
Usinagem I

2016.1

Parte I – Aula 5

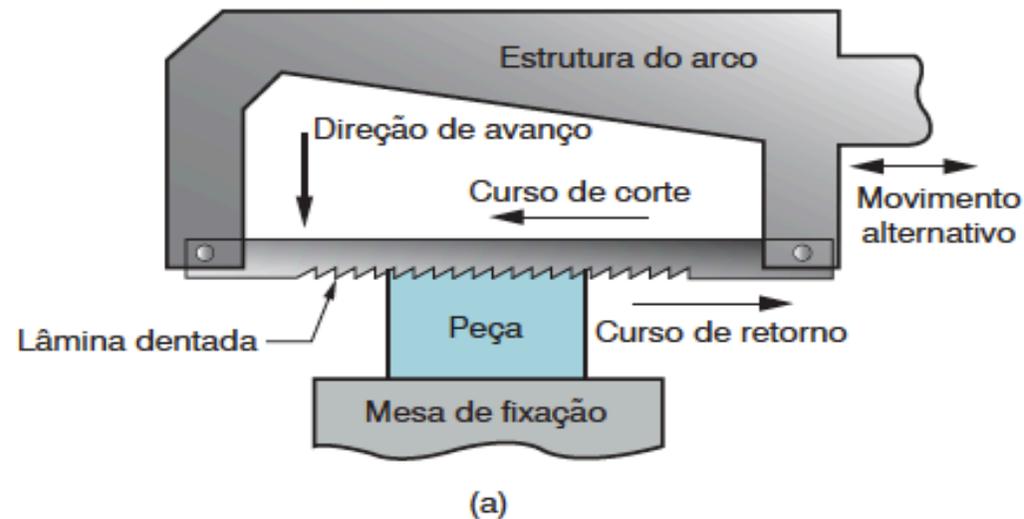
Serramento, Brochamento e Retificação

Serramento (Sawing)

- As vezes referenciadas como operações de corte, e não de corte por usinagem. Como ocorre a retirada de cavaco, consideramos como usinagem.
 - Processo no qual uma fenda estreita é retirada de uma peça
 - A ferramenta (serra) é composta de uma série de dentes com espaçamentos estreitos
 - Normalmente usado para separar uma peça em duas partes, ou para cortar uma parte indesejada da peça
 - Uma vez que muitas fábricas requerem operações de corte em algum ponto da sequência de produção, serrar é um processo de fabricação importante.
-
- **Serras de lâmina (Serramento alternativo)**
 - **Serras de fita**
 - **Serras circulares**

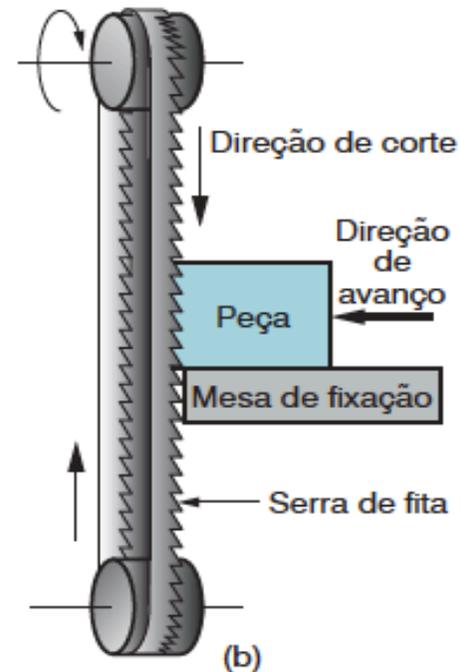
Serramento Alternativo

Realizada pelo Arco de Serra (manual) ou pela máquina chamada de Serra alternativa



Serramento com serra de fita

Movimento linear contínuo da lâmina de serra



Serramento com serra circular

Semelhante ao fresamento de disco, mas com disco mais fino e com dentes menores

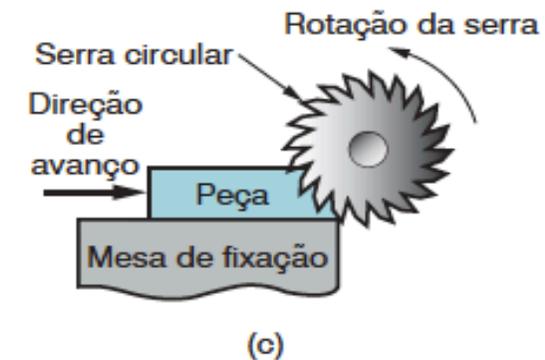


FIGURA 16.35 Três tipos de operações de serramento: (a) alternativo, (b) com serra de fita vertical e (c) com serra circular. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

Serramento Alternativo



Serramento com serra de fita



Serra de Fita Vertical

Serra de Fita



Serra de Fita Horizontal

Serra Circular



Brochamento (*broaching*)

- Utiliza ferramenta multicortante, com movimento linear da ferramenta em relação à peça na direção do eixo da ferramenta
- A máquina-ferramenta é chamada brochadeira, e a ferramenta de corte é chamada brocha (*broach*).

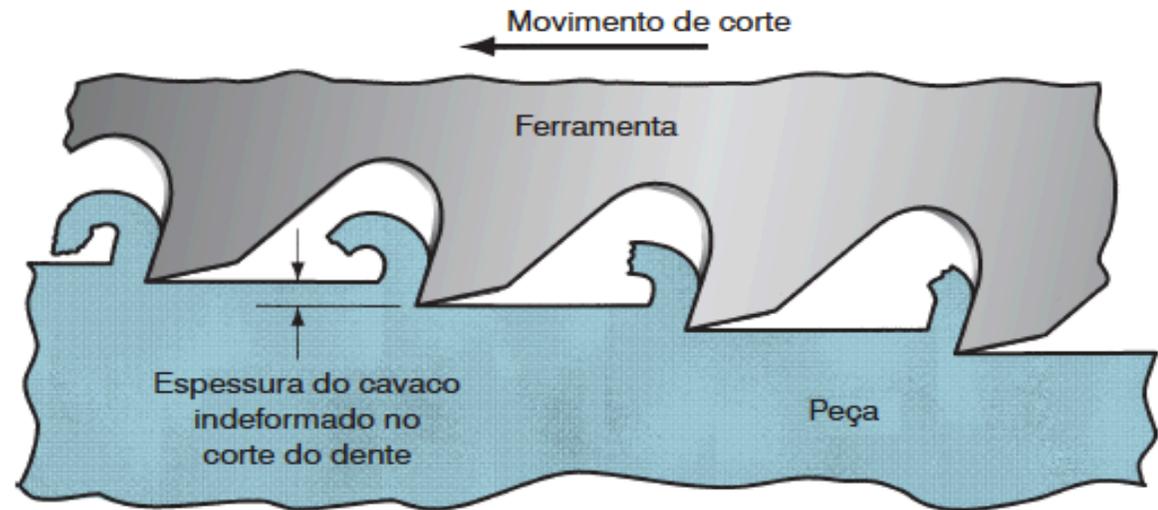
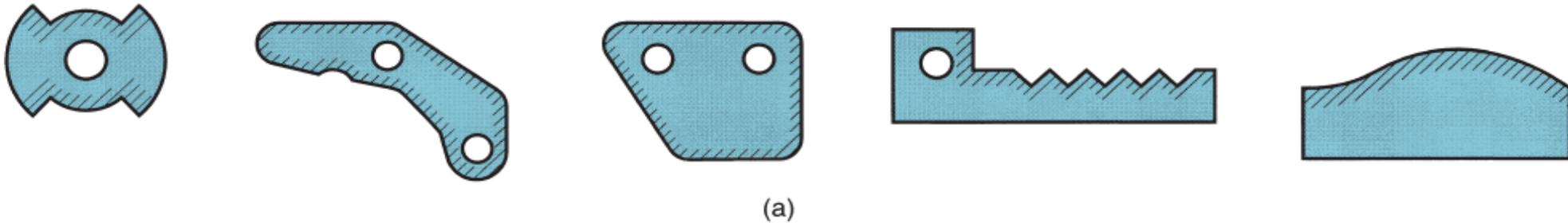


FIGURA 16.33 Operação de brochamento.
(Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

