

Aula 22

Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida - Retificação -

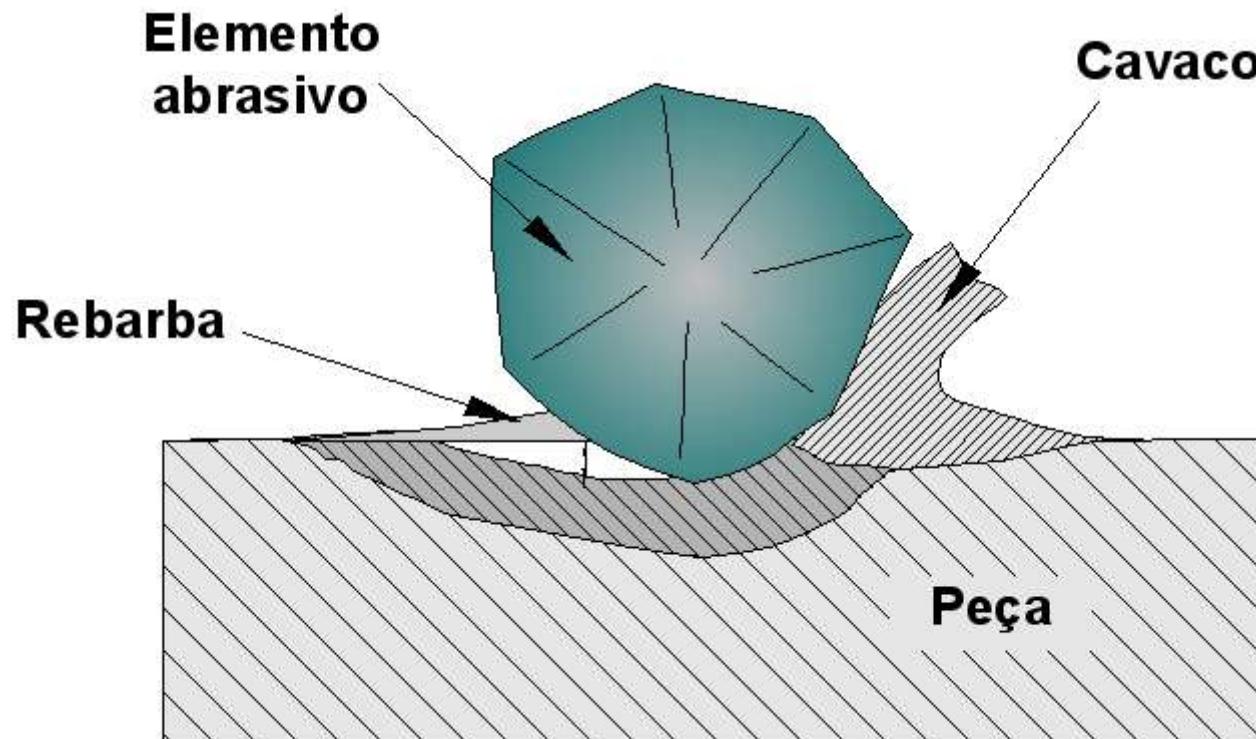
Prof. Dr. Eng. Rodrigo Lima Stoeterau



Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

Fundamentos

- A remoção é realizada pela ação de grãos, mais ou menos disformes, de materiais duros que são postos em interferência com o material da peça



Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

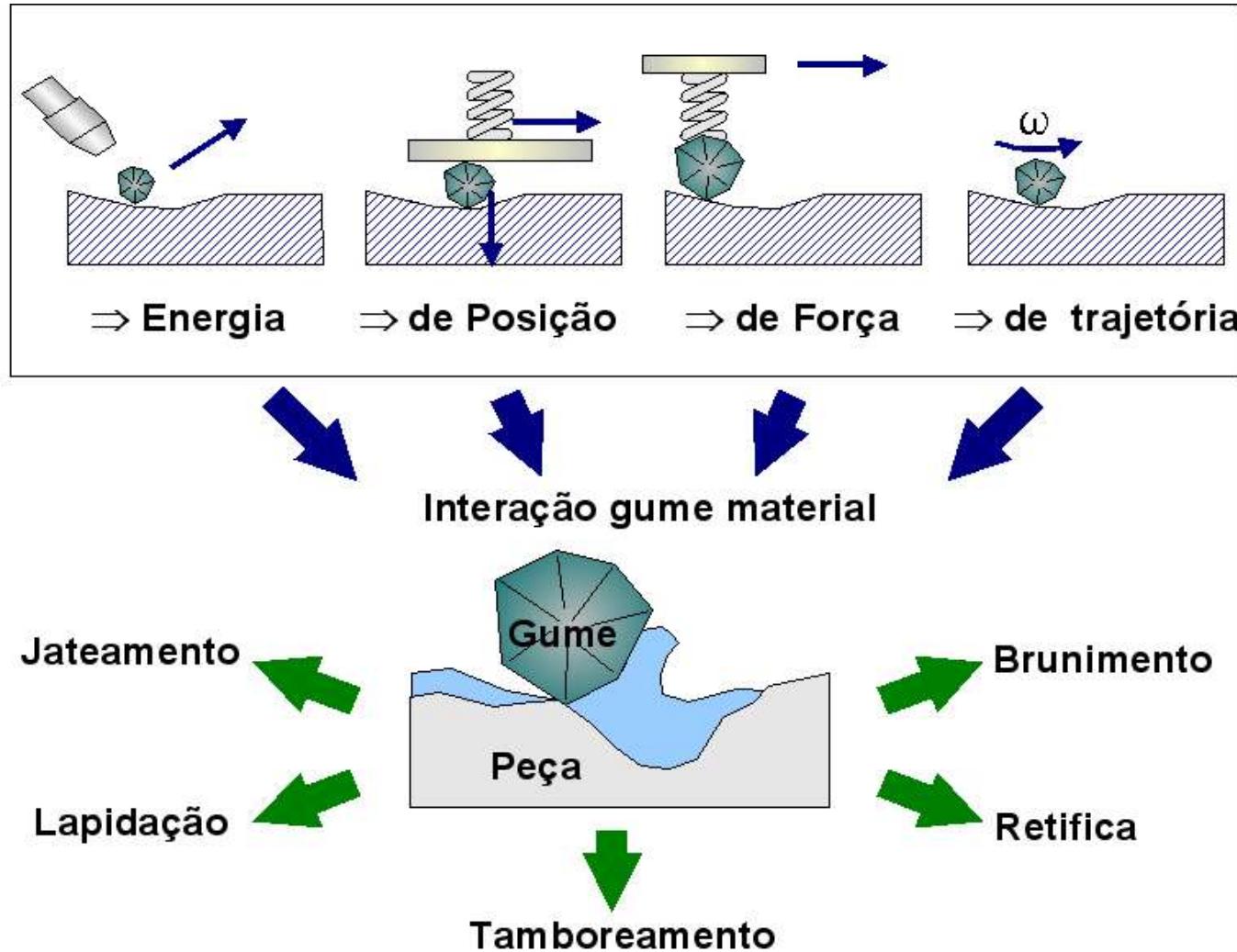
Aplicação

→ Processos de acabamento utilizados na:

- melhoria da exatidão dimensional
- melhoria da exatidão geométrica
- melhoria da qualidade superficial de peças
- alteração das características superficiais

Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

→ Princípio de ação



Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

→ Etapas da usinagem grão abrasivo

Onde:

I – região de deformação elástica atrito grão/material da peça

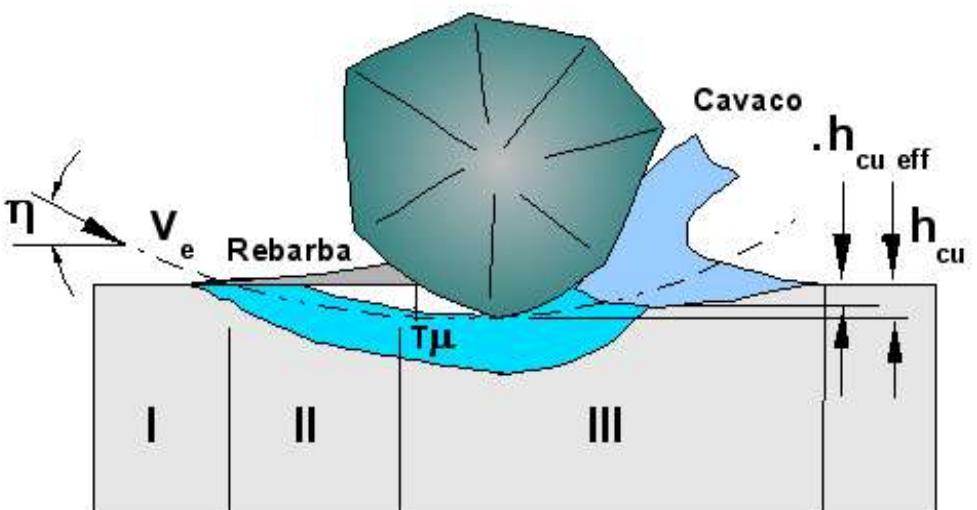
II – região de deformação elástica e plástica, atrito grão/material da peça atrito interno do material

III – deformação elástica e plástica + remoção de cavaco atrito grão/material da peça, atrito interno do material

h_{cu} = espessura de usinagem

$h_{cu\ eff}$ = espessura de corte efetiva

T_m = penetração de início de corte

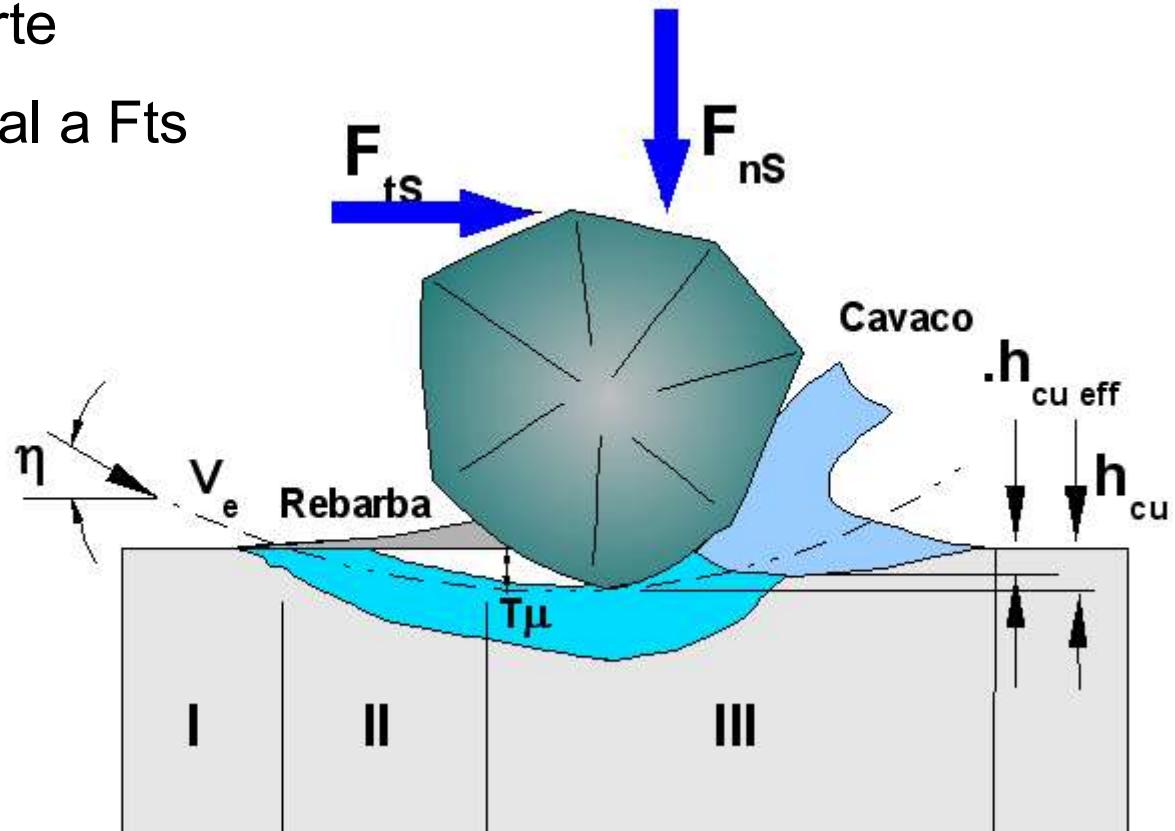


Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

→ Etapas da usinagem grão abrasivo

Onde:

