

## Aula 11

# **Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida**

Prof. Dr. Eng. Rodrigo Lima Stoeterau

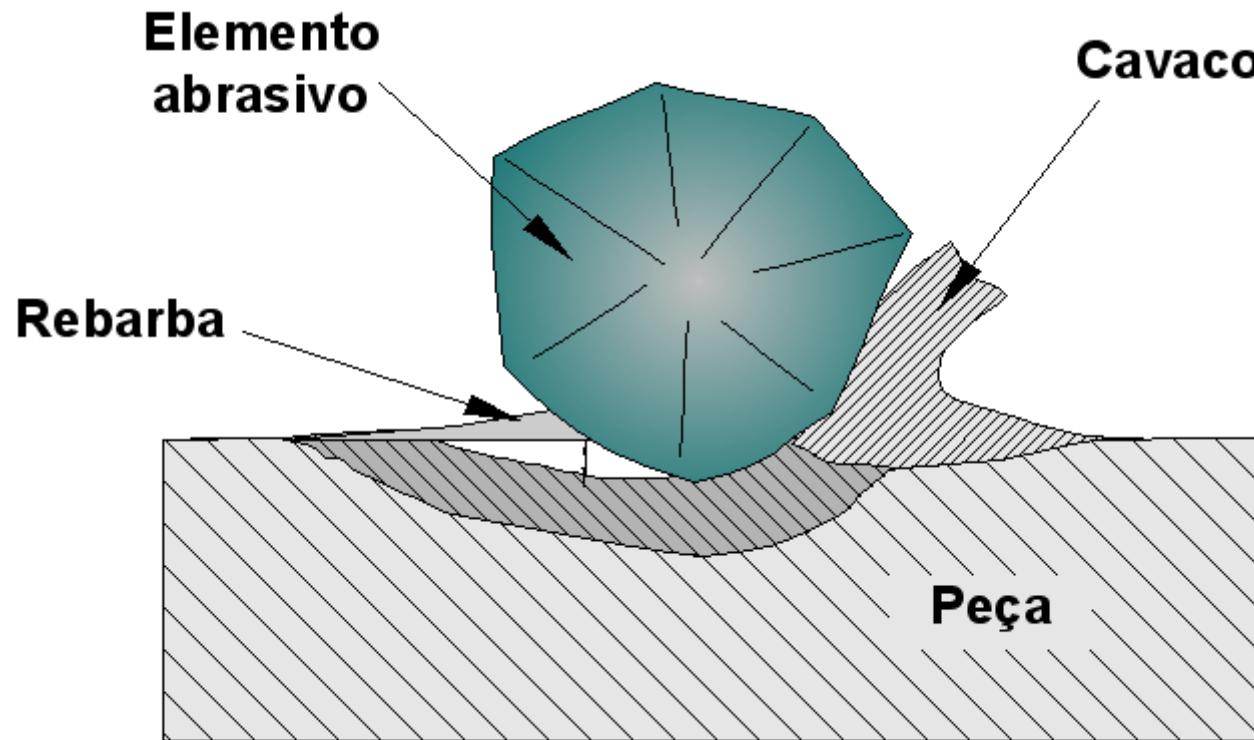
---



## •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**

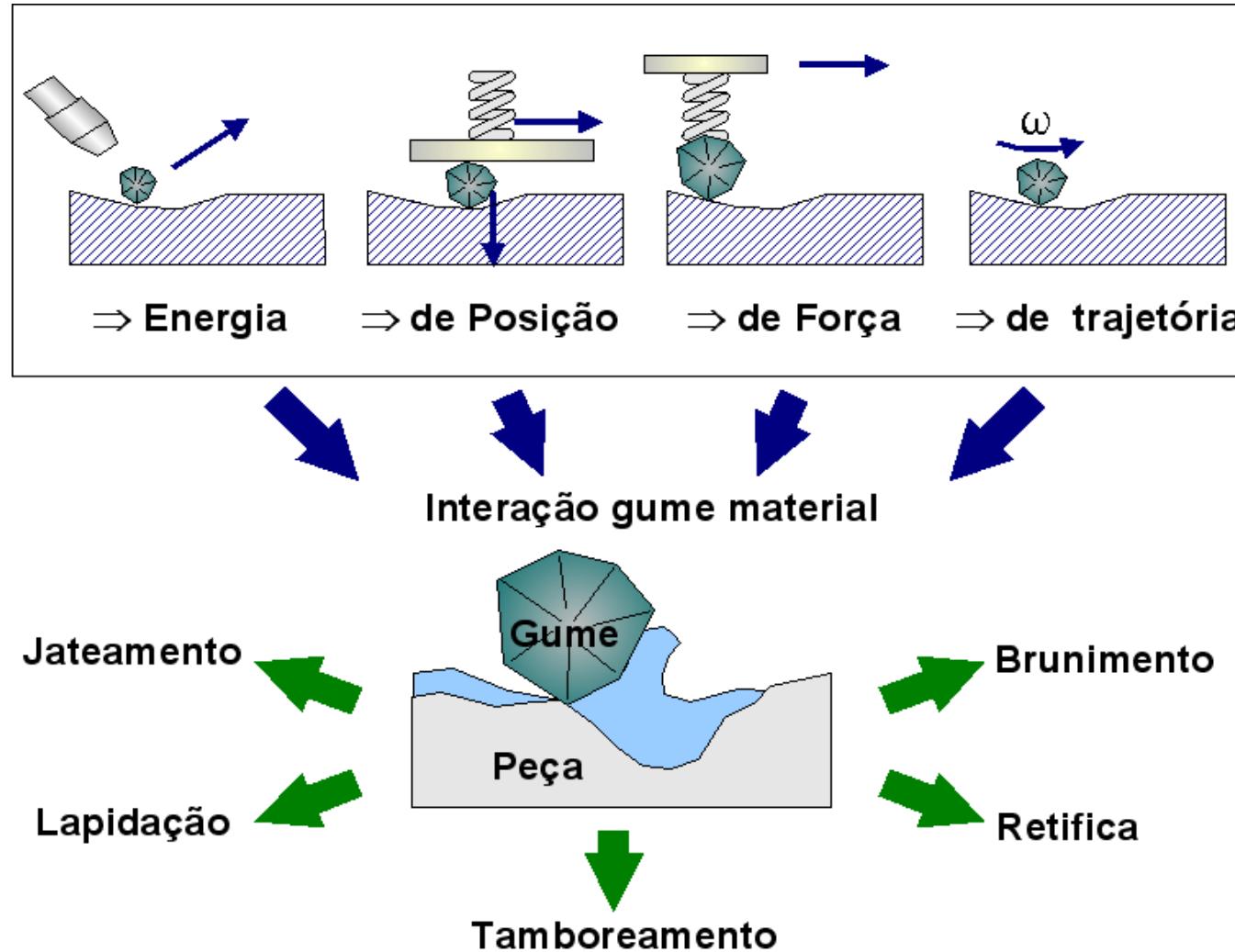
### **Aplicação**

→ 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

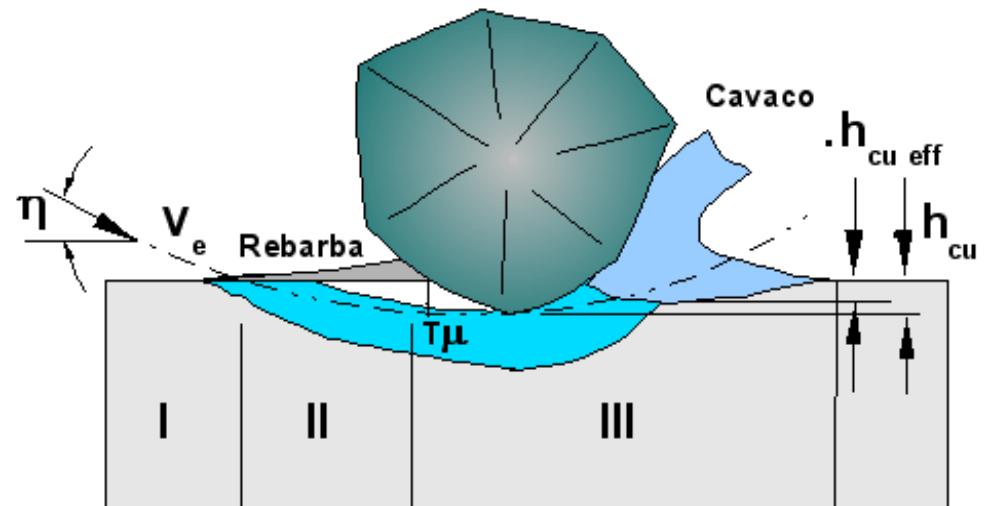


# Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

## 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

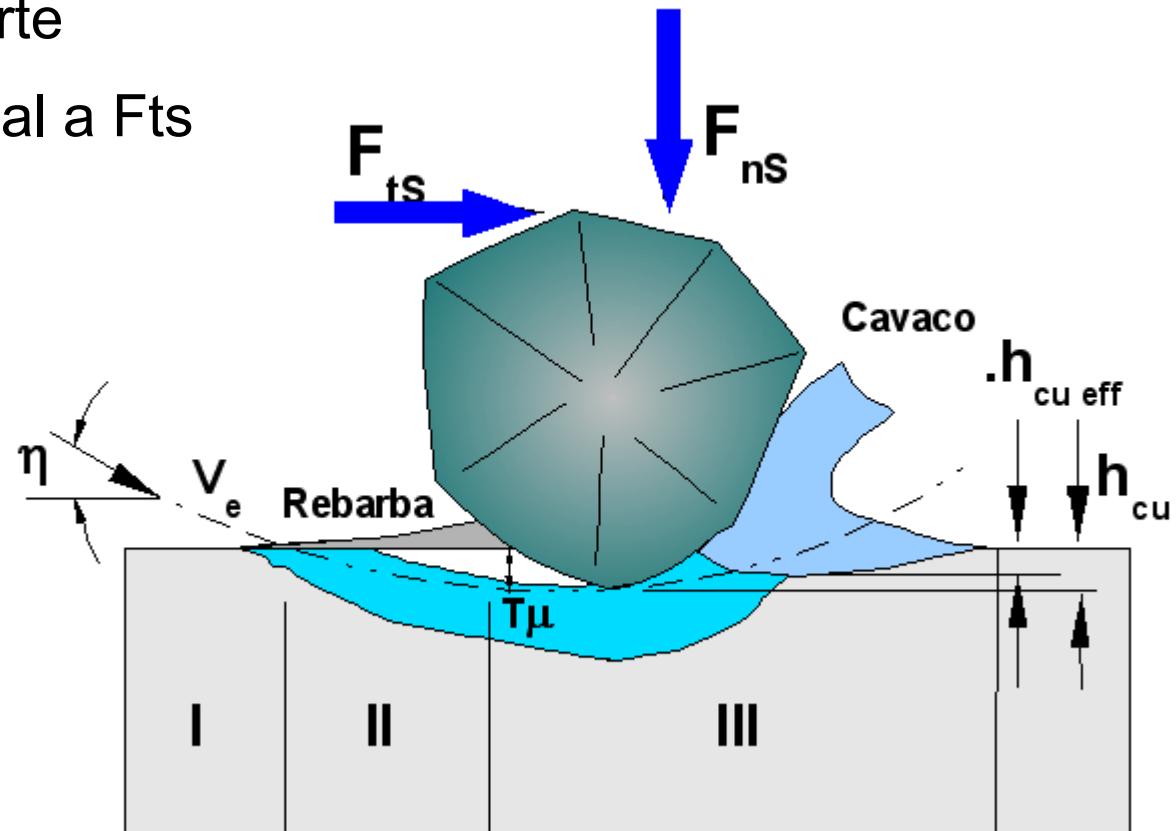


# Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida

## 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
- Brunitamento
- Lapidação
- Lixamento
- Tamboreamento
- Jateamento
- Outros

•

## 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

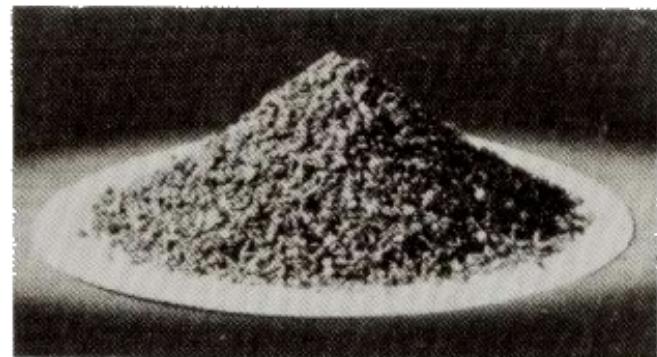
## Características

- 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

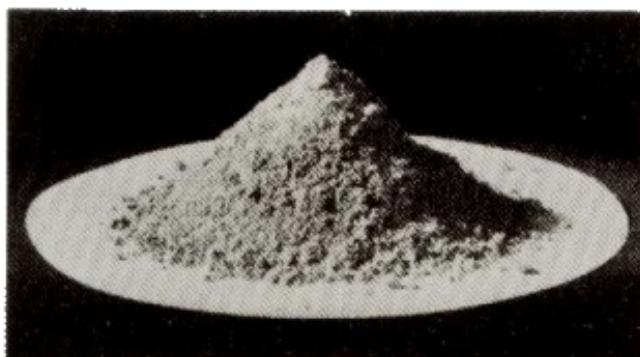
## Características

- ⇒ 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



Grãos abrasivos

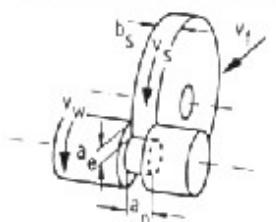
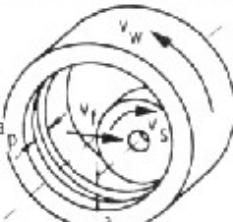
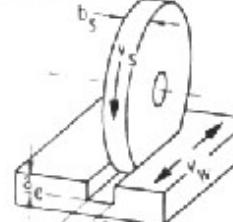
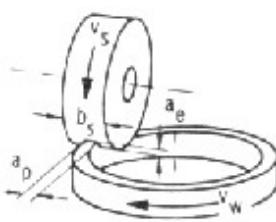
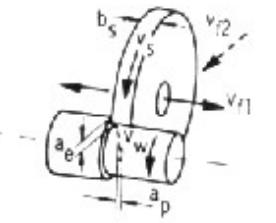
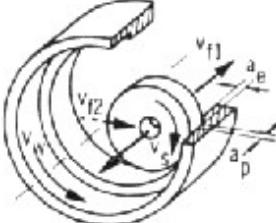
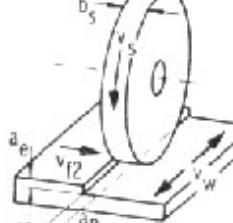
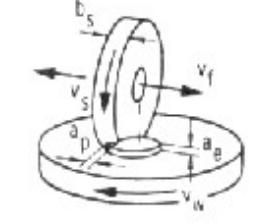
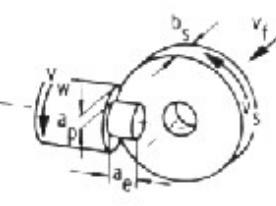
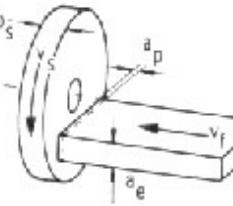
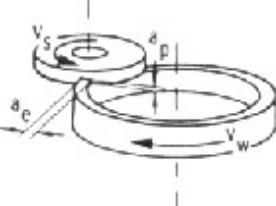
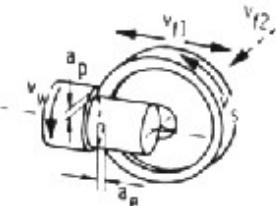
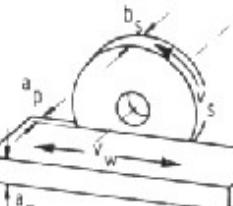
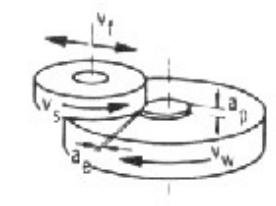


Ligas o aglomerantes

### 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

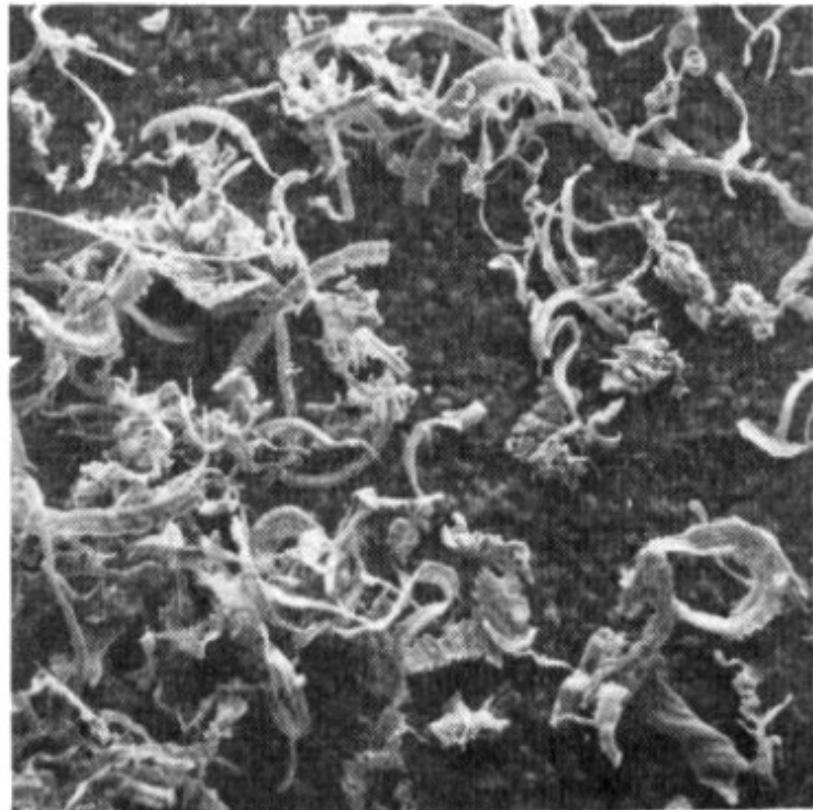


25  $\mu\text{m}$



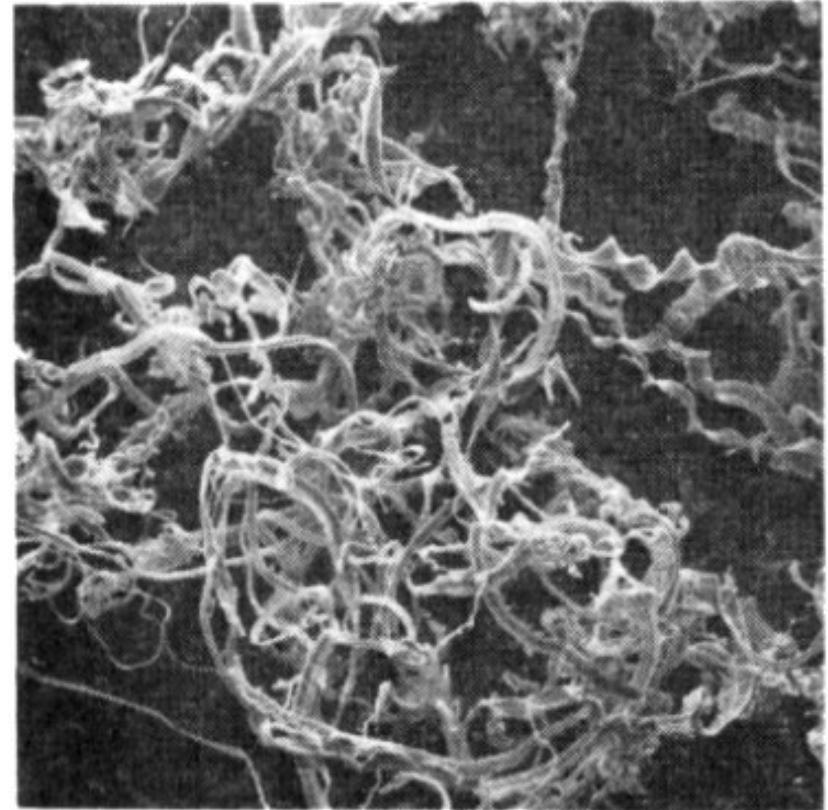
10  $\mu\text{m}$

## Tipos de Cavacos



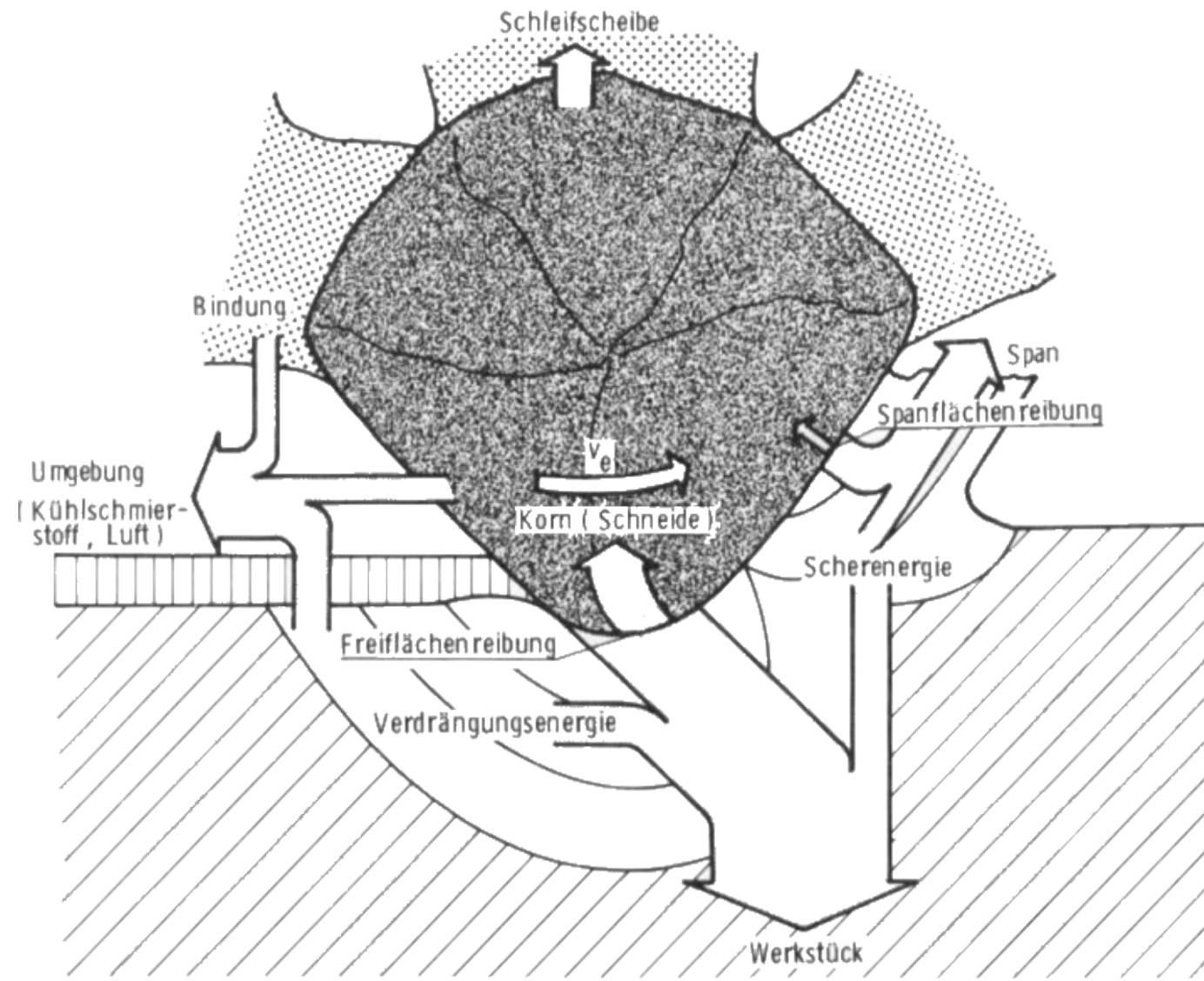
100  $\mu\text{m}$

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



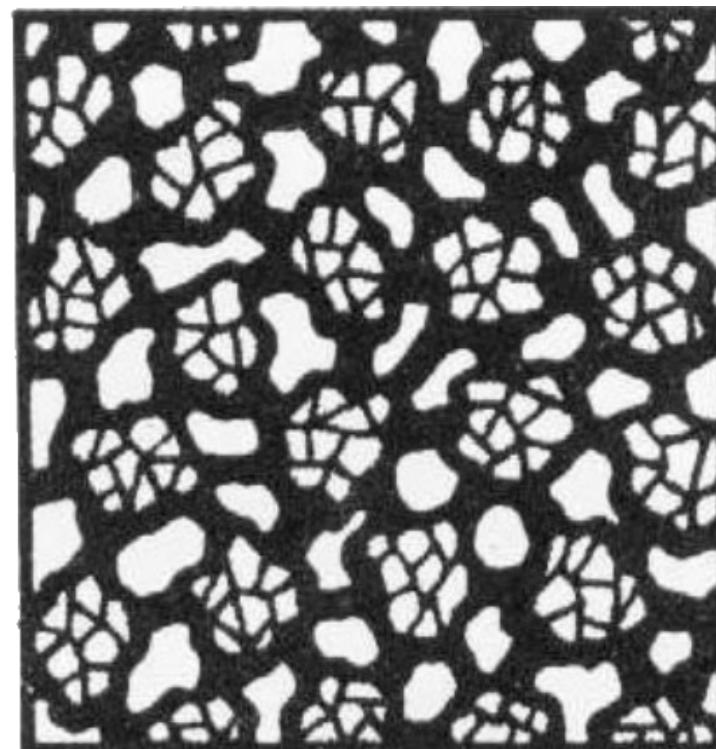
$a = 64 \mu\text{m}$  ;  $v_t = 31,25 \text{ mm/s}$

## Transferência de Calor no Grão



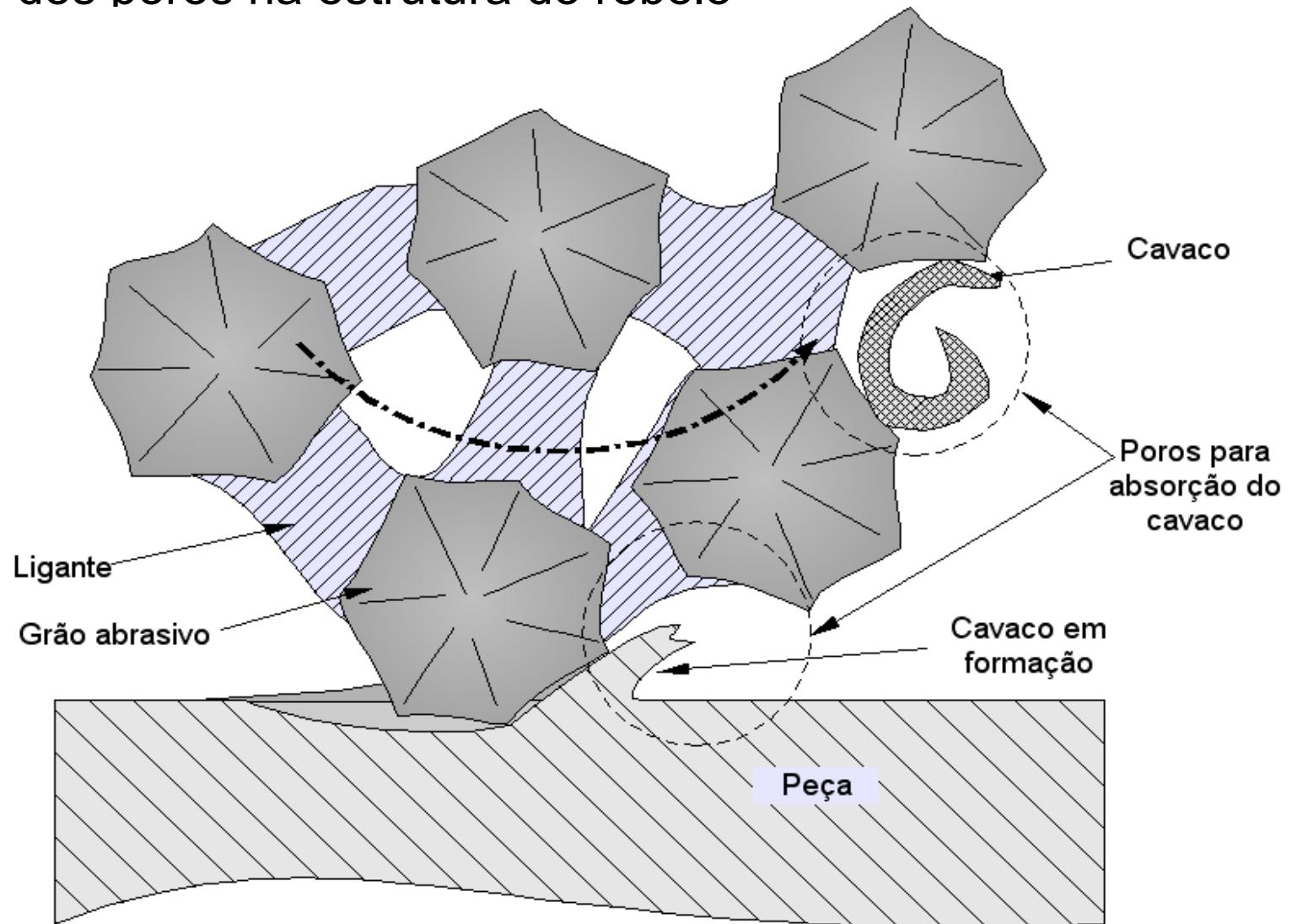
## Estrutura

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



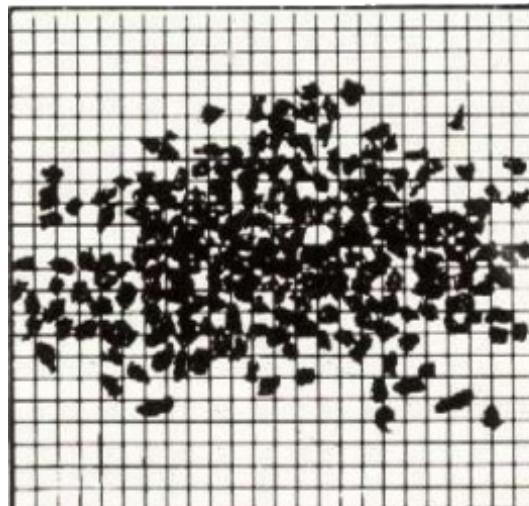
## Estrutura

- função dos poros na estrutura do rebolo

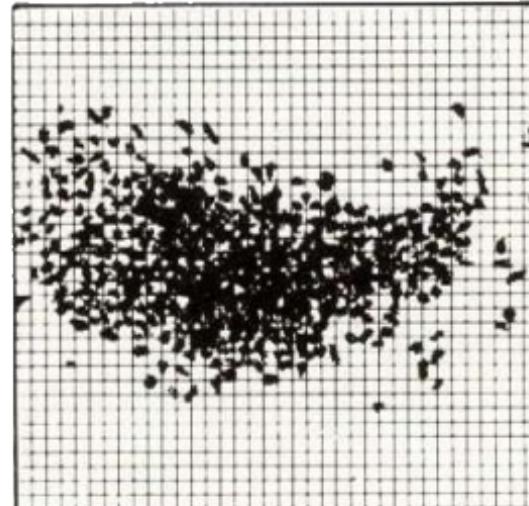


## Tamanho de Grão

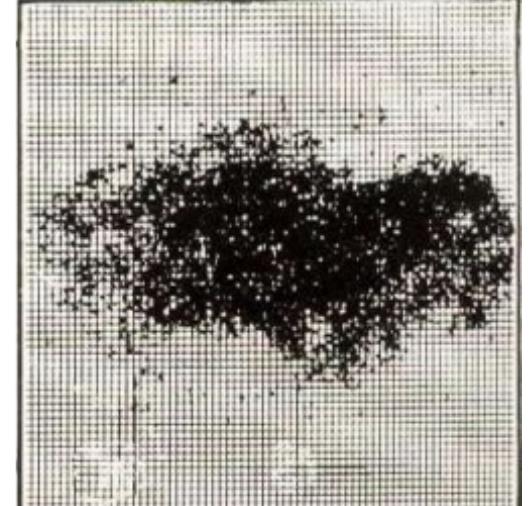
- O rebolo vem indicado por um número que significa o tamanho do grão, classificado em uma peneira (polegadas lineares).
- Quanto mais fino é o grão, maior é seu número na escala de granulometria
- Os grãos grandes são empregados para trabalhos de desbaste, os finos para acabamentos



Grano nº 16    *Grain nº 16*



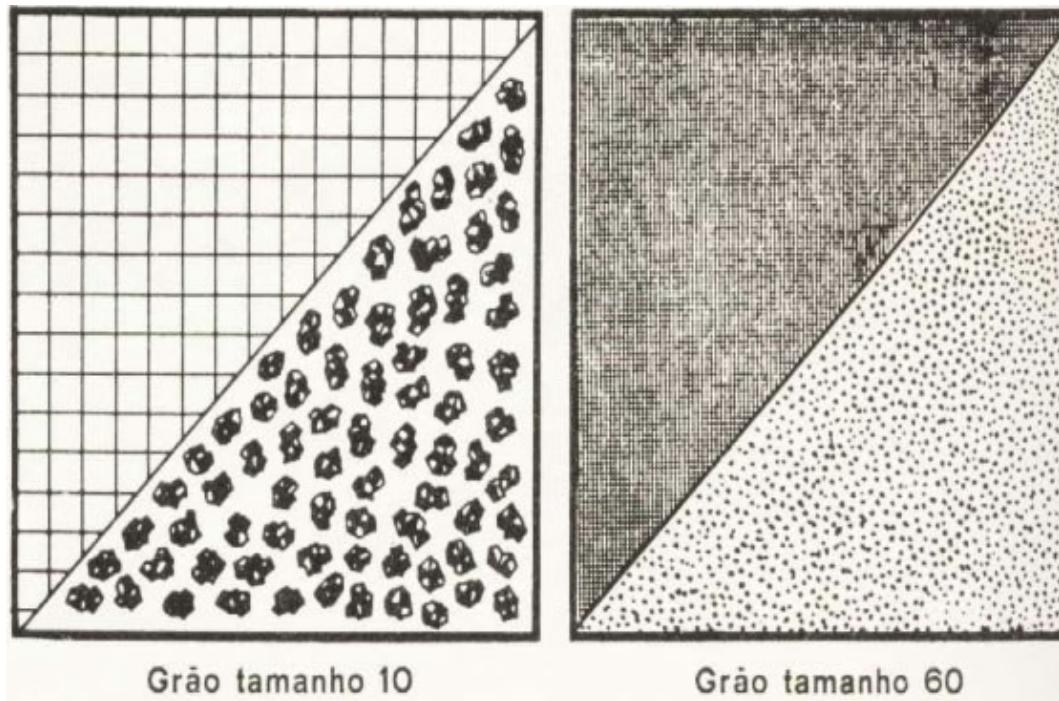
Grano nº 24    *Grain nº 24*



Grano nº 46    *Grain nº 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)



## 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

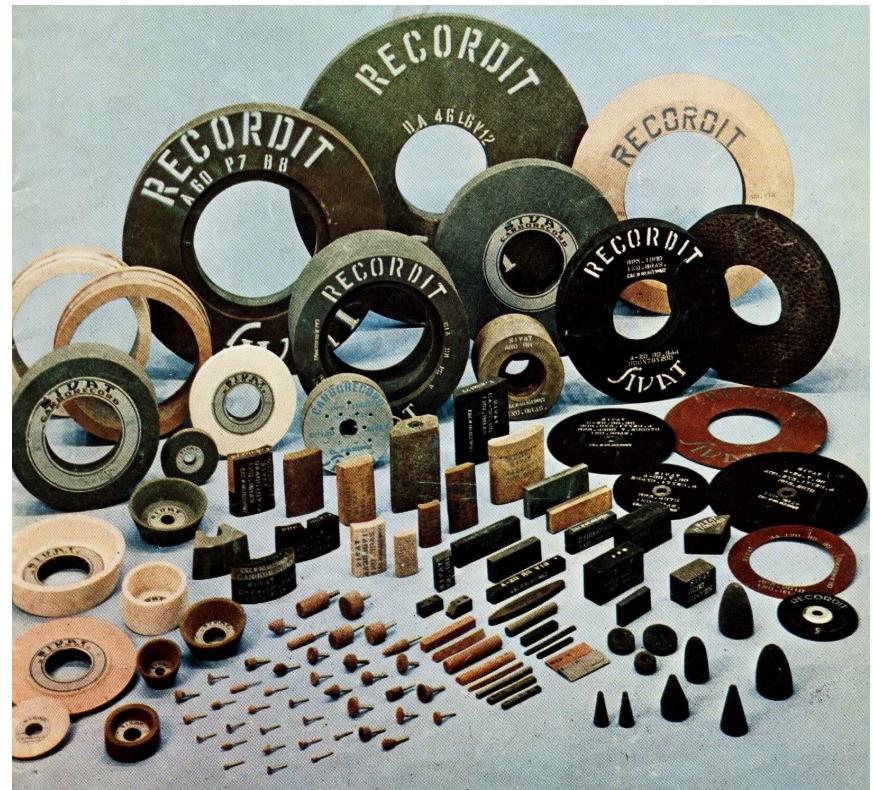
- constituídos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- quebra arredondada
- poucos gumes afiados

### ⇒ 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- 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

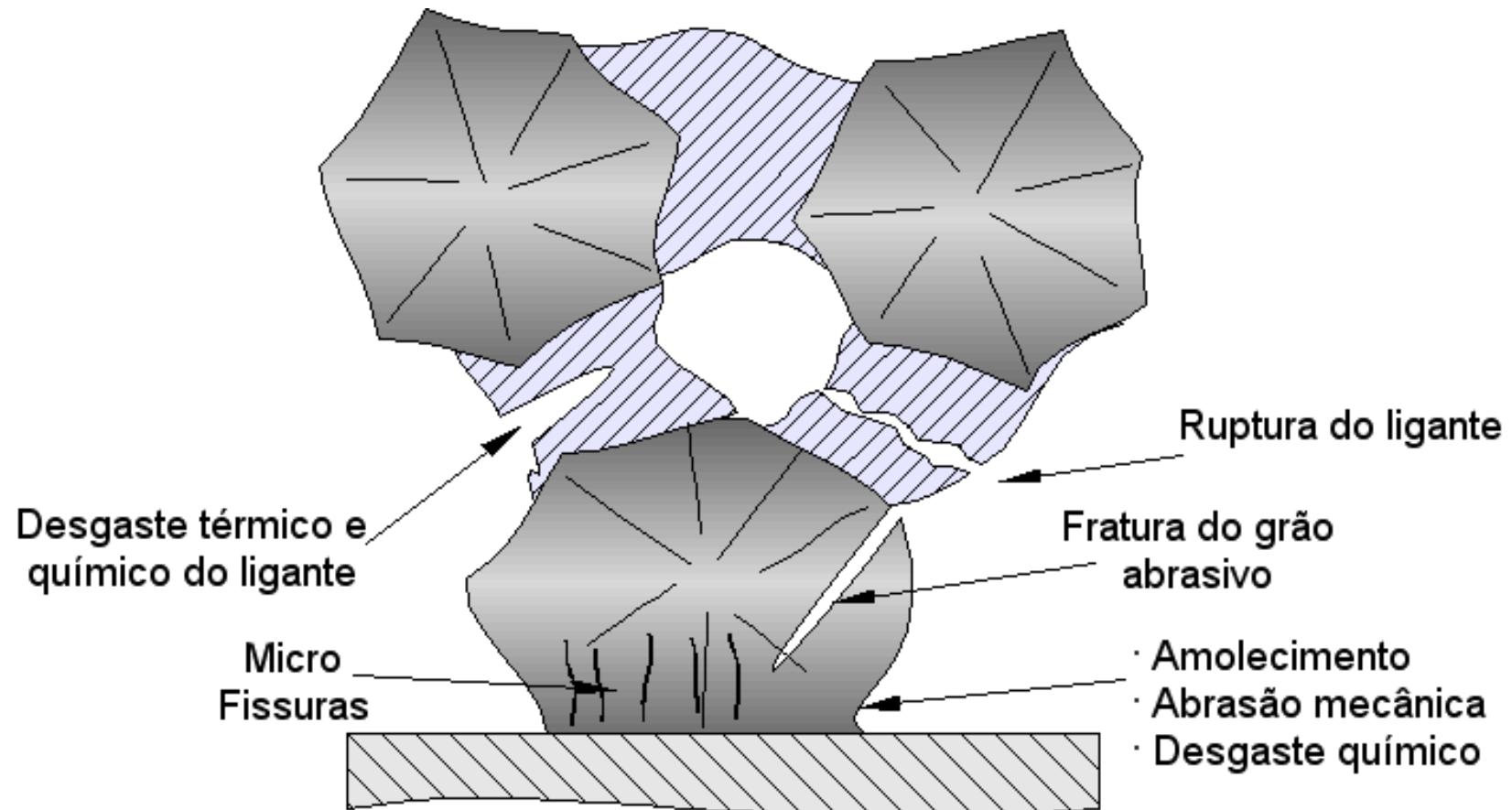
- composto por SiC
- obtido por fundição de areia de quartzo
- tem cor verde e preta
- conforme o grau de impurezas
- dureza elevada
- boas características térmicas
- estabilidade química elevada
- para ferro fundido cinzento, ferro fundido coquilhado, não-ferrosos e não-metálicos

### ⇒ Nitreto de boro cúbico (CBN)

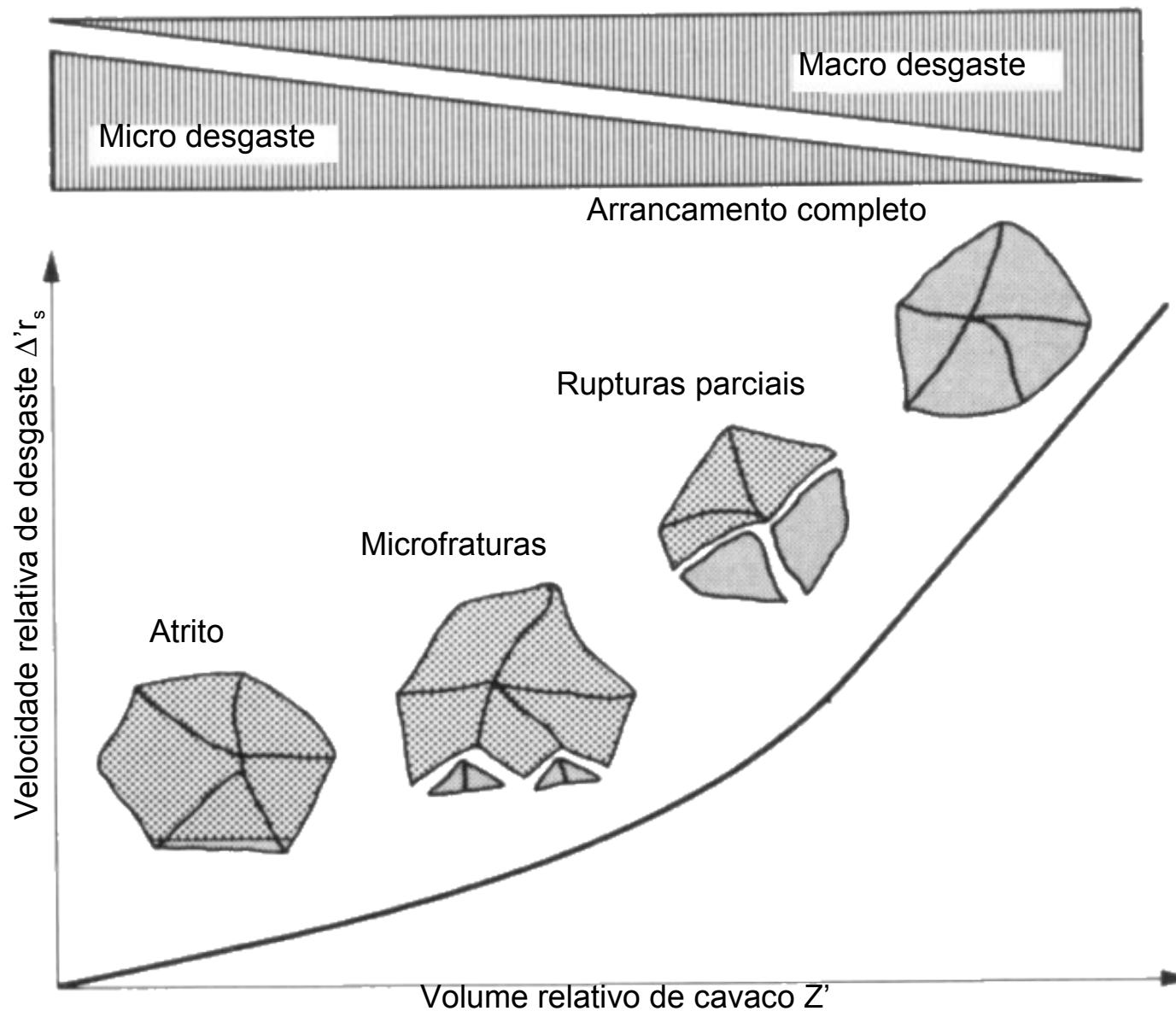
- material abrasivo mais recente em uso
- dureza apenas menor que a do diamante
- tem elevada resistência à temperatura
- para materiais duros, aço-rápido e aços liga temperados

## Desgaste em Ferramentas de Geometria Não Definida

- Micro-desgaste

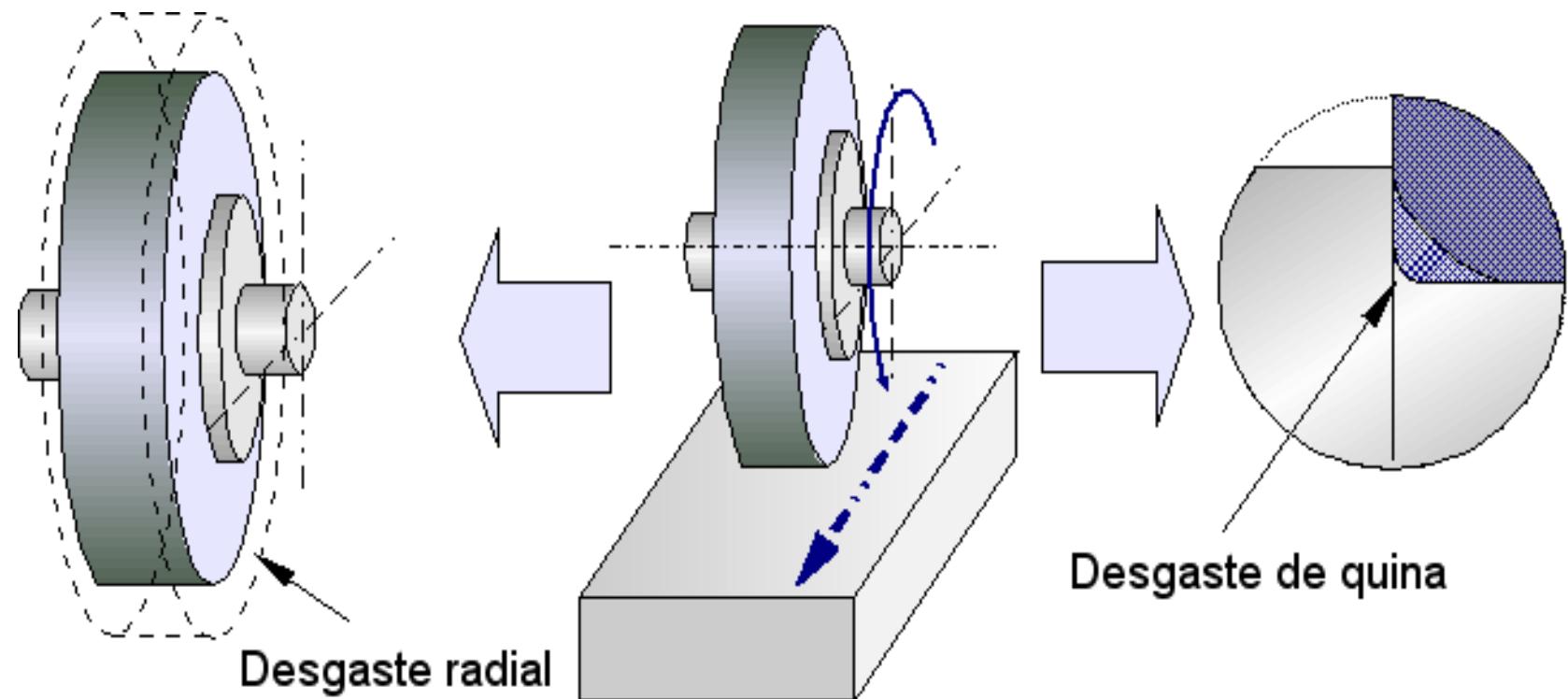


## Quebra dos Grãos em Função da Velocidade



## Desgaste em ferramentas de retificação

- Macro-desgaste



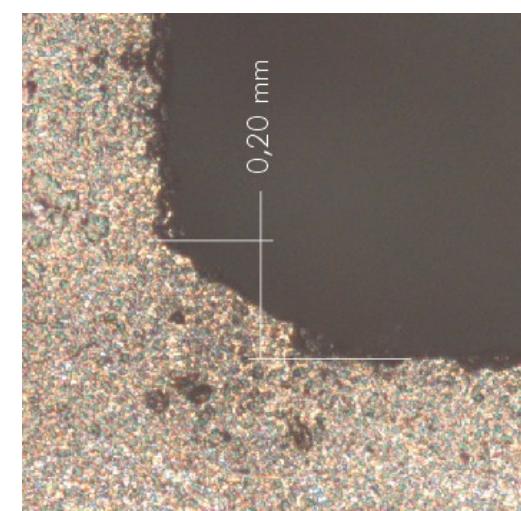
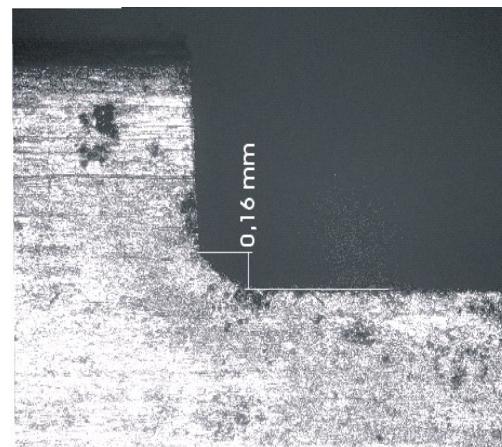
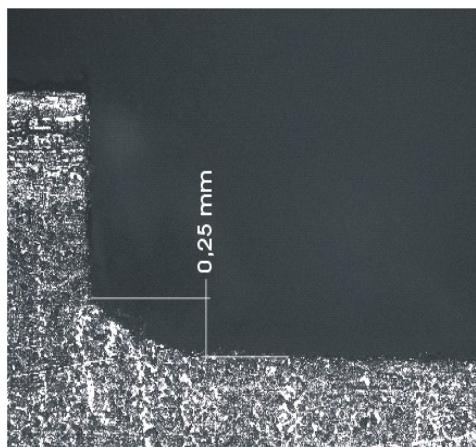
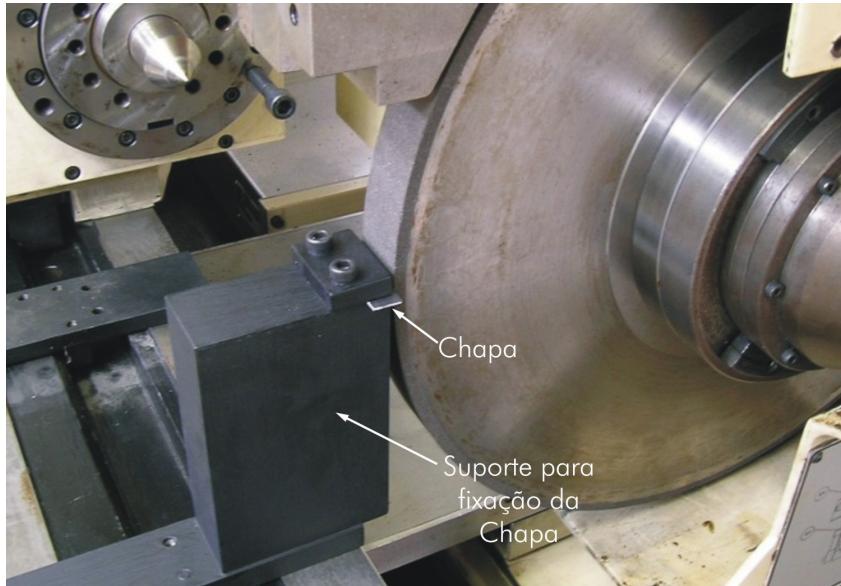
## Desgaste em ferramentas de retificação

- 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



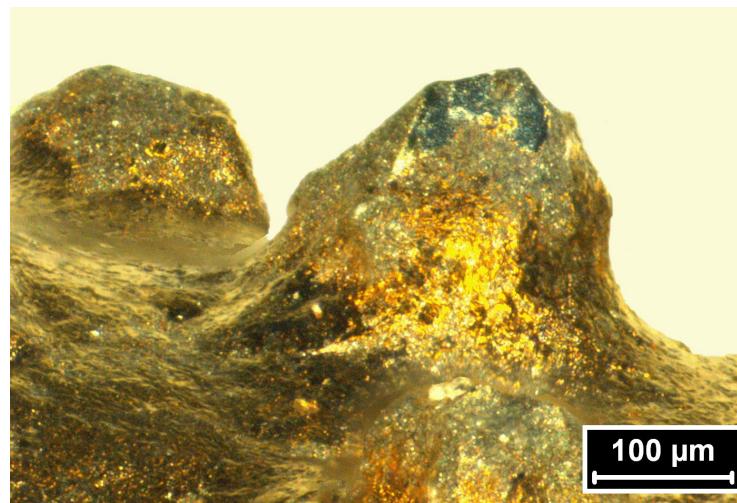
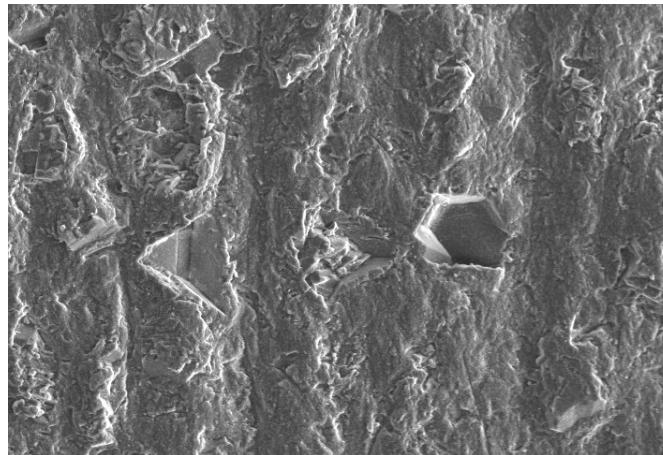
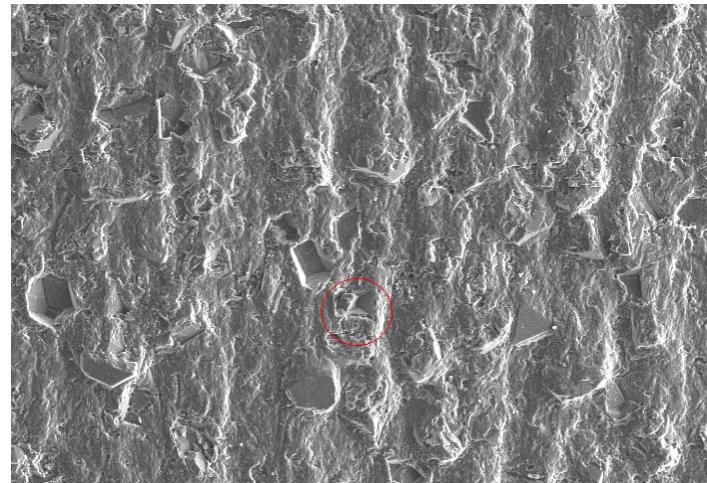
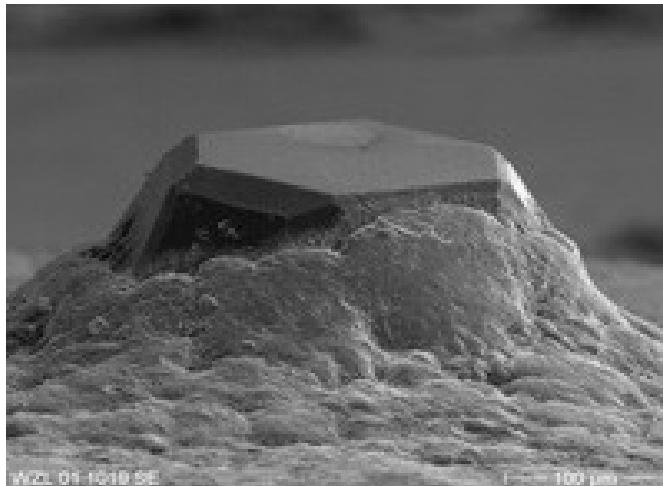
# Desgaste em Ferramentas de Geometria Não Definida

- Desgaste de quina



## Desgaste em Ferramentas de Geometria Não Definida

- Desgaste de rebolos



## 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

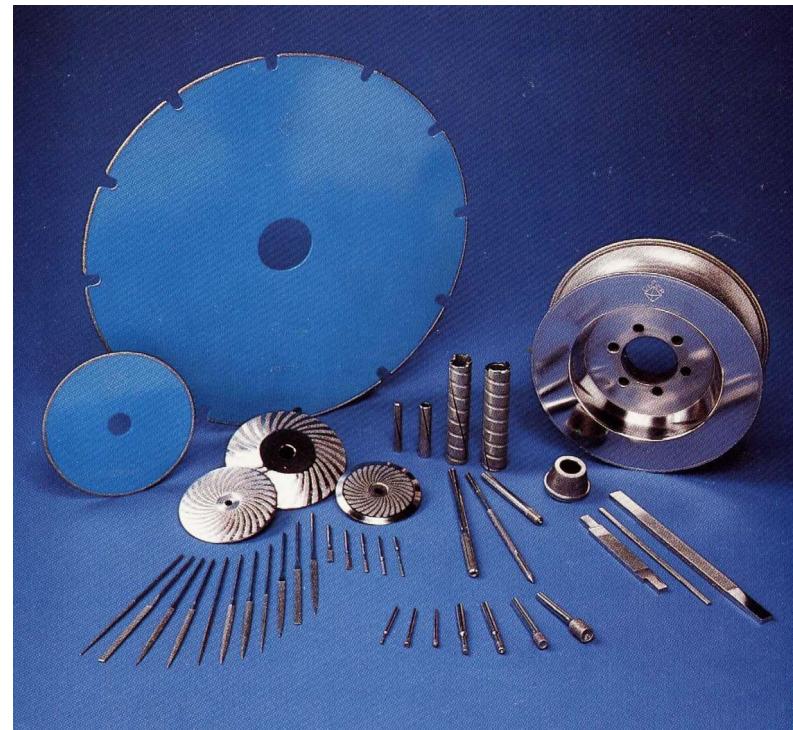
- feito de resíduos de couro
- usados em lixas
- susceptíveis à temperatura

## ⇒ Lacas

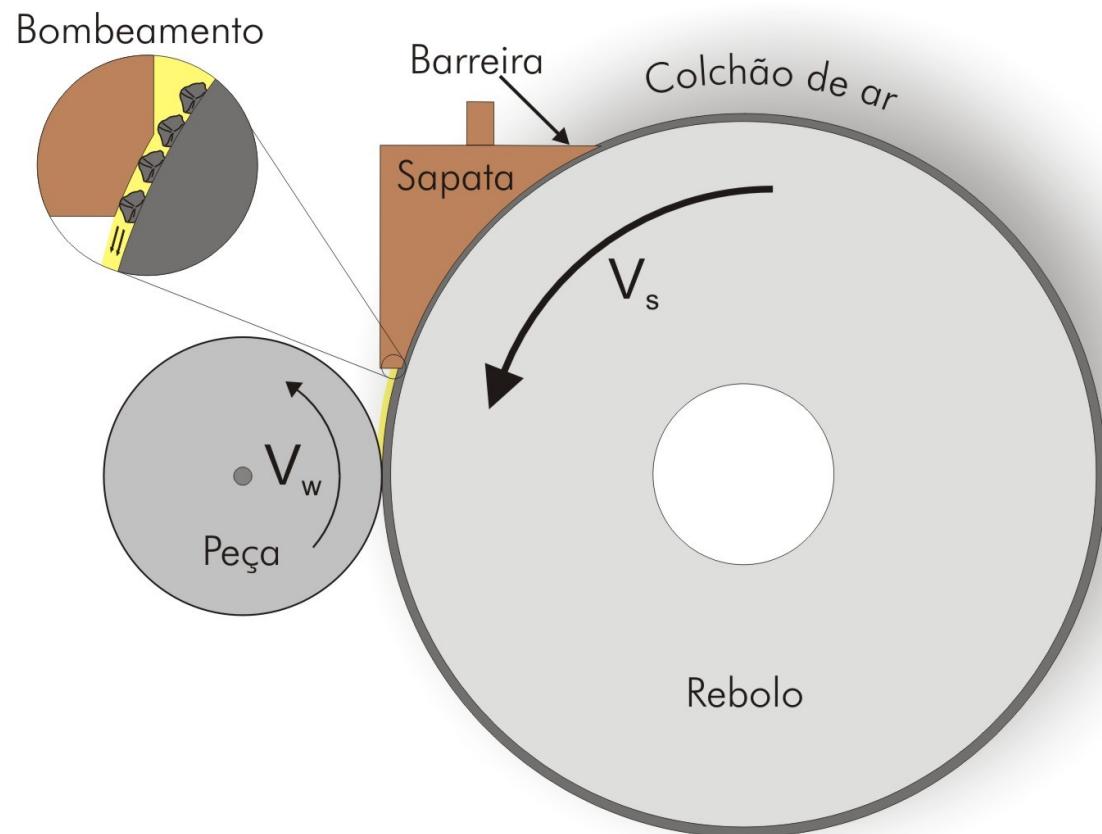
- solúveis em álcool e álcalis
- pouco usados

## ⇒ 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.)

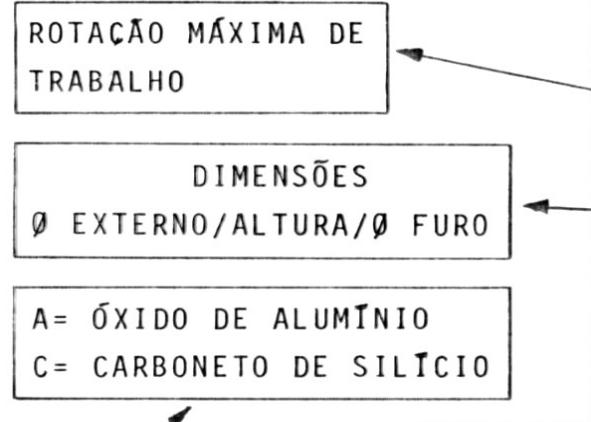


- Meios Lubri-Refrigerantes - Retificação
- Aplicação de fluido



# 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 ALUMÍNIO	A REBOLO CINZA-OPACO AZULADO Uso: em Ferro e Aço (Rebolo Comum)	USO GERAL	desbaste muito grosso	A ou C	14	R	5	B (*)
	A A REBOLO BRANCO OU VERMELHO FERRUGEM Uso: Aços temperados, dureza forte.		desbaste grosso	A ou C	24	Q	6	B ou V
	D A REBOLO CINZA-ESBRANQUIÇADO (pouco usado) Uso: Aços temperados de dureza branda.		desbaste leve	A ou C	36	Q	6	B ou V
	R A REBOLO ROSADO Uso: Afiação e usinagem de ferramentas especiais de aço rápido e aços duros.		semi-acabamento	A ou C	46	O	6	B ou V
	R B REBOLO COR MORANGO Uso: Afiação de precisão, onde o rebolo deve manter o perfil (broxas, filetes, estriadas etc.)		acabamento e afiação	A	60	N	6	V (**)
			acabamento fino	A	80	M	6	V
CARBURETO DE SILÍCIO	G C REBOLO VERDE Uso: metal duro (Wídia)	FERRAMENTARIA	desbaste	DA	46	J ou K	6	V
	C REBOLO CINZA-CHUMBO BRILHANTE Uso: Ferro fundido, materiais não ferrosos e não metálicos (latão, bronze mármores etc.)		acabamento e afiação	AA	60	J ou K	6	V
			acabamento fino	RA	80	J ou K	6	V
	B (*) liga resinóide V (**) liga vitrificada			RB	80	J ou K	6	V
	NB – Na liga B (resinóide) predomina a cor marrom no rebolo.		desbaste	GC	80	J ou K	6	V
			acabamento	Widia	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

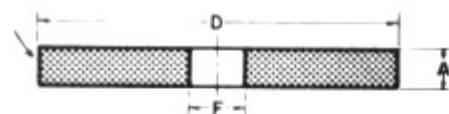
### **Estrutura**

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

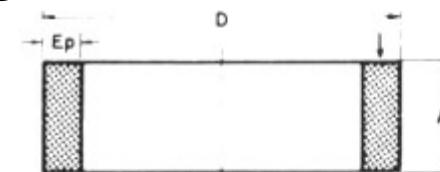
### **Ligante**

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

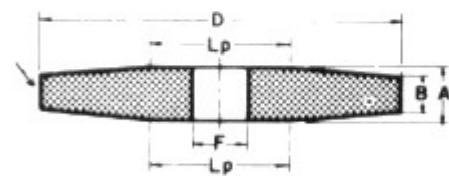
# Perfis e Formas Padrão dos Rebolos



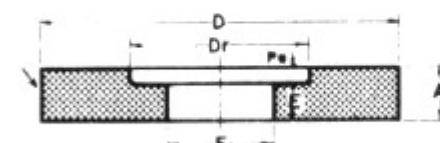
TP 1



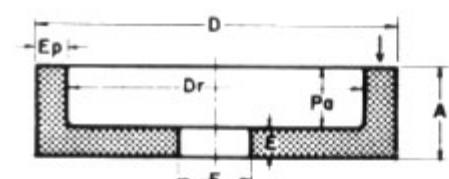
TP 2



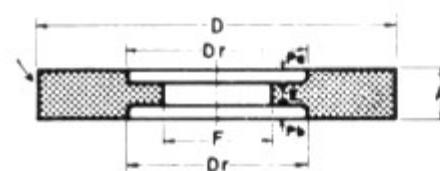
TP 4



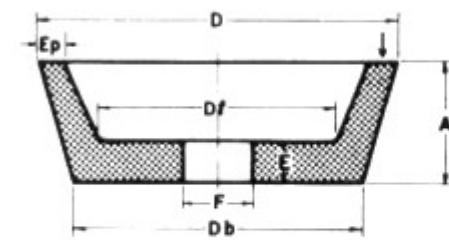
TP 5



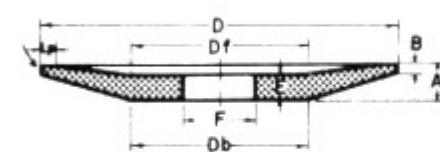
TP 6



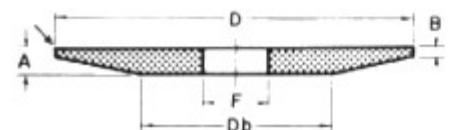
TP 7



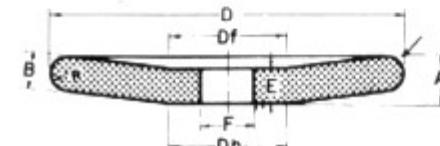
TP 11



TP 12

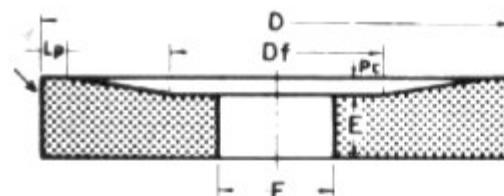


TP 9

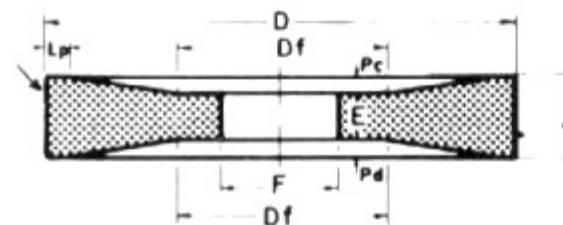


TP 13

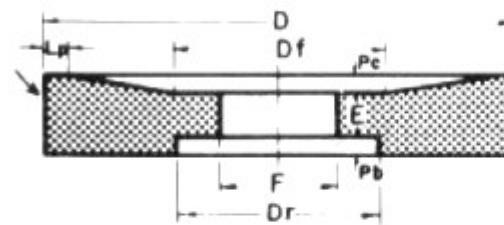
## Perfis e Formas Padrão dos Rebolos



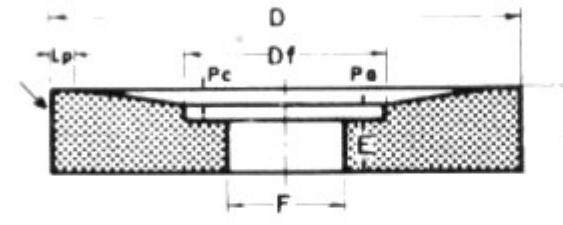
TP 20



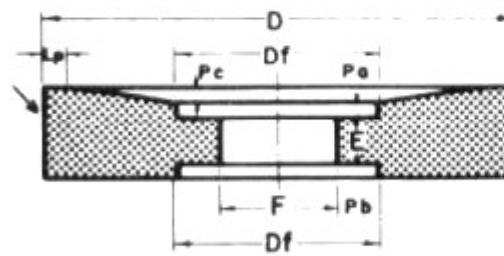
TP 21



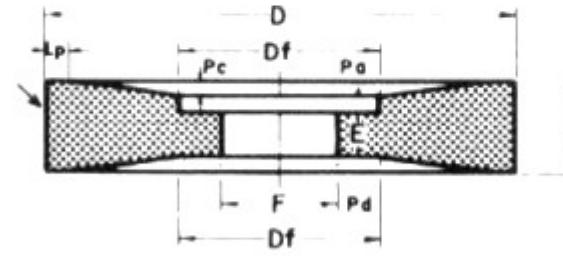
TP 22



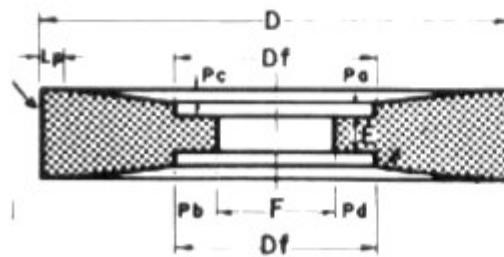
TP 23



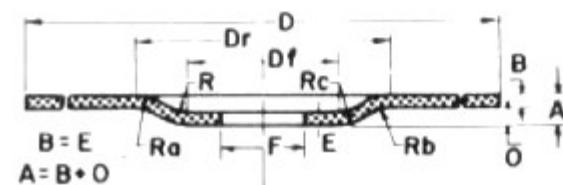
TP 24



TP 25

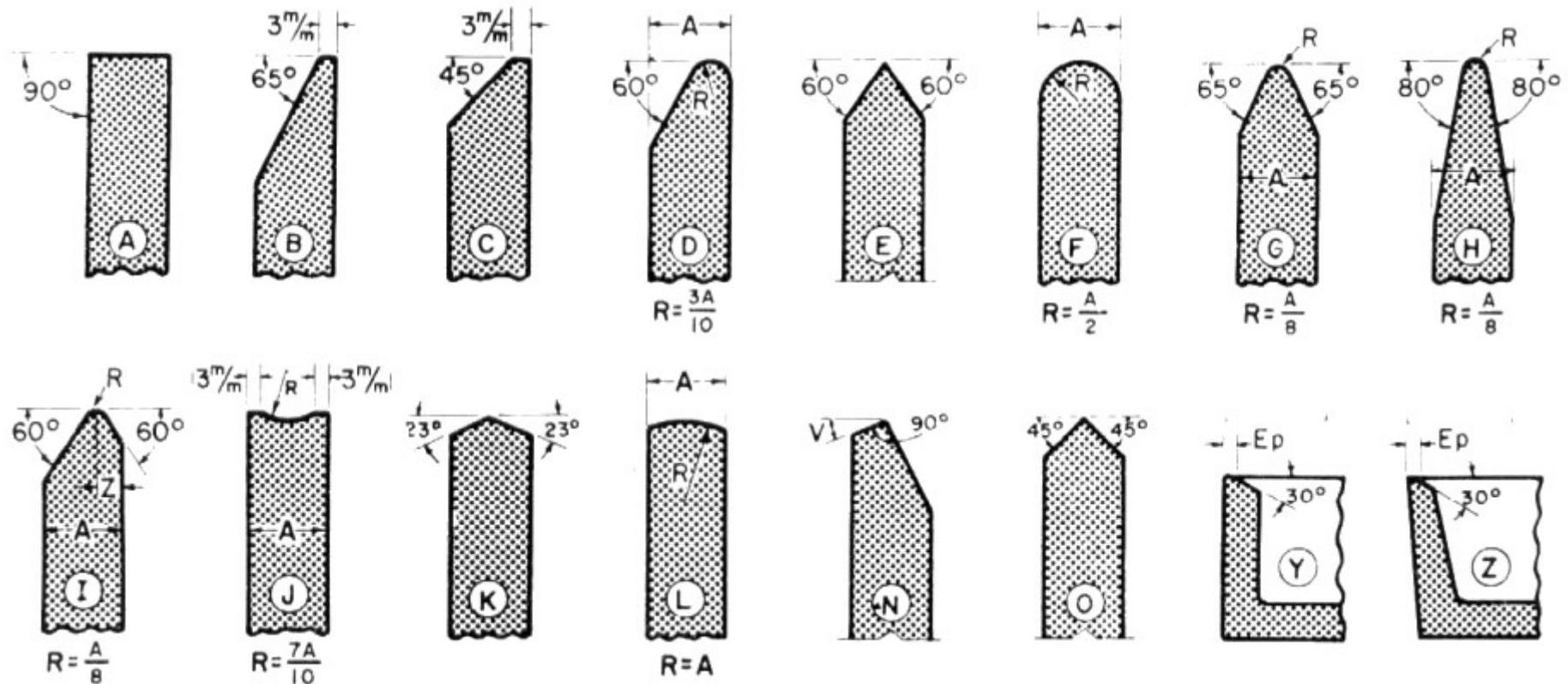


TP 26



TP 27

# Perfis e Formas Padrão dos Rebolos



## **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 (rebole espelhado) ou limpar rebolos “carregados” de cavacos (rebole “empastado”)
- Afiação – operação que tem objetivo remover o ligante entre os grãos abrasivos, geralmente utilizada após a dressagem em rebolbos com ligantes resinóides

## Dressamento

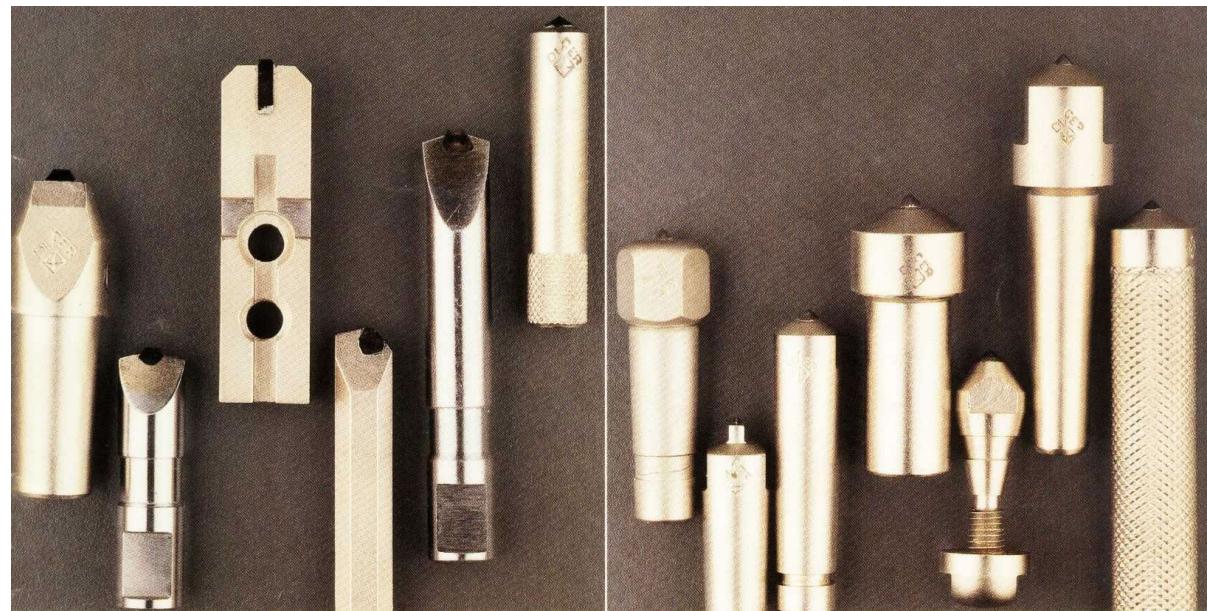


## Dressamento

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><b><u>DESGASTE EXCESSIVO:</u></b></p> <p>→ O REBOLO FICA COM FORMA E DIMENSÕES ALTERADAS, NÃO ATENDE MAIS A GEOMETRIA DA PEÇA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• REBOLO MUITO SUAVE;</li> <li>• VELOCIDADE DO REBOLO MUITO BAIXA;</li> <li>• VELOCIDADE DE AVANÇO MUITO GRANDE;</li> <li>• PRESSÃO DE CONTATO EXCESSIVA;</li> <li>• REBOLO MUITO ESTREITO;</li> <li>• DESCONTINUIDADE NA PEÇA (FUROS, RANHURAS, ETC.).</li> </ul>
<p><b><u>“ESPELHAMENTO” DO REBOLO:</u></b></p> <p>→ 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"> <li>• REBOLO MUITO DURO;</li> <li>• GRÃO MUITO FINO;</li> <li>• VELOCIDADE EXCESSIVA DO REBOLO;</li> <li>• AVANÇO MUITO PEQUENO.</li> </ul>
<p><b><u>“EMPASTAMENTO” DO REBOLO:</u></b></p> <p>→ 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"> <li>• ESTRUTURA MUITO DENSA;</li> <li>• REBOLO MUITO DURO;</li> <li>• VELOCIDADE DE AVANÇO PEQUENA.</li> </ul>

## 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

# Brunimento



## Generalidades

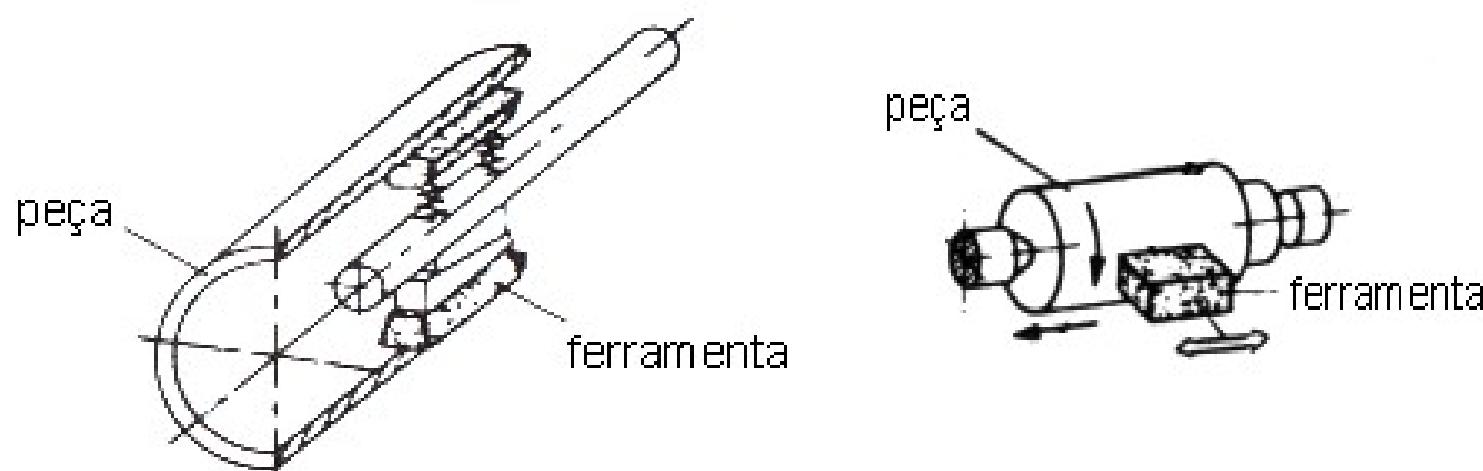
- Processo de fabricação com remoção de cavaco a partir de ferramenta abrasiva (em contato com a peça)
- As ferramentas são constituídas de grãos ligados para a melhoria da forma, medida e superfície da peça usinada
- É normalmente empregado após um processo de fabricação fino anterior



## Divisão do processo

### Brunimento de curso longo

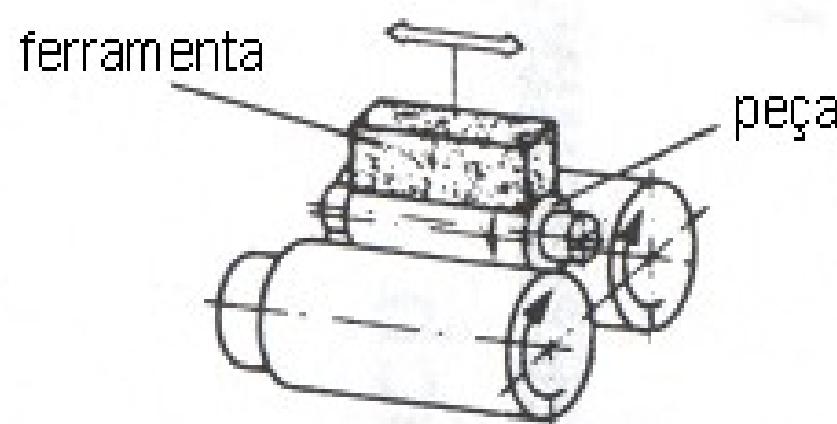
- ⇒ Aplicações: furos em bielas, camisas de cilindro, tambores de freios etc.
- ⇒ Vantagens: curto tempo de fabricação, alta taxa de remoção, possibilidade de correção de erros de circularidade, forma e medida
- ⇒ Desvantagens: não é possível corrigir um erro de posição, aplicação restrita



## Divisão do processo

### Brunimento *Centerless* de mergulho

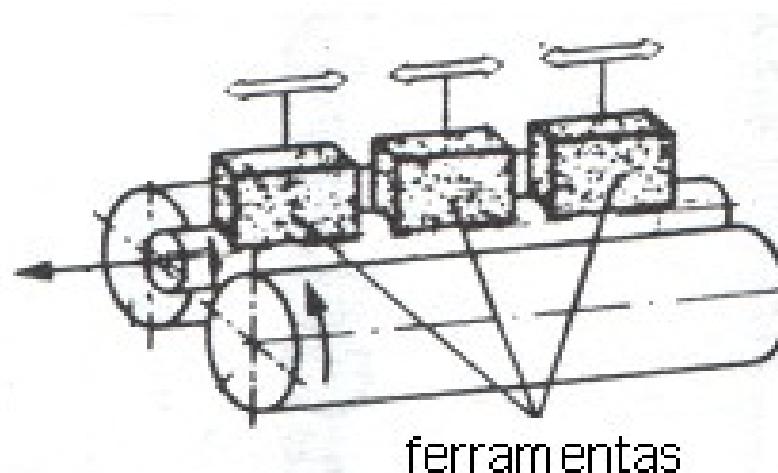
- ⇒ Aplicações: eixos de rotores, eixos de uma forma geral, comando de válvulas etc.
- ⇒ Vantagens: tempo secundário pequeno, centragem não é necessária, possibilidade de automação
- ⇒ Desvantagens: são necessários encostos laterais, defeitos do cilindros de apoio podem ser transmitidos para a superfície da peça



## Divisão do processo

### Brunimento *Center-less* de passagem

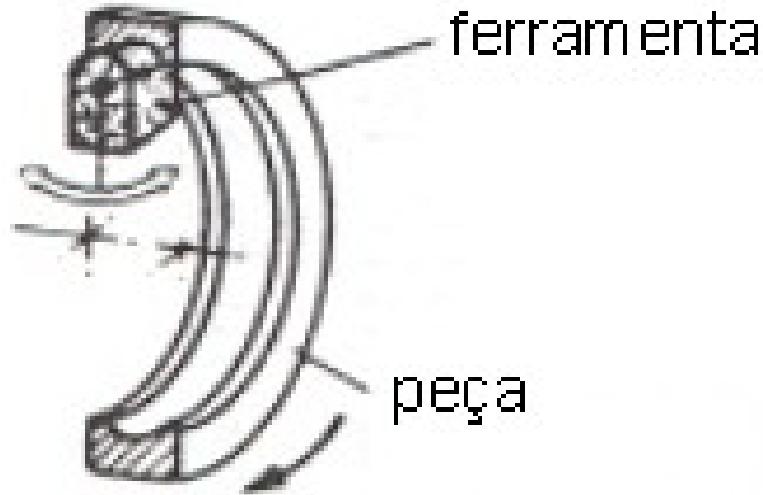
- ⇒ Aplicações: pinos de fixação de pistões, guias, bielas, para sistemas hidráulicos e pneumáticos etc.
- ⇒ Vantagens: tempos secundários muito pequenos, várias pedras de brunimento podem ser empregadas simultaneamente, há possibilidade de automação
- ⇒ Desvantagens: não adequada para a usinagem de apenas uma peça



## Divisão do processo

### Brunimento perfis

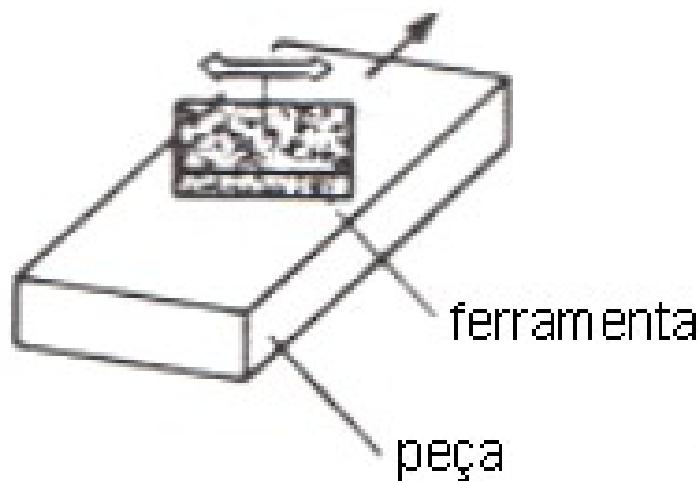
- ⇒ Aplicações: superfícies de rolamento interna e externa
- ⇒ Vantagens: possível automação, alto número de peças em produção
- ⇒ Desvantagens: erros de perfil não podem ser eliminados



## Divisão do processo

### Brunimento plano

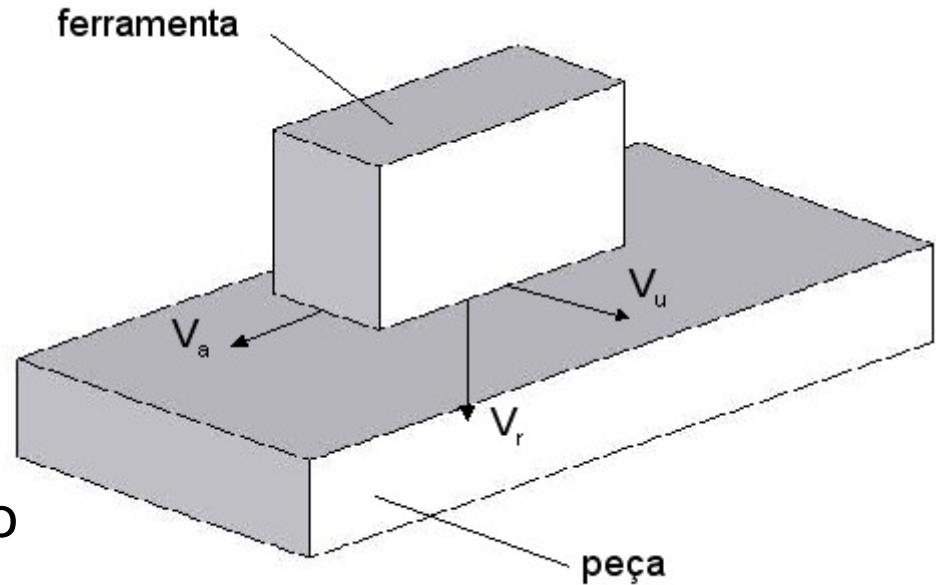
- ⇒ Aplicações: guias de máquinas-ferramentas, réguas, engrenagens, assento de válvulas
- ⇒ Vantagens: grande taxa de remoção comparada com a lapidação, e com isso grande economia de tempo
- ⇒ Desvantagens: só aplicável em casos especiais



# Cinemática do processo

## Velocidades no brunimento

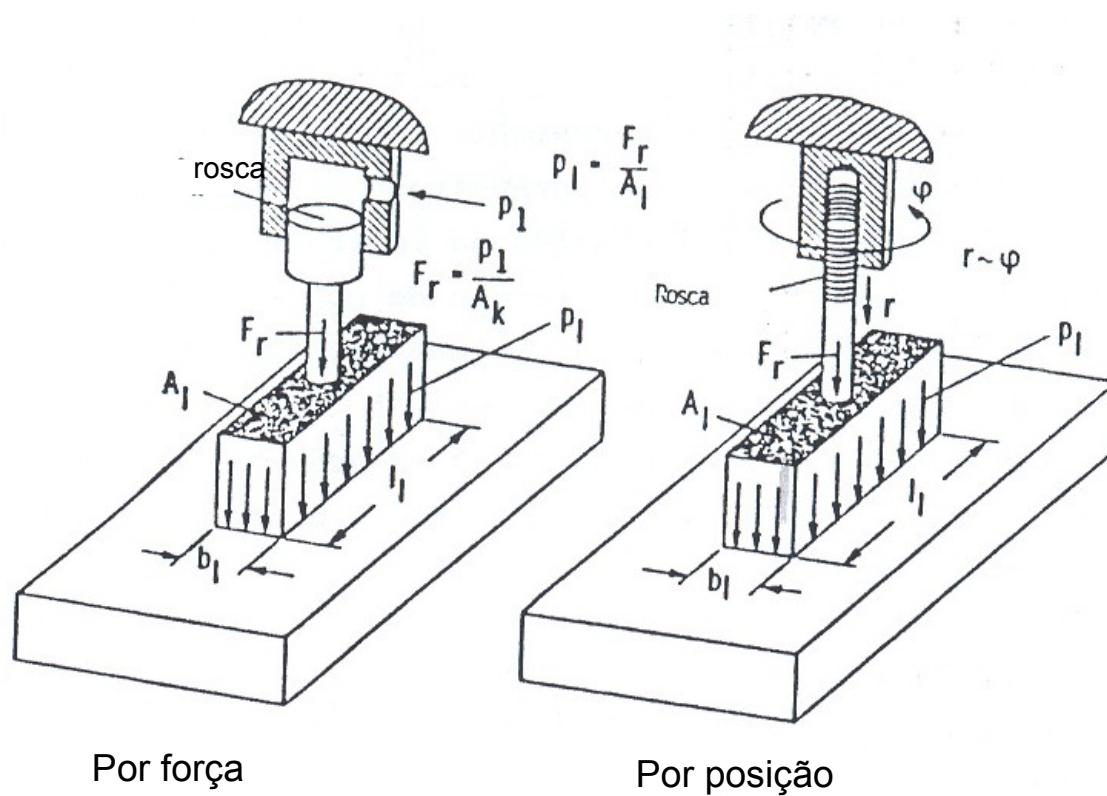
- ⇒  $v_a$ : velocidade axial
- ⇒  $v_u$ : velocidade tangencial
- ⇒  $v_r$ : velocidade de posicionamento



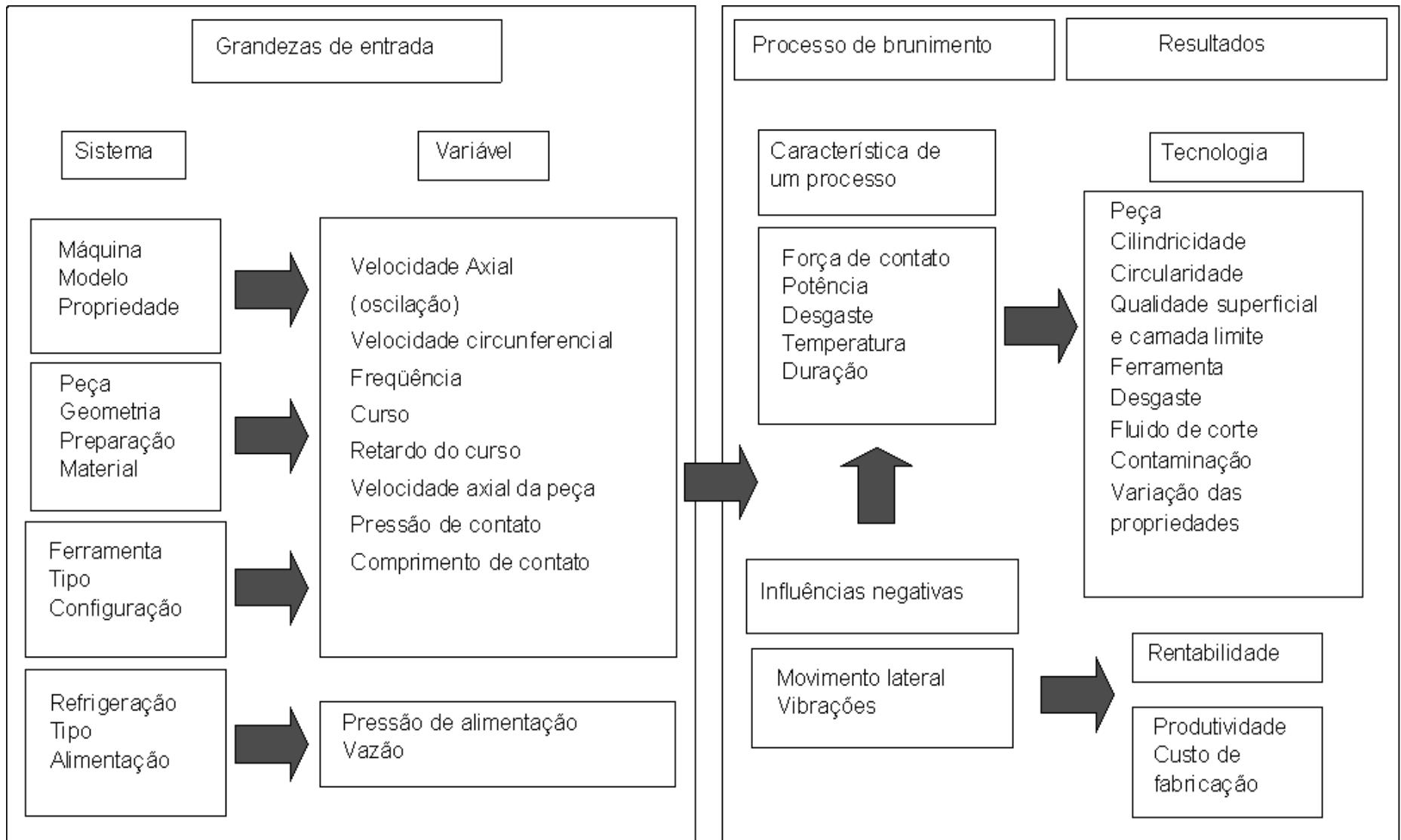
É importante destacar que tanto para curso curto quanto para curso longo as velocidades têm as mesmas características, com exceção do brunimento de curso curto de peças cilíndricas, no qual a peça executa o movimento giratório

## Embasamento cinemático

- Pressão de contato
- ➡ A penetração de trabalho é regulada por um sistema hidráulico ou mecânico



# Grandezas de entrada e resultados de trabalho



# Grandezas de entrada e resultados de trabalho

## Sistema

- ⇒ Máquina: dados de potência, rigidez e comportamento dinâmico
- ⇒ Peça: propriedades e geometria
- ⇒ Ferramenta: geometria, qualidade, precisão e composição da pedra de brunir
- ⇒ Fluido de corte: equipamento, tipo, viscosidade, concentração, disposição das tubeiras

## Pressão de contato

- ⇒ É um parâmetro de entrada, dado pela regulagem da força entre a peça e a ferramenta
- ⇒ O maior número de gumes e a maior penetração dos diversos gumes na peça leva ao aumento do número de cavacos e da seção de usinagem
- ⇒ O aumento da pressão de contato influí diretamente no desgaste da ferramenta, em vista da maior quebra de grãos para fora do ligante

# Grandezas de entrada e resultados de trabalho

## Pressão de contato

- ⇒ A qualidade da superfície no brunimento de desbaste com pressão de contato mais acentuada corresponde ao trabalho que está sendo executado
- ⇒ Com o aumento da pressão de contato há um aumento da força de corte

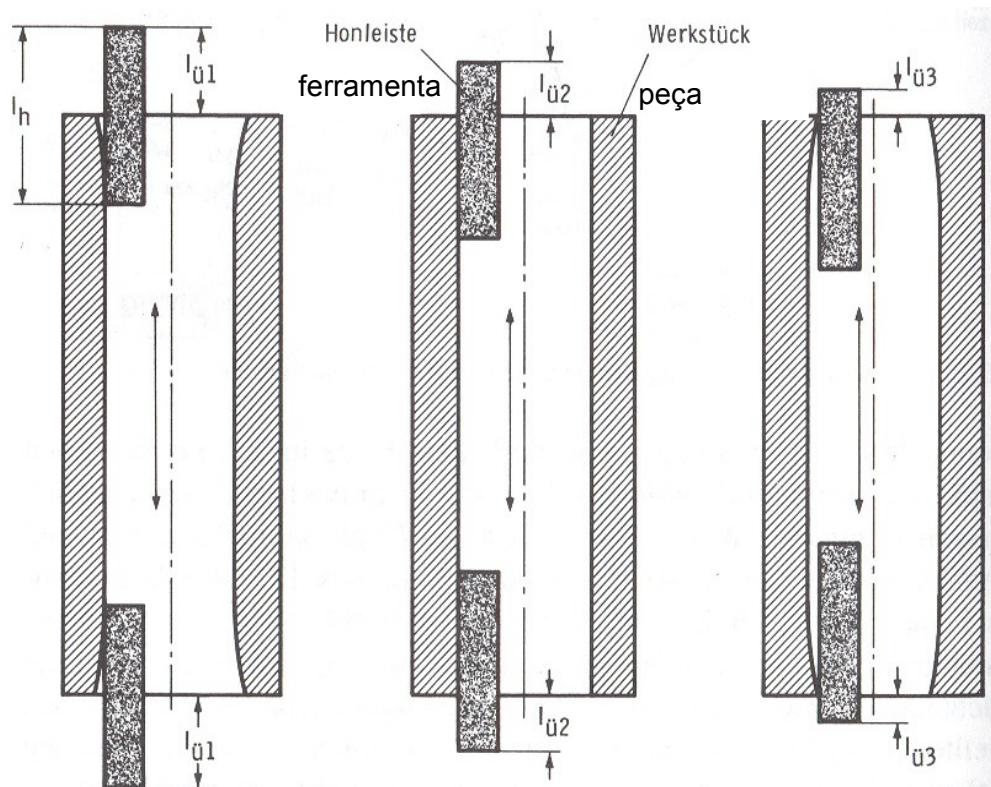
## Velocidade de corte

- ⇒ Determina os cavacos usinados na unidade de tempo, assim como o seu comprimento médio
- ⇒ O aumento do desgaste é correlacionado com a solicitação mecânica alternante no grão abrasivo, pois as forças variam de acordo com a posição

## Tempo de brunimento

- ⇒ Decisivo no resultado de trabalho, especialmente em termos de rugosidade
- ⇒ Os picos de rugosidade são removidos rapidamente no começo do processo, e a rugosidade tende assintoticamente a um valor final, que primariamente depende da ferramenta

# Grandezas de entrada e resultados de trabalho



## Comprimento do curso ( $l_h$ )

- ⇒ Tem importância básica sobre a precisão de forma no brunitimento de curso longo
- ⇒ Influencia nos erros de cilindricidade e circularidade, mais no primeiro do que no segundo
- ⇒ Quanto maior for o curso, tanto mais as aberturas do furo se alargam em suas extremidades

# Influência da ferramenta no processo



## Geometria da ferramenta

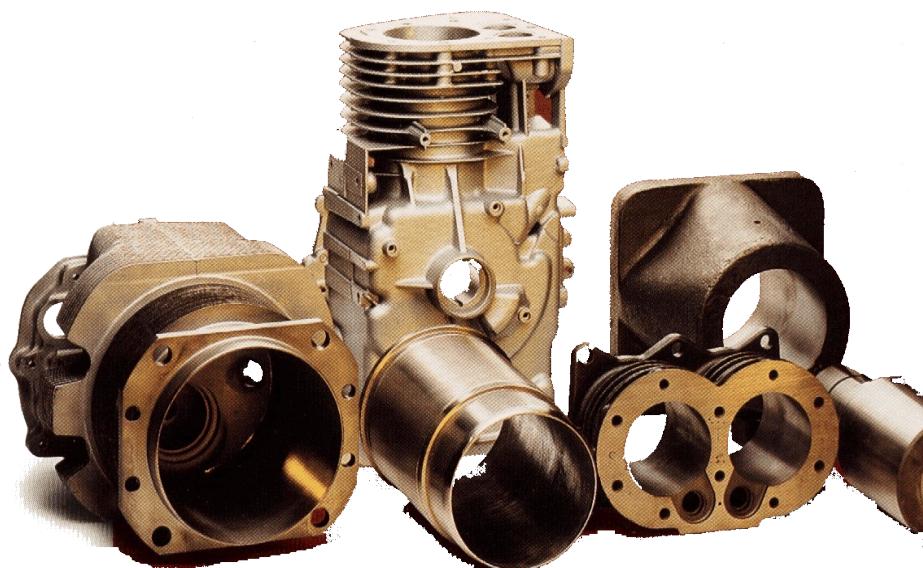
- ⇒ Importante na correção de erros de forma
- ⇒ Para melhor cilindricidade são utilizadas ferramentas de brunir mais longas
- ⇒ Para melhor circularidade são utilizadas ferramentas que tenham o valor de largura de no mínimo a distância entre duas cristas de ondulação na superfície usinada

# Influência da ferramenta no processo

## Especificação da ferramenta

- ⇒ São levados em conta a granulometria, tipo de ligante, dureza e embebimento
- ⇒ Materiais abrasivos utilizados: corindum, carboneto de silício, CBN, diamante
- ⇒ Utilização de grãos maiores: maior taxa de remoção, diminuição da qualidade superficial e menor desgaste
- ⇒ Grãos afiados produzem uma rugosidade elevada, enquanto que grãos cegos provocam o alisamento da superfície. Dessa forma, com o aumento da dureza da pedra de brunir, há a redução da rugosidade, pois isto causa o cegamento dos gumes antes da sua quebra
- ⇒ O uso de pedras de brunir de diamante ou CBN é extremamente limitado pelo fato de que o seu custo é muito alto. Algumas aplicações destes materiais verificam-se na usinagem de ferro fundido, aços temperados, cerâmica e vidro.

## Influência da peça no processo



- ⇒ Características e propriedades do material, bem como a usinagem anterior da peça, são decisivos no desempenho do processo
- ⇒ Materiais de peças mais duros induzem a um melhor acabamento no brunitimento, em vista da menor deformação plástica, e do maior cegamento dos grãos abrasivos durante o processo

# Influência dos meios auxiliares no processo

## Efeito de lavação do óleo

- ⇒ É em geral o efeito mais importante no brunimento, para garantir a desobstrução dos poros na pedra de brunir, e em vista de que no brunimento as temperaturas atingidas não são altas
- ⇒ A ferramenta deve receber grandes quantidades de óleo para que a lavação seja feita da forma adequada

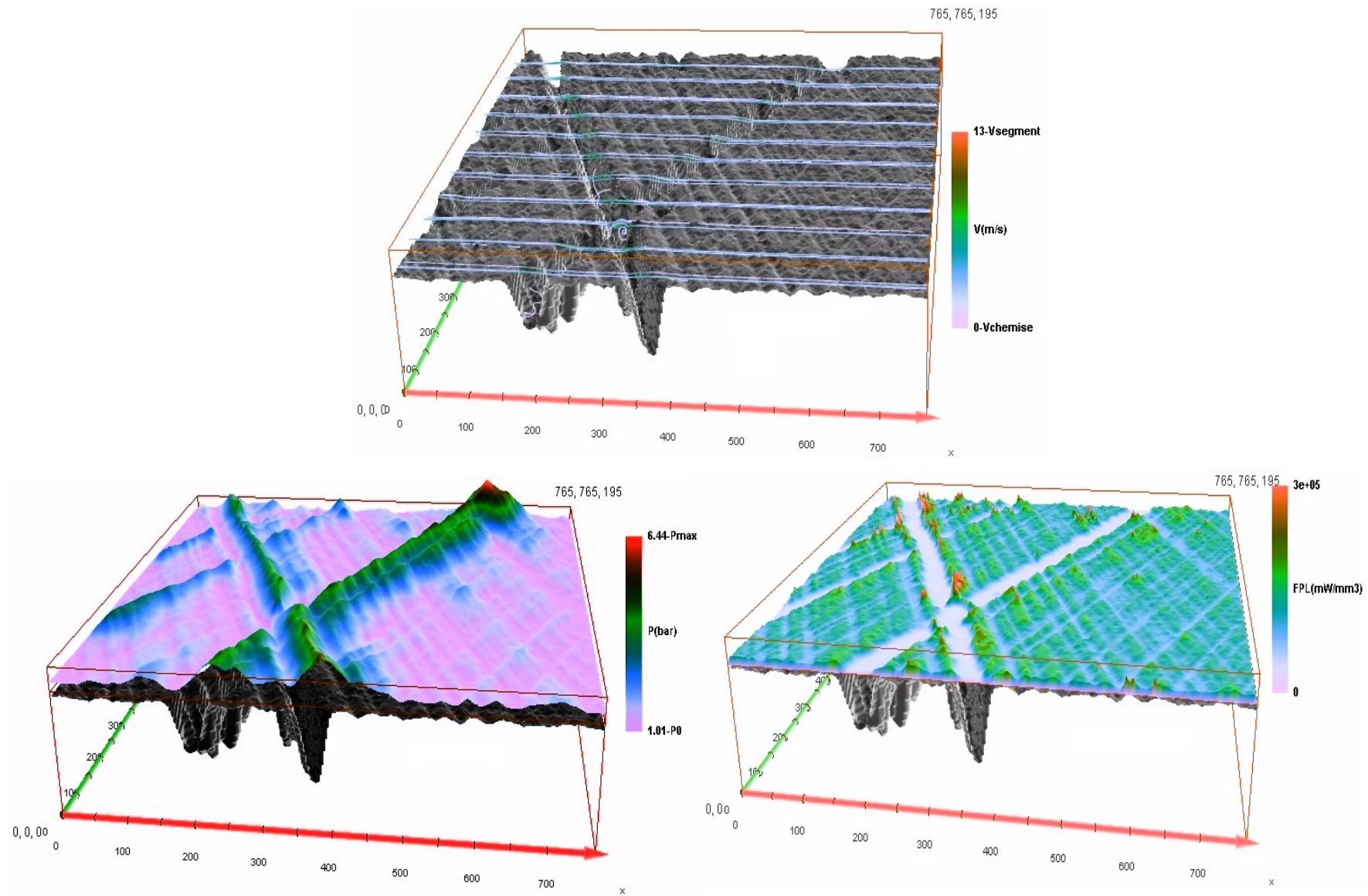
## Efeito de lubrificação

- ⇒ A importância encontra-se em processos em que os cavacos produzidos são longos, sendo necessária a sua retirada da região de trabalho
- ⇒ Óleos viscosos são os preferidos para a solução deste problema

## Efeito de refrigeração

- ⇒ Tem a função de controlar a temperatura no processo, em vista de evitar erros dimensionais
-

# Aspécitos das superfícies geradas no brunimento



# LAPIDAÇÃO



## Generalidades



- Processo de fabricação com remoção de cavaco, utilizando grãos abrasivos
- Os grãos são soltos e suspensos em um líquido ou pasta
- A partir de movimentos aleatórios, os grãos promovem a forma da ferramenta
- Possibilidade de obtenção de superfícies de excelente qualidade
- A superfície usinada contém ranhuras aleatórias, brilho opaco, e desgaste extremamente pequeno

## Generalidades



- Pode-se obter superfícies de formas geométricas e dimensões variadas
- Este processo compete com a usinagem de ultraprecisão e com o brunimento em vista da qualidade da superfície usinada obtida
- Aplicações na indústria: hidráulica, pneumática, eletrônica, mecânica fina, relógios, indústria de jóias, aeroespacial, naval, de construção de máquinas, de aparelhos de medição, automobilística etc.

