



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

Complementos de Fabricação Mecânica

Profa. Izabel Machado



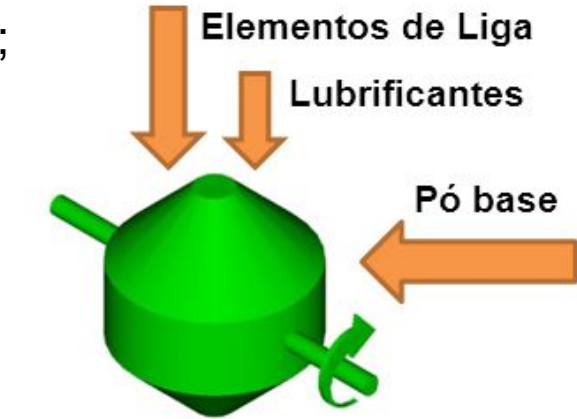
Metalurgia do pó

- ✓ Processo;
- ✓ Aplicações e seleção do processo;
- ✓ Materiais para ferramentas;
- ✓ Propriedades mecânicas;
- ✓ Caracterização da porosidade;
- ✓ Produção de pós
- ✓ Compactação
- ✓ Sinterização

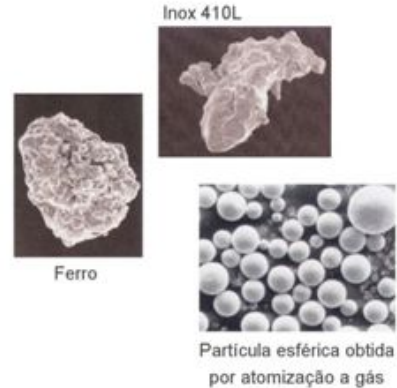


✓ Processo;

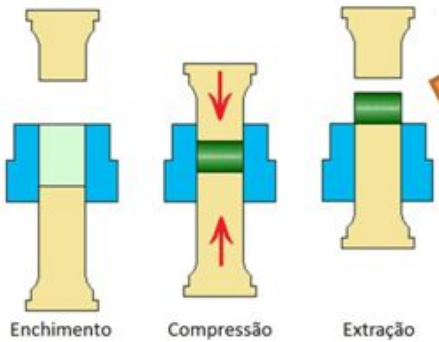
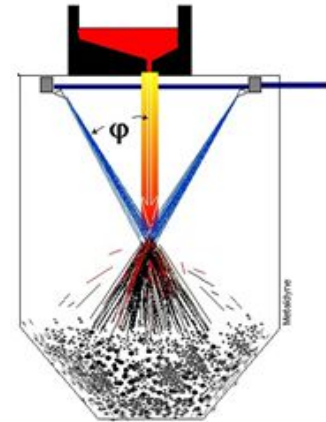
2-Mistura



Processo Básico

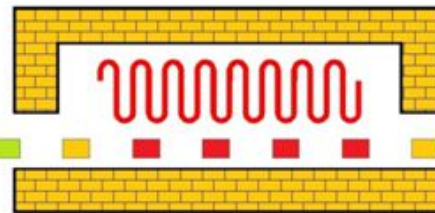


1-Atomização

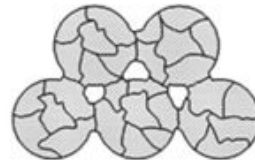


3-Compactação

4-Sinterização



Bronze: 780 - 840°C
Aço: 1050 - 1150°C
Ligação metalúrgica das partículas de pó



5- OPERAÇÕES COMPLEMENTARES

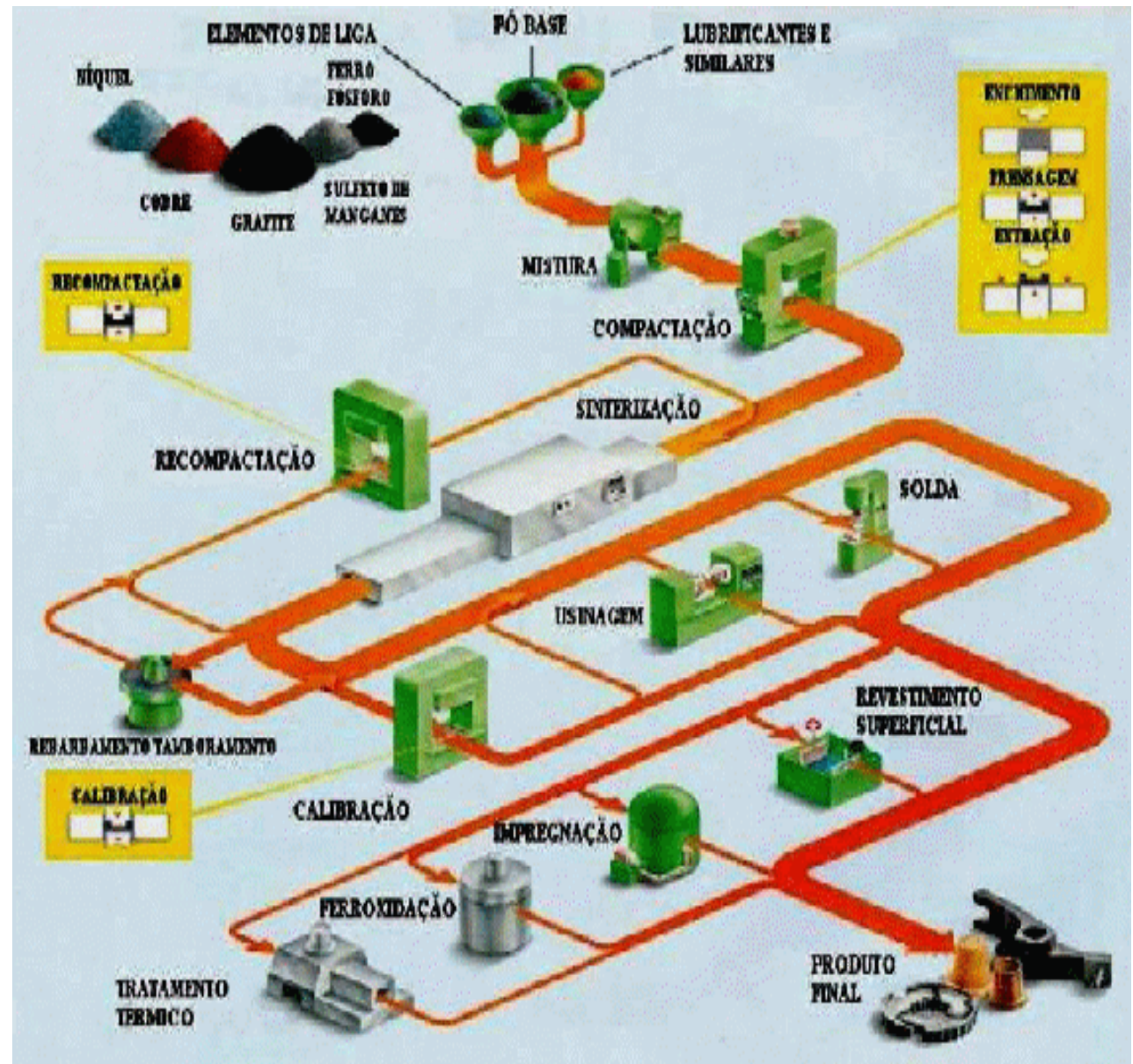
- Calibragem
- Cunhagem
- Usinagem
- Forjamento
- Tratamento térmico
- Tratamento de superfície
- Rebarbação
- Impregnação
- Infiltração
- Jateamento

5- Produto acabado





✓ Processo;





✓ Processo

O processo básico de fabricação

- Mistura: pós metálicos elementares ou pré-ligados, misturados com lubrificantes e/ou aditivos para a produção de uma mistura homogênea;
- Compactação a verde com dimensões próximas às da peça acabada (temperatura ambiente e pressões podendo variar entre 130 e 830 N/mm²);
- Sinterização: aquecimento em atmosfera controlada e em temperaturas abaixo do ponto de fusão;
- Calibragem: correções dimensionais após a sinterização;
- Impregnação: uso de óleos para mancais auto lubrificantes, por exemplo.