- F_{ts} = força de corte
- F_{ns} = força normal a F_{ts}



Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

Generalidades

- A remoção é realizada pela ação de grãos, mais ou menos disformes, de materiais duros que são postos em interferência com o material da peça.
- Processos de acabamento, utilizados na melhoria dimensional, geométrica e superficial de peças

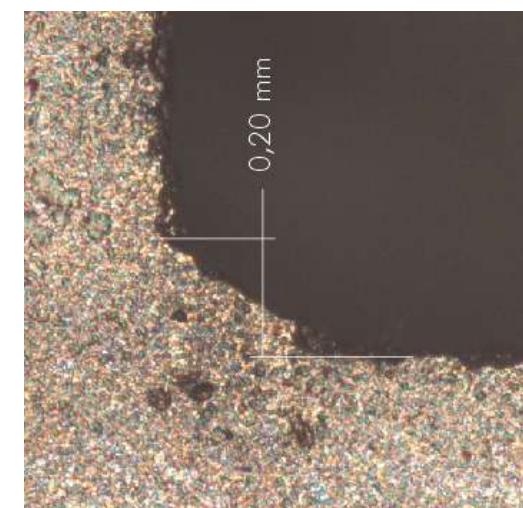
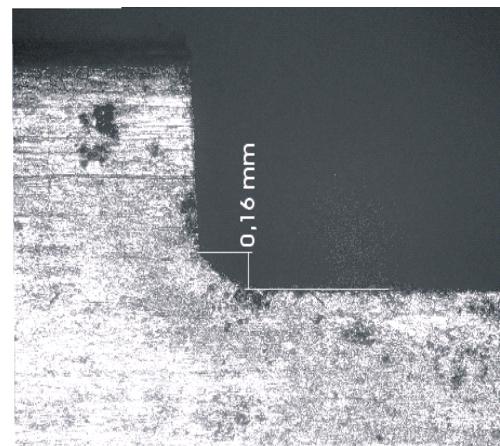
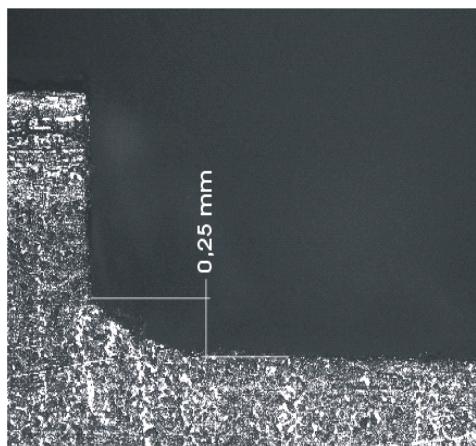
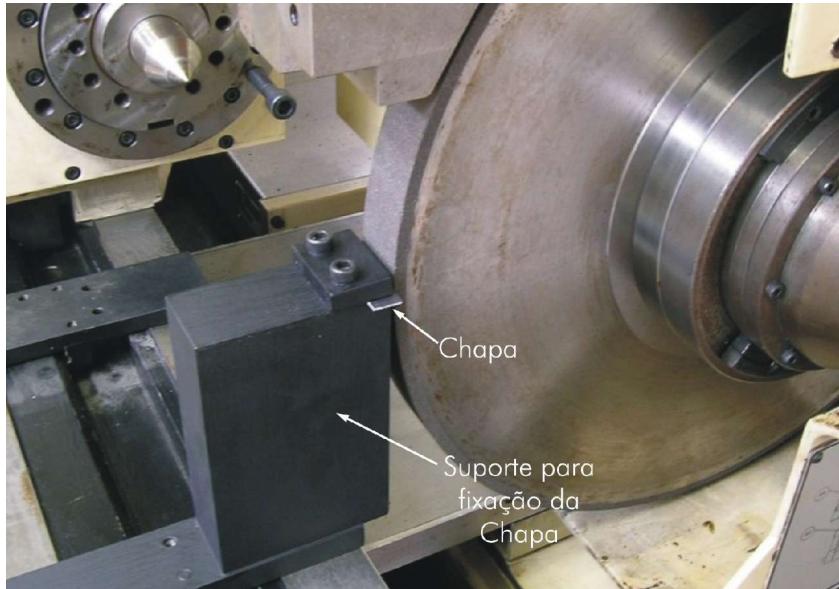
Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

Principais processos:

- Retificação
 - Brunitimento
 - Lapidação
 - Lixamento
 - Tamboreamento
 - Jateamento
 - Outros
-

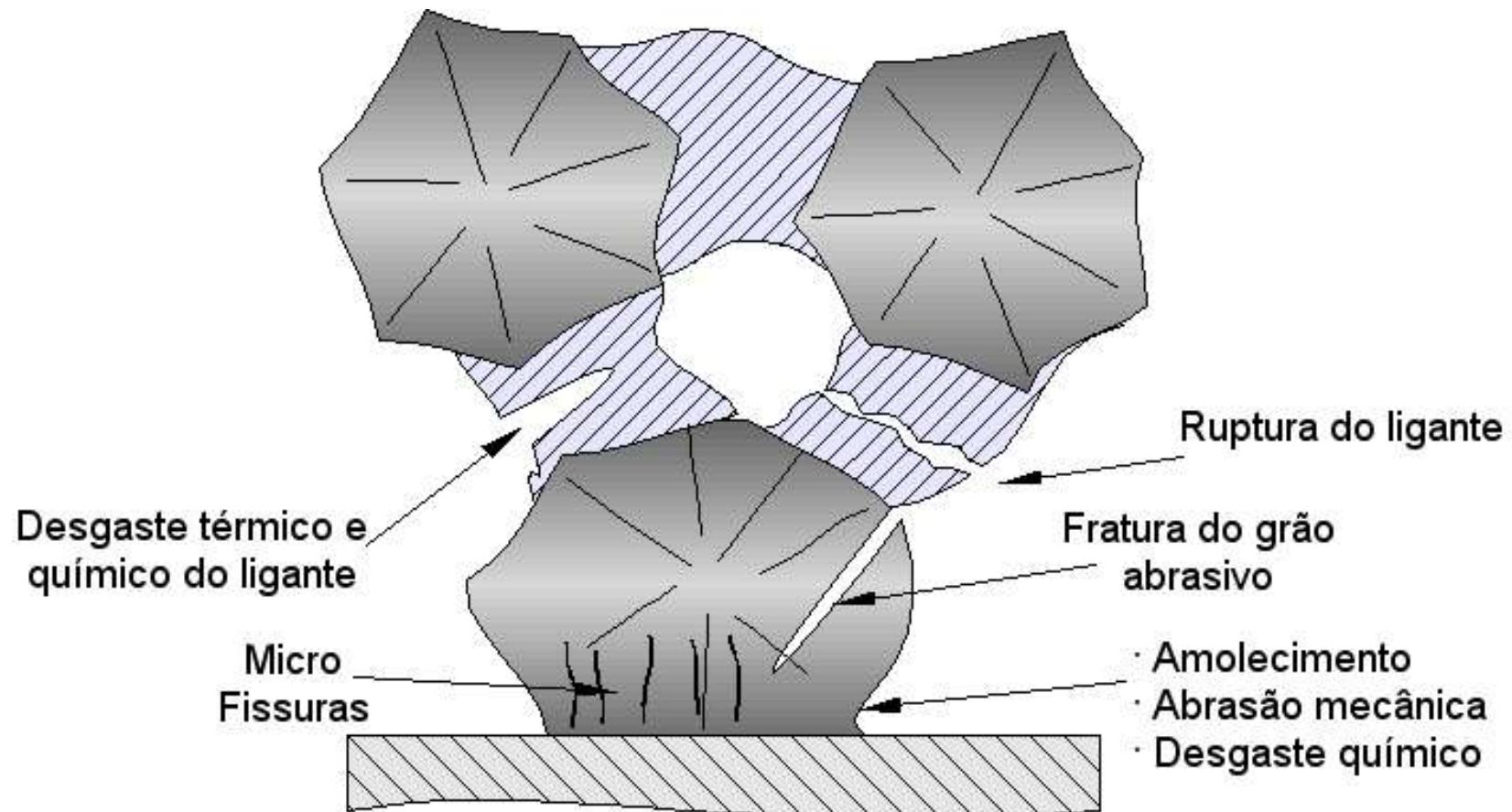
Desgaste em Ferramentas de Geometria Não Definida

- Desgaste de quina



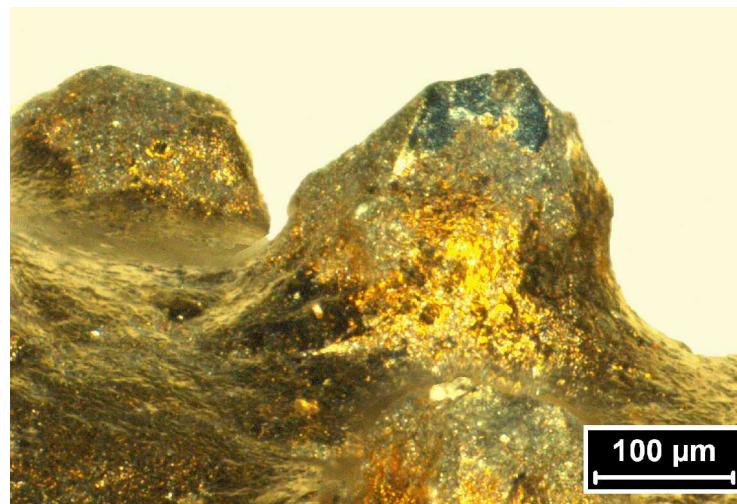
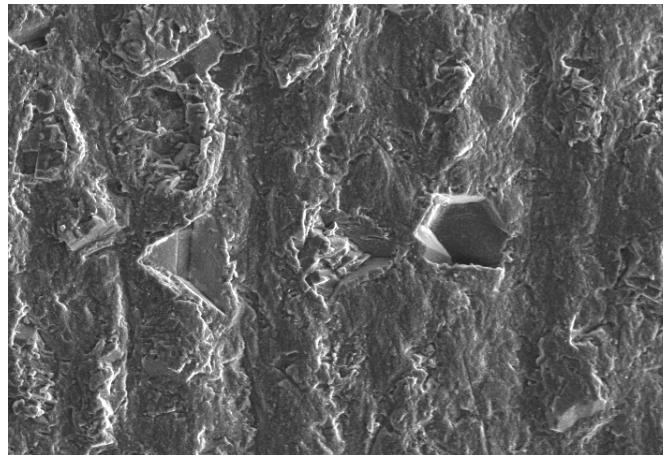
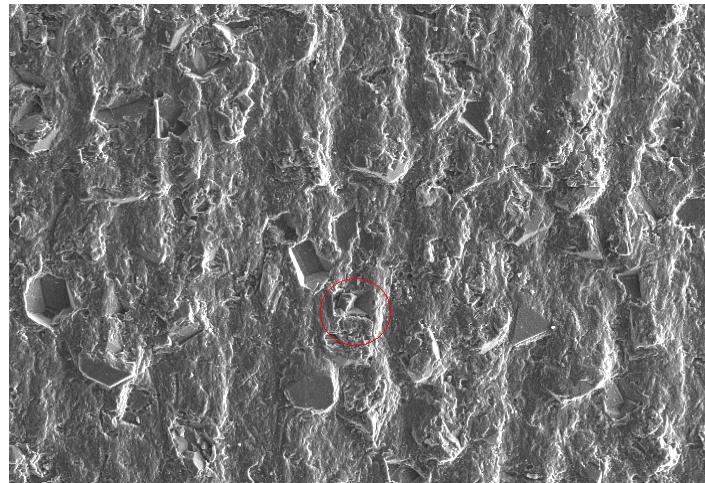
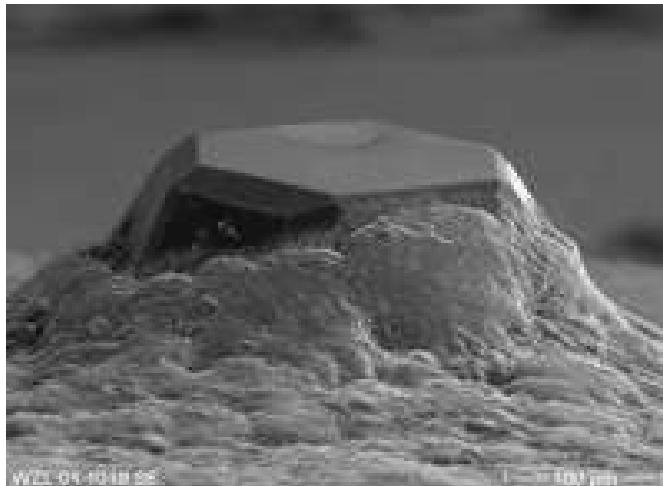
Desgaste em Ferramentas de Geometria Não Definida

- Micro-desgaste



Desgaste em Ferramentas de Geometria Não Definida

- Desgaste de rebolos



Meios Lubri-Refrigerantes - Retificação

- Escolha do tipo de fluido mais adequado para determinado processo:
 - tipo de abrasivo;
 - material da peça.
- CBN - Fluidos não miscíveis em água são mais adequados.
- Desgaste mais acentuado do rebolo:
 - afinidade entre o óxido bórico e o vapor d'água superaquecido.
- Desenvolvimentos de novos fluidos:
 - aspectos ambientais.
- Processo de filtragem:
 - determinante para a escolha do tipo de fluido;
 - ferro fundido nodular + CBN + emulsão.
- Sistema de alimentação de fluido - papel determinante para uma aplicação eficiente de fluido na retificação.