Externo



Interno

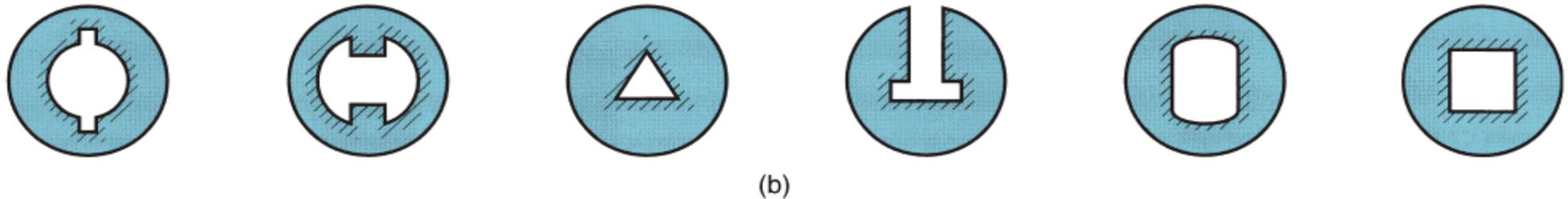
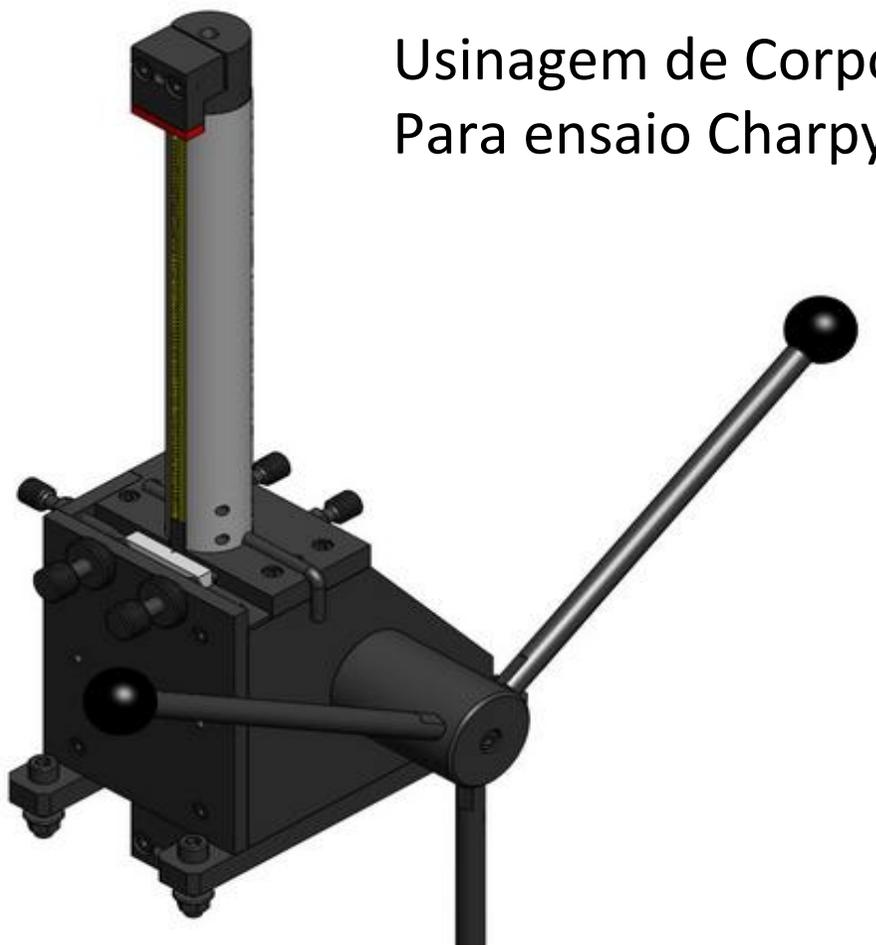
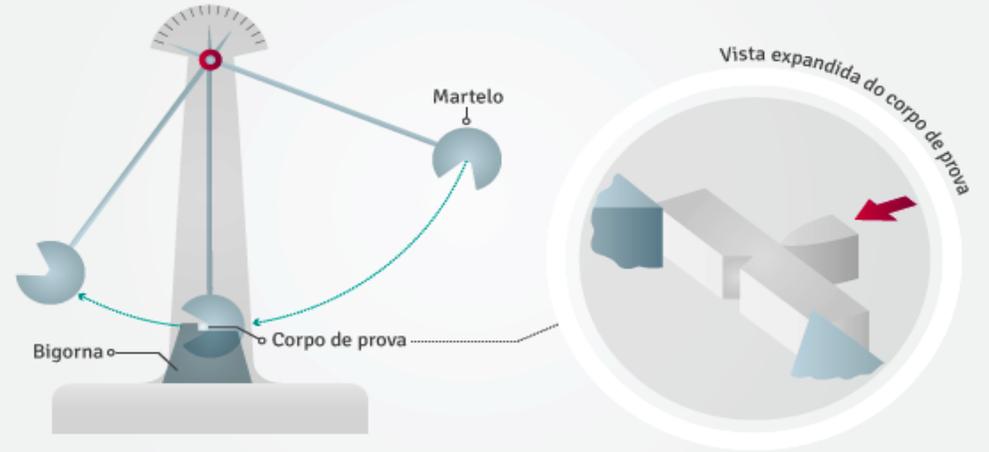


FIGURE 16.34 Work shapes that can be cut by: (a) external broaching, and (b) internal broaching. Cross-hatching indicates the surfaces broached. (Credit: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4th Edition by Mikell P. Groover, 2010. Reprinted with permission of John Wiley & Sons, Inc.)

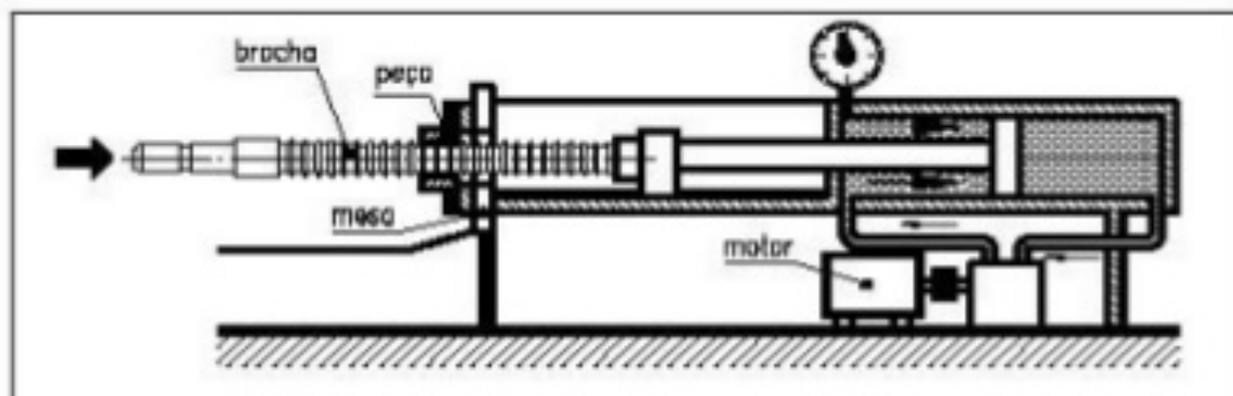
Usinagem de Corpos de Prova Para ensaio Charpy



Ensaio Charpy



BROCHADEIRAS



Ministério de
Minas e Energia



Retificação e Processos Abrasivos

- A usinagem abrasiva consiste na remoção de material pela ação de duras partículas abrasivas que são geralmente aglomeradas sob a forma de um rebolo
- Podem ser realizadas em qualquer tipo de material
- Produzem acabamentos superficiais extremamente finos de até 0,025 mm e com tolerâncias bem apertadas

Processos Abrasivos

- Retificação
- Dressagem (afiação de robolos)
- Brunimento
- Lapidação
- Superacabamento
- Polimento e Espelhamento

TABELA 18.6 Geometrias de peças típicas para brunimento, lapidação, polimento e superacabamento

Processo	Geometrias de peças típicas	Acabamento superficial	
		μm	$\mu\text{-in}$
Retificação, tamanho de grão médio	Superfícies planas, cilindros externos, furos redondos	0,4–1,6	16–63
Retificação, tamanho de grão fino	Superfícies planas, cilindros externos, furos redondos	0,2–0,4	8–16
Brunimento	Furos redondos (p.ex., cilindros de motor)	0,1–0,8	4–32
Lapidação	Superfícies planas ou levemente esféricas (p.ex., lentes)	0,025–0,4	1–16
Superacabamento	Superfícies planas, cilindros externos	0,013–0,2	0,5–8
Polimento	Miscelâneas de formas	0,025–0,8	1–32
Polimento fino	Miscelâneas de formas	0,013–0,4	0,5–16

Retificação (grinding)

- Realizado por um rebolo circular, normalmente em forma de disco, com velocidade periféricas elevada.
- Os rebolos devem ser precisamente balanceados.
- A operação é realizada na periferia ou na face do rebolo.

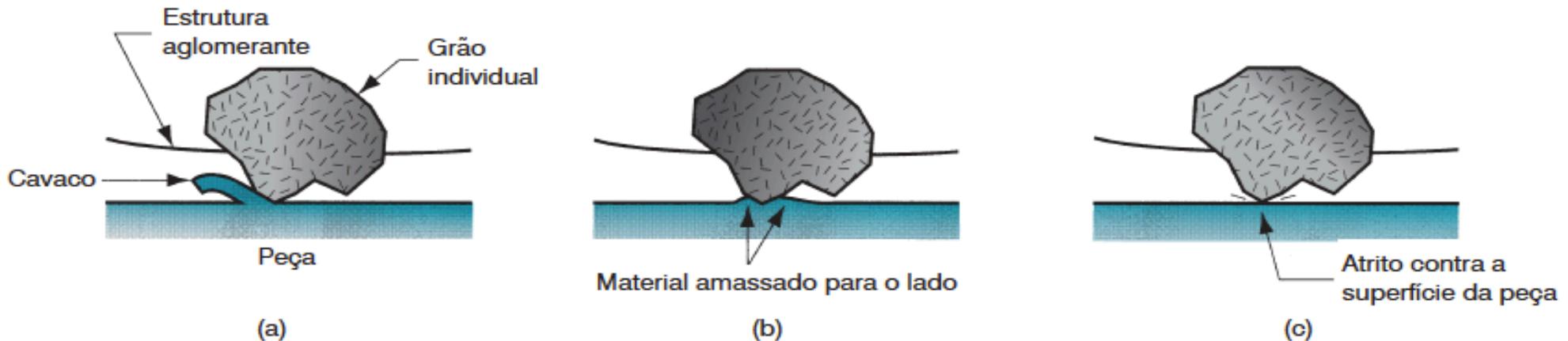
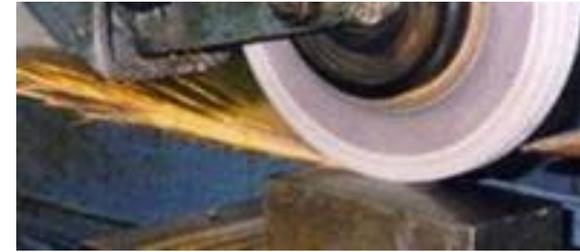


FIGURA 18.4 Três tipos de ações dos grãos na retificação: (a) corte, (b) amassamento, e (c) fricção. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.).