## Vantagens e peculiaridades



- Materiais lapidáveis: todo material que não se deformar com o próprio peso (metais, cerâmicas, grafite, vidro etc.)
- As peças são trabalhadas sem o emprego de fixação
- Usinagens fina e ultrafina podem ser executadas em uma só etapa, garantindo tolerâncias extremamente estreitas
- Tempos de preparação de máquina muito curtos
- Pressões de contato pequenas

## Vantagens e peculiaridades



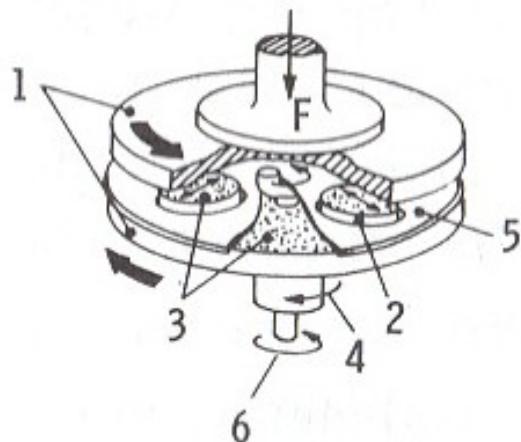
- Peças finas e frágeis ( $> 0,1$  mm) podem ser trabalhadas com precisão extrema
- Remoção regular de cavacos mesmo para materiais compostos
- Superfícies lapidadas podem evitar a necessidade de materiais de vedação para líquido e gás
- Influência térmica pode ser desprezada
- Ausência de tensões residuais na superfície usinada

## Descrição do processo

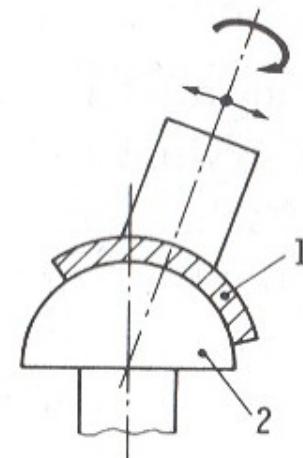
- Processo de remoção ocorre a partir do deslizamento entre as superfícies da peça e da ferramenta
- O material abrasivo na fenda de trabalho promove a remoção através da rolagem entre a ferramenta e a peça
- A profundidade de impressão depende da carga aplicada (5 a 10% do diâmetro dos grãos)
- A trajetória dos grãos permite que todos eles trabalhem de forma cíclica



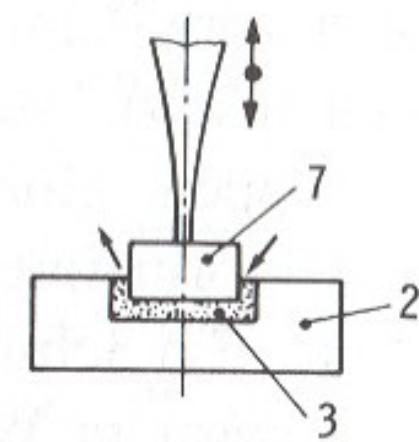
## Subdivisões do processo



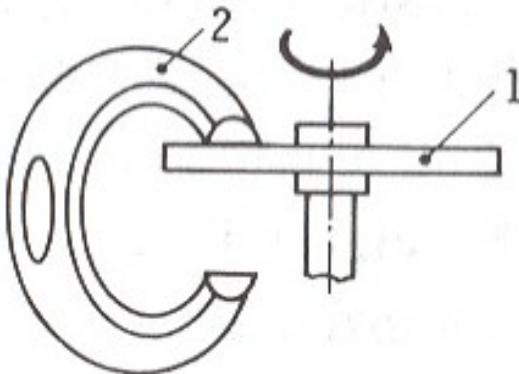
Lapidação plana paralela



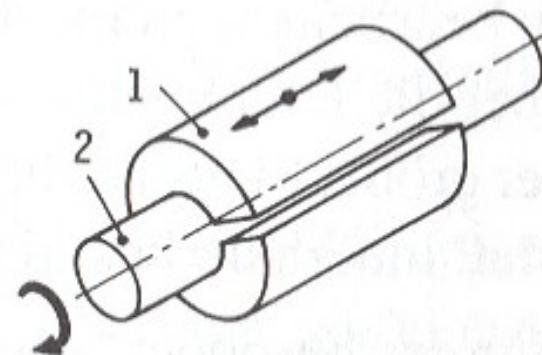
Lapidação de forma



Lapidação ultrasônica



Lapidação plana interna



Lapidação externa de cilindro

1. Disco de lapidação
2. Peça
3. Meio de lapidação
4. Acionamento
5. Gaiolas de lapidação (excêntricas)
6. Acionamento das Gaiolas
7. Sonotrodo

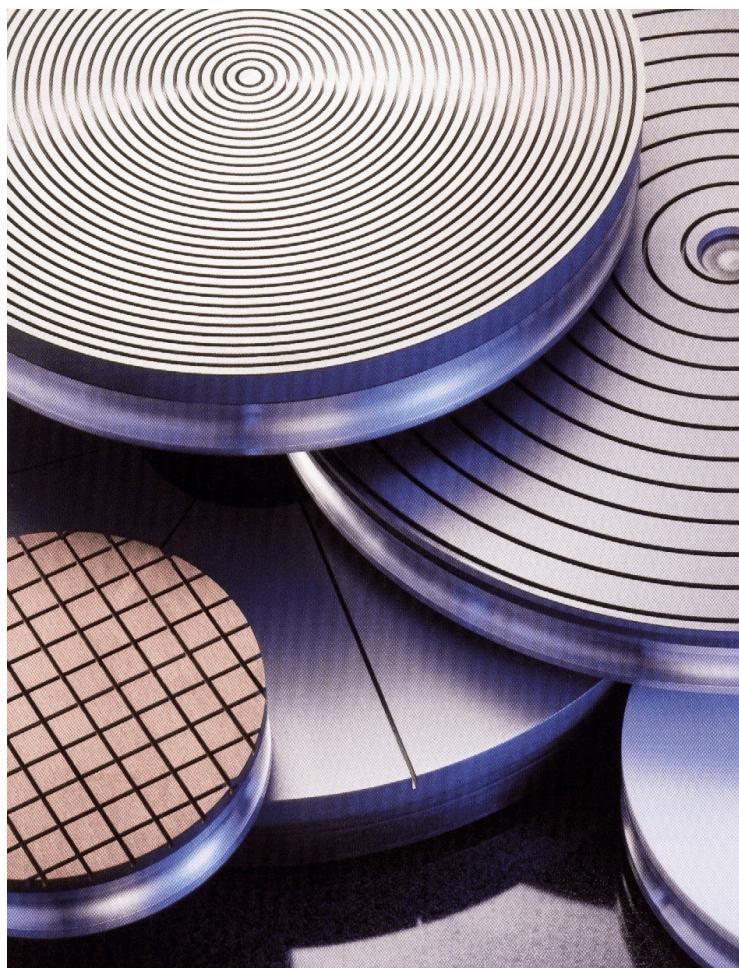
## Subdivisões do processo

- Lapidação plana paralela
- ⇒ Utilizada quando tem-se necessidade de peças com superfícies de grande paralelismo entre si
- ⇒ Deve ser feita a lapidação simultânea de pelo menos 3 peças em uma gaiola
- ⇒ Inicialmente as peças são colocadas como primeira superfície plana sobre o disco de lapidação, no seu lado oposto é colocado um disco elástico, e sobre este um disco de pressão
- ⇒ Na medida que a pressão de contato aumenta, a remoção ocorre de forma mais intensa nas peças mais grossas, garantindo a mesma espessura para todas as peças
- ⇒ Ao fim desta etapa, colocam-se as peças de forma invertida na gaiola, já sem o disco de pressão

## Subdivisões do processo

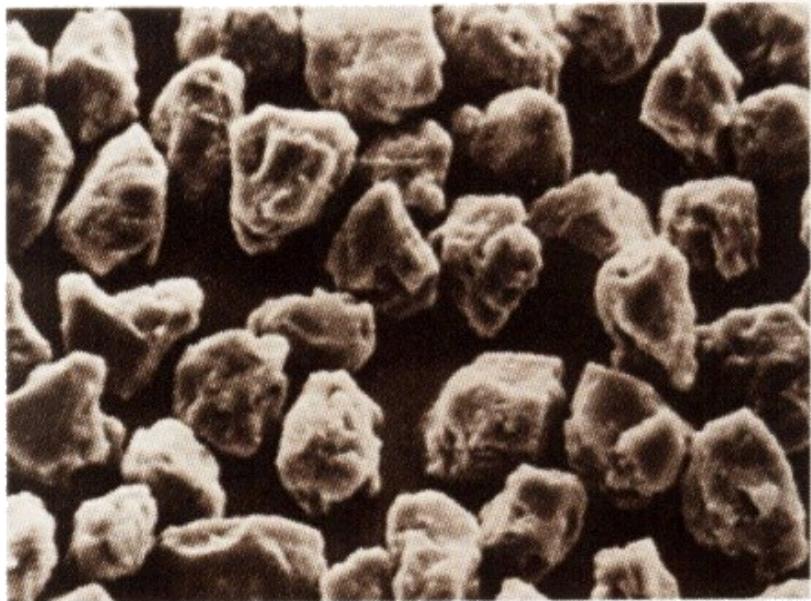
- Lapidação de polimento
  - ⇒ Também chamada de lapidação fina, tem como objetivo trazer qualidades de superfície excepcionais
  - ⇒ O disco de lapidação normalmente é constituído de cobre, estanho, ou material plástico, todos pulverizados com pó de diamante
  - ⇒ Os anéis de dressamento são constituídos de cerâmica, para evitar a sua adesão ao disco de polimento
  - ⇒ Os tamanhos de grãos variam desde ultrafinos (0,5 a 1,5 micrometros) até extremamente grossos (20 a 40 micrometros), e o material normalmente empregado é o diamante policristalino

## Disco de lapidação



- Serve como suporte para o meio de lapidação e das peças, bem como dos discos ou dos anéis de suporte
- A rotação é escolhida de forma a evitar que as forças centrífugas sejam muito grandes, evitando que a pasta de lapidação seja jogada para fora da área de trabalho de forma muito rápida
- Abaixo do disco normalmente é colocado um sistema de refrigeração, para evitar que a temperatura exceda o desejado

## Meio de lapidação



- ⇒ A taxa de remoção é função da granulometria e da quantidade grão/meio de suspensão
- ⇒ Pós de lapidação: SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C e diamante
- ⇒ Meios de suspensão: óleos, parafinas, vaselina e querosene
- ⇒ São importantes a distribuição regular dos grãos na suspensão, a dureza, o tipo e o número de gumes nos grãos
- ⇒ A mistura de grãos abrasivos e o meio de suspensão dever ser feita em função da sua missibilidade
- ⇒ A alimentação do meio de lapidação deve ser feita de forma contínua

## Características e resultados de trabalho

### Precisão de trabalho

⇒ Influenciada pelo tamanho do grão abrasivo, composição do meio de lapidação, pressão efetiva de lapidação, característica da superfície da peça, oscilações na temperatura, construção da máquina-ferramenta etc.

### Pressão de Lapiadação

⇒ Exerce grande influência na taxa de remoção, maior do que a dimensão dos grãos abrasivos. Deve-se buscar o ponto ótimo de pressão que concilie a agilidade no processo e a obtenção das tolerâncias exigidas

### Concentração do meio de lapiadação

⇒ influi na taxa de remoção e também tem um valor ótimo. Acima do valor ótimo não se verifica aumento na formação de cavacos

---

## Características e resultados de trabalho

### Potencialidade

- ⇒ Grandezas específicas do meio de lapidação: tipo e composição do meio de lapidação, caracterizado pela forma tamanho, dureza e distribuição dos grãos, viscosidade da suspensão etc.
- ⇒ Grandezas específicas do processo: tipo e dureza do material da peça, pressão de lapidação, tamanho e forma da superfície a ser lapidada, velocidade de lapidação, tipo do trabalho prévio, alimentação do meio de lapidação, movimento do processo de lapidação, tipo de estado da ferramenta de lapidação e exigências de qualidade

### Material para o disco de lapidação

- ⇒ Utilizam-se materiais duros para altas taxas de remoção, e materiais moles para melhor acabamento da superfície usinada. Há entretanto exceções para esta regra.

## Generalidades

- Processo abrasivo de remoção de cavacos com auxílio de jatos
- A energia cinética realiza o trabalho, e o jato empregado é acionado por um meio líquido ou gasoso
- A taxa de remoção depende da massa e do meio empregado para a abrasão



## **Princípios e influências do jato**

- A ação do jateamento está baseada no fato de que os grãos abrasivos com alta velocidade incidem sobre a superfície da peça a ser trabalhada, sendo frenados sobre a mesma
- A superfície pronta apresenta uma série de mini-crateras, devido ao impacto dos diversos grãos
- A eficiência do processo é determinada por: tipo do meio abrasivo, velocidade do jato, vazão de abrasivo, recobrimento do jato sobre a superfície, ângulo de ação, duração do jato, dureza da peça jateada

## Objetivos do jateamento

- O processo é empregado para tratamento de superfície
- Subdivisões do processo em termos de aplicação
  - ⇒ Jateamento de alisamento
  - ⇒ Jateamento de desbaste
  - ⇒ Jateamento de lapidação
  - ⇒ Jateamento de polimento



## Variações do processos de jateamento

### Jateamento por jato de ar

- ⇒ O abrasivo é acelerado por meio de um jato de ar e jogado sobre a superfície a ser trabalhada
- ⇒ O meio abrasivo está sujeito a uma forte ação mecânica, que o destrói após a aplicação

### Jateamento de ar úmido

- ⇒ Jato fixo onde o fluido com solução de um meio abrasivo é acelerado com alta velocidade por um jato de ar sobre uma superfície

### Jateamento molhado

- ⇒ Jateamento em que o líquido é o meio de aceleração, sendo empregado a alta pressão

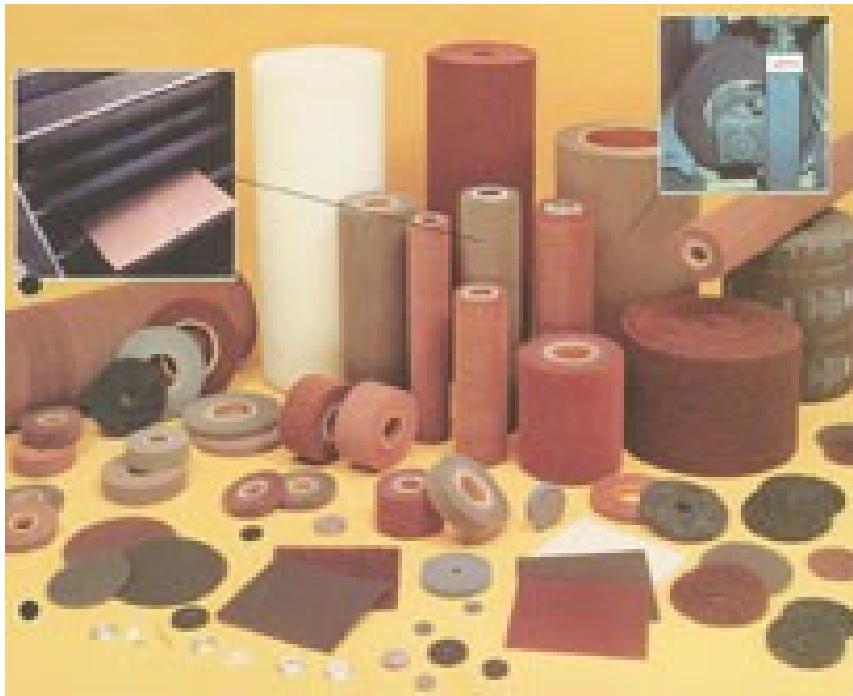
### Jateamento com vapor

- ⇒ Jateamento empregando vapor comprimido

### Jateamento centrífugo

- ⇒ Aceleração do abrasivo a partir de uma roda centrífuga que está composta de pás ou de forma semelhante
-

# LIXAMENTO



## Generalidades

- Tem grande importância na indústria, principalmente madeireira, siderúrgica e de estampagem (rebarbação)
- Fácil manuseio
- Grande adaptabilidade a formas complicadas
- Pequeno perigo de acidentes por ruptura
- Competem em algumas aplicações com a retificação por rebolos



## **Grandezas de entrada e resultados de trabalho**

### **Pressão de contato**

- ⇒ É a pressão exercida entre a peça e a fita abrasiva, e deve ser aumentada na medida que ocorre o desgaste dos abrasivos
- ⇒ Quanto maior a pressão, maior a taxa de remoção de cavacos, maior a rugosidade e maior o ruído de trabalho

## Grandezas de entrada e resultados de trabalho

### Vida da ferramenta

- ⇒ Durante o uso da fita ocorre o cegamento dos grãos abrasivos, e há uma redução da rugosidade das peças fabricadas
- ⇒ O fim de vida pode ser alcançado quando a força de usinagem ultrapassa o valor admissível, ou o atrito gera uma temperatura acima da suportada pelo processo
- ⇒ O fim de vida também ocorre quando o desgaste do grão abrasivo atinge a altura do ligante, ou pelo entupimento dos poros da fita por partículas da peça

## Grandezas de entrada e resultados de trabalho

### Velocidade de corte

- ⇒ Tem semelhança com o processo de retificação com rebolos
- ⇒ Se com o aumento da velocidade de corte a solicitação máxima possível sobre cada grão não é atingida, taxas de remoção maiores, temperaturas maiores e qualidades superficiais melhores são obtidas

## **Grandezas de entrada e resultados de trabalho**

### **Tensão da fita abrasiva**

- ⇒ Não tem muita influência no processo com o emprego de discos de contato
- ⇒ Tensões muito grandes exigem fixações e máquinas como um todo mais rígidas, o que eleva o seu custo
- ⇒ O nível de tensão na fita abrasiva deve ser escolhido também em função de que a fita não vibre excessivamente, e de que seja bem guiada pela superfície de apoio

## **Grandezas de entrada e resultados de trabalho**

### **Rigidez da fita abrasiva**

- ⇒ Fitas abrasivas mais flexíveis têm os seus grãos deformados quando solicitadas sobre a superfície a ser usinada, o que influi na diminuição dos cavacos removidos, o que melhora a qualidade da superfície usinada, e reduz a taxa de remoção
- ⇒ Em vista do maior trabalho de dobramento, fitas mais flexíveis são mais solicitadas, e portanto as fitas mais rígidas têm uma vida maior

## **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