Retificação



Características

- É o processo de usinagem abrasiva que apresenta maior emprego na indústria
 - Caracteriza-se pela remoção de material da peça pela ação conjunta de grãos abrasivos ativos
 - A impossibilidade de definir geometricamente os gumes das ferramentas abrasivas levou ao nome de usinagem com gumes de geometria não-definida
 - É um processo geralmente utilizado para as operações de acabamento de peças
-

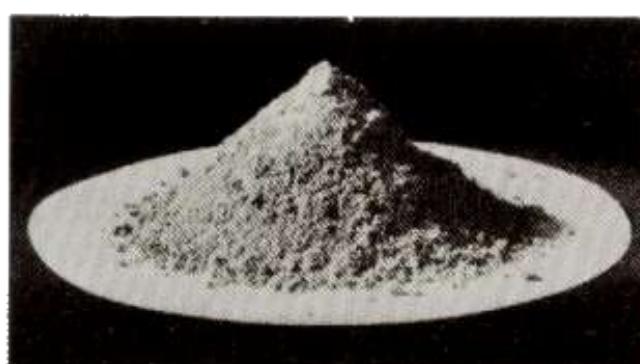
Características

- Os rebolos são ferramentas cortantes, constituídas por partículas abrasivas ligadas entre si por meio de ligante ou aglomerante
 - Forças altas, maior gasto de energia, temperaturas altas,...
 - Forma média dos grãos de ferramentas de retificação é definida estatisticamente
 - Grãos abrasivos são frágeis e quebram com cantos afiados
 - Partes protuberantes atuam no processo de corte
 - Gumes tem geometria negativa em penetram em trajetória quase plana, ocorrendo deformações plásticas e elásticas
-

Características

- ⇒ Difícil pesquisa de fenômenos da retificação
- ⇒ Microestrutura das ferramentas complexa
- ⇒ Remoção de material por muitos gumes simultaneamente
- ⇒ Remoção de material na faixa de micrometros (observação difícil)
- ⇒ Cavacos com seção variável

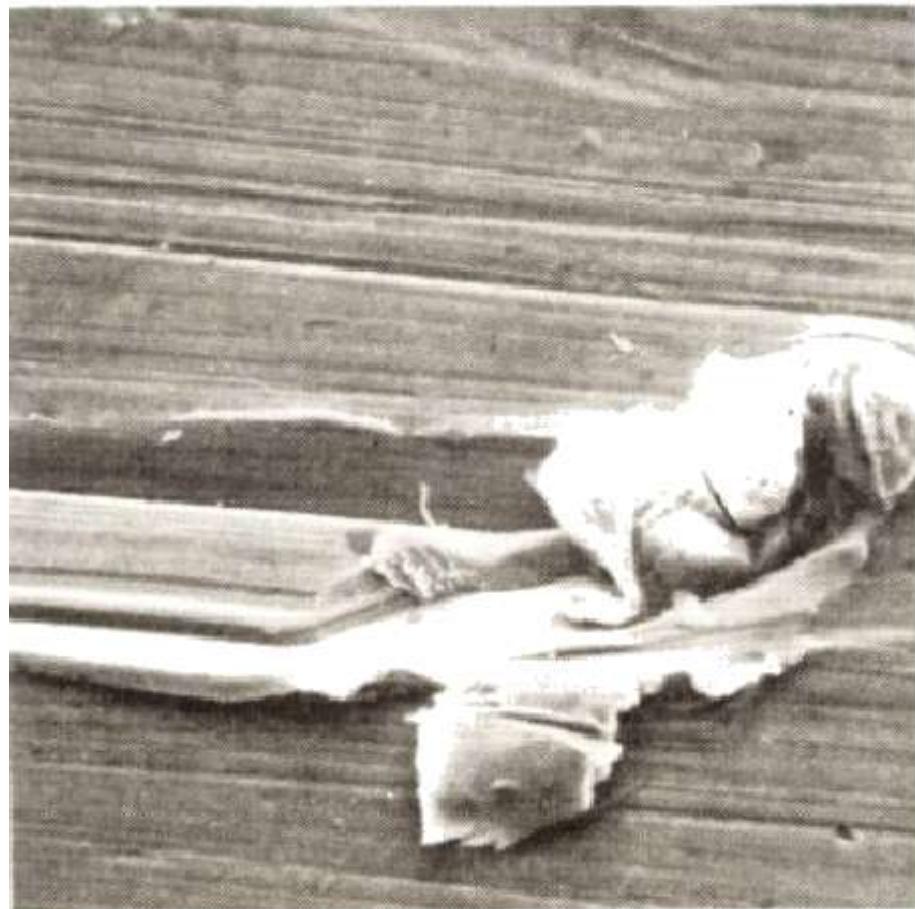
Rebolo



Principais Tipos de Processos de Retificação

Retificação	Cilíndrica externa	Cilíndrica interna	Plana	Circular
Periférica transversal				
Periférica longitudinal				
Lateral transversal				
Lateral longitudinal				

Defeitos na Superfície Usinada



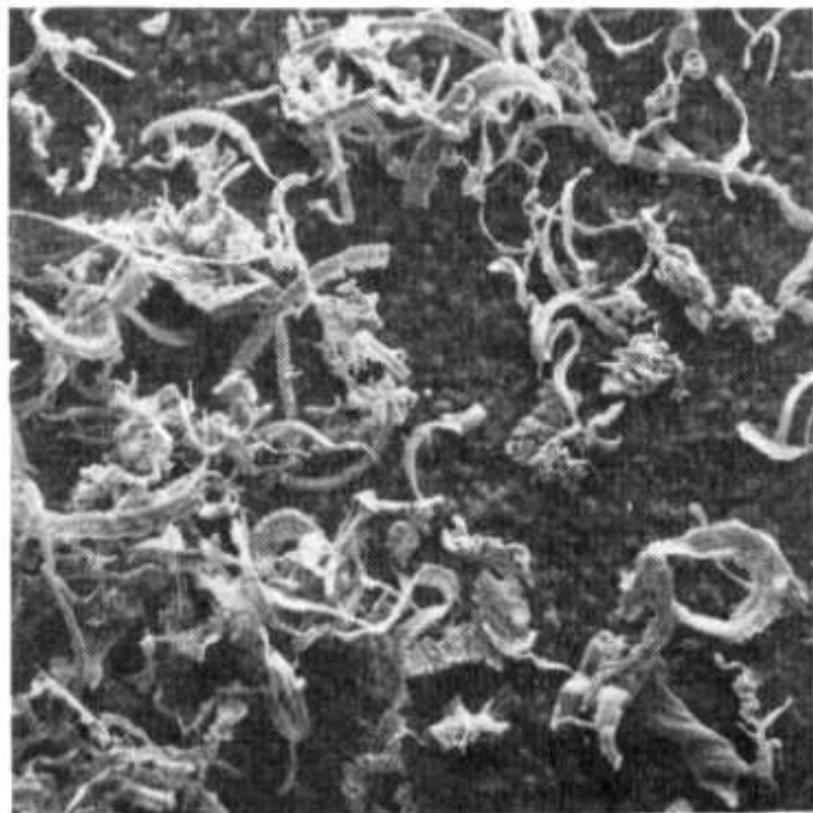
Direção de corte

25 μm

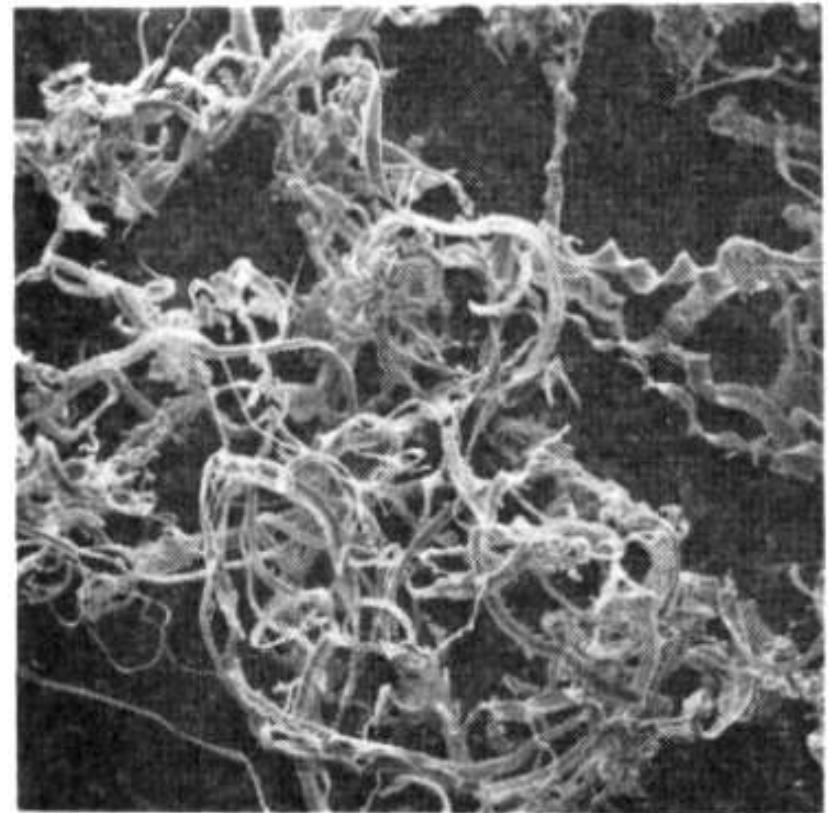


10 μm

Tipos de Cavacos



$a = 8 \mu\text{m}$; $v_t = 250 \text{ mm/s}$



$a = 64 \mu\text{m}$; $v_t = 31,25 \text{ mm/s}$

Materiais Abrasivos

Requisitos dos materiais abrasivos

- ➔ → Elevada dureza
- ➔ → Estabilidade térmica
- ➔ → Estabilidade química
- Materiais podem ser naturais ou sintéticos
- Materiais abrasivos naturais têm importância secundária (em geral tem pouca resistência)

