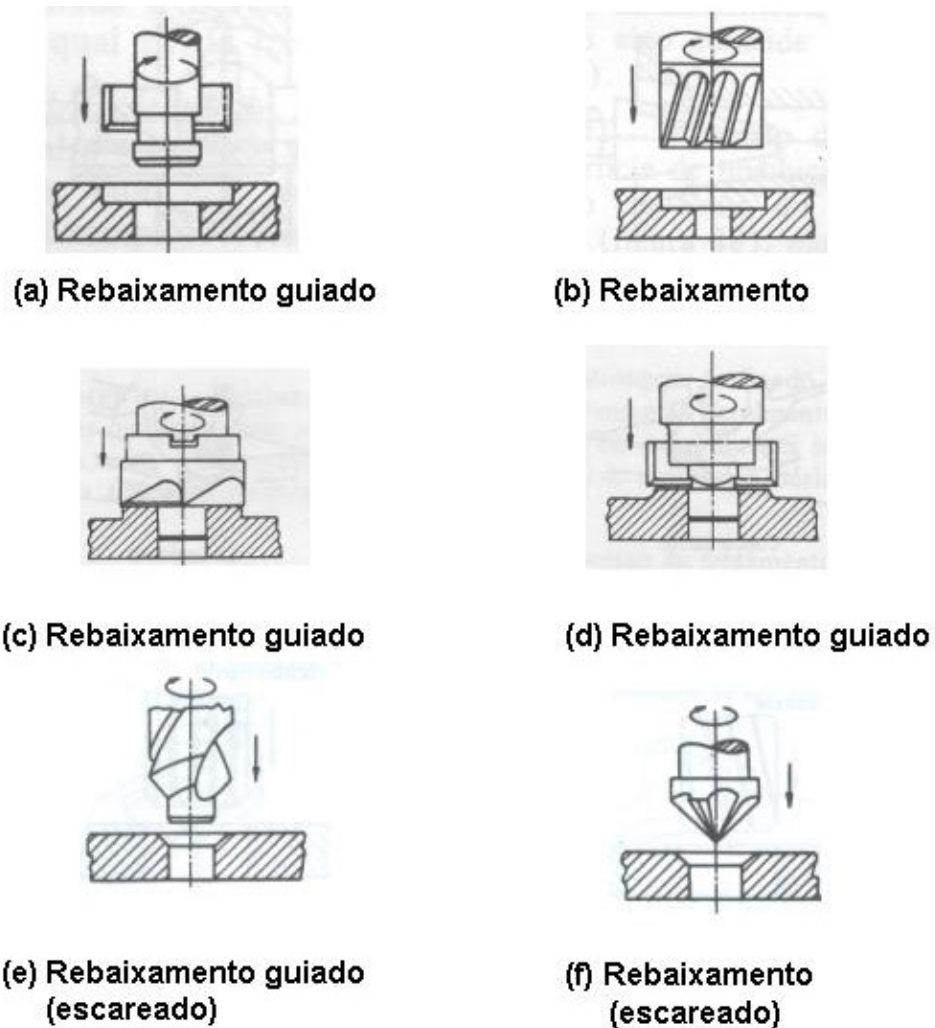


Figura 2.7 - Esquemas de operações de rebaixamento com suas terminologias.

2.2.6 – MANDRILAMENTO

É o processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou várias ferramentas de barra. Para tanto, a ferramenta gira e a peça, ou a ferramenta, se deslocam simultaneamente segundo uma trajetória determinada. As operações de mandrilamento pode ser ainda divididas em:

- *Mandrilamento cilíndrico*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é cilíndrica de revolução, cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta, Figura 2.8(a).

- *Mandrilamento radia*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é plana e perpendicular ao eixo em torno do qual gira a ferramenta, Figura 2.8(b).
- *Mandrilamento cônico*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é cônica de revolução, cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta, Figura 2.8(c).
- *Mandrilamento de superfícies especiais*: processo de mandrilamento no qual a superfície usinada é uma superfície de revolução, diferente das anteriores, cujo eixo coincide com o eixo em torno do qual gira a ferramenta. Exemplos: *mandrilamento esférico*, Figura 2.8(d), *mandrilamento de sangramento*, etc.

Quanto à finalidade, as operações de mandrilamento podem ser classificadas ainda em *mandrilamento de desbaste* e *mandrilamento de acabamento*.