Onde a Metalurgia do Pó é empregada

✓ Aplicações e seleção do processo

Assentos de válvula

Injeção eletrônica

Componentes para amortecedores

Componentes para levantadores de vidro, acionamento de bancos, espelhos elétricos e travas das portas

Componentes para VVT

Anel ABS

Pastilhas do freio

Pollas para correia dentada

Discos de embreagem

Bielas

Bomba de água e bomba de óleo

Filamentos de lâmpada

Componentes para caixa de mudanças manual, automática e CVT

Buchas Autolubrificantes

Filtros de Bronze e Inox

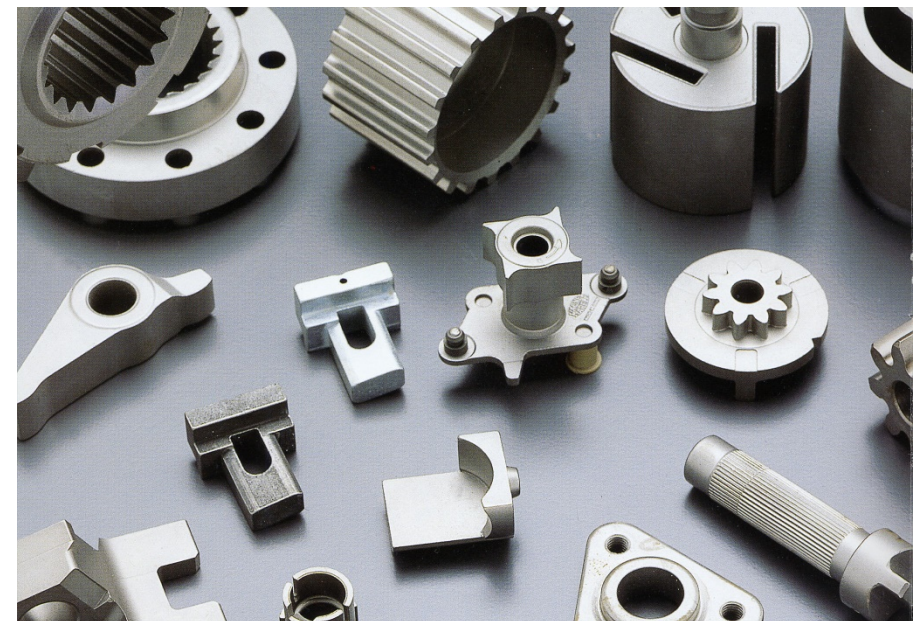
Eletrodomésticos e Ferramentas Elétricas

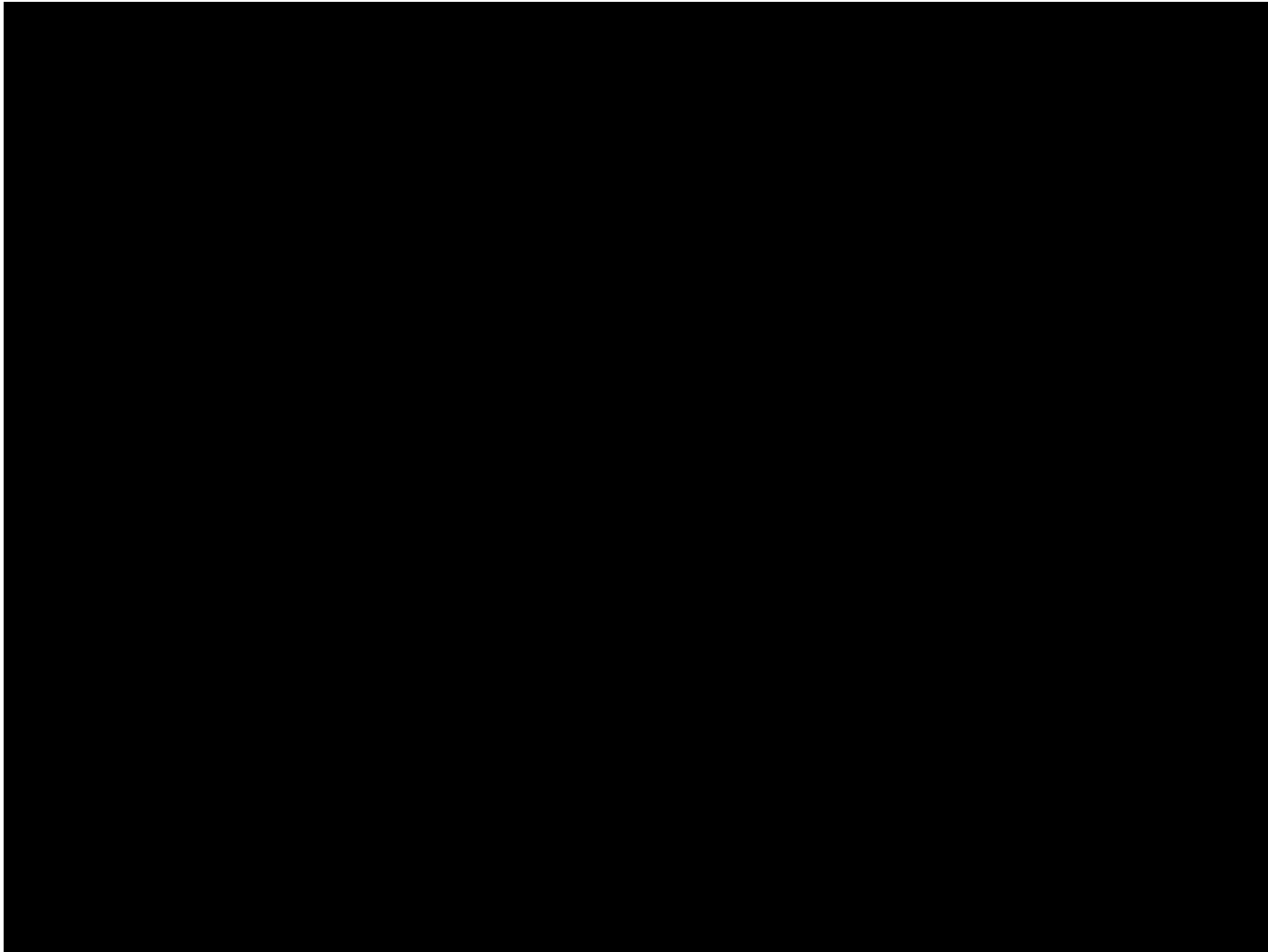
Compressores Herméticos

Imagens obtidas do livro "A Metalurgia do Pó; Edit. Metallum; 2009
Grupo Setorial de Metalurgia do Pó www.metalurgiadopo.com.br



✓ Aplicações e seleção do processo





<https://www.youtube.com/watch?v=MgukjCT9o80>



Histórico

- Produção de metais refratários: W e Mo (ligas com elevado ponto de fusão);
- 1920 foram solucionados problemas de sinterização em vácuo;
- Materiais compostos: Metal-Carbono (alta condutividade e lubrificação sólida);
- Metal duro (ferramentas);
- Mancais autolubrificantes (buchas);
- A partir da década de 1960, a Metalurgia do Pó começou a ser mais efetiva;
- A massa de produtos sinterizado em automóveis tem crescido;
- Desenvolvimento contínuo do processo : HIP, SPS.



Critérios de Escolha: Metalurgia do Pó

- Materiais com elevado ponto de fusão e com limitações técnicas (cerâmicos, imãs, pastilhas de freio)
- Opção entre outras técnicas e avaliar a viabilidade com base:
Formato da peça, tamanho da peça, tolerâncias geométricas, composição do material, aplicação e ambiente de trabalho, propriedades mecânicas exigidas, tamanho do lote a ser fabricado.