Materiais abrasivos naturais

⇒ Quartzo

- relativamente mole
- fissura frágil
- canto vivo

⇒ Corindum e esmeril

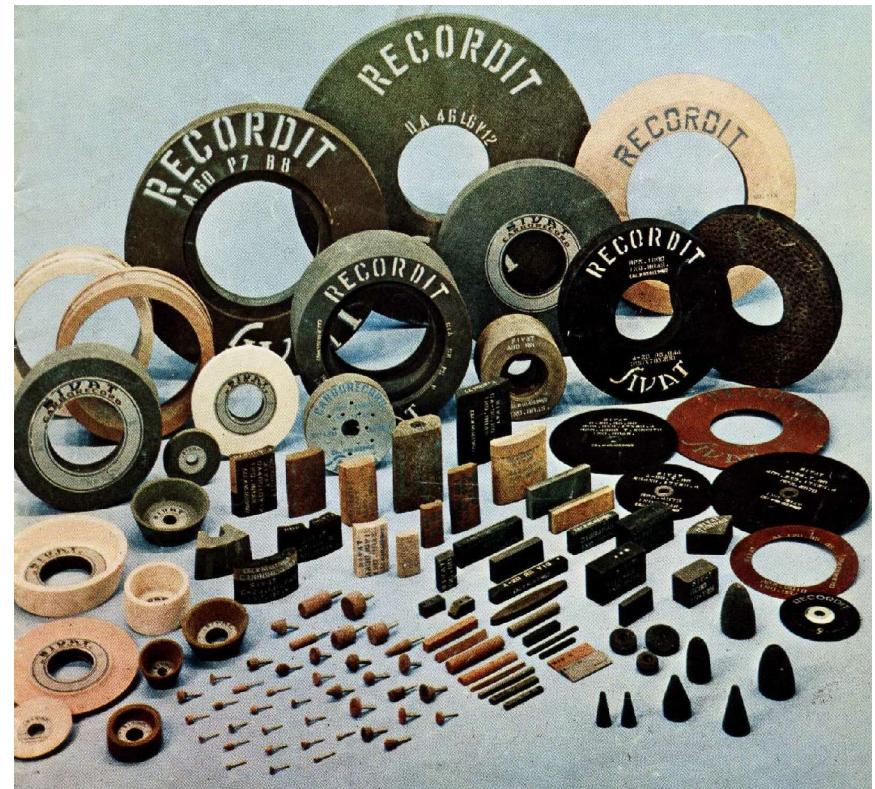
- constituídos de Al_2O_3
- quebra arredondada
- poucos gumes afiados

⇒ Granada

- dureza relativamente alta
- quebra em formato de conchas (muitos gumes)
- usados em lixas para madeiras duras e nobres

⇒ Diamante natural

- para metal-duro, quartzo, mármore, granito, cerâmica



Materiais abrasivos sintéticos

⇒ Corindum

- composto por Al_2O_3
- pode ser normal
- semi-nobre ou nobre
- tem alta dureza e tenacidade

⇒ Diamante

- maior dureza entre todos os materiais (cerca de duas vezes maior que SiC e Al_2O_3)
- apresenta anisotropia e alta condutibilidade térmica
- custo elevado

⇒ Carboneto de boro

- dureza elevada
- pouco empregado (mais utilizado como abrasivo solto, na lapidação)

Materiais abrasivos sintéticos

⇒ Carboneto de silício

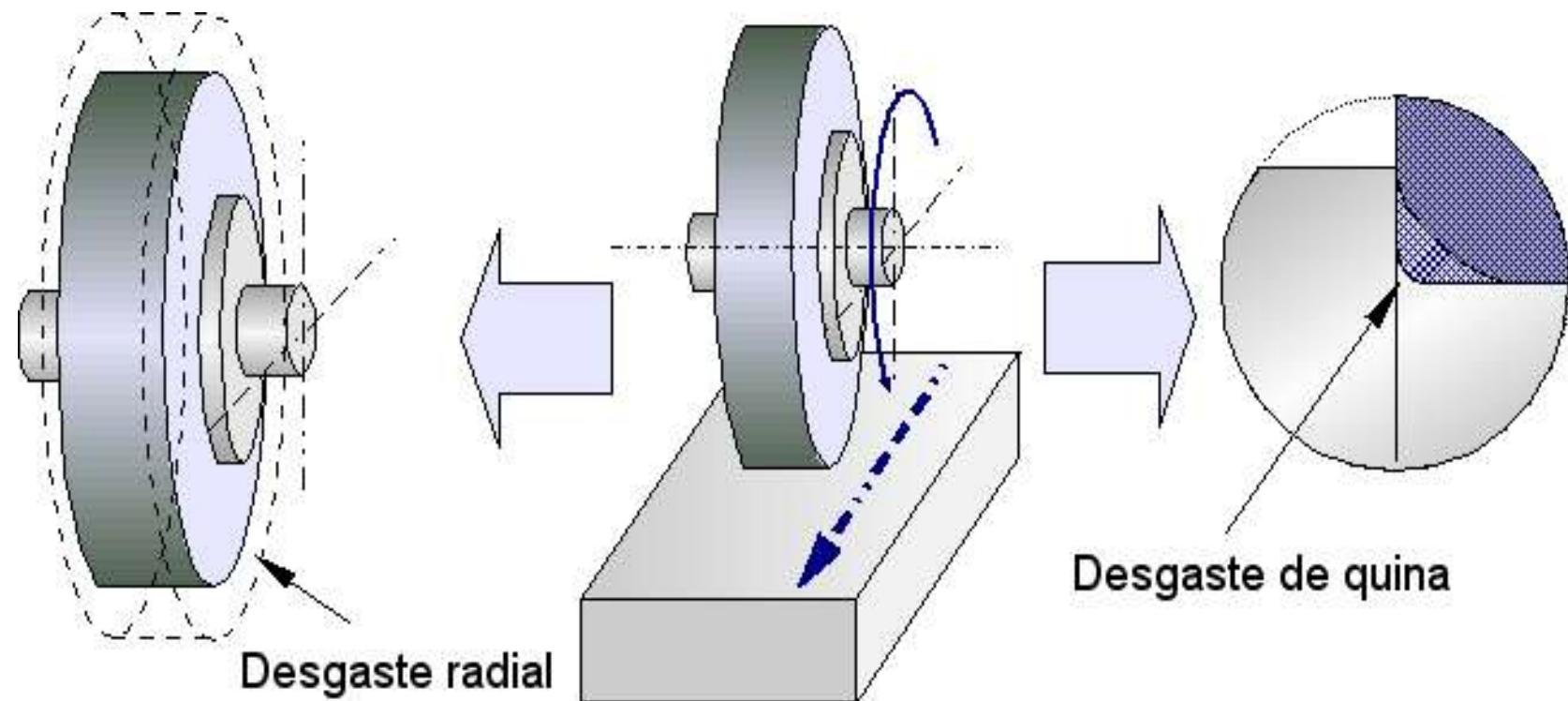
- composto por SiC
- obtido por fundição de areia de quartzo
- tem cor verde e preta
- conforme o grau de impurezas
- dureza elevada
- boas características térmicas
- estabilidade química elevada
- para ferro fundido cinzento, ferro fundido coquilhado, não-ferrosos e não-metálicos

⇒ Nitreto de boro cúbico (CBN)

- material abrasivo mais recente em uso
 - dureza apenas menor que a do diamante
 - tem elevada resistência à temperatura
 - para materiais duros, aço-rápido e aços liga temperados
-

Desgaste em ferramentas de retificação

- Macro-desgaste



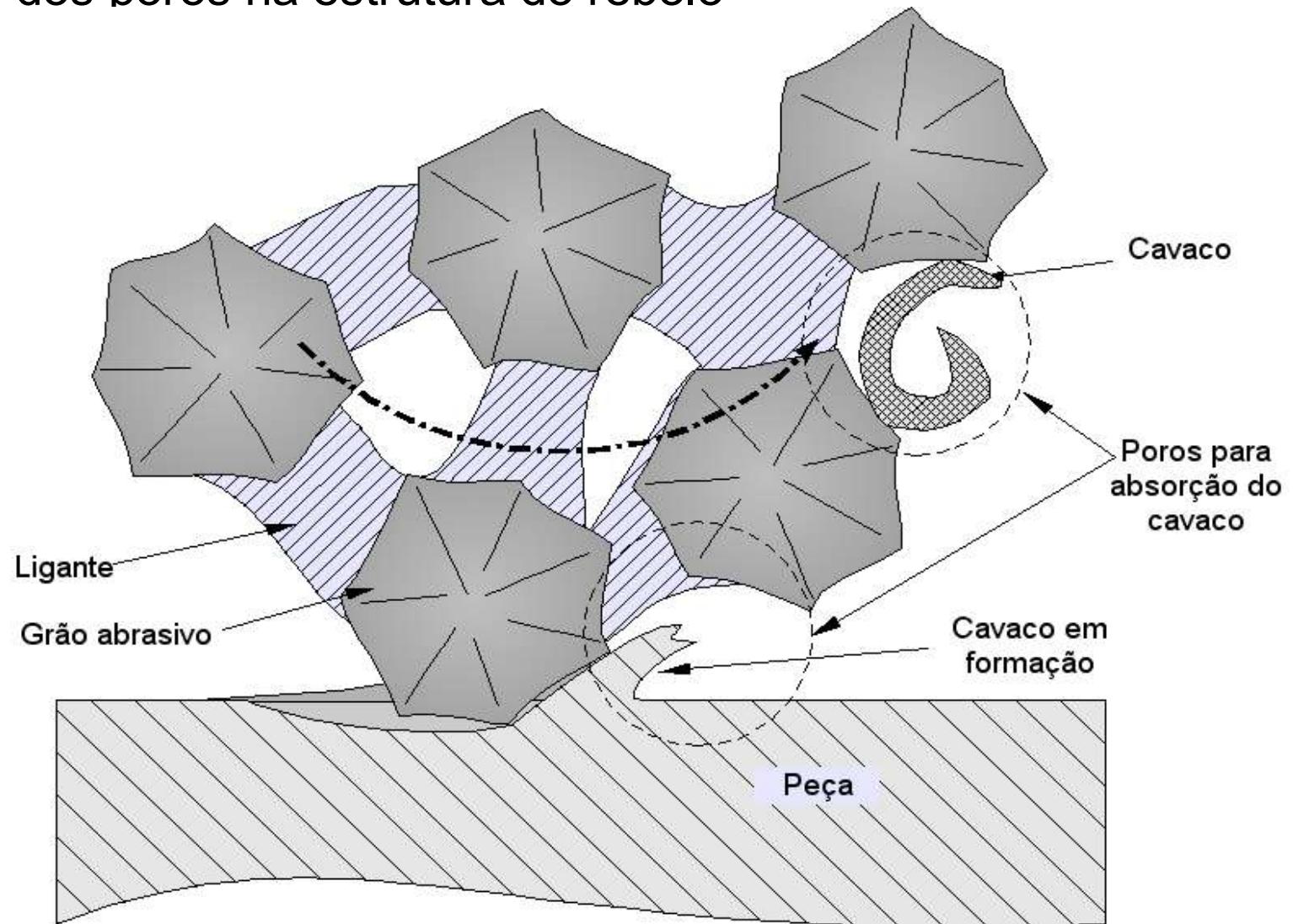
Desgaste em ferramentas de retificação

- Desgastes térmicos no grão e no ligante
- Oxidação e difusão
- Abrasão e quebra do grão
- Fissuras e lascamento por fadiga
- Ruptura do ligante
- As causas do desgaste devem ser levadas em consideração quando da escolha do material do rebolo