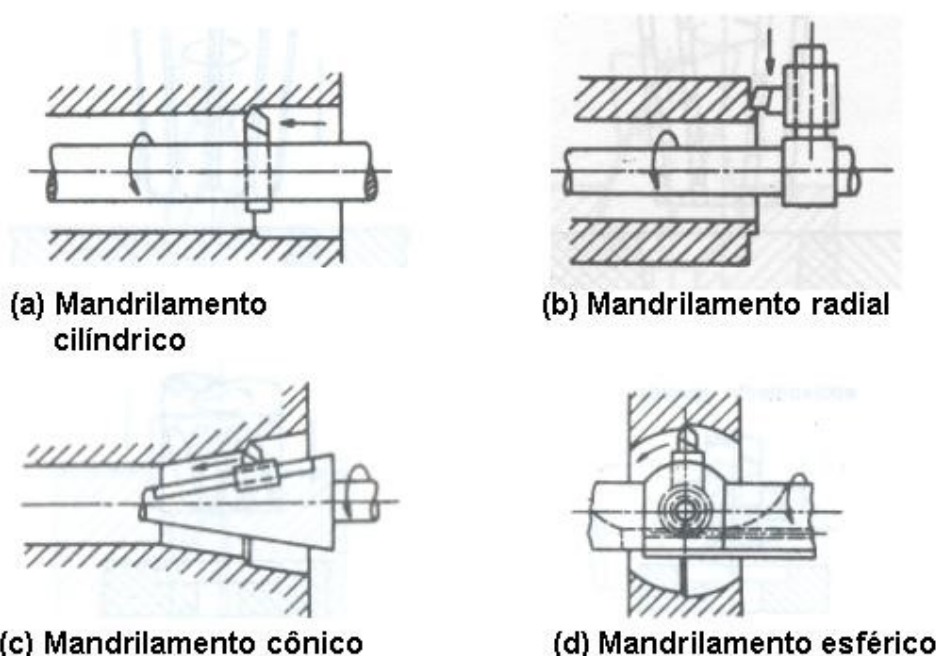


Figura 2.8 - Esquemas de operações de mandrilamento com suas terminologias.

2.2.7 - FRESAMENTO

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer com o auxílio de ferramentas mono-, ou multicortantes. Para tanto, a ferramenta gira e a peça, ou a ferramenta, se deslocam segundo uma trajetória qualquer. Distinguem-se dois tipos básicos de fresamento:

- *Fresamento cilíndrico tangencial*: processo de fresamento destinado à obtenção de superfície plana paralela ao eixo de rotação da ferramenta, Figura 2.9(a), (b) e (d). Quando a superfície obtida não for plana ou o eixo de rotação da ferramenta for inclinado em relação à superfície originada na peça, será considerado um processo especial de fresamento tangencial, Figuras 2.9(f) e(i).
- *Fresamento frontal*: processo de fresamento destinado à obtenção de superfície plana perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta, Figuras 2.9(c) e (g). O caso de fresamento indicado na Figura 2.9(h) é considerado um caso especial de fresamento frontal.

Há casos em que os dois tipos básicos de fresamento comparecem simultaneamente, podendo haver ou não predominância de um sobre outro, Figura 2.9(e). A operação indicada na Figura 2.9(j) pode ser considerada como um fresamento composto.