Rebolos de Retificação

Cinco parâmetros principais de um rebolo:

1. Material Abrasivo (apropriado para cada material)
2. Tamanho do Grão (determina o acabamento)
3. Material Aglomerante (integridade estrutural do rebolo)
4. Grau do Rebolo (resistência em manter os grãos)
5. Estrutura do Rebolo (espaçamento dos grãos)

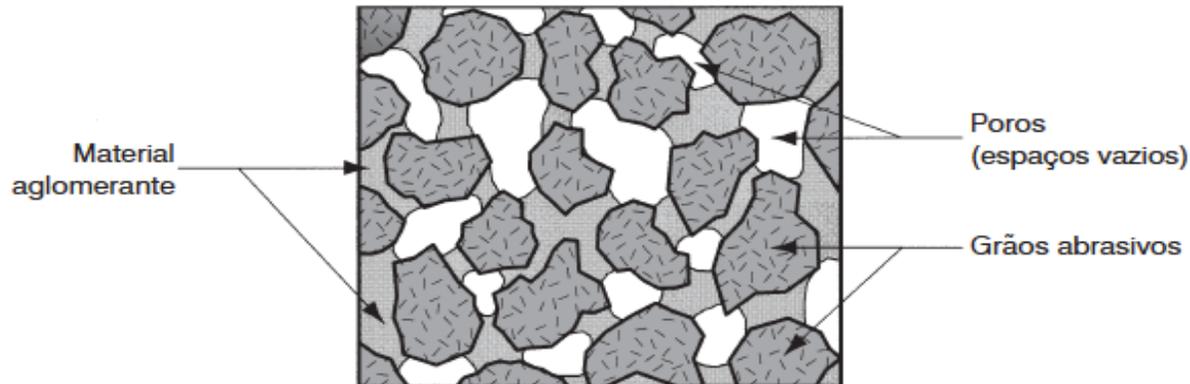


TABELA 18.3 Sistema de classificação dos rebolos convencionais de retificação, conforme a Norma ANSI B74.13-1977

30 A 46 H 6 V XX

Nome do fabricante do rebolo (opcional)

Tipo do aglomerante: B = Resinoide, BF = Resinoide reforçado, E = Shellac, R = Borracha, RF = Borracha reforçada, S = Silicato, V = Vitrificado.

Estrutura: A escala vai de 1 a 15: 1 = estrutura muito densa, 15 = estrutura muito aberta

Grau: A escala vai de A a Z: A = macio, M = médio, Z = duro

Tamanho do grão: Grosso = tamanho de grão de 8 a 24, Médio = tamanho de grão de 30 a 60, Fino = tamanho de grão de 70 a 180, Muito fino = tamanho de grão de 220 a 600.

Tipo do Abrasivo: A = óxido de alumínio, C = carboneto de silício.

Prefixo: Símbolo do fabricante para o abrasivo (opcional)

TABELA 18.4 Sistema de classificação dos rebolos de diamante e nitreto cúbico de boro, conforme a Norma ANSI B74.13-1977

XX D 150 P YY M ZZ 3

Profundidade do abrasivo = profundidade da camada de abrasivo em mm (mostrado) ou em polegadas, conforme a Figura 18.2(c).

Alteração do aglomerante = notação do fabricante para alguma alteração ou tipo especial de aglomerante.

Tipo do aglomerante: B = resina, M = Metálico, V = Vitrificado

Concentração: Designação do fabricante. Pode ser número ou símbolo.

Grau: A escala vai de A a Z: A = macio, M = Médio, Z = durotamanho de grão de 70 a 180, Muito fino = tamanho de grão de 220 a 600.

Tamanho do grão: Grosso = tamanho de grão de 8 a 24, Médio = tamanho de grão de 30 a 60, Fino = tamanho de grão de 70 a 180, Muito fino = tamanho de grão de 220 a 600.

Tipo do Abrasivo: D = diamante, B = nitreto cúbico de boro.

Prefixo: Símbolo do fabricante para o abrasivo (opcional)

GRANULOMETRIA	
EXTRA FINO	320-400-500-600-800
MUITO FINO	150-180-220-240-280
FINO	70- 80 - 90-100-120
MÉDIO	30- 36- 46 - 54 - 60
GROSSO	14- 16 - 20- 24
MUITO GROSSO	6 - 8 - 10 - 12

DUREZA	
EXTRA MACIO	A - B - C - D
MUITO MACIO	E - F - G
MACIO	H - I - J - K
MÉDIA	L - M - N - O
DURO	P - Q - R - S
MUITO DURO	T - U - V - W
EXTRA DURO	X - Y - Z

FREQUÊNCIA DE ROTAÇÃO
MÁXIMA DE TRABALHO

DIMENSÕES
Ø EXTERNO/LARGURA
Ø FURO

ABRASIVO
A=ÓXIDO DE ALUMINIO
C=CARBONETO DE SILÍCIO



ESTRUTURA
0-1-2-3-4-5-6-7
8-9-10-11-12-13-14
+ fechada
←
+ aberta
→

LIGANTE
V= VITRIFICADO (cerâmica)
S= SILICIOSO
B= RESINÓIDE
BF= RES. REFOR. P/ FIBRAS
R= BORRACHA
RF= BARR. REFOR. P/ FIBRAS
E= GOMA LACA
Mg= MAGNESITA

1	2	3	4	5
ABRASIVO	GRANULOMETRIA	DUREZA	ESTRUTURA	LIGANTE
A	24	R	5	V

Materiais Abrasivos do Rebolo

Propriedades do Material: Alta Dureza e Resistência ao Desgaste, Tenacidade, estabilidade térmica e química, e Friabilidade.

Friabilidade: Capacidade de fraturar quando a aresta de corte do grão se desgastar, expondo uma nova aresta de corte afiada.

TABELA 18.1 Abrasivos de maior importância na retificação

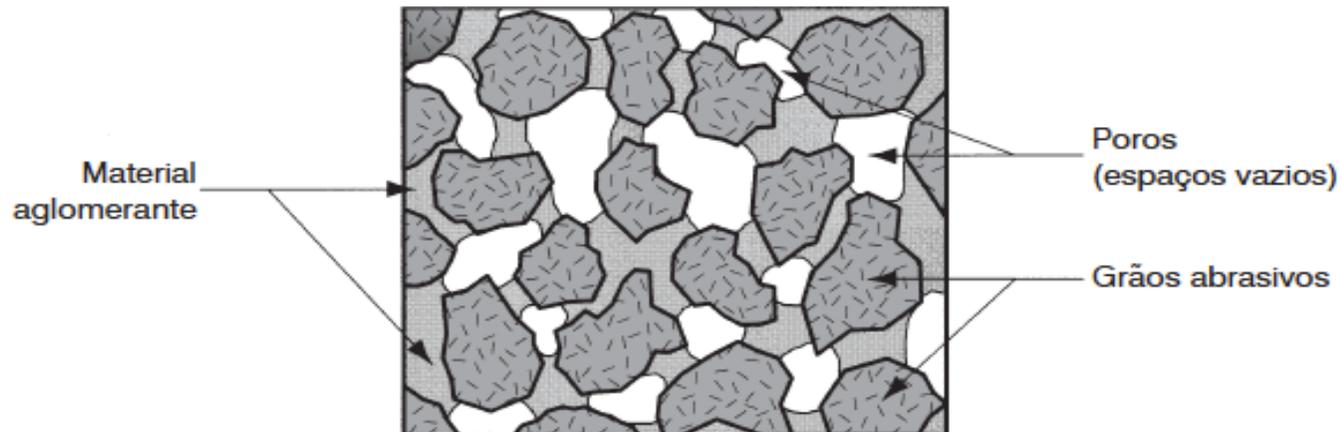
Abrasivo	Descrição	Dureza Knoop
Óxido de Alumínio (Al_2O_3)	Material abrasivo mais comum, usado para retificar aços e ligas ferrosas, ligas de alta resistência.	2100
Carboneto de Silício (SiC)	Mais duro que o Al_2O_3 , porém não tão tenaz. As aplicações incluem metais dúcteis, tais como alumínio, latão e aços inoxidáveis, assim como materiais frágeis, tais como ferros fundidos e certas cerâmicas. Efetivamente, não podem ser usados para retificação de aços devido à forte afinidade química entre o carbono no SiC e o ferro nos aços.	1800
Nitreto Cúbico de Boro (CBN)	Quando usado como abrasivo, o CBN é produzido sob o nome comercial de Borazon pela General Electric Company. Os rebolos de CBN são usados para retificação de materiais endurecidos, tais como aços ferramenta endurecidos e ligas para a indústria aeroespacial.	5000
Diamante	Os abrasivos de diamantes podem ser naturais ou artificiais. Os rebolos de diamante são geralmente usados para aplicações em materiais endurecidos e abrasivos, tais como cerâmicas, metais duros, e vidros.	7000

Tamanho de Grão

É importante para determinar o acabamento da superfície e a taxa de remoção de material.