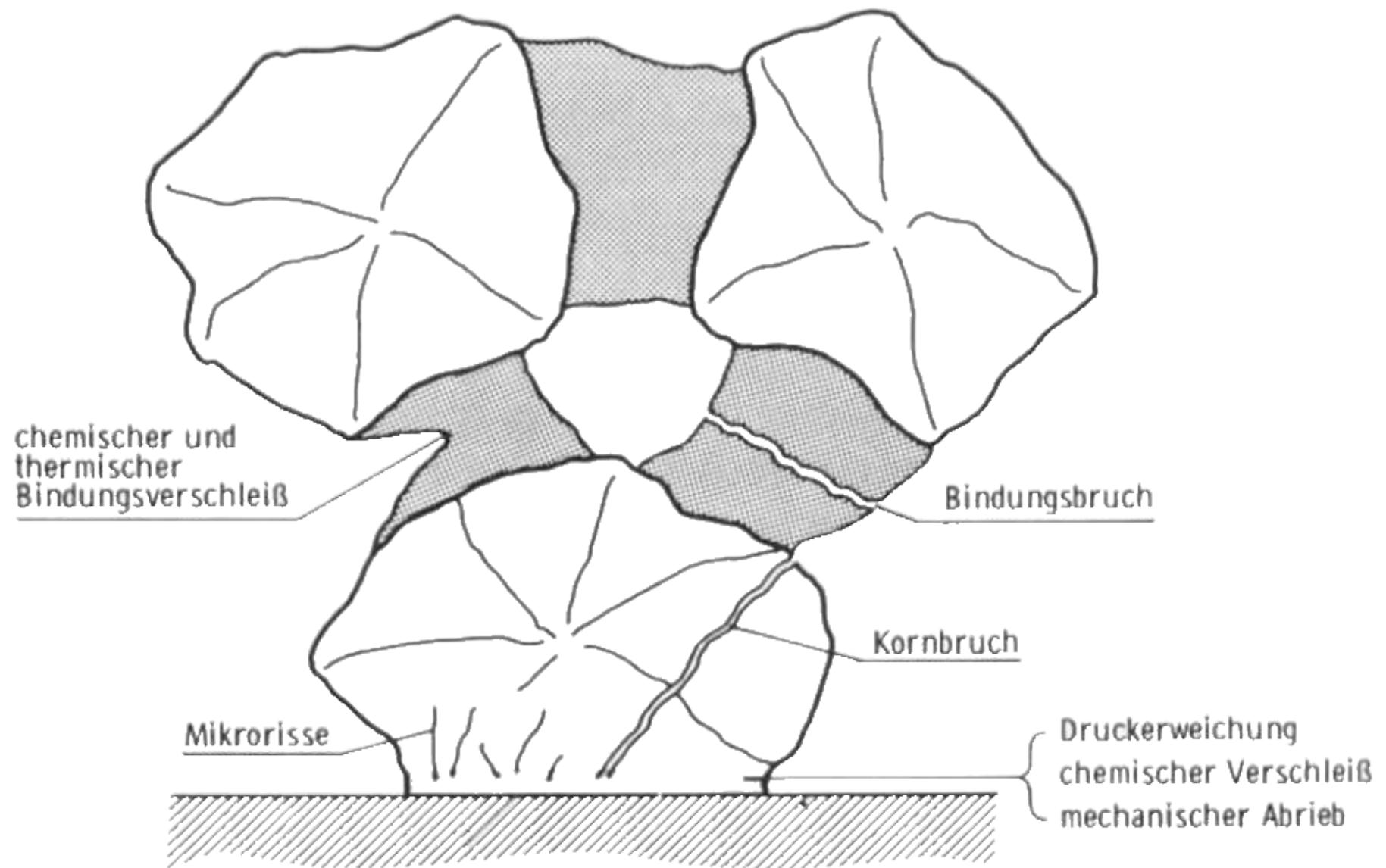


Estrutura

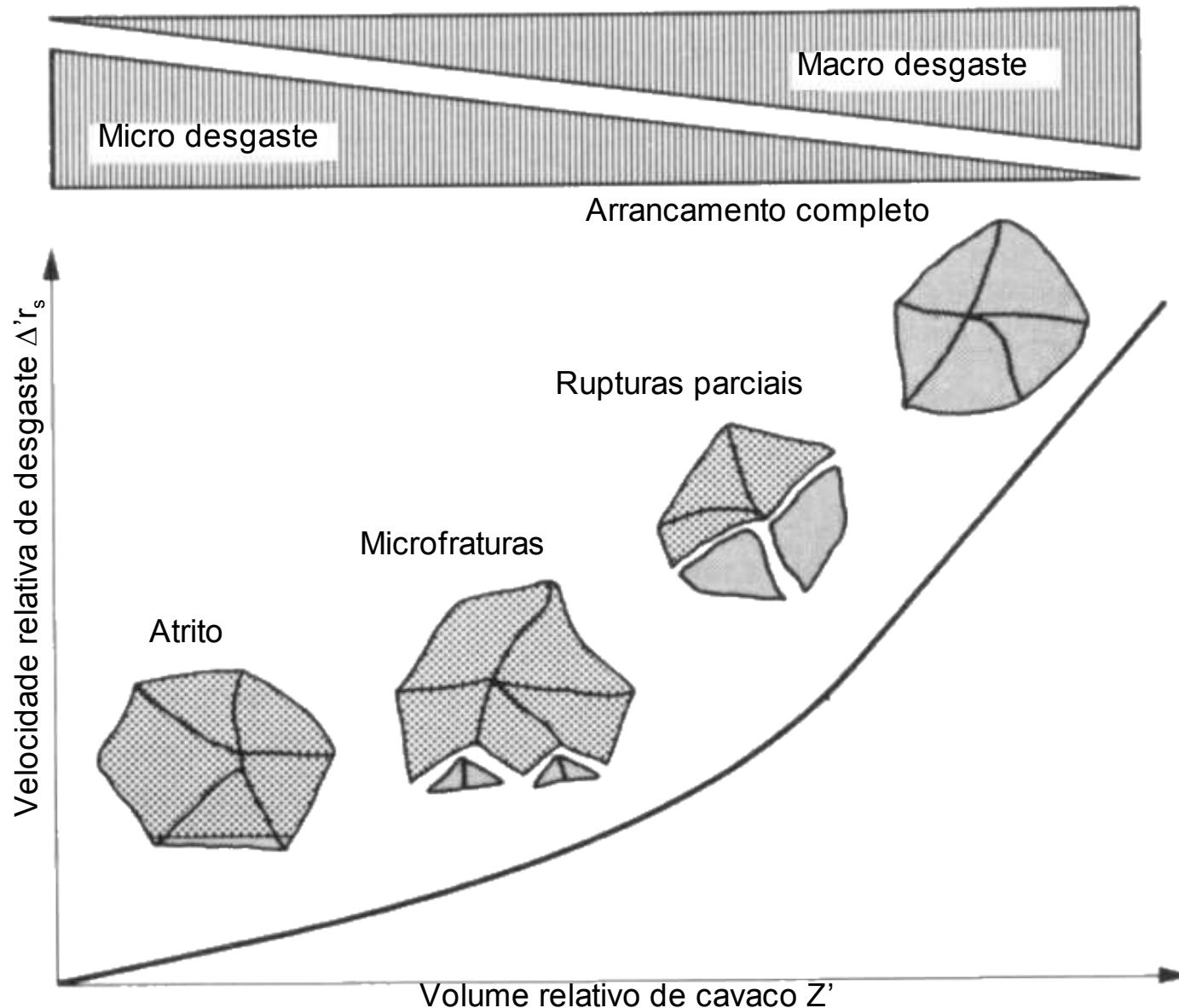
- função dos poros na estrutura do rebolo



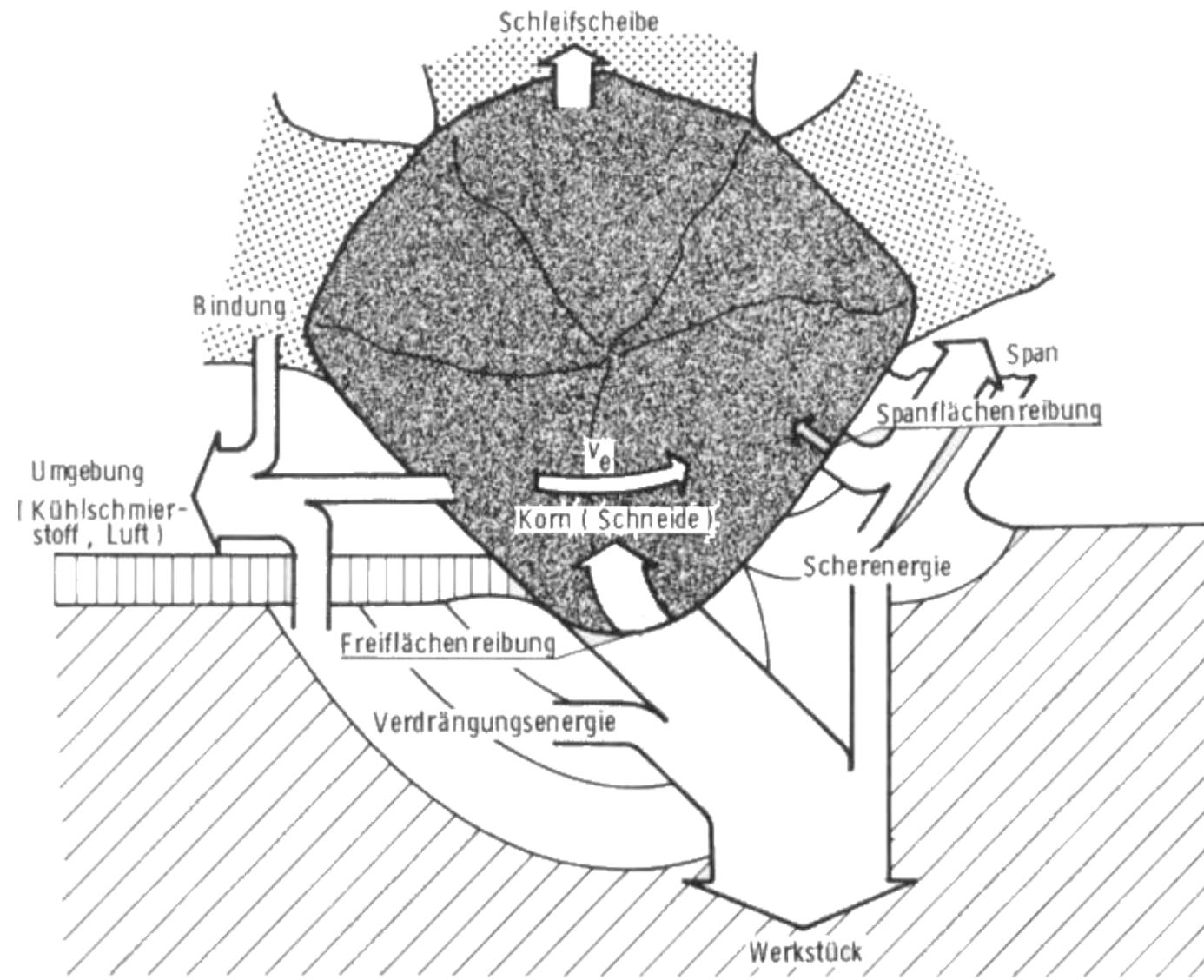
Processo de Quebra de Grão e Auto-afiação



Quebra dos Grãos em Função da Velocidade



Transferência de Calor no Grão



Ligantes

- Tem a função de manter grãos ligados, e podem ser orgânicos ou inorgânicos
 - Devem ser suficientemente resistentes
 - Devem formar pontes suficientemente grandes entre os grãos
 - A energia de ligação com os grãos deve ser grande
-

Ligantes inorgânicos

⇒ Cerâmicos ou vitrificados

- correspondem a mais de 50% dos rebolos
- compostos por misturas vitrificantes (caulin, argila, quartzo, feldspato, fundentes,...)
- frágeis, com alto módulo de elasticidade, resistentes à temperatura,
- resistentes quimicamente a água e óleo

⇒ Minerais

- silicatos e magnesita (rebolos macios)
- retificação a seco de materiais finos (cutelaria)
- apresentam desgaste rápido

Ligantes orgânicos

⇒ Gomas

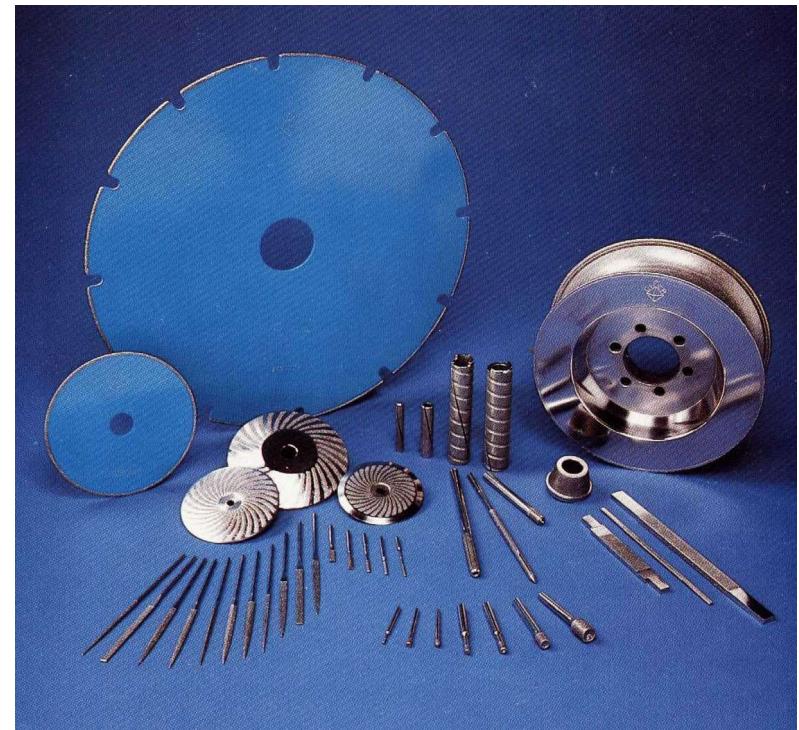
- feito de resíduos de couro
- usados em lixas
- susceptíveis à temperatura