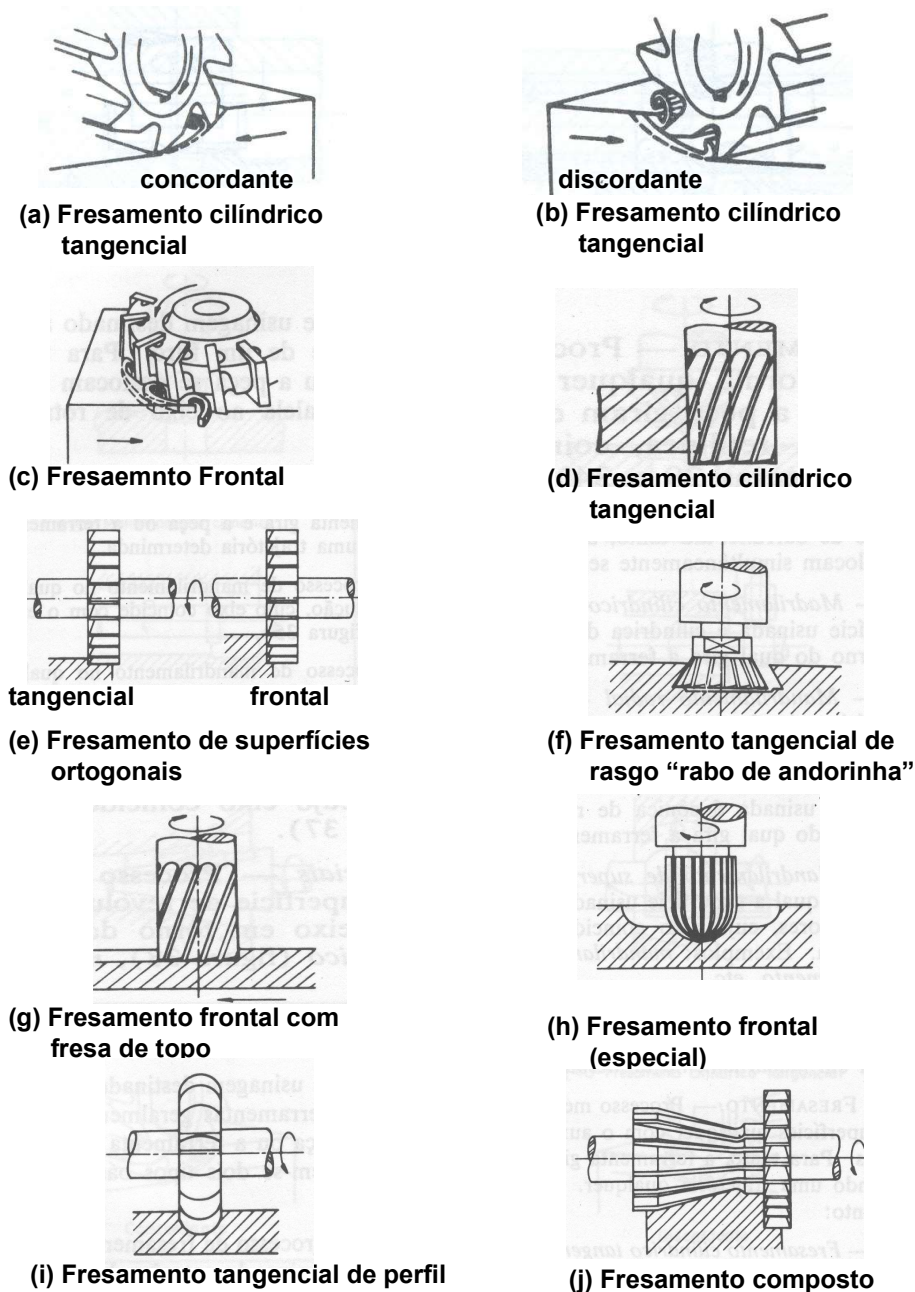


Figura 2.9 - Esquemas de operações de fresamento com suas terminologias.

2.2.8 – SERRAMENTO

É o processo mecânico de usinagem destinado a seccionar, ou recortar com auxílio de ferramentas multicortantes de pequena espessura. Para tanto, a ferramenta gira ou se desloca, ou executa ambos os movimentos e a peça se desloca, ou se mantém parada. O serramento pode ser:

- *Serramento retilíneo*: processo de serramento no qual a ferramenta se desloca segundo uma trajetória retilínea, com movimento alternativo, ou não. No primeiro caso, o serramento é *retilíneo alternativo*, Figura 2.10(a); no segundo caso, o serramento é *retilíneo contínuo*, Figuras 2.10(b) e (c).
- *Serramento circular*: processo de serramento no qual a ferramenta gira ao redor de seu eixo e a peça, ou ferramenta se desloca, Figuras 2.10(d), (e) e (f).