Critérios de Escolha: Metalurgia do Pó

Com relação à outras tecnologias tem-se:

- tolerâncias restritas e peças complexas;
- operações de acabamento é simplificada ou eliminada;
- a metalurgia do pó produz menos resíduos e consome menos energia no processo produtivo;
- comportamento autolubrificante;
- amortecimento de vibrações
- redução de processos de acabamento e usinagem;
- possibilidade de grandes quantidades de peças, com reprodutibilidade e qualidade;
- pode-se trabalhar com composições químicas bem definidas em função da aplicação.



Critérios de Escolha: Metalurgia do Pó

Limitações de aplicação da MP

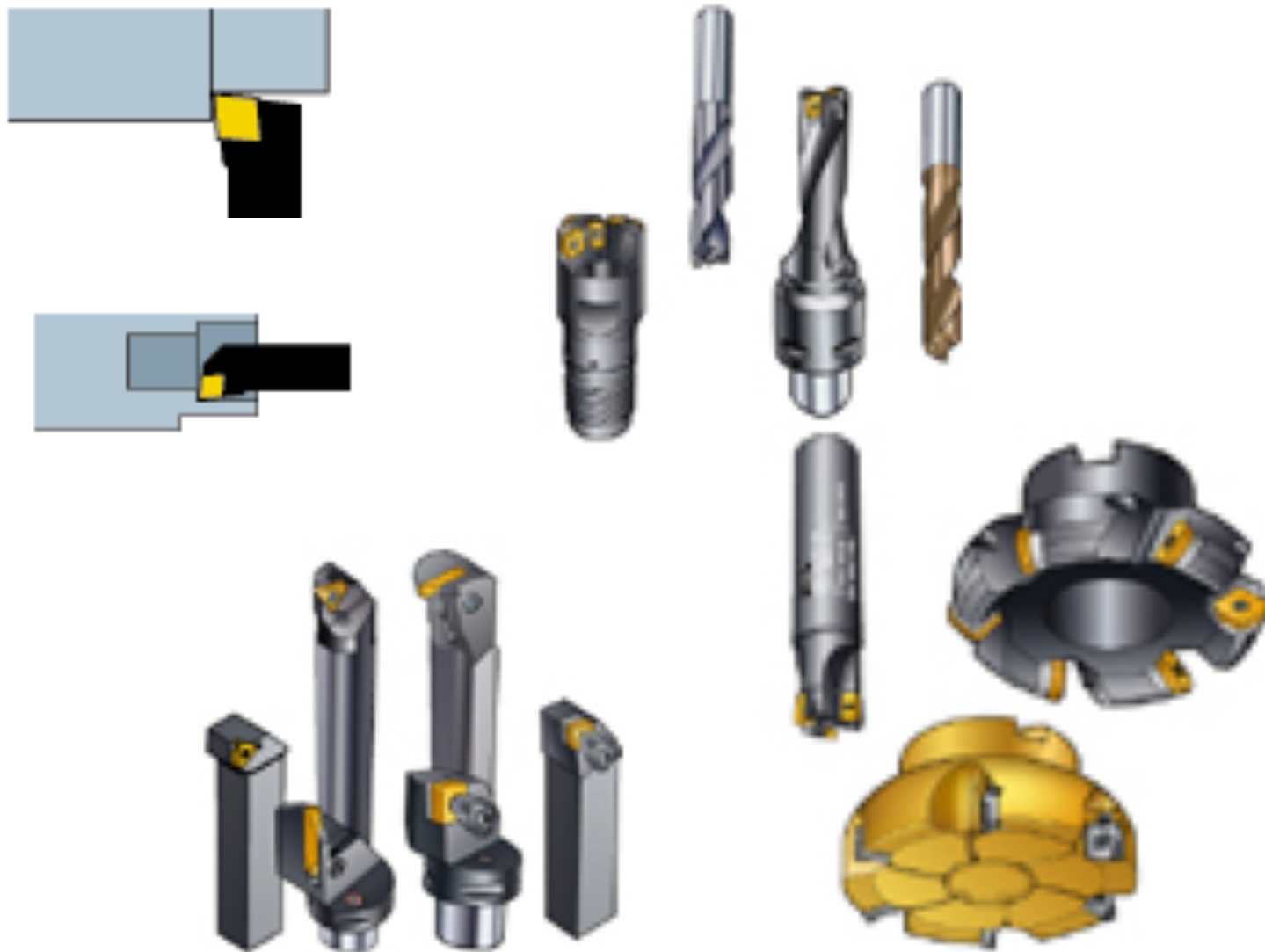
- Alto custo de equipamentos: mínimo 10.000 peças por série;
- Dispositivos que permitem retirar a peça do estampo.

Fatores a serem avaliados em nível de projeto

- Dimensões: massa não superior a 3-4 kg;
- Quantidade de peças de forma a justificar o preço do estampo/matriz;
- Especificação funcional e forma dentro das possibilidades da tecnologia;
- Propriedades físicas e mecânicas do componente a ser produzido;
- Confronto entre o custo utilizando diferentes tecnologias.



Materiais para ferramentas

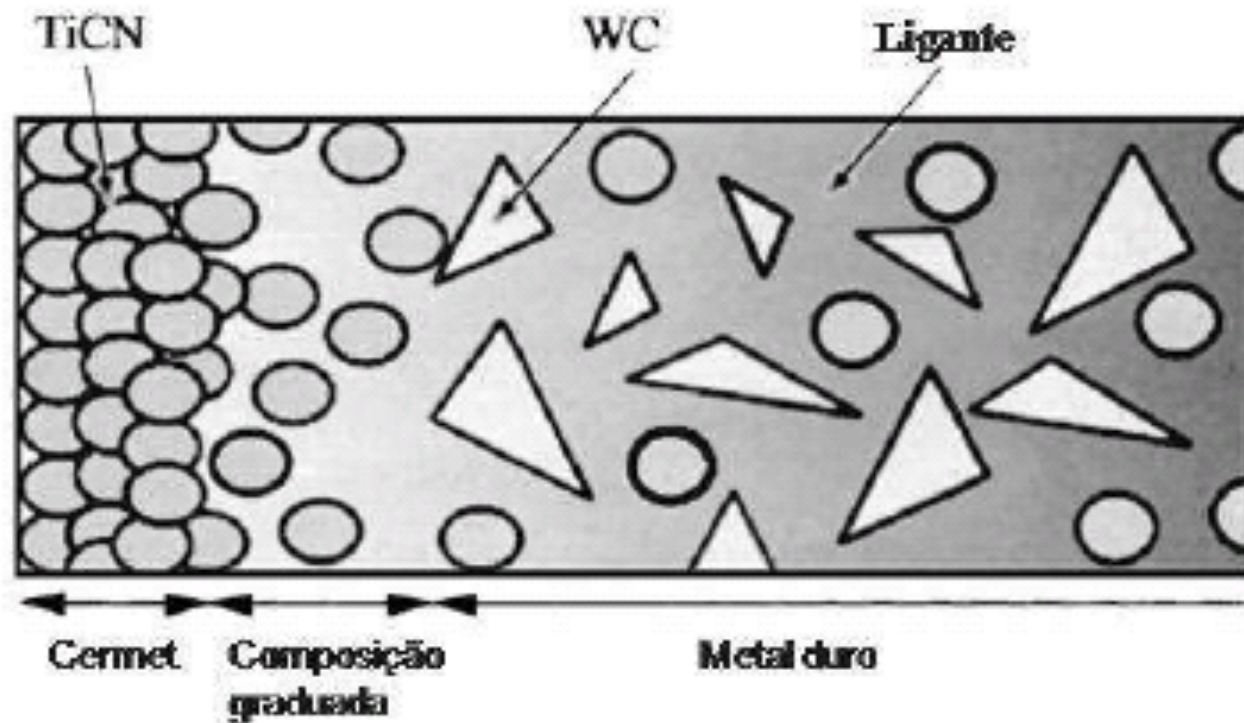




Materiais para ferramentas

A grande popularidade das ferramentas de metal duro, que são fabricadas pela metalurgia do pó, se deve ao fato deles possuírem a combinação de resistência ao desgaste, mecânica e tenacidade em altos níveis . WC em pó e a mistura com Co.