⇒ Lacas

- solúveis em álcool e álcalis
- pouco usados

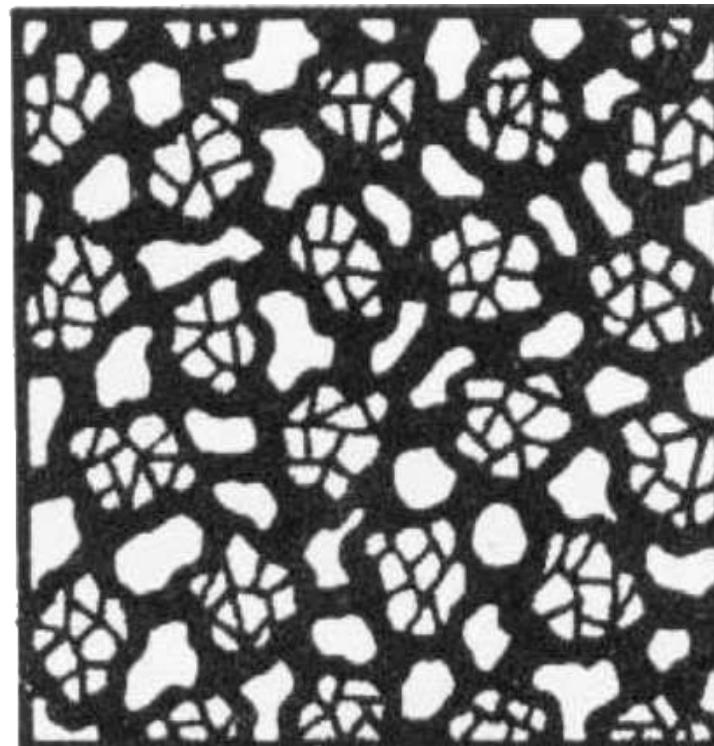
⇒ Resinas sintéticas

- segundo ligante mais empregado, com importância crescente
- resinas fenólicas têm a maior aplicação
- usados com materiais de enchimento (criolita, pó de quartzo, hidróxido de cálcio, óxido de ferro etc.)



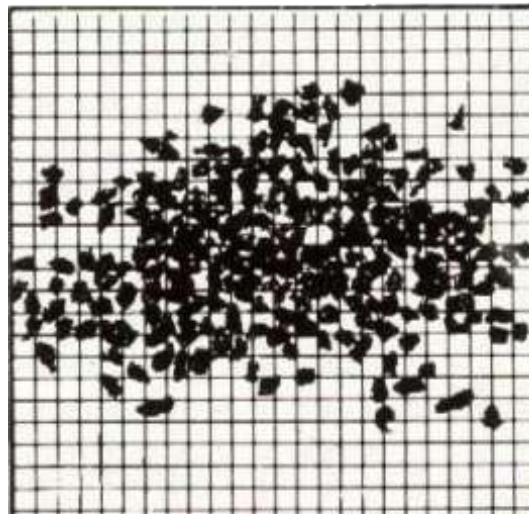
Estrutura

- São os poros ou vazios da estrutura de um rebolo que criam condições de remoção rápida dos cavacos da face do rebolo

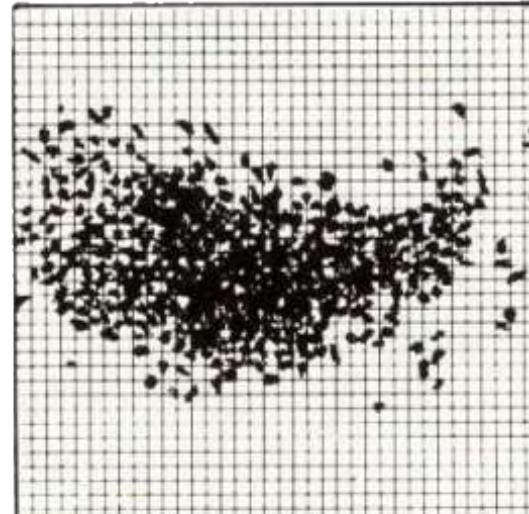


Tamanho de Grão

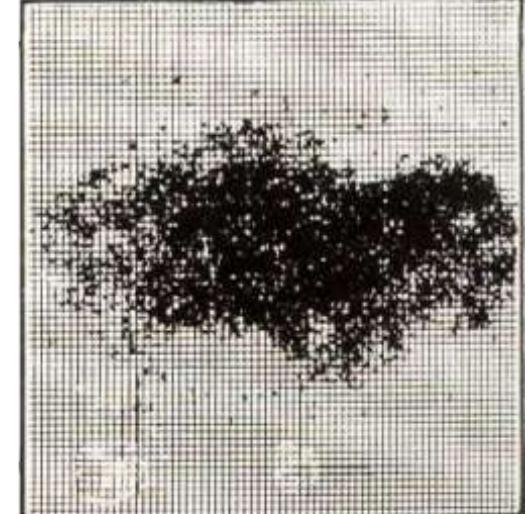
- O rebolo vem indicado por um número que significa o tamanho do grão, classificado em uma peneira (polegadas lineares).
- Quanto mais fino é o grão, maior é seu número na escala de granulometria
- Os grãos grandes são empregados para trabalhos de desbaste, os finos para acabamentos



Grano n° 16 *Grain n° 16*



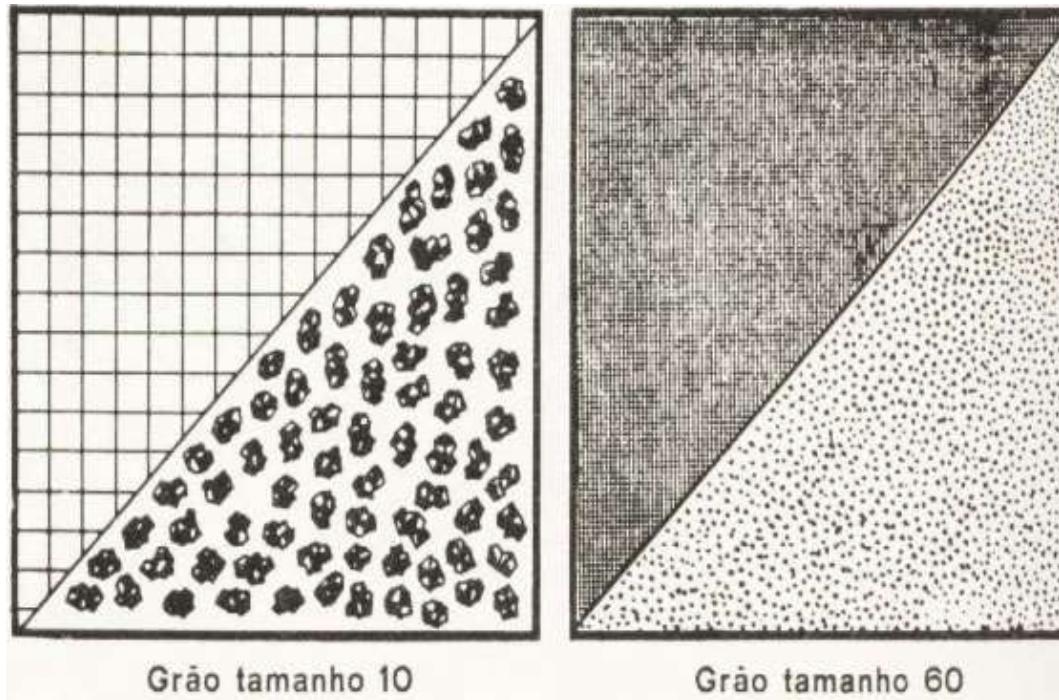
Grano n° 24 *Grain n° 24*



Grano n° 46 *Grain n° 46*

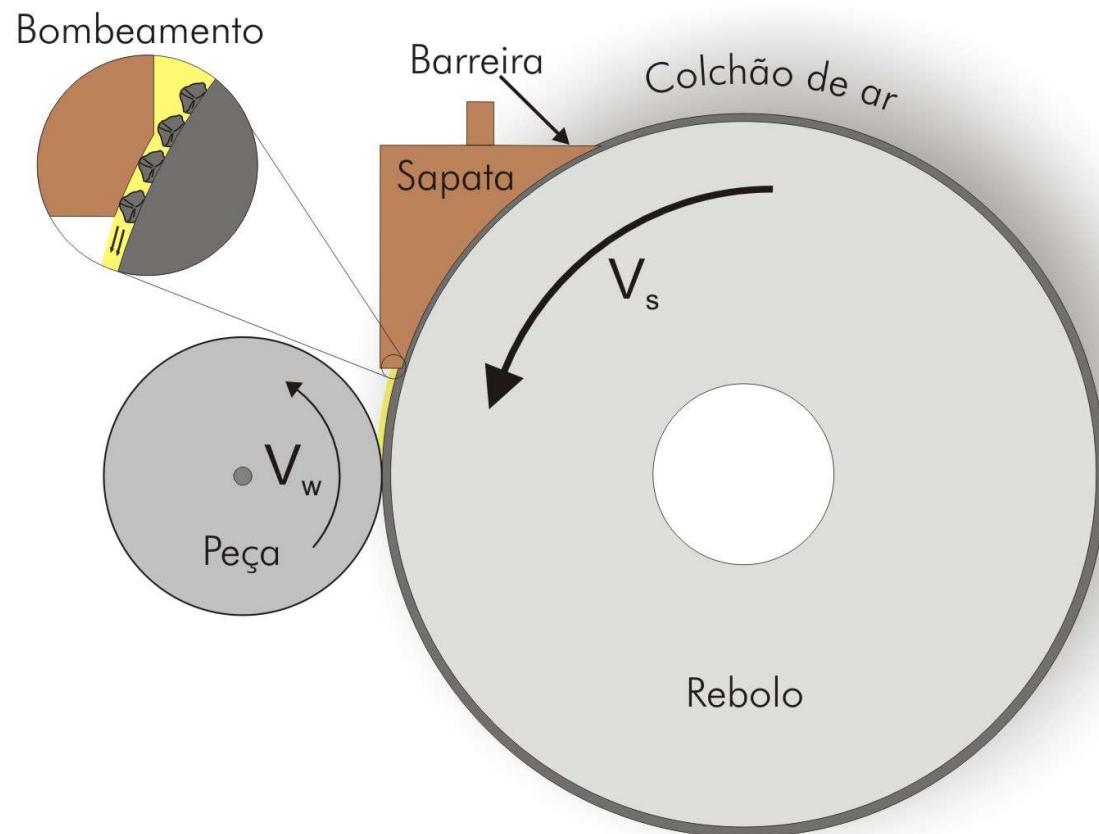
Tamanho de Grão

- Os grãos abrasivos são classificados de acordo com seu tamanho por peneiramento
- Os grãos que passam por uma peneira que tem 10 aberturas por polegada linear são chamados grãos n. 10, e aqueles que passam por 60 aberturas por polegada linear são denominados grãos n. 60 (e assim por diante)