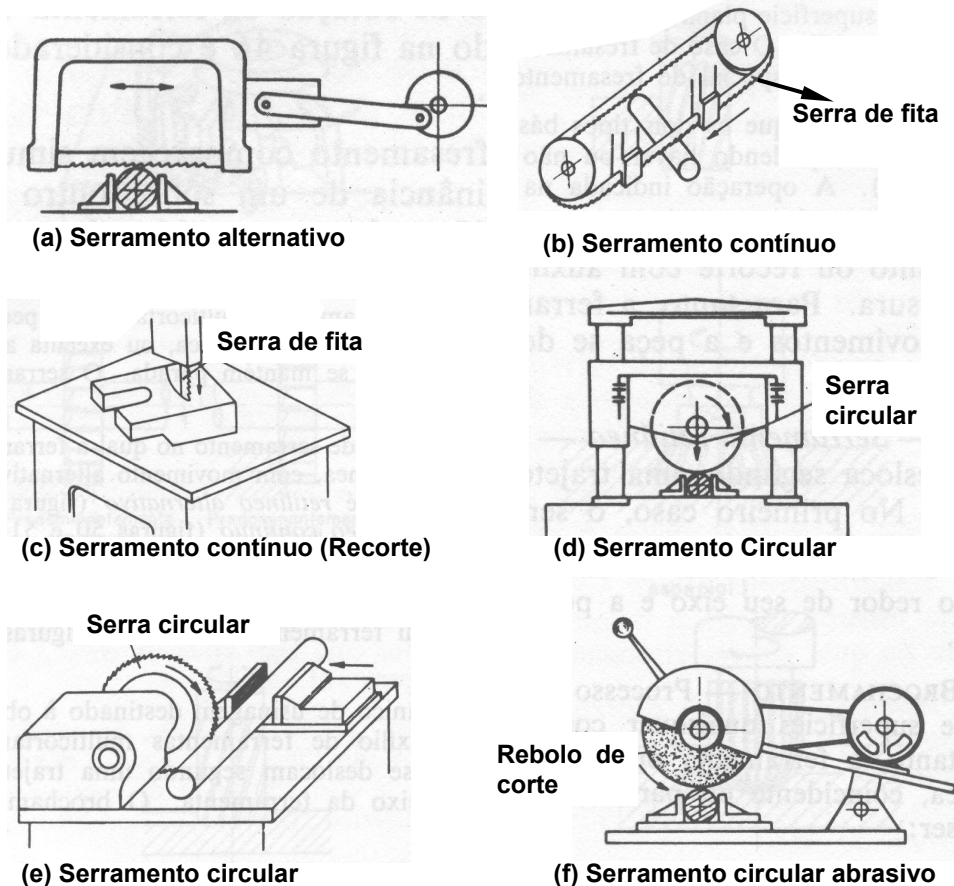


Figura 2.10 - Esquemas de operações de serramento com suas terminologias.

2.2.9 – BROCHAMENTO

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer com auxílio de ferramentas multicortantes. Para tanto, a ferramenta, ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo da ferramenta. O brochamento pode ser:

- *Brochamento interno*: processo de brochamento executado num furo passante da peça, Figura 2.11(a).
- *Brochamento externo*: processo de brochamento executado numa superfície externa da peça, Figura 2.11(b).

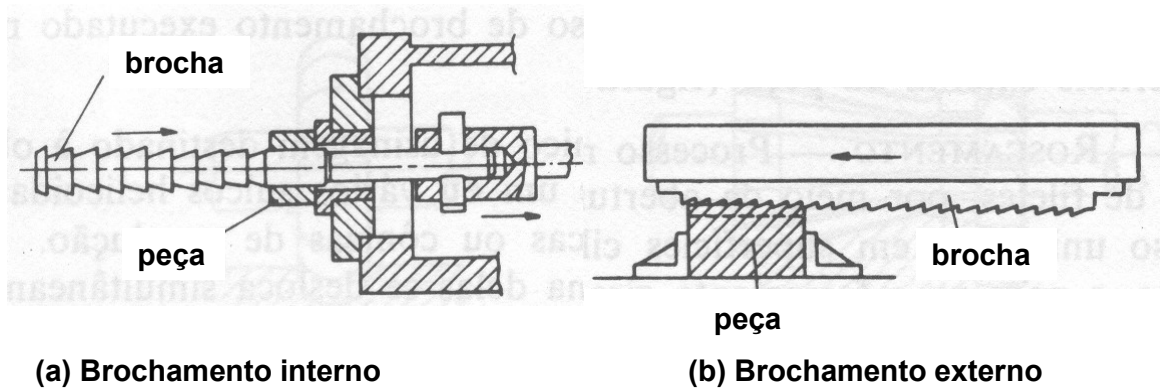


Figura 2.11 - Esquemas de operações de brochamento com suas terminologias.

2.2.10 -ROSCAMENTO

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de filetes, por meio da abertura de um, ou vários, sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Para tanto, a peça, ou a ferramenta, gira e uma delas se desloca simultaneamente segundo uma trajetória retilínea paralela, ou inclinada, ao eixo de rotação. O roscamento pode ser:

- *Roscamento interno*: processo de roscamento executado em superfícies internas cilíndricas ou cônicas de revolução, Figuras 2.12 (a) até (d).
- *Roscamento externo*: processo de roscamento executado em superfícies externas cilíndricas ou cônicas de revolução, Figuras 2.12 (e) a (j).