- Pequenas granulometrias produzem melhores acabamentos, usam materiais mais duros
- Maiores tamanhos de grãos causam maiores taxas de remoção, usam materiais mais macios

Granulometria: Medido pelo número de fios em malhas de peneiras, variam normalmente de 8 (Mais Grossa) a 250 (Mais Fina)



Material Aglomerante

Mantém os grãos abrasivos unidos e estabelecem a forma e a integridade estrutural do rebolo

Propriedades desejáveis: Resistência, tenacidade, dureza e resistência à temperatura.

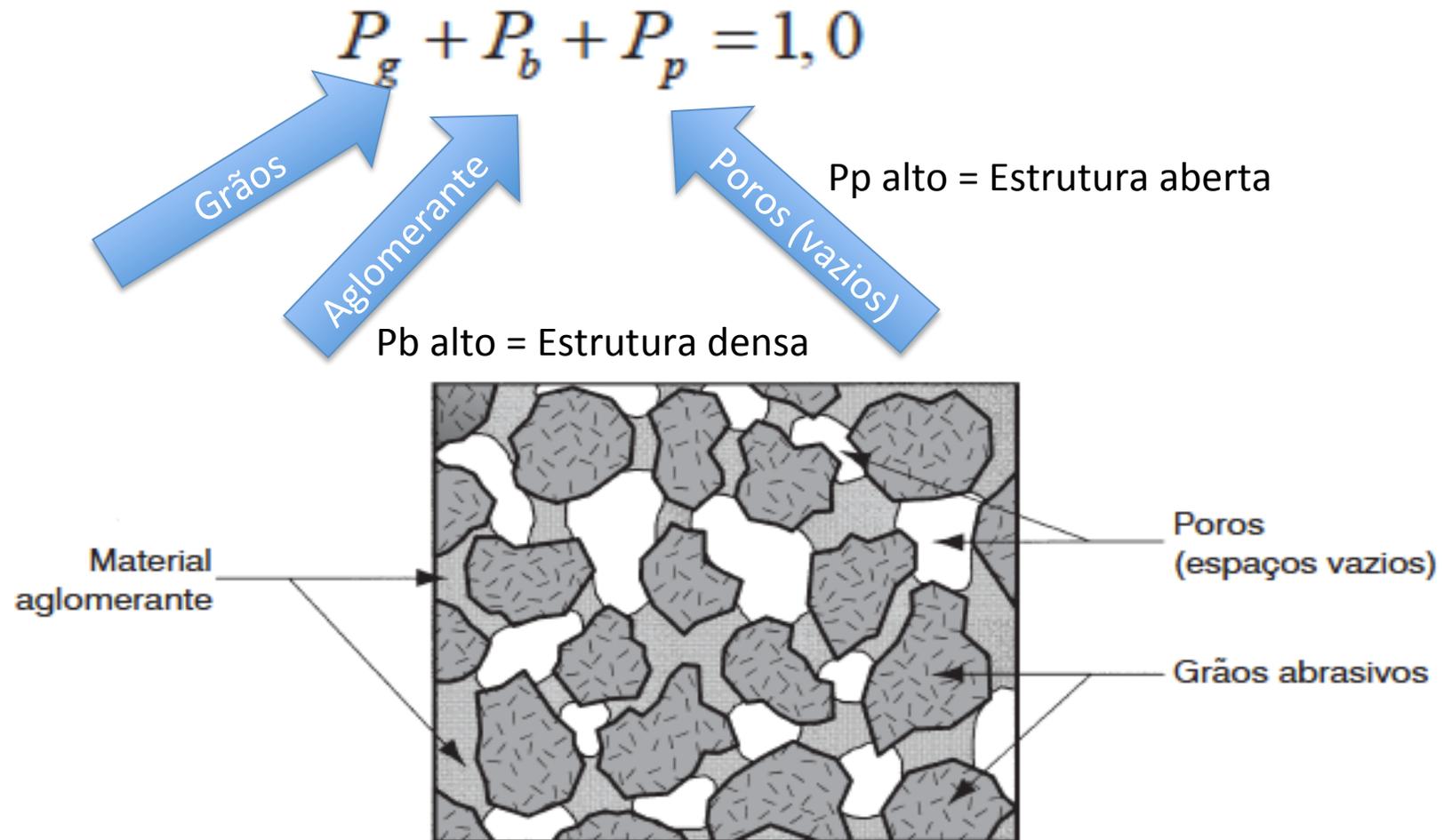
Deve resistir às forças centrífugas e as altas temperaturas que o rebolo está sujeito e resistir à fragmentação.

TABELA 18.2 Materiais aglomerantes usados em rebolos de retificação

Material aglomerante	Descrição
Aglomerante vitrificado	Consiste basicamente em argila cozida e materiais cerâmicos. A maioria dos rebolos de retificação de uso comum são rebolos vitrificados. Eles são resistentes e rígidos, suportam elevadas temperaturas e relativamente não são afetados por água e óleo, que podem ser usados como fluidos de retificação.
Aglomerante silicoso	Fabricados de silicato de sódio (Na_2SiO_3). As aplicações são geralmente limitadas a situações nas quais a geração de calor pode ser minimizada, tais como na afiação de ferramentas de corte.
Aglomerante de borracha	É o mais flexível dos materiais aglomerantes e usado em discos de corte.
Aglomerante resinoide	Consistem em várias resinas termofixas, do tipo fenol-formaldeído. Possuem elevada dureza e são usados em retificação de desbaste e em discos de corte.
Aglomerante de âmbar (Shellac)	São relativamente resistentes, porém não são rígidos, com frequência são usados em operações em que bom acabamento superficial é requerido.
Aglomerante metálico	O metal, usualmente bronze, é o material ligante mais comum para os rebolos de diamante e de CBN. O processamento de particulados (capítulos 10 e 11) é usado para unir a matriz metálica e os grãos abrasivos na periferia externa do rebolo, assim conservando os caros materiais abrasivos.

Estrutura do Rebolo

Espaçamento relativo dos grãos no rebolo (% Poros, %Grãos e % aglomerante) de 1 (mais aberta) a 15 (mais densa)



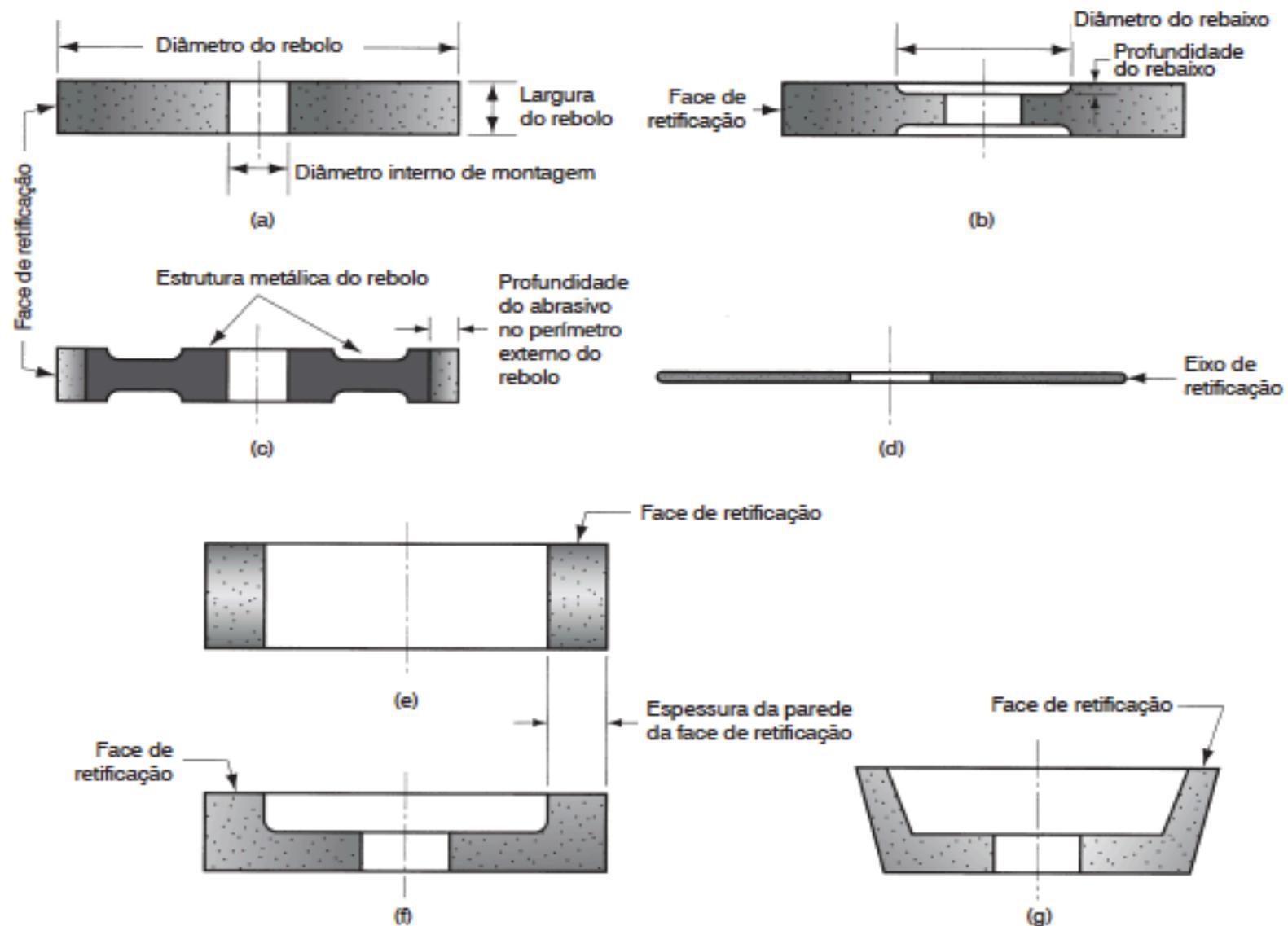
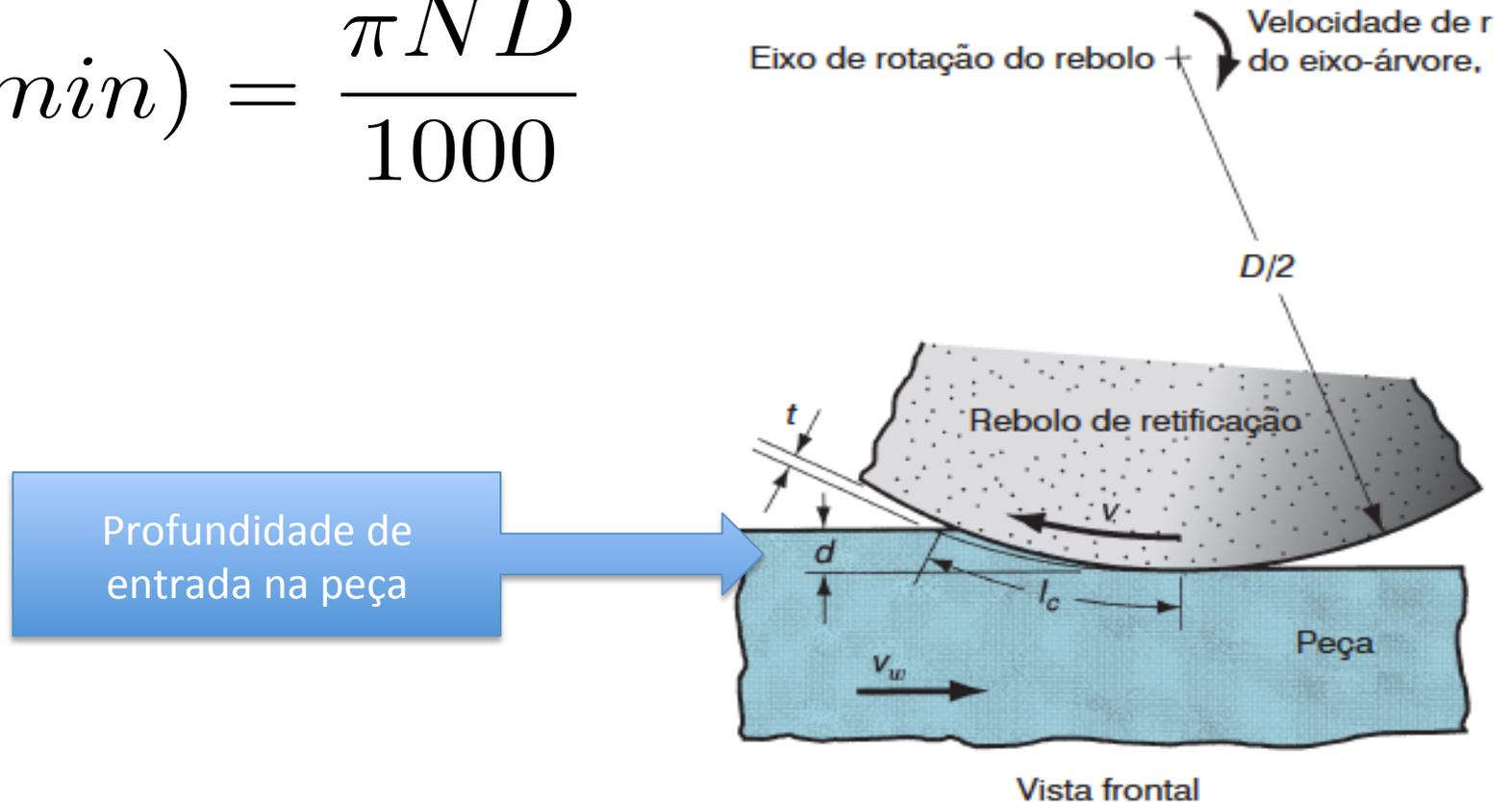


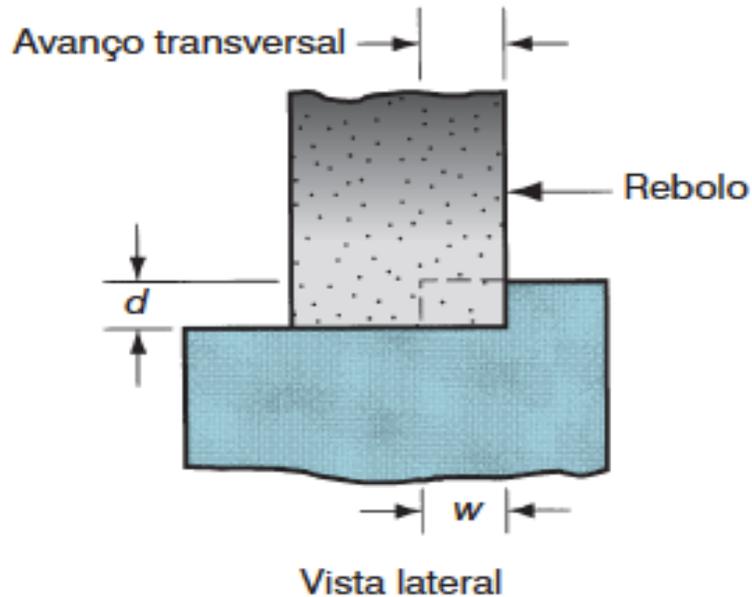
FIGURA 18.2 Alguns dos formatos normalizados de rebolos de retificação: (a) reto, (b) com rebaixo dos dois lados, (c) rebolo de estrutura metálica com abrasivo na circunferência externa, (d) disco abrasivo de corte, (e) rebolo cilíndrico, (f) rebolo tipo copo reto, e (g) rebolo de copo cônico. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.).

Velocidade de Corte na Retificação

$$V_c(m/min) = \frac{\pi N D}{1000}$$



Taxa de Remoção do Cavaco



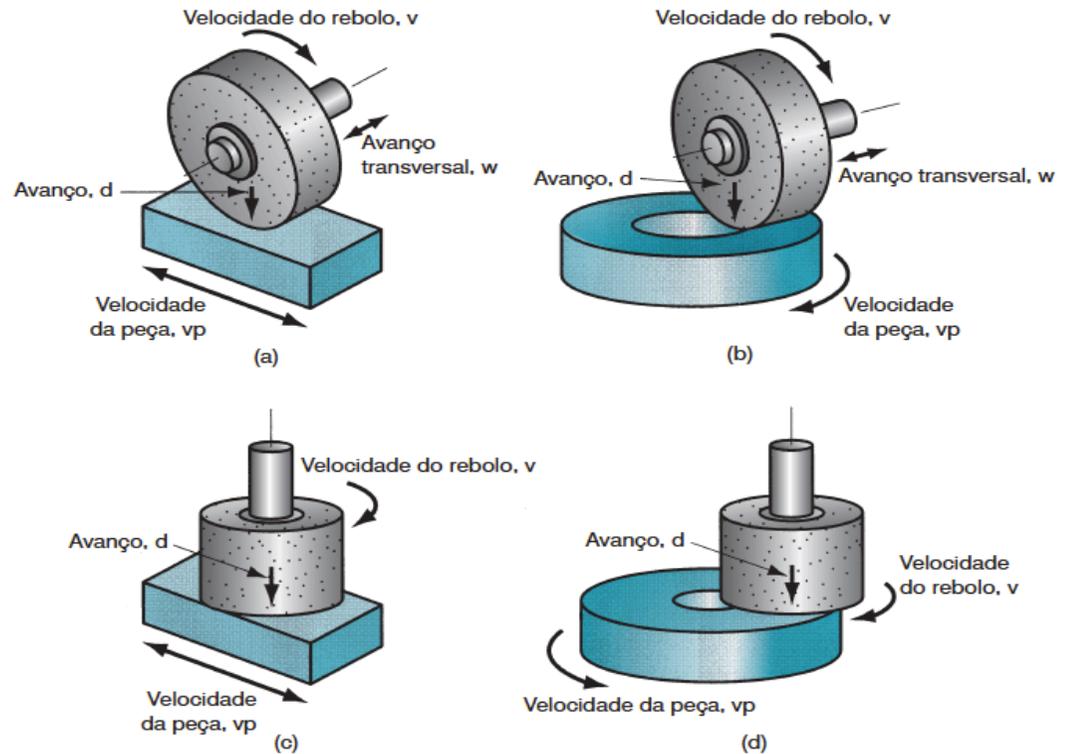
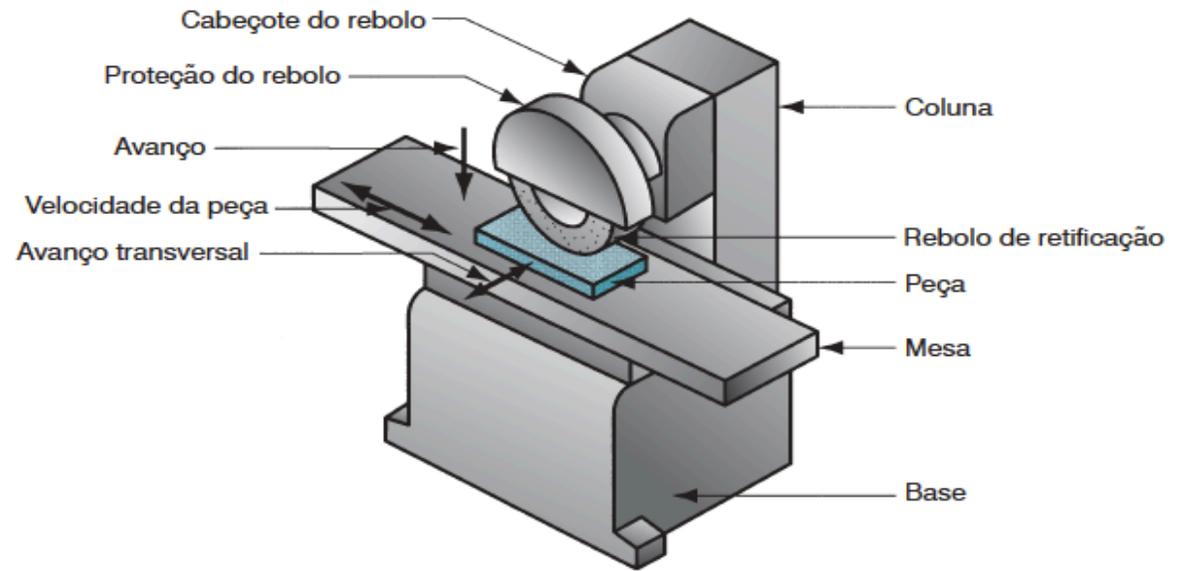
Velocidade de Avanço do Rebolo

$$Q_{RM} = V_f \cdot d \cdot w$$

Area Total de Material removido perpendicular ao avanço (e não a área do cavaco)



Retifica Plana



Retífica Cilíndrica

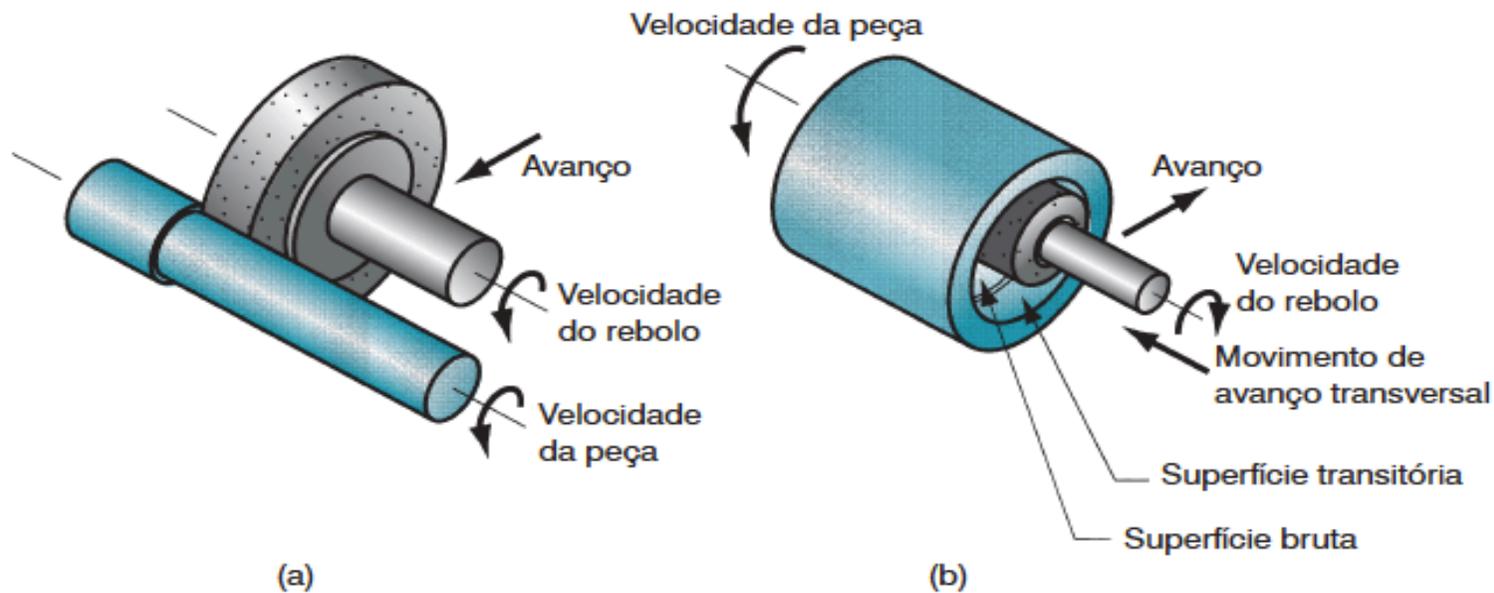
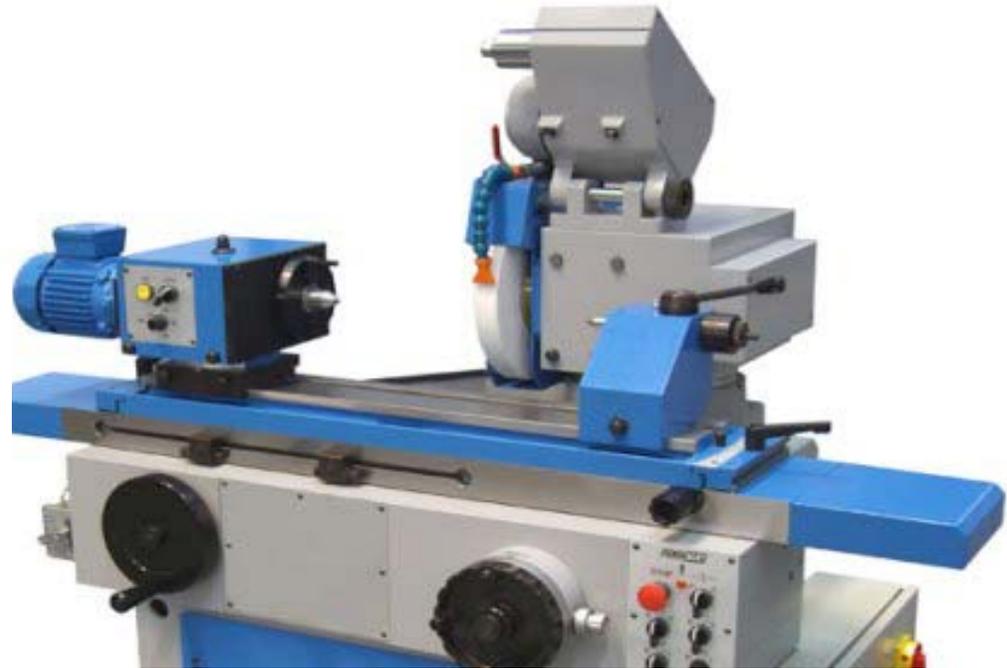
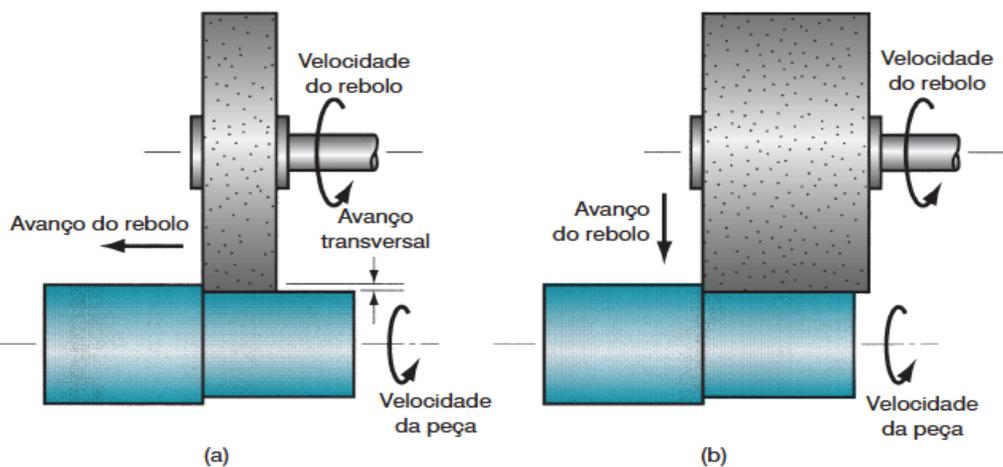
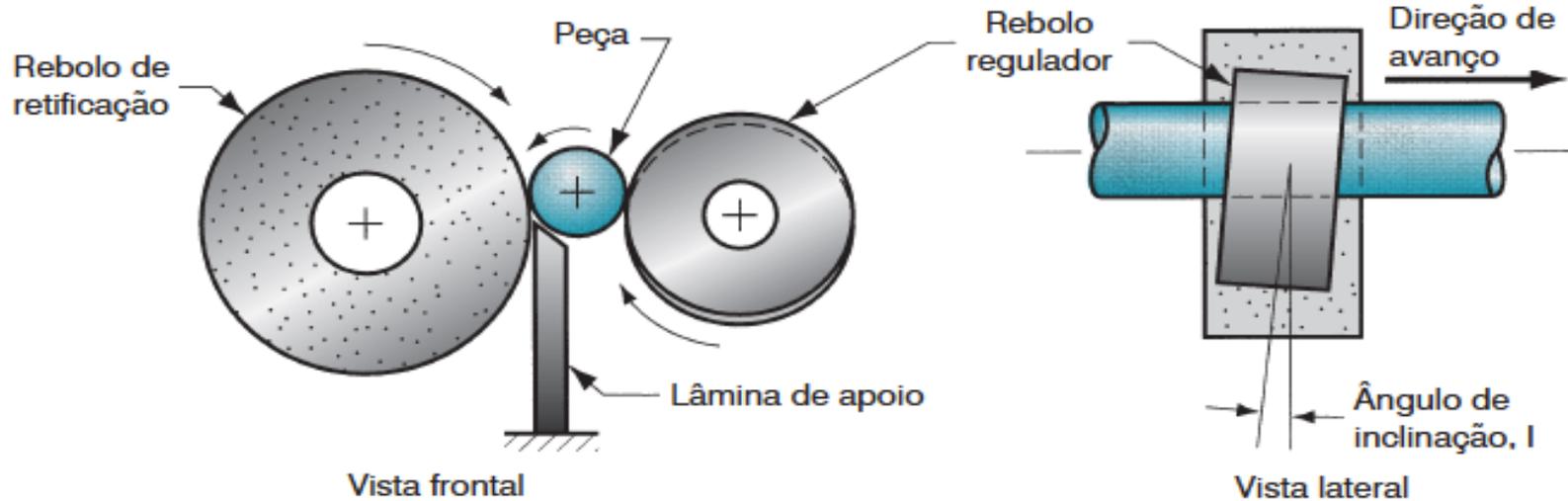
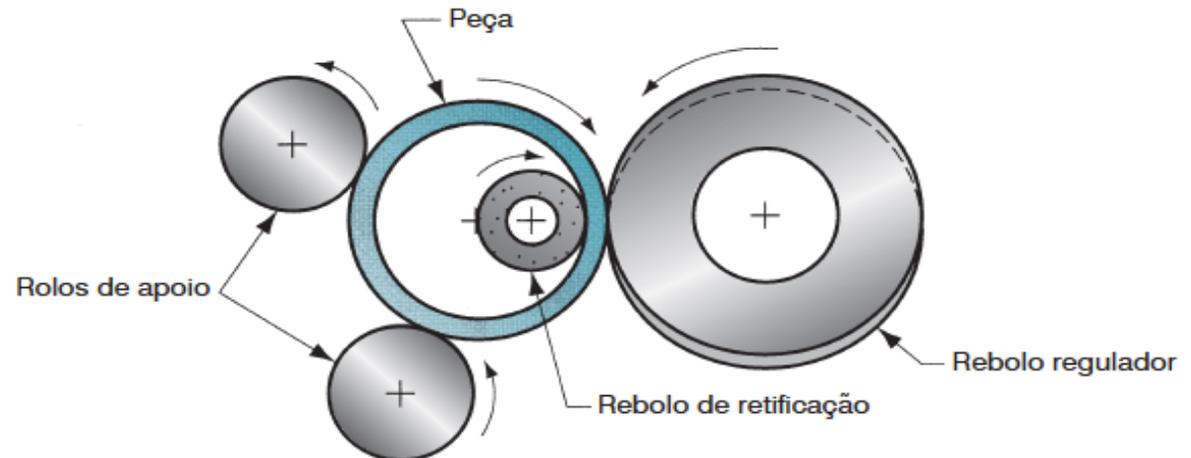


FIGURA 18.9 Dois tipos de retificação cilíndrica: (a) externa e (b) interna. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.).

Retificação “centerless” (sem centro)



A peça não é presa e o rebolo faz com que gire.
Set-up mais rápido, maior produção.



Esmeril a Disco

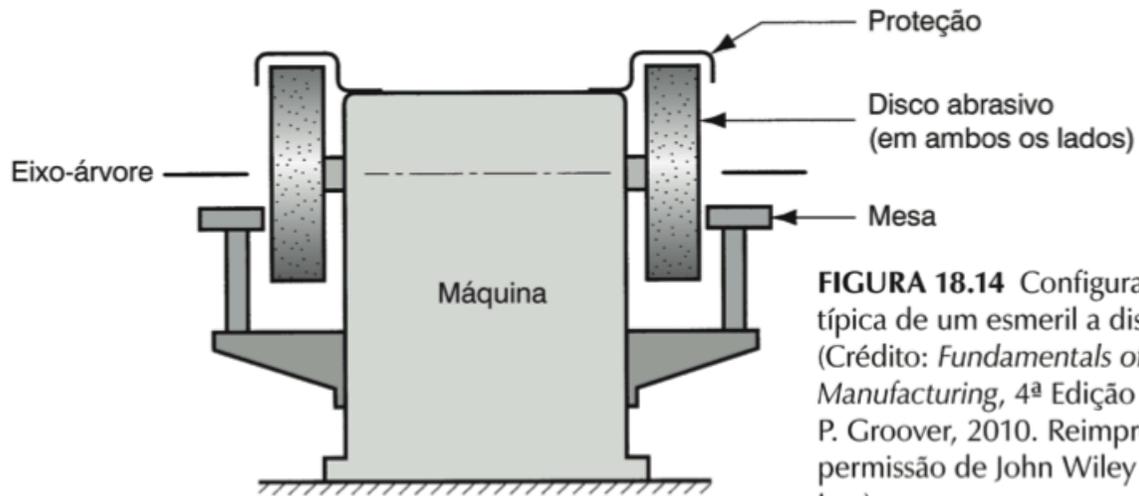
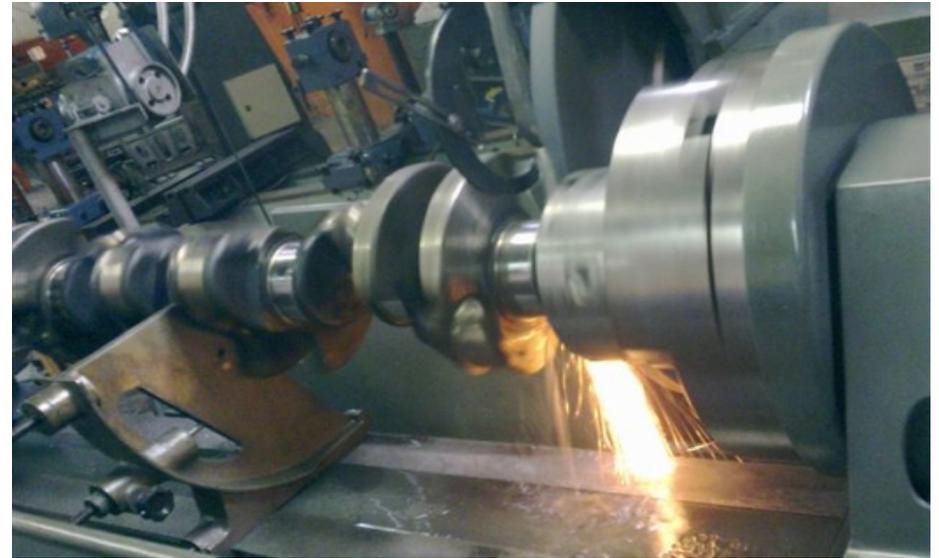
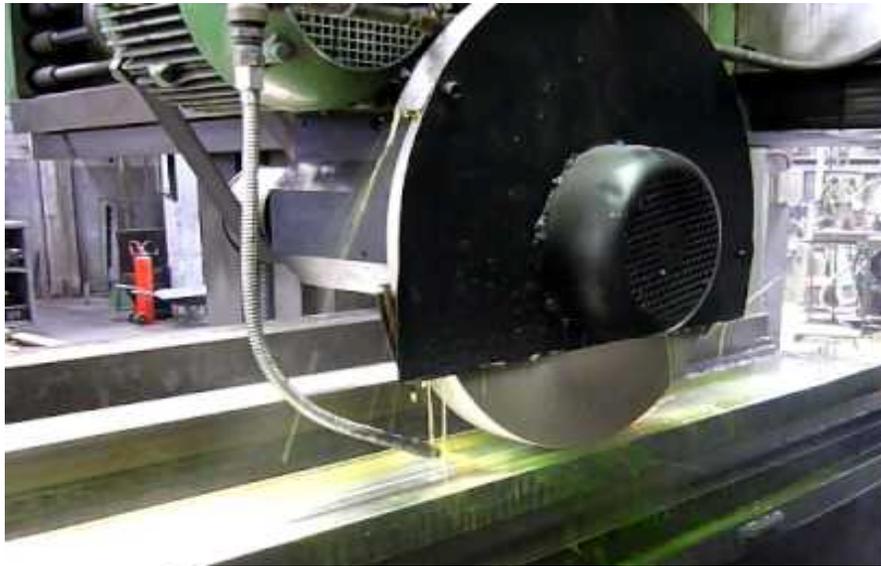
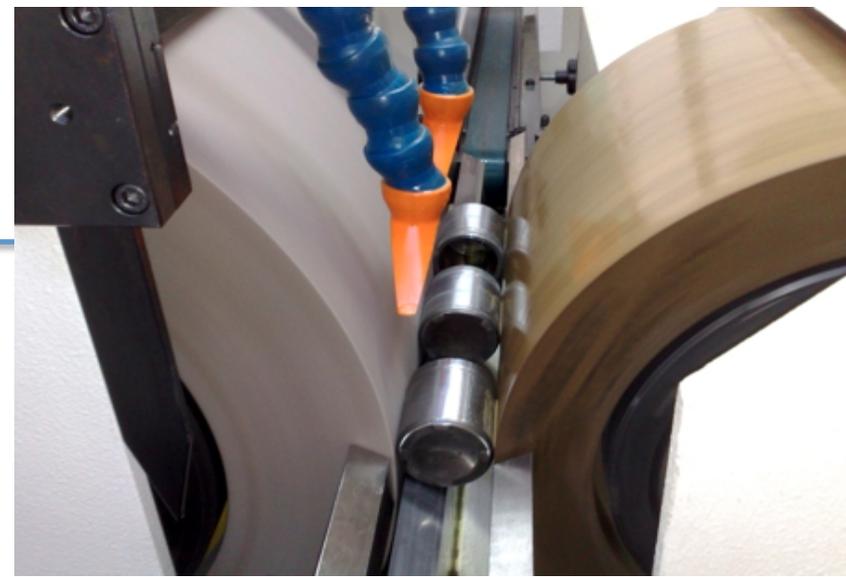


FIGURA 18.14 Configuração típica de um esmeril a disco.
(Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)



Brunimento (honing)

http://www.youtube.com/watch?v=300XnA_fwYU

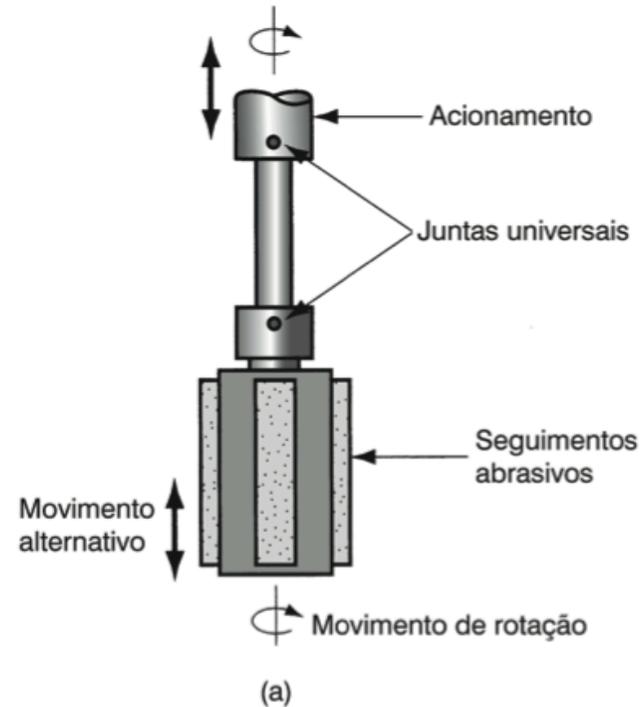
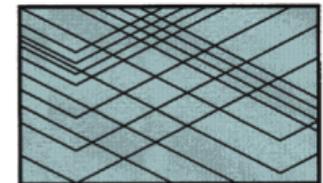
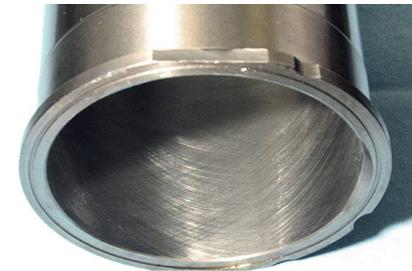


FIGURA 18.16 O processo de brunimento: (a) ferramenta de brunir usada para superfícies internas e (b) superfície com riscos diagonais-padrão criada pela ação da ferramenta de brunir. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)

Brunimento

- Processo abrasivo realizado por um conjunto de seguimentos abrasivos ligados.
- Aplicações: dar acabamento aos furos dos motores de combustão interna, rolamentos, cilindros hidráulicos, e tambores de armas.
- Acabamentos superficiais de cerca de 0,12 micrometros (5 μ -pol)
- O movimento da ferramenta de brunir é uma combinação de rotação e movimento alternativo linear, regulado para que um dado ponto do seguimento abrasivo não passe pelo mesmo ponto
- produz uma superfície brunida cruzada característica, que tende a manter a lubrificação durante o funcionamento do componente
- Durante o processo, as “pedras” abrasivas da ferramenta são pressionadas para fora, contra as paredes do furo (1 a 3 MPa)

Lapidação (lapping)

Usado para produzir acabamentos superficiais de extrema precisão e suavidade, por exemplo, para a produção de lentes ópticas, superfícies metálicas de rolamentos, calibres e outros componentes que requerem graus de acabamento muito elevados.

A lapidação utiliza uma **suspensão fluida de partículas abrasivas** muito pequenas (composto de polimento – massa esbranquiçada) entre a peça e a ferramenta de polimento

Abrasivos comuns: o óxido de alumínio e o carboneto de silício, com tamanhos de grão típicos entre 300 e 600 .

Ferramenta de polimento (Disco de lapidar): o aço, ferro fundido, até cobre e o chumbo

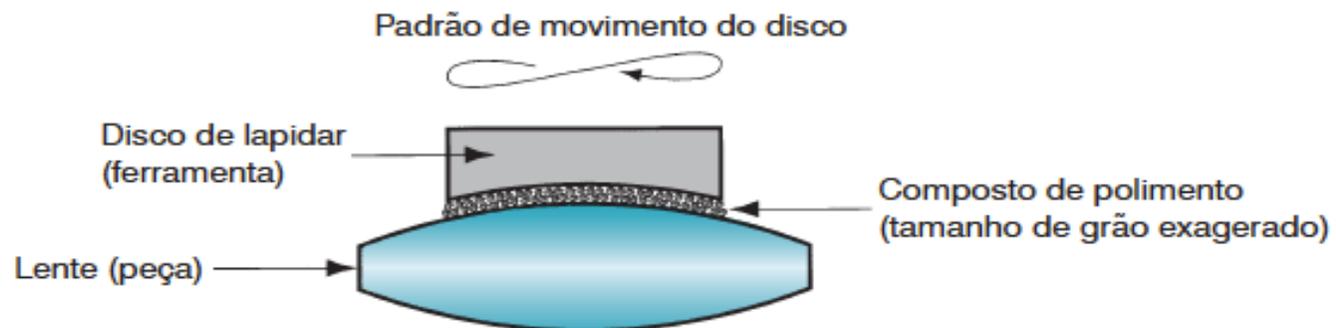
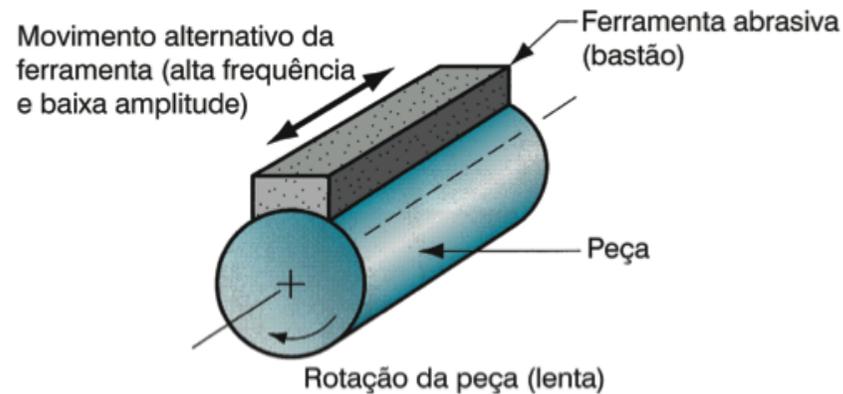


FIGURA 18.17 O processo de lapidação na fabricação de lentes. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.).

Superacabamento (superfinishing), Polimento (Polishing) e Espelhamento (buffing)

FIGURA 18.18 Superacabamento de uma superfície cilíndrica externa. (Crédito: *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4ª Edição por Mikell P. Groover, 2010. Reimpresso com permissão de John Wiley & Sons, Inc.)



Polimento