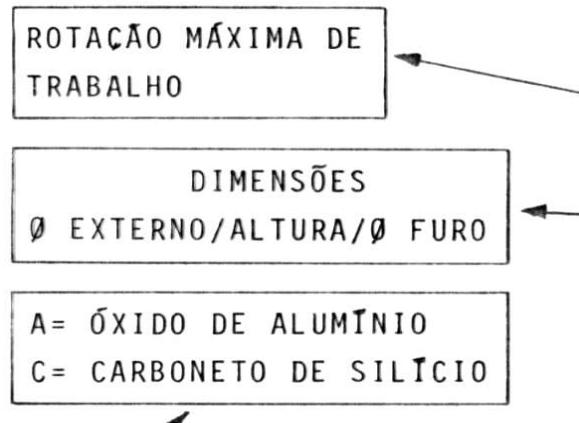
Meios Lubri-Refrigerantes - Retificação

- Aplicação de fluido



Especificação dos Rebolos

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



MUITO MOLE	E - F - G
MOLE	H - I - J - K
MÉDIA	L - M - N - O
DURO	P - Q - R - S
MUITO DURO	T - U - Y - Z

0-1-2-3...10-11-12
+fechada
+aberta

V= VITRIFICADO
B= RESINA
R= BORRACHA

1	2	3	4	5	6
TIPO DE ABRASIVO	TAMANHO DOS GRÃOS	DUREZA	ESTRUTURA	LIGANTE	CÓDIGO DO FABRICANTE
A	24	R	5	V	10W

Especificação dos Rebolos

CARACTERÍSTICAS E USOS GERAIS DOS ABRASIVOS		APLICAÇÃO		ABRA-SIVO	TAMA-NHO DO GRÃO	DUREZA	POROSIDADE	LIGA	
ÓXIDO DE ALUMINÍNIO	A REBOLO CINZA-OPACO AZULADO Uso: em Ferro e Aço (Rebolo Comum) AA REBOLO BRANCO OU VERMELHO FERRUGEM Uso: Aços temperados, dureza forte. DA REBOLO CINZA-ESBRANQUIÇADO (pouco usado) Uso: Aços temperados de dureza branda. RA REBOLO ROSADO Uso: Afiação e usinagem de ferramentas especiais de aço rápido e aços duros. RB REBOLO COR MORANGO Uso: Afiação de precisão, onde o rebolo deve manter o perfil (broxas, filetes, estrias etc.)	USO GERAL	desbaste muito grosso	A ou C	14	R	5	B (*)	
			desbaste grosso	A ou C	24	Q	6	B ou V	
			desbaste leve	A ou C	36	Q	6	B ou V	
			semi-acabamento	A ou C	46	O	6	B ou V	
			acabamento e afiação	A	60	N	6	V (**)	
			acabamento fino	A	80	M	6	V	
CARBURETO DE SILÍCIO	GC REBOLO VERDE Uso: metal duro (Wídia) C REBOLO CINZA-CHUMBO BRILHANTE Uso: Ferro fundido, materiais não ferrosos e não metálicos (latão, bronze mármore etc.) B (*) ligia resinóide V (**) ligia vitrificada NB – Na ligia B (resinóide) predomina a cor marrom no rebolo.	FERRAMENTARIA	desbaste	DA	46	J ou K	6	V	
			acabamento e afiação	AA	60	J ou K	6	V	
			acabamento fino	RA	80	J ou K	6	V	
			Afiação	RB	80	J ou K	6	V	
				GC	80	J ou K	6	V	
			desbaste	Widia	GC	120	J ou K	6	V
				Widia	GC	120	J ou K	6	V

Fatores a considerar na retificação

Material a retificar

- ⇒ Influi na seleção do tipo de abrasivo e demais características do rebolo

Granulometria

- ⇒ Grãos finos para materiais duros e quebradiços
- ⇒ Grãos grossos para materiais macios e dúcteis

Dureza do rebolo

- ⇒ Rebolos duros para materiais macios e quebradiços
- ⇒ Rebolos macios para materiais duros

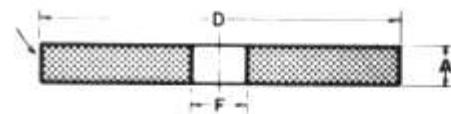
Estrutura

- ⇒ Fechada para materiais duros e quebradiços
- ⇒ Aberta para materiais macios e dúcteis

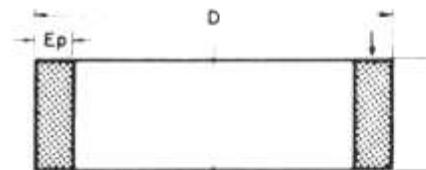
Ligante

- ⇒ Depende até certo ponto do material da peça, porém mais das condições de trabalho e dos fatores variáveis
-

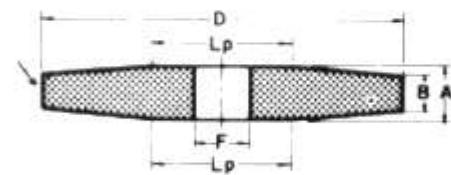
Perfis e Formas Padrão dos Rebolos



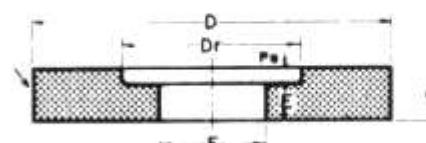
TP 1



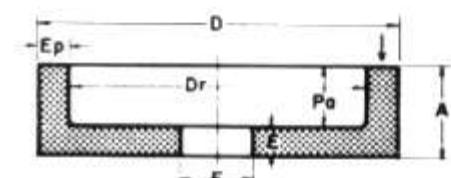
TP 2



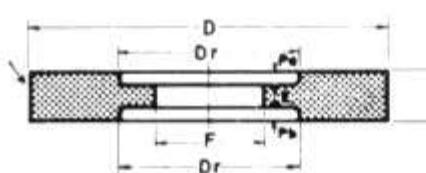
TP 4



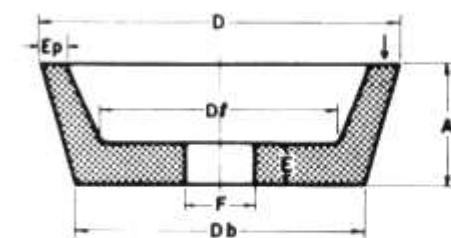
TP 5



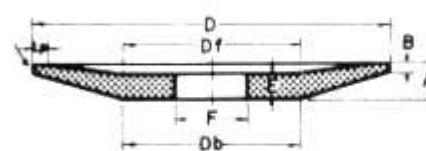
TP 6



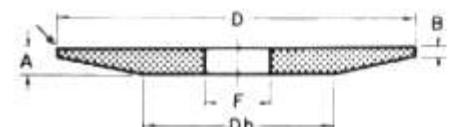
TP 7



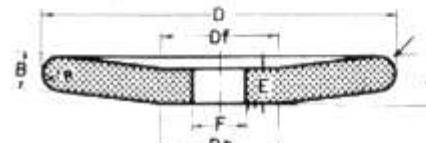
TP 11



TP 12

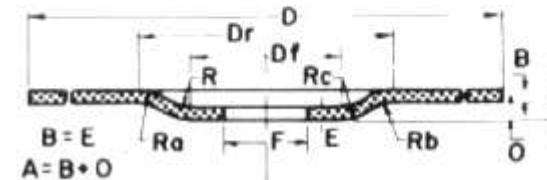
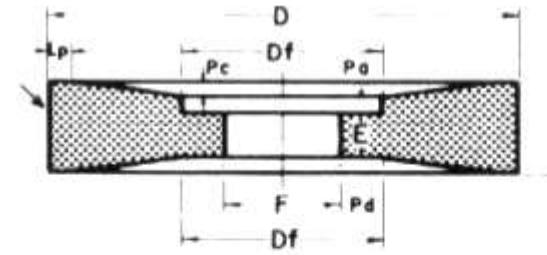
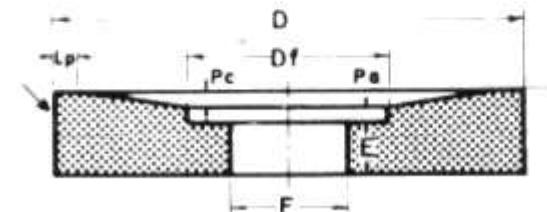
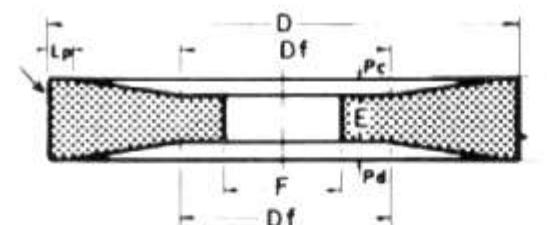
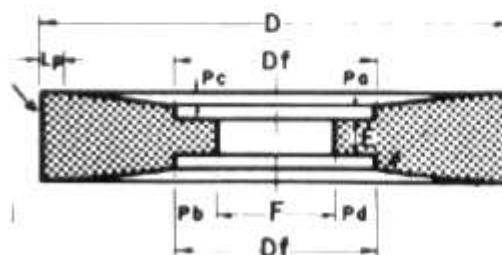
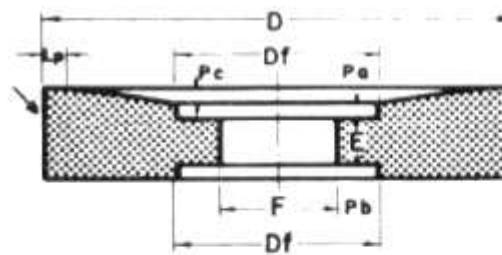
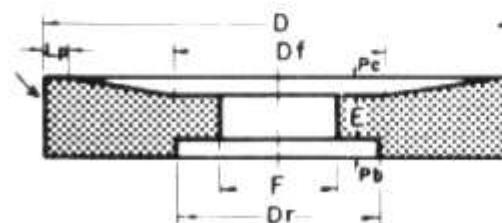
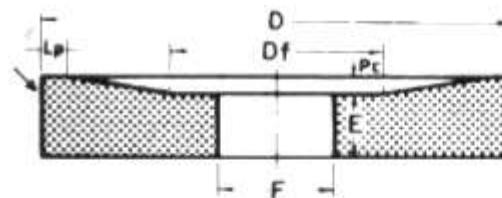