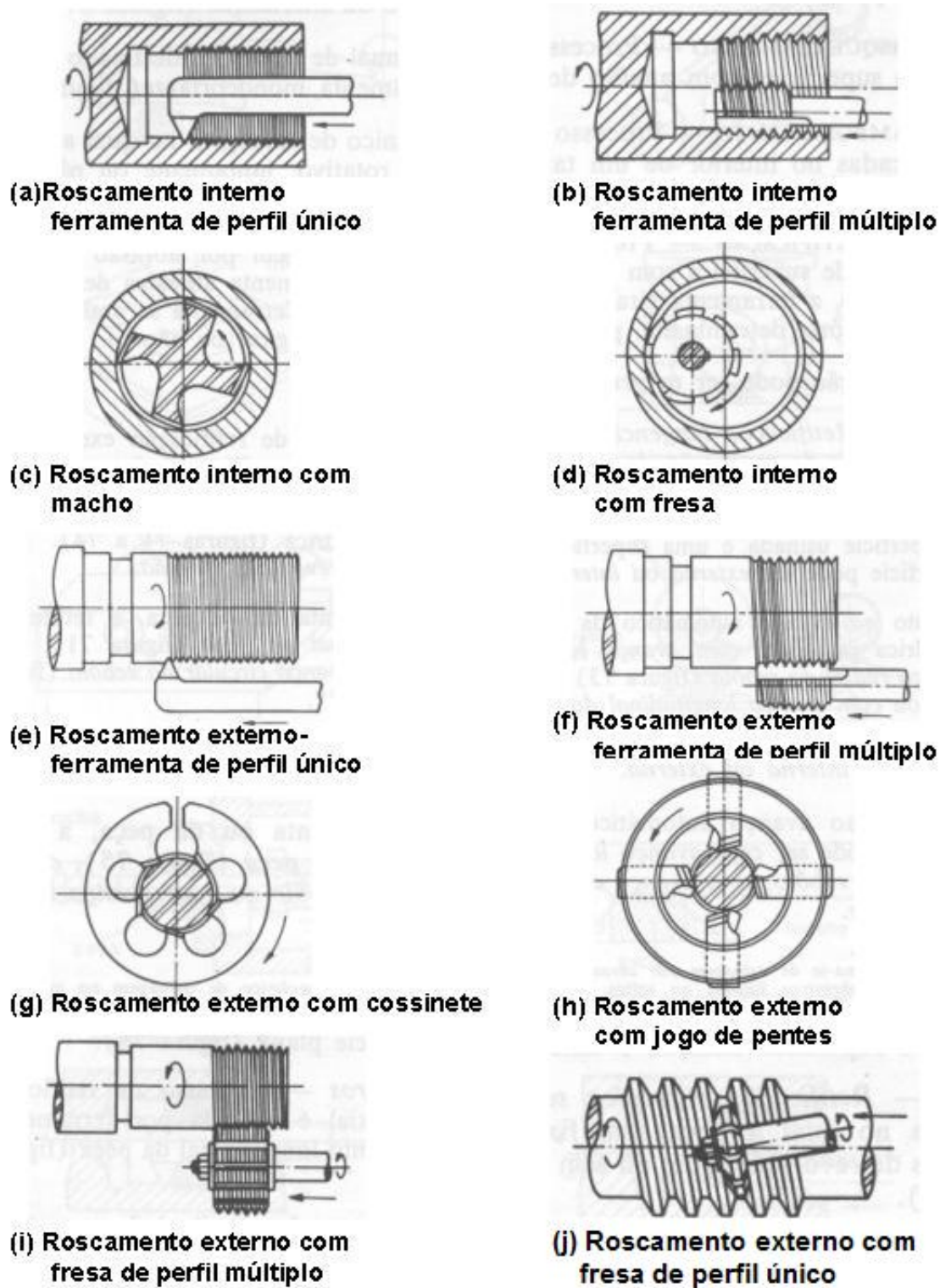
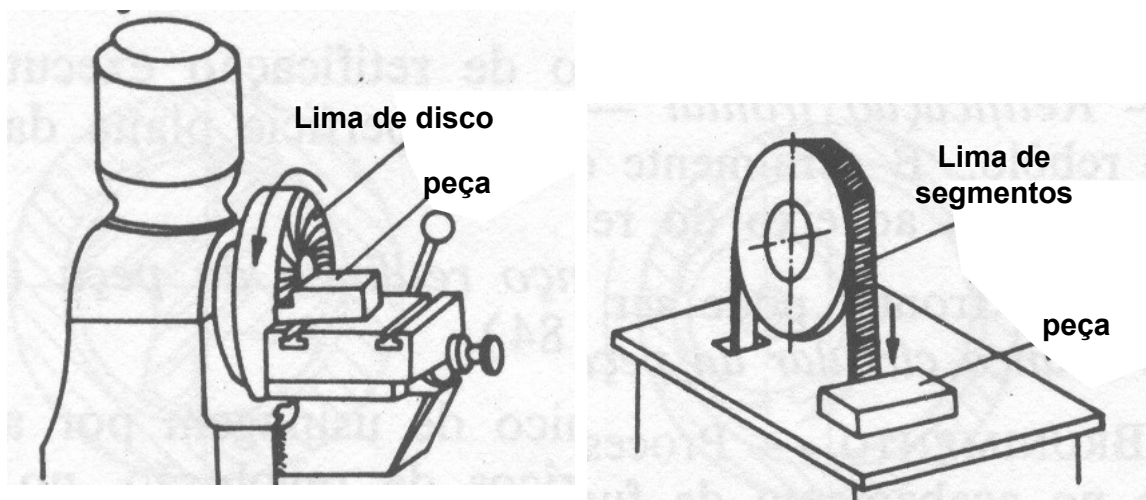


Figura 2.12 - Esquemas de operações de roscamento com suas terminologias.