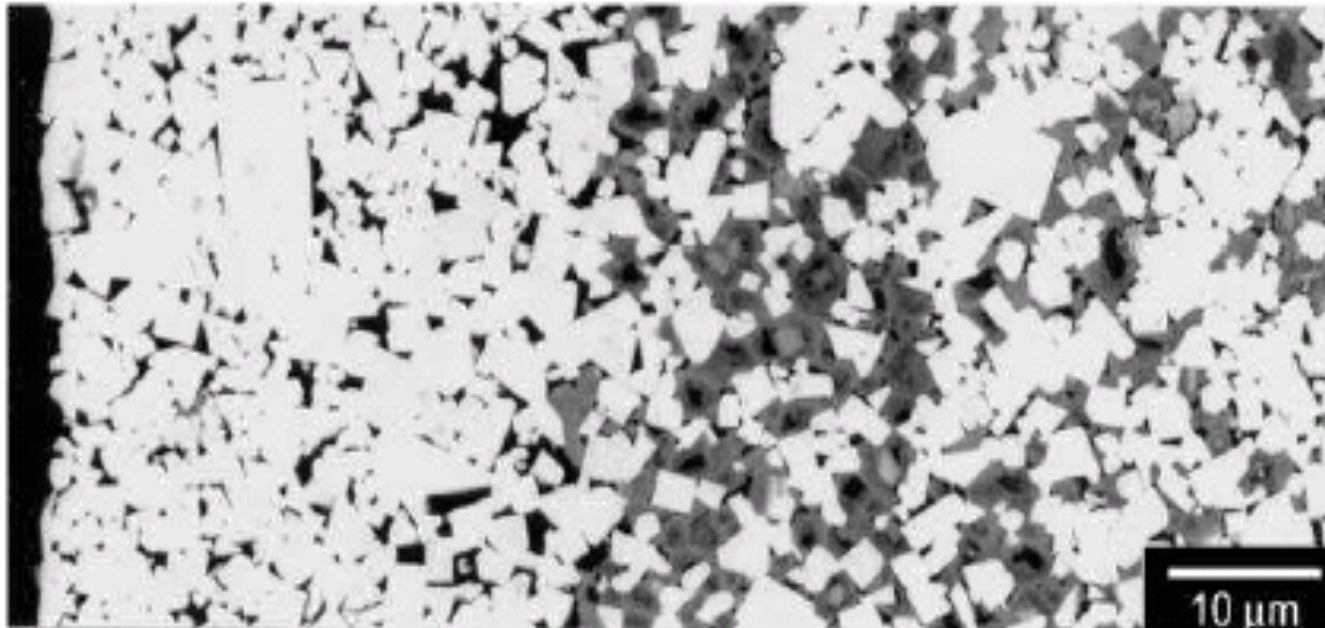
Materiais para ferramentas



Esquema ilustrativo da gradação funcional (Nomura et al, 1999).

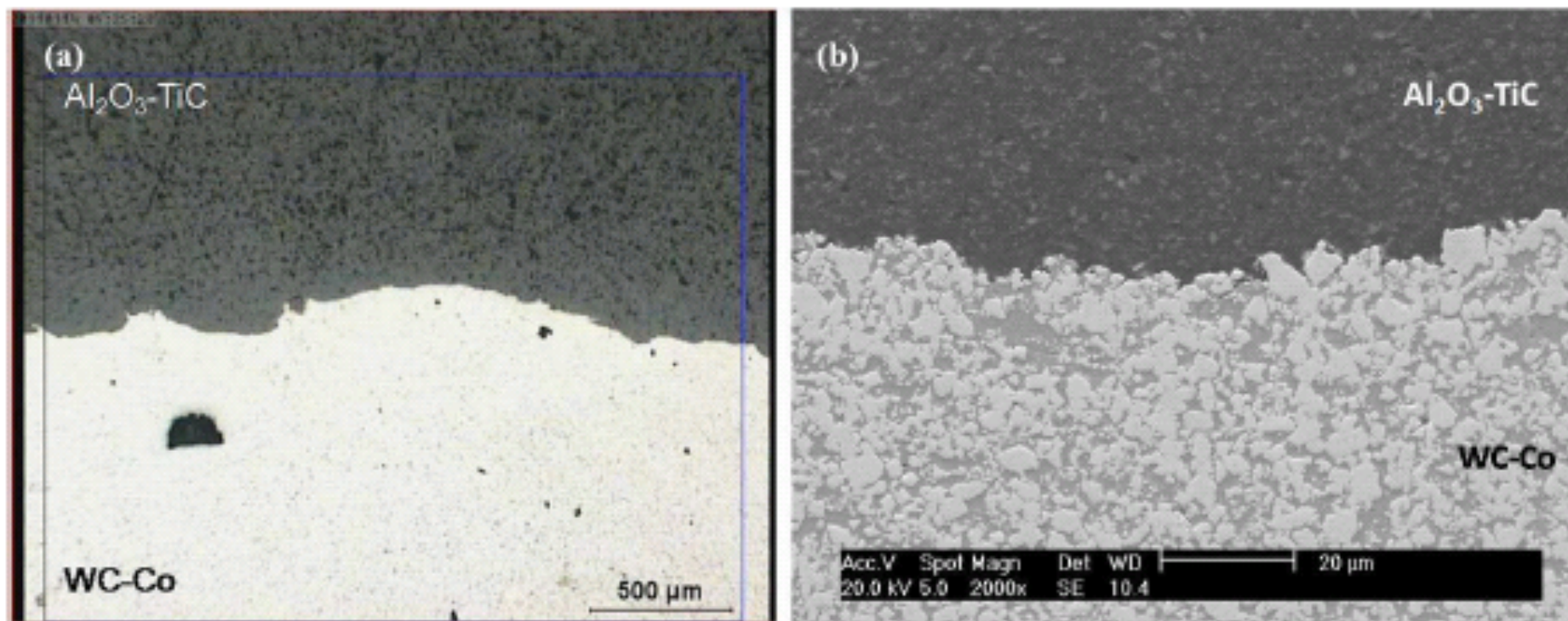


Materiais para ferramentas



Micrografia do gradiente obtido, a esquerda está a superfície (Frykholm e Andrén, 2001)

Materiais para ferramentas



$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC+WC-Co}$ (50 MPa, 1140°C e 2 min): (a) MO 50x; (b) MEV 2000x.



Materiais para ferramentas

Ferramentas para usinagem:

- Material a ser usinado;
- Processo de usinagem;
- Condição da máquina operatriz;
- Forma e dimensões da ferramenta;
- Custo do material da ferramenta;
- Condições de usinagem (desbaste, acabamento).

A ferramenta deve ter:

- Dureza a quente;
- Tenacidade;
- Estabilidade química;
- Resistência ao desgaste