TP 9

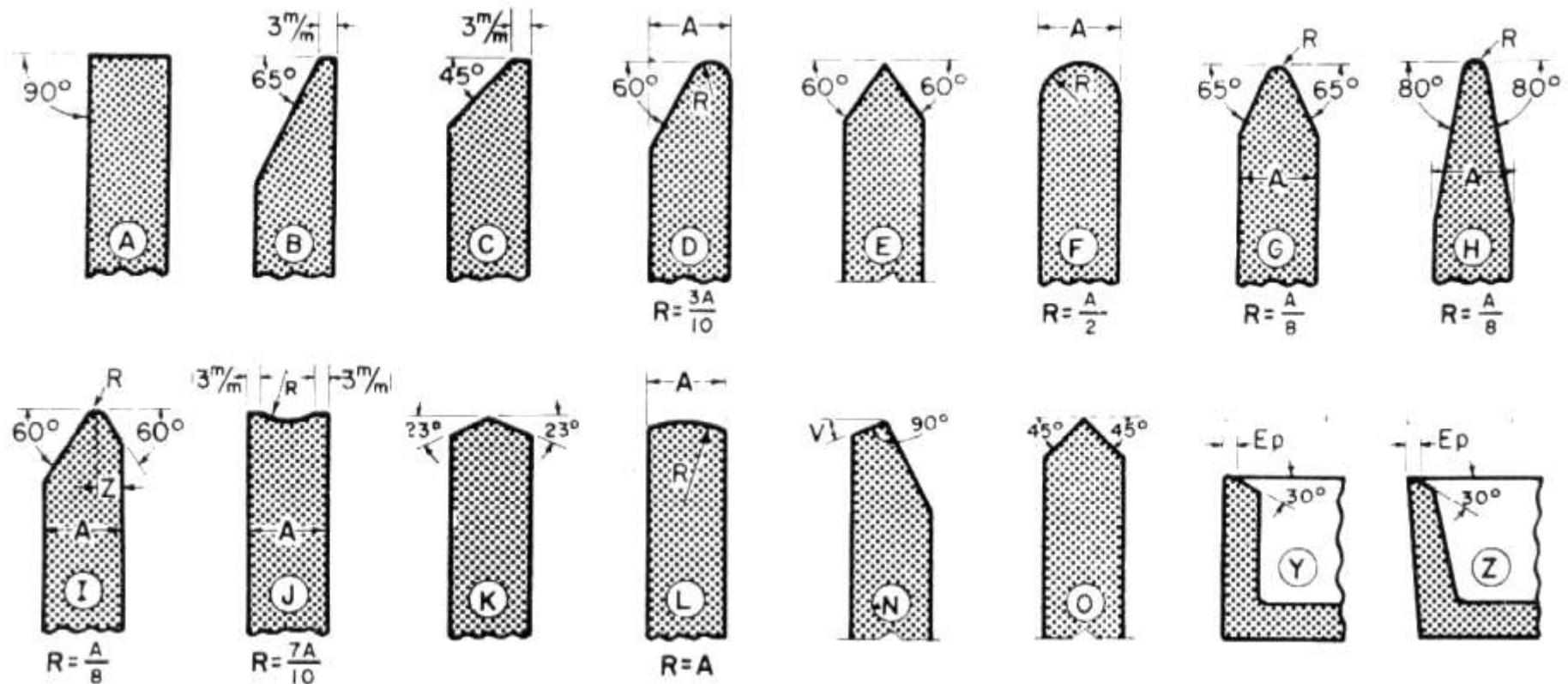


TP 13

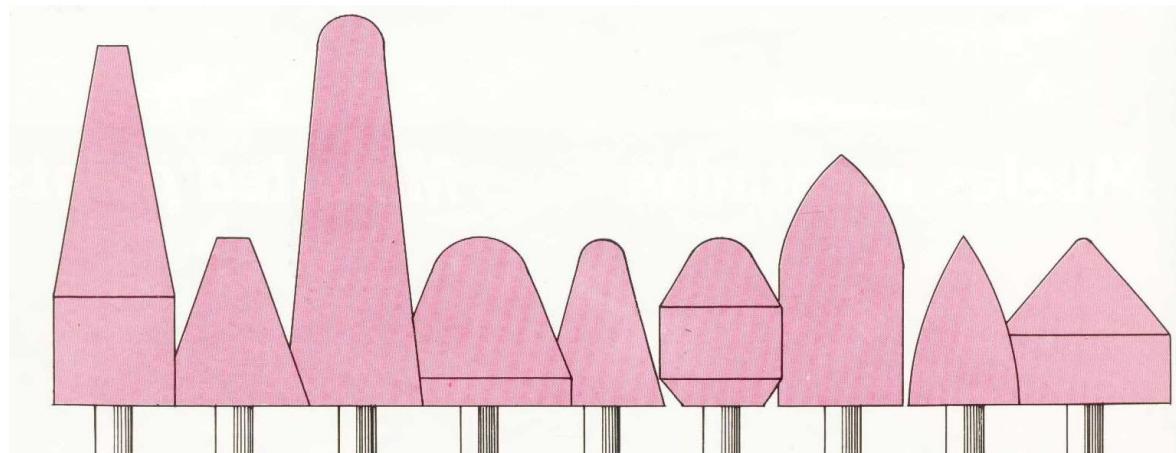
Perfis e Formas Padrão dos Rebolos



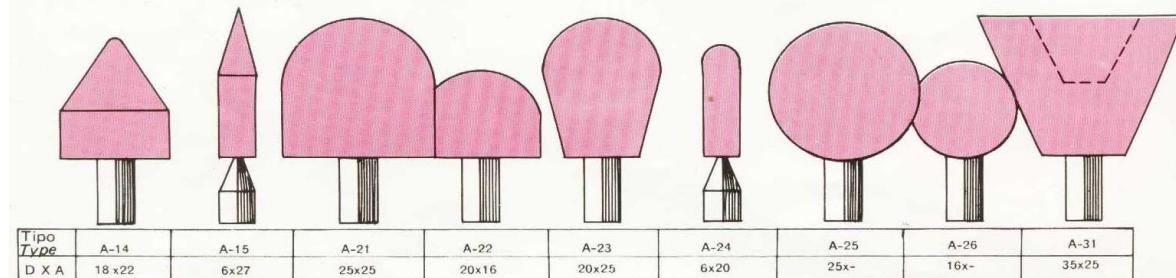
Perfis e Formas Padrão dos Rebolos



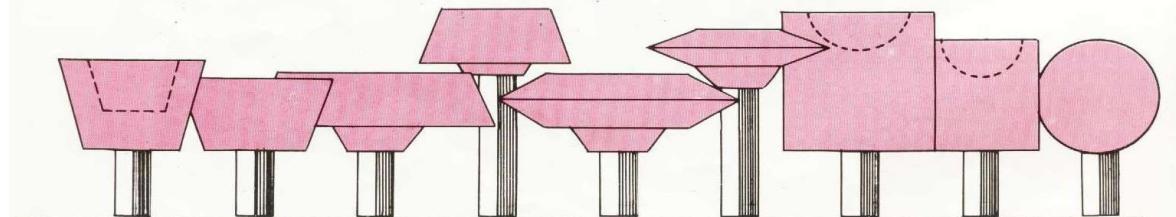
Rebолос Montados



Tipo Type	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-11	A-12	A-13
D X A	20x65	25x30	22x70	30x30	20x30	20x30	20x 45	18x30	30x30



Tipo Type	A-14	A-15	A-21	A-22	A-23	A-24	A-25	A-26	A-31
D X A	18 x22	6x27	25x25	20x16	20x25	6x20	25x-	16x-	35x25



Operações nos Rebolos

- Limpeza – operação que tem objetivo a desobstrução dos poros do rebolo
- Perfilamento – operação que tem objetivo dar forma ao rebolo
- Dressamento – É uma espécie de “reafiação”, que consiste em remover grãos arredondados (rebolo espelhado) ou limpar rebolos “carregados” de cavacos (rebolo “empastado”)
- Afiação – operação que tem objetivo remover o ligante entre os grãos abrasivos, geralmente utilizada após a dressagem em rebolbos com ligantes resinóides

Dressamento

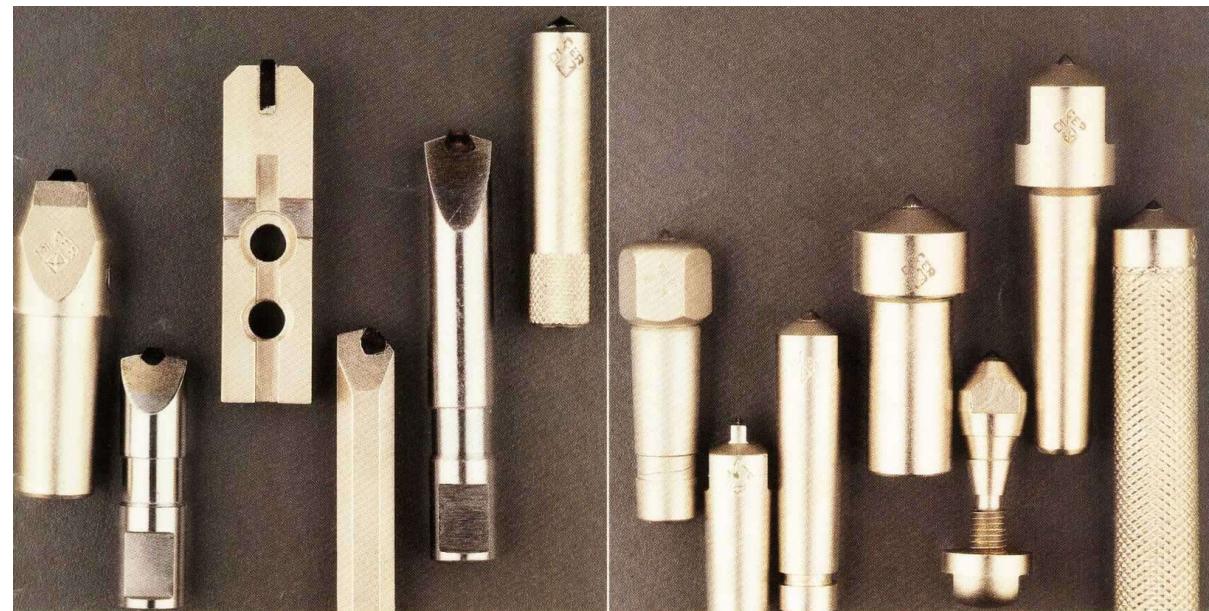


Dressamento

Rebolos recém-fabricados, bem como depois de algum tempo de uso, podem apresentar problemas devido a:

- ⇒ forma indesejada ou com desgaste irregular
 - ⇒ abrasivo com gumes arredondados e desgastados
 - ⇒ poros entre os abrasivos entupidos de cavacos, impedindo o alojamento de novos cavacos e, com isto, dificultando a remoção de material
-

Dressadores



Possíveis Problemas que Podem Ocorrer na Utilização dos Rebolos

PROBLEMAS	CAUSAS
<p><u>DESGASTE EXCESSIVO:</u> → O REBOLO FICA COM FORMA E DIMENSÕES ALTERADAS, NÃO ATENDE MAIS A GEOMETRIA DA PEÇA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • REBOLO MUITO SUAVE; • VELOCIDADE DO REBOLO MUITO BAIXA; • VELOCIDADE DE AVANÇO MUITO GRANDE; • PRESSÃO DE CONTATO EXCESSIVA; • REBOLO MUITO ESTREITO; • DESCONTINUIDADE NA PEÇA (FUROS, RANHURAS, ETC.).
<p><u>“ESPELHAMENTO” DO REBOLO:</u> → FACE DO REBOLO FICA LISA, COM GRÃOS ABRASIVOS ARREDONDADOS SEM GUMES VIVOS O REBOLO NÃO REMOVE MAIS MATERIAL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • REBOLO MUITO DURO; • GRÃO MUITO FINO; • VELOCIDADE EXCESSIVA DO REBOLO; • AVANÇO MUITO PEQUENO.
<p><u>“EMPASTAMENTO” DO REBOLO:</u> → FACE DO REBOLO CARREGADA COM CAVACOS DE MATERIAIS MACIOS: LATÃO, BRONZE, ALUMÍNIO E MESMO AÇO MACIO. REBOLO LISO NÃO CORTA MAIS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ESTRUTURA MUITO DENSA; • REBOLO MUITO DURO; • VELOCIDADE DE AVANÇO PEQUENA.

Cuidados na utilização e montagem dos rebolos

- Os rebolos podem ser causas de acidentes de grande seriedade, devendo portanto ser observados diversos cuidados na sua utilização e montagem nas afiadoras e retificadoras
 - Os rebolos devem ser inspecionados visualmente e testados quanto a existência de trincas
 - Os rebolos devem ser balanceados
 - Os rebolos devem girar concentricamente, sem batimentos
 - Deve-se observar que a velocidade máxima de giro do rebolo, especificada no rótulo, corresponda à velocidade periférica do rebolo com o diâmetro inicial
 - Deve-se proceder a montagem adequada do rebolo
-

Cuidados na proteção das ferramentas abrasivas

A segurança no emprego das ferramentas abrasivas depende, de um modo geral, de três fatores:

- ⇒ condições da ferramenta
- ⇒ condições da máquina
- ⇒ condições de montagem da ferramenta abrasiva

Deve-se observar se o rebolo não sofreu nenhum dano durante seu transporte ou armazenamento. Os pontos principais a serem observados são:

- ⇒ Exame visual para verificar se apresenta danos aparentes
 - ⇒ Prova de som para constatar a ausência de trincas internas
 - ⇒ Localização livre de umidade excessiva ou sem incidência direta da luz solar
 - ⇒ Almoxarifado dotado de armários e prateleiras adequadas para cada tipo de rebolo
-

Fluidos de corte

- ⇒ Tem as mesmas funções que na retificação por rebolos (refrigeração, lavação, não permitir a formação de pós abrasivos nocivos à saúde)
- ⇒ Com a aplicação de fluido de corte têm-se temperaturas de trabalho menores e produção de cavacos menos espessos. Em vista disso, a qualidade da superfície usinada é melhor, e a vida da ferramenta é maior do que na remoção a seco

Fim - Aula 22