2.2.11 – LIMAGEM

É o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies quaisquer com auxílio de ferramentas multicortantes (elaboradas por picagem), de movimento contínuo ou alternativo, Figura 2.13.



(a) Limagem contínua

(b) Limagem contínua

Figura 2.13 - Esquemas de operações de limagem com suas terminologias.

2.2.12 - RASQUETEAMENTO

É o processo manual de usinagem destinado à ajustagem de superfícies com auxílio de ferramenta monocortante, Figura 2.14.

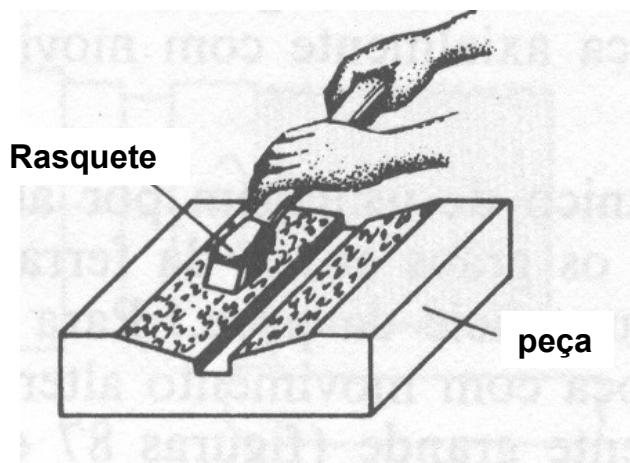


Figura 2.14 - Esquema de operação de rasqueteamento.

2.2.13 –TAMBORAMENTO

É o processo mecânico de usinagem no qual as peças são colocadas no interior de um tambor rotativo, juntamente, ou não, com materiais especiais, para serem rebarbadas, ou receberem um acabamento, Figura 2.15.

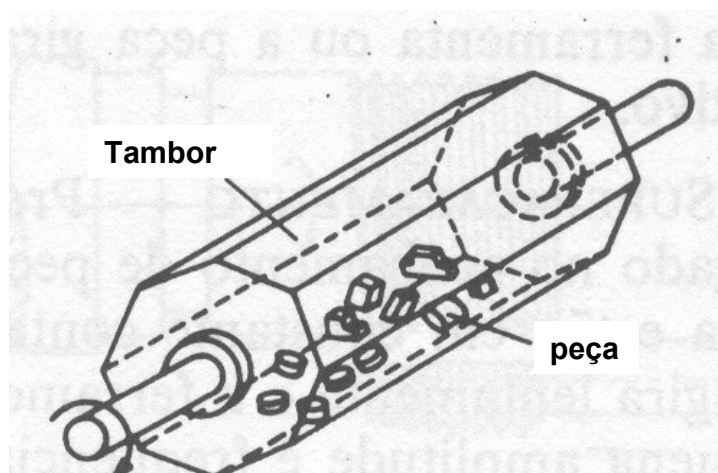


Figura 2.15 - Esquema de operação de tamboramento.



Figura 2.19 - Esquema de operação de lapidação com sua terminologia.

2.2.17 – POLIMENTO

É o processo mecânico de usinagem por abrasão no qual a ferramenta é constituída por um disco ou conglomerado de discos revestidos de substancias abrasivas. Figura 2.20.

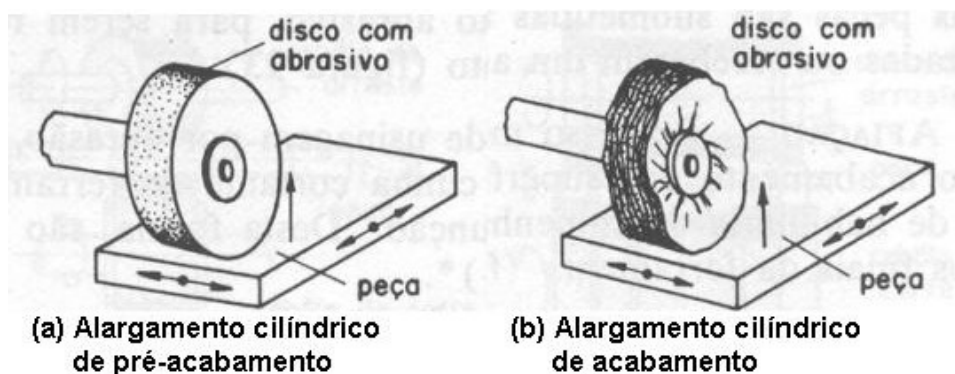


Figura 2.20 - Esquemas de operações de polimento com suas terminologias.