Materiais para ferramentas

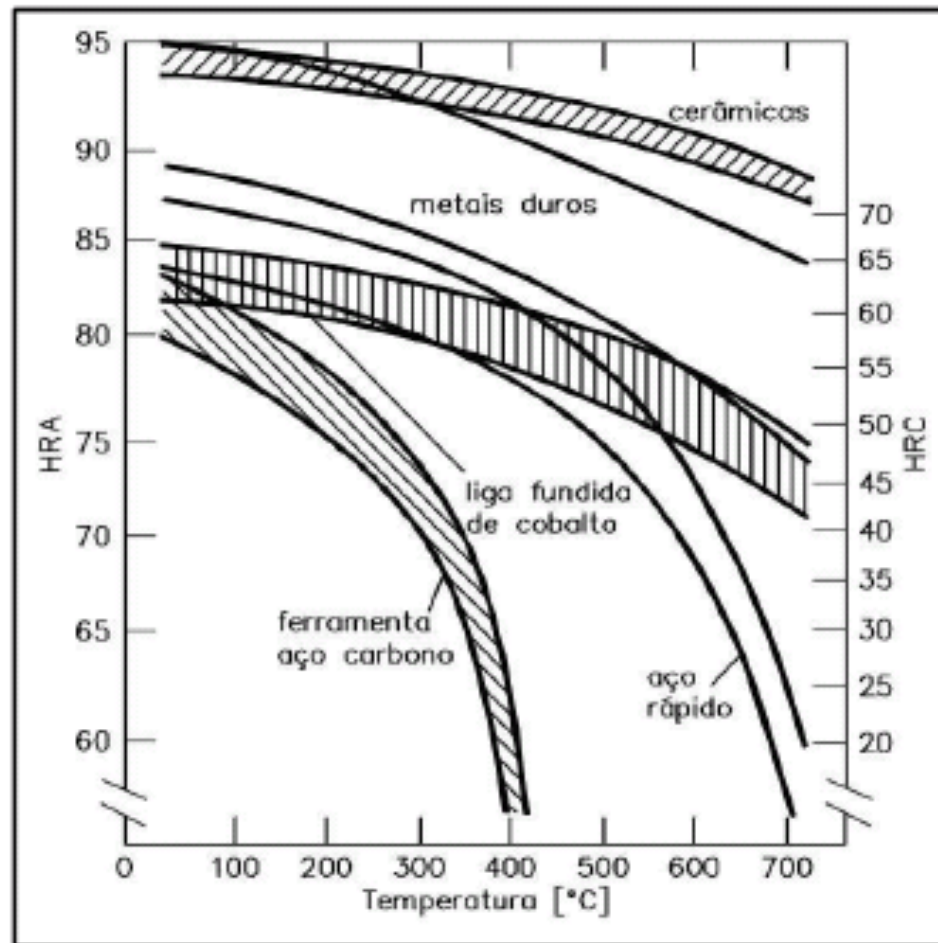
Seleção em usinagem

1. Aço Carbono	Aumento de dureza e resistência ao desgaste	Aumento de tenacidade
• Comum		
• Com elementos de liga (V, Cr)		
2. Aço Semi-Rápido (baixo W)		
3. Aço Rápido		
• Sem revestimento		
• Com revestimento		
4. Aço Super-Rápido (elevado teor de V)		
5. Ligas Fundidas		
6. Metal Duro (com e sem revestimento)		
Classes:		
• P	• N	
• M	• S	
• K	• H	
7. Cermets (com e sem revestimento)		
8. Cerâmicas		
• Com e sem revestimento		
• A base de Si_3N_4 - SIALON		
• A base de Al_2O_3		
• Pura		
• Com adições		
• ZrO_2 (branca)		
• TiC (preta)		
• SiC (whiskers)		
9. Ultraduros		
• CBN - PCBN		
• PCD		
10. Diamante Natural		

Figura 18 – Materiais para ferramentas de corte (ibid.).



Materiais para ferramentas



Variação da dureza de alguns materiais de ferramentas de corte em função da temperatura (adaptado de Shaw, 2005).



Materiais para ferramentas

Tabela 4 – Aplicação e classificação de Metal Duro.

Identificação (Classe)	Identificação (Cor)	Aplicação	Designação ISO	Dureza e Res. Desgaste	Tenacidade
P	Azul	Aço: Todos os tipos de aço e aço fundido, exceto aços inoxidáveis com estrutura austenítica	P01 P05 P10 P15 P20 P25 P30 P35 P40 P45 P50 P45	↑	↓
M	Amarelo	Aço Inoxidável: Aço inoxidável austenítico e austenítico/ferrítico e aço fundido	M01 M05 M10 M15 M20 M25 M30 M25 M40 M35	↑	↓
K	Vermelho	Ferro Fundido: Ferro fundido cinzento, ferro fundido nodular, ferro fundido maleável	K01 K05 K10 K15 K20 K15 K30 K25 K40 K35	↑	↓
N	Verde	Metais Não Ferrosos: Alumínio e outros metais não ferrosos, materiais não metálicos	N01 N05 N10 N15 N20 N15 N30 N25	↑	↓
S	Marrom	Superligas e Titânio: Ligas especiais resistente ao calor baseadas em ferro, níquel e cobalto, titânio e ligas de titânio	S01 S05 S10 S15 S20 S15 S30 S25	↑	↓
H	Cinza	Materiais Endurecidos: Aço endurecido, materiais de ferro fundido endurecido, ferro fundido branco	H01 H05 H10 H15 H20 H15 H30 H25	↑	↓

(ISO 513:2004)



Materiais para ferramentas

Cerâmicas

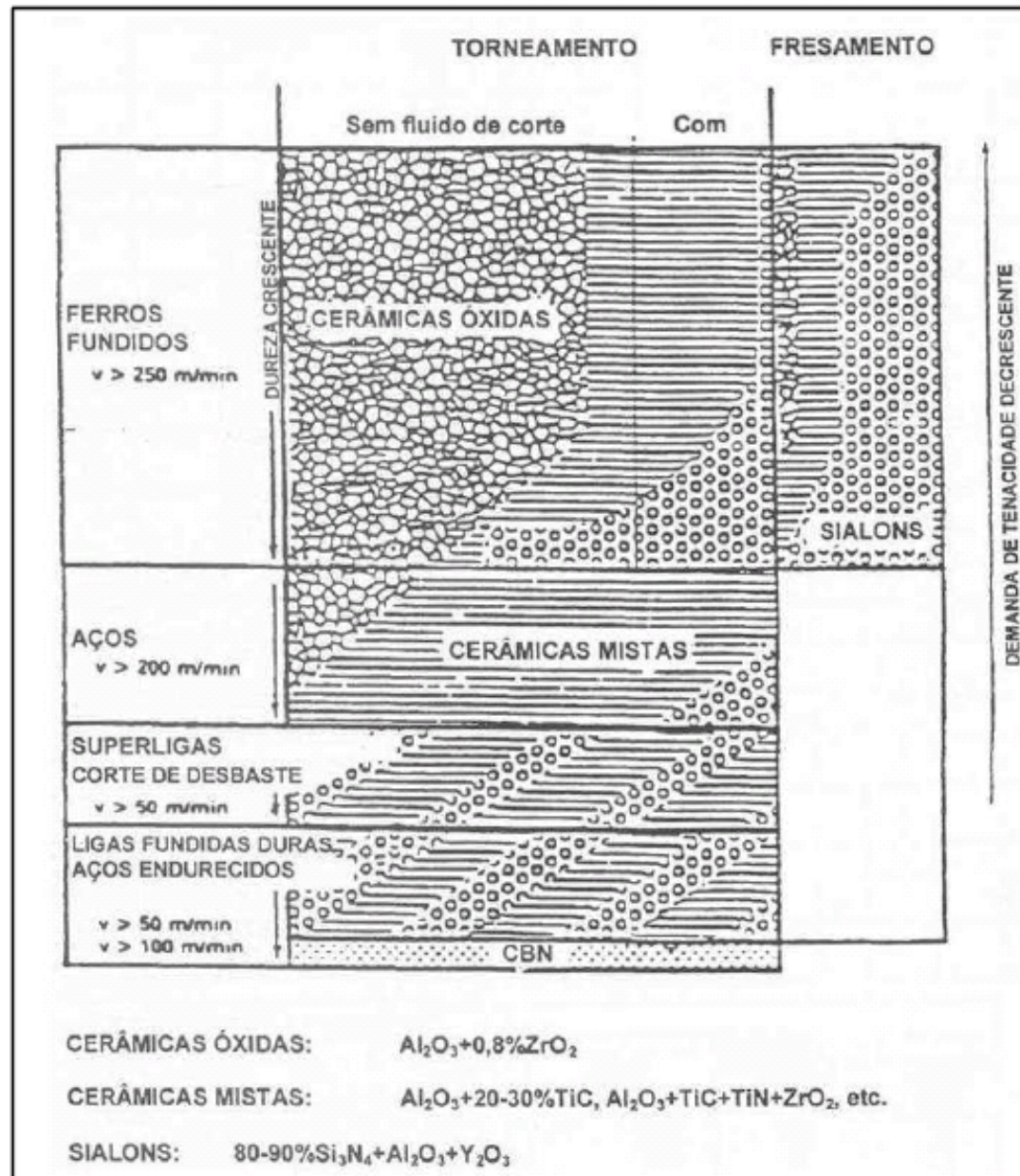
As ferramentas cerâmicas, também fabricadas pela metalurgia do pó, são utilizadas para uma ampla faixa de velocidades de corte em operações de acabamento e para desbaste com altas taxas de remoção em materiais de difícil usinagem (ASM Handbook, 1989).



Materiais para ferramentas

Cerâmicas

As cerâmicas, geralmente, usadas em usinagem são aquelas a base de alumina (Al_2O_3) ou nitreto de silício (Si_3N_4). Podem ainda ser utilizados aditivos para auxiliar a sinterização (ASM Handbook, 1989).

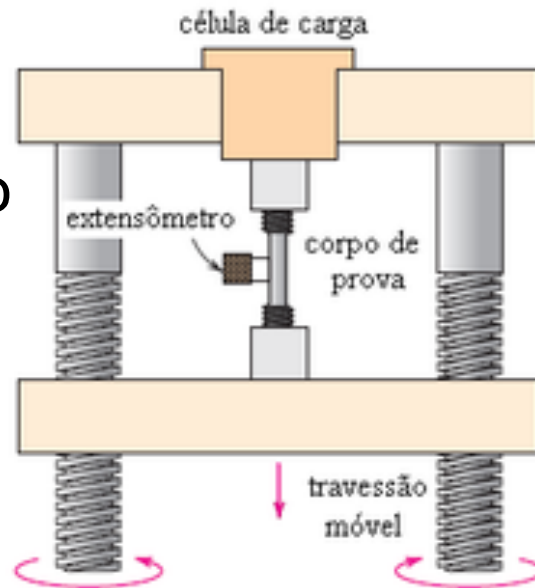


– Campo de aplicação das Cerâmicas e CBN (Pastor, 1987 apud. Machado et al., 2009).

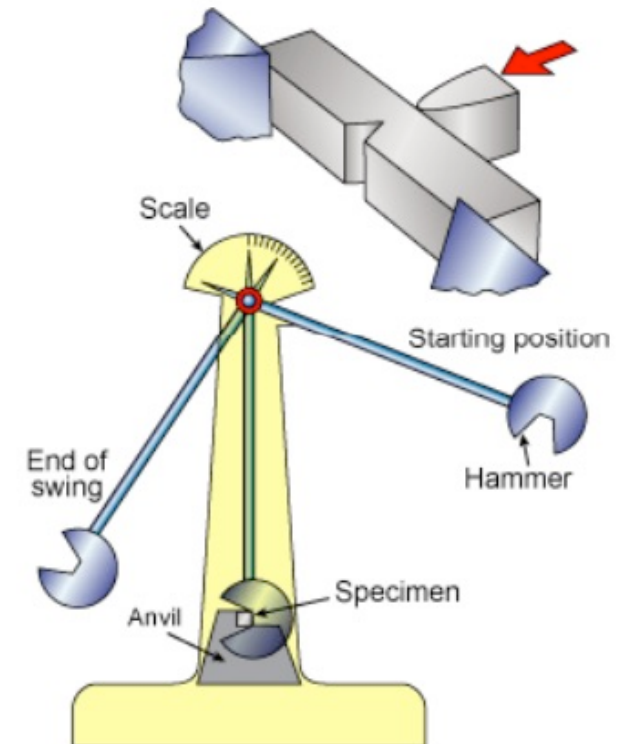


Propriedades mecânicas

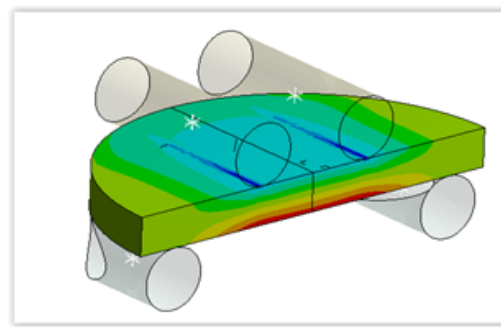
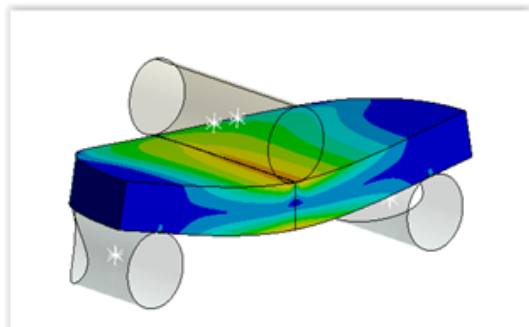
Ensaio de tração



Ensaio de impacto



Ensaio de flexão





Propriedades mecânicas

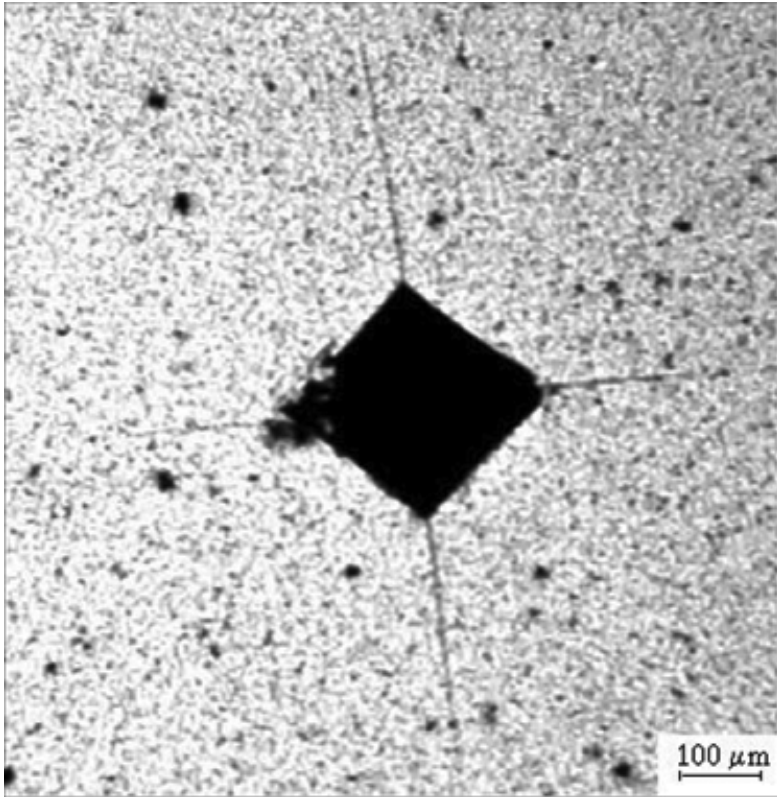


Figura 1: Trincas radiais superficiais em um WC-6Co [11].

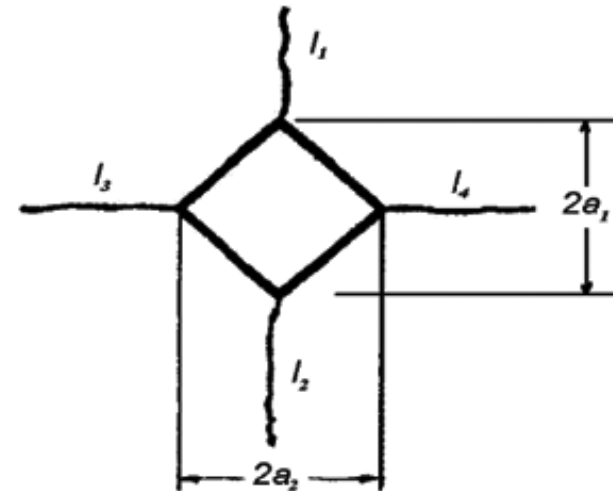


Figura 2: Representação esquemática das medidas das trincas radiais Palmqvist [11, 15].

$$\left(\frac{K_{IC}\phi}{Ha^{1/2}} \right) \left(\frac{H}{E\phi} \right)^{2/5} = 0,035 \left(\frac{l}{a} \right)^{-1/2}$$

$$K_{IC} = 0,019(Ha) \left(\frac{E}{H} \right)^{2/5} l^{-1/2}$$



Propriedades mecânicas

Alta porosidade → quantidade de poros

→ MACRO

Baixa porosidade → tamanho, forma e distribuição dos poros, distância entre poros, microestrutura e presença de inclusões

→ MICRO (interação entre poros, microestrutura)



Propriedades mecânicas

MACRO

- Concentrador de tensão;
- Nucleação de trinca;
- Diminuição do módulo elástico;
- Diminuição da dureza;
- Diminuição da tenacidade;
- Diminuição da vida a fadiga.



Propriedades importantes e resultantes do processo de metalurgia do pó

- Estrutura cristalina;
- Densidade teórica;
- Propriedades mecânicas;
- Temperatura de Fusão.

Unitária, depende da partícula

- Dimensões médias da partícula;
- Distribuição dos tamanhos de partícula;
- Superfície específica;
- Densidade aparente;
- Atrito entre as partículas;
- Compressibilidade.

Média, depende do pó produzido



Propriedades mecânicas de alguns materiais produzidos por metalurgia do pó

Designation	MPIF type	Condition	Ultimate tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Hardness	Elongation in 25 mm (%)	Elastic modulus (GPa)
Ferrous							
FC-0208	N	AS	225	205	45 HRB	<0.5	70
		HT	295	—	95 HRB	<0.5	70
	R	AS	415	330	70 HRB	1	110
		HT	550	—	35 HRC	<0.5	110
	S	AS	550	395	80 HRB	1.5	130
		HT	690	655	40 HRC	<0.5	130
FN-0405	S	AS	425	240	72 HRB	4.5	145
		HT	1060	880	39 HRC	1	145
	T	AS	510	295	80 HRB	6	160
		HT	1240	1060	44 HRC	1.5	160
Aluminum							
601 AB, pressed bar		AS	110	48	60 HRH	6	—
		HT	252	241	75 HRH	2	—
Brass							
CZP-0220	T	—	165	76	55 HRH	13	—
	U	—	193	89	68 HRH	19	—
	W	—	221	103	75 HRH	23	—
Titanium							
Ti-6Al-4V		HIP	917	827	—	13	—
Superalloys							
Stellite 19		—	1035	—	49 HRC	<1	—

MPIF: Metal Powder Industries Federation. AS: as sintered, HT: heat treated, HIP: hot isostatically pressed.



Propriedades mecânicas da liga Ti-6Al-4V, produzida por diferentes métodos.

Process(*)	Density (%)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
Cast	100	840	930	7	15
Cast and forged	100	875	965	14	40
Blended elemental (P+S)	98	786	875	8	14
Blended elemental (HIP)	>99	805	875	9	17
Prealloyed (HIP)	100	880	975	14	26

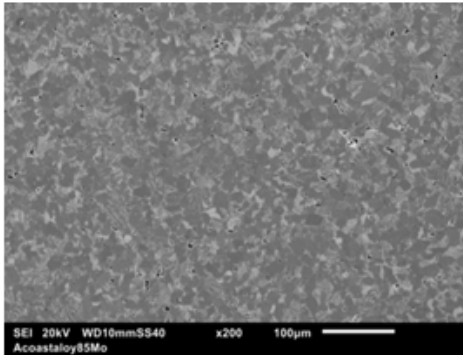
(*) P+S = pressed and sintered, HIP = hot isostatically pressed.

Source: R.M. German.

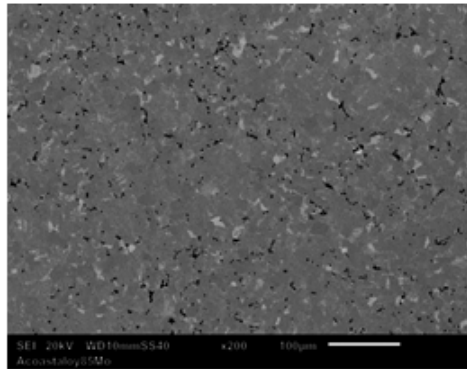


Caracterização da porosidade

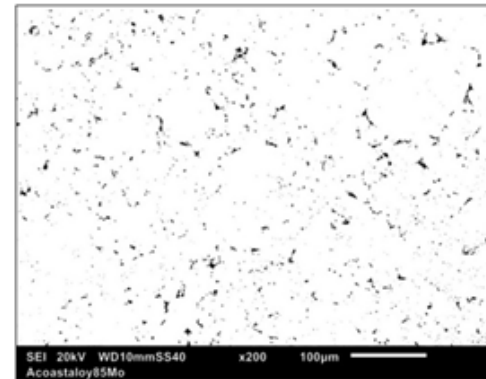
- Método de Archimedes (fração volumétrica poros);
- Método de imagem (características dos poros);



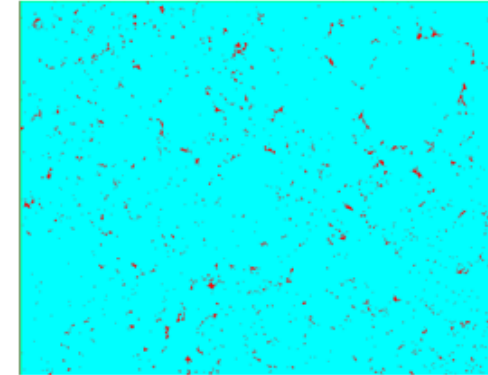
(a)



(b)

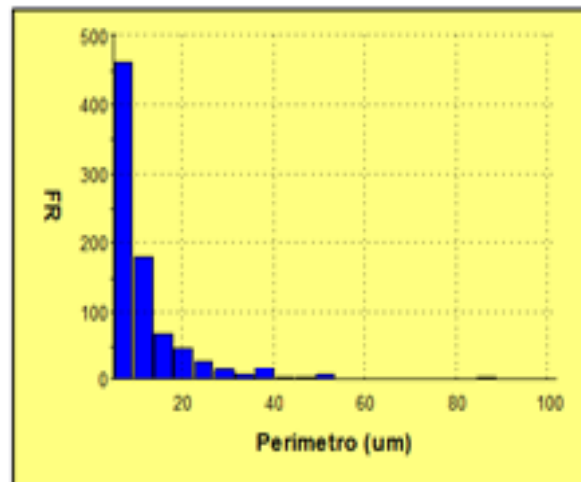
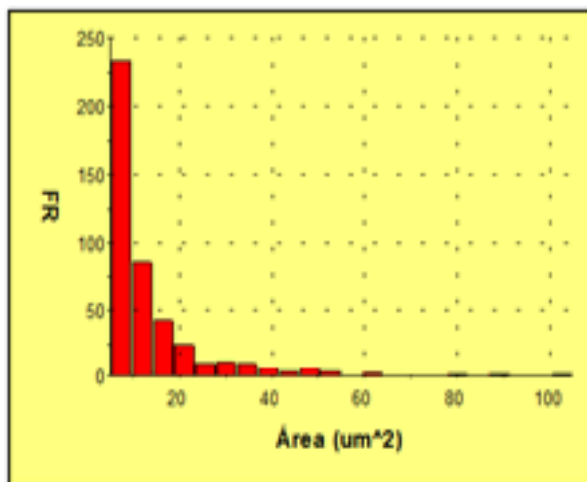


(c)



(d)

Matriz (azul) = 96,5% e Porosidade (vermelho) = 3,5%



Distribuição de área e de perímetro dos poros



Caracterização da porosidade

Fator de forma (PADILHA; AMBROZIO, 1985)

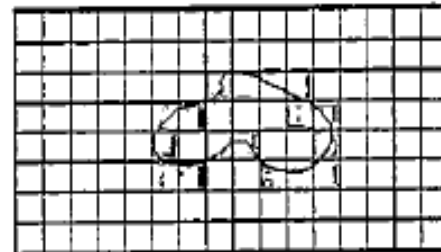
$$f = 4\pi A / p^2$$

$0 < f < 1$

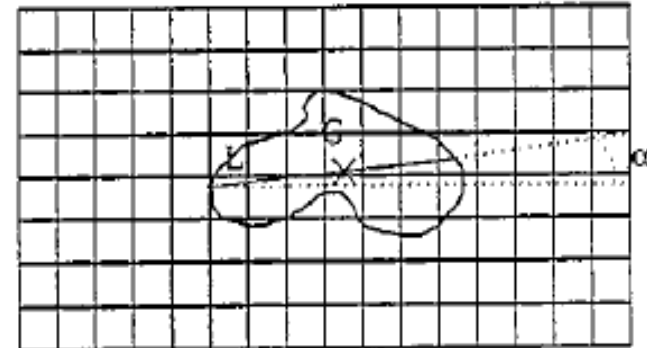
$f = 1 \rightarrow$ poro circular, $f < 1 \rightarrow$ poro mais “irregular”



Superfície



Perímetro



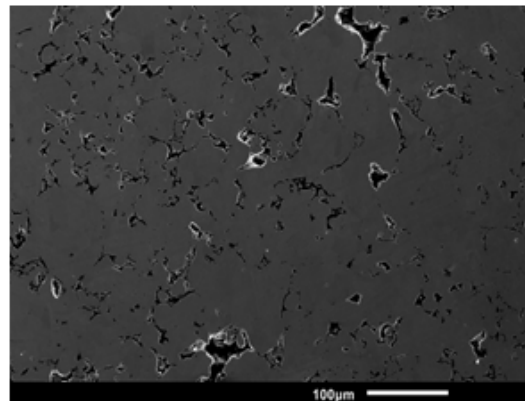
L=comprimento ; α = inclinação

Exemplo de redes de pontos utilizadas na metalografia quantitativa, adaptado de (CARABAJAR; VERDU; FOUGÈRES, 1997).

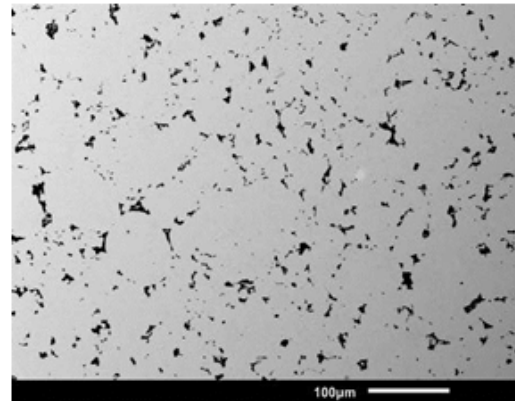


Caracterização da porosidade

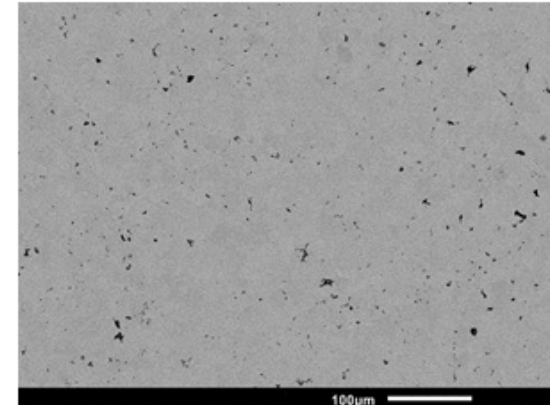
Optical analysis



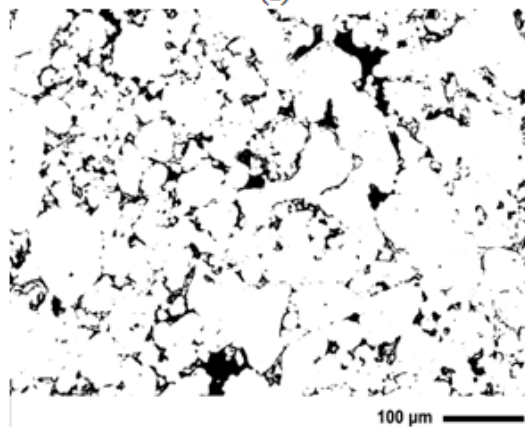
(a)



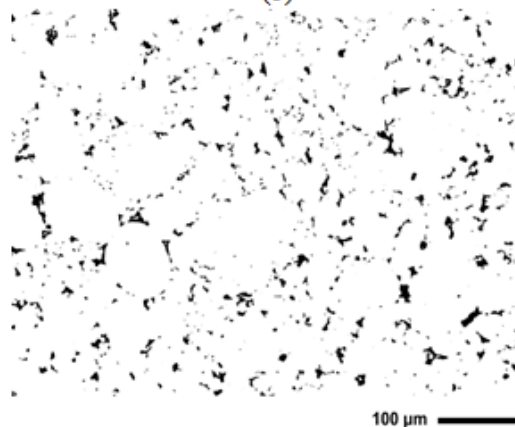
(b)



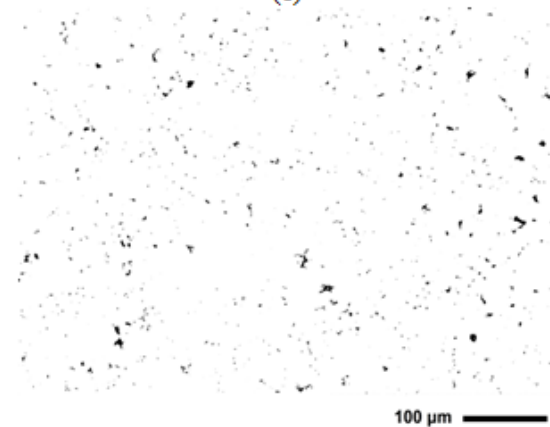
(c)



(d)



(e)



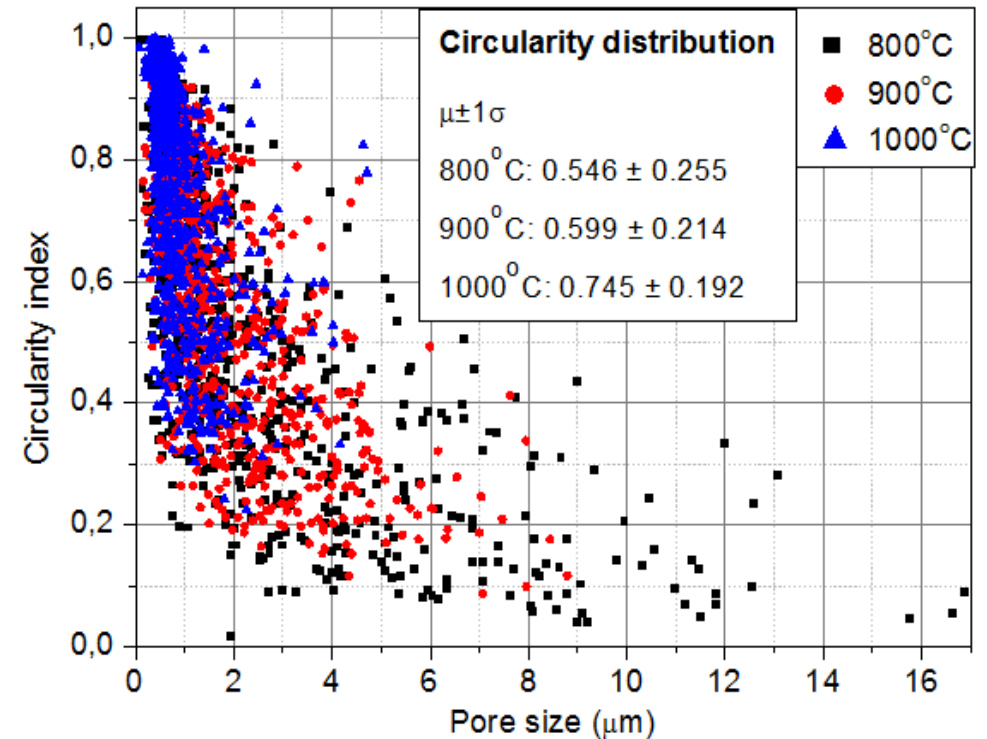