2.2.18 – LIXAMENTO

É o processo mecânico de usinagem por abrasão executado por abrasivo aderido a uma tela e movimentado com pressão contra a peça, Figura 2.21.

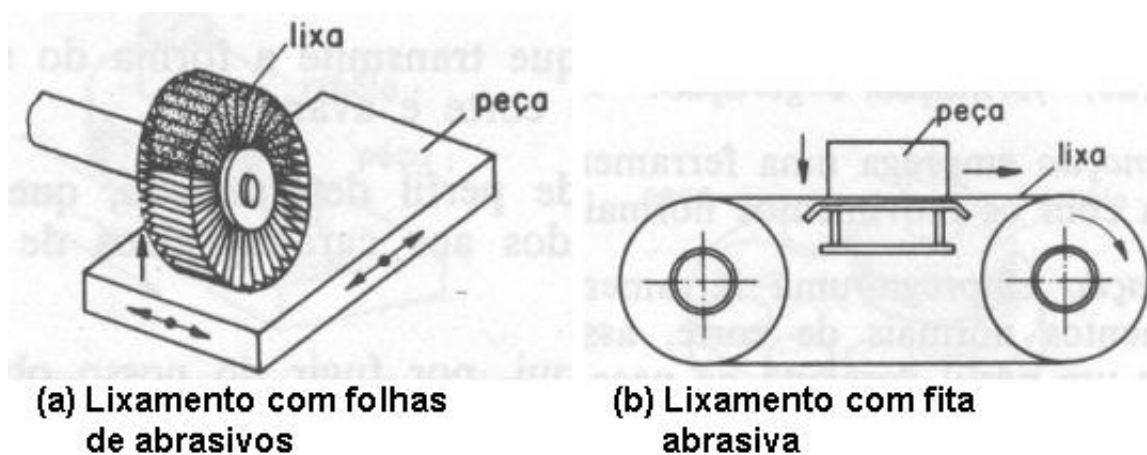
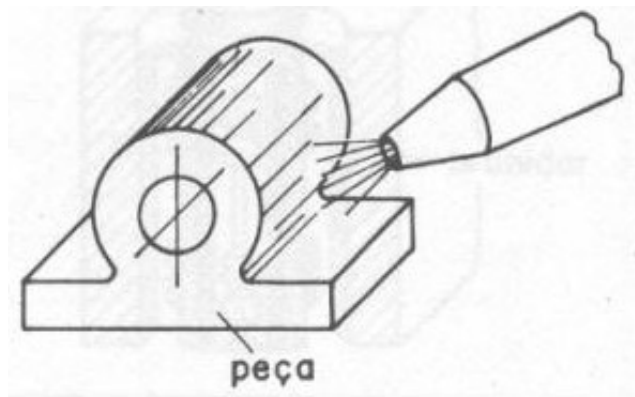


Figura 2.21 - Esquemas de operações de lixamento com suas terminologias.

2.2.19 – JATEAMENTO

É o processo mecânico de usinagem por abrasão no qual as peças são submetidas a um jato abrasivo, para serem rebarbadas, asperizadas ou receberem um acabamento superficial particular deste processo, Figura 2.22.

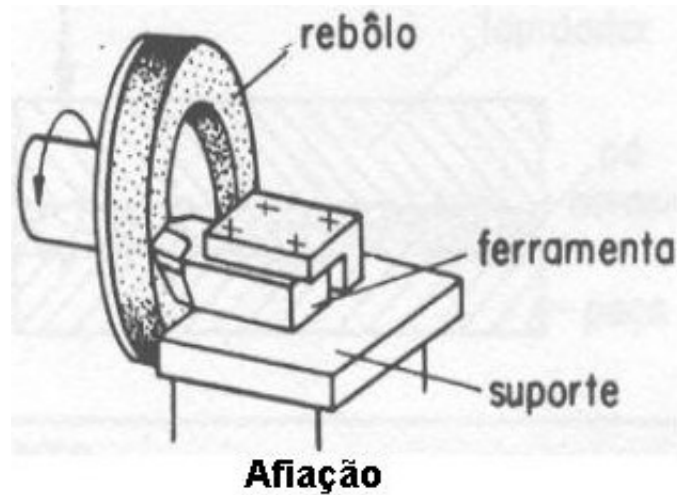


Jateamento

Figura 2.22 - Esquema de operação de lapidação com sua terminologia.

2.2.20 – AFIÇÃO

É o processo mecânico de usinagem por abrasão, no qual é dado o acabamento das superfícies da cunha cortante da ferramenta, com o fim de habilitá-la desempenhar sua função. Desta forma, são obtidos os ângulos finais da ferramenta, Figura 2.23.



Afiação

Figura 2.23 - Esquema de operação de afiação com sua terminologia.

Além dos processos acima citados, os quais são os mais antigos e comuns, há inúmeros outros processos e operações de usinagem. Pode-se citar ainda o *DENTEAMENTO*, um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de elementos denteados, como engrenagens de câmbio de automóveis. A obtenção de dentes de engrenagens pode ser, basicamente de duas maneiras:

- A *formação de dentes*, a qual emprega uma ferramenta que transmite a forma do seu perfil à peça com os movimentos normais de corte e avanço.
- A *geração de dentes*, a qual emprega uma ferramenta de perfil determinado, que com os movimentos normais de corte, associados aos característicos de geração, produz um perfil desejado na peça.

Este processo, assim como os demais aqui mostrados, podem ser encontrados na norma ABNT P.TP-83, com maiores detalhes e nomenclatura. Como os processos de usinagem estão sempre em constante evolução, surgem sempre novos, ou combinações dos básicos, dando origem a incontáveis ramificações.

2.3 – FERRAMENTAS USADAS EM PROCESSOS DE USINAGEM

Da mesma forma que os processos de usinagem, as ferramentas utilizadas sempre estão em evolução, sofrendo constantes mudanças. Toda ferramenta que possua uma aresta de corte, em princípio, pode ser usada para remoção de material. As primeiras ferramentas possuíam aresta com geometria relativamente simples. Com a necessidade de maior produtividade houve notáveis evoluções na geometria das arestas de corte para usinagem. Neste item serão mostradas diversas ferramentas de corte básicas e suas nomenclaturas mais comuns.

Uma das ferramentas mais comuns é a de torneamento, a qual evoluiu desde ferramentas de aço carbono comum até as modernas cerâmicas. A Figura 2.24(a) mostra uma ferramenta de aço rápido (*HSS – High Speed Steel*), um tipo de aço liga com altas porcentagens de cobalto, chamada também, popularmente de “Bits”. Na seqüência da evolução da ferramenta de torneamento surgem as ferramentas de carbetto de tungstênio (WC), também chamadas de *metal duro*, ou *widia*. Estas foram inicialmente soldadas em suportes, Figura 2.24 (b) e, mais tarde, presas em porta-ferramentas, na forma de insertos intercambiáveis, Figura 2.24(c).



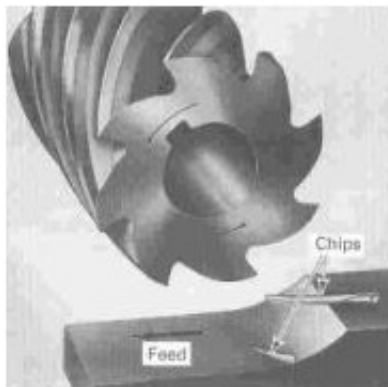
Figura 2.24 – Exemplos de ferramentas de torneamento.

Uma outra ferramenta bastante antiga e popular é a broca. As brocas, empregadas para furação desde há muito tempo, também sofreram algumas evoluções, iniciando-se com as brocas helicoidais, mais antigas e comuns, terminando com brocas de insertos intercambiáveis, conforme mostrado na Figura 2.25.



Figura 2.25 – Exemplos de brocas.

Outra ferramenta bastante comum aos processos de usinagem é fresa. Esta ferramenta rotativa tem sofrido constantes atualizações ao longo do último século, passando de uma ferramenta de corpo maciço em aço rápido, para cortadores de corpo de aço-liga com inserts intercambiáveis de carbeto, Figura 2.26.



(a) Fresa corpo maciço de aço rápido



(b) Fresas corpo maciço de aço-liga com inserts intercambiáveis

Figura 2.26 Exemplos de fresas.

As fresas de topo também seguiram o mesmo caminho com um passo além: corpo maciço de carbeto, conforme exemplificado na Figura 2.27.



(a) Fresa de topo de aço rápido



(b) Fresas de topo com inserts intercambiáveis



(c) Fresas de topo corpo maciço de carbeto

Figura 2.27 – Exemplos de fresas de topo.

BIBLIOGRAFIA

Trent, E.M., (1984) “Metal Cutting”, Butterworths, Londres. ISBN 0-408-10856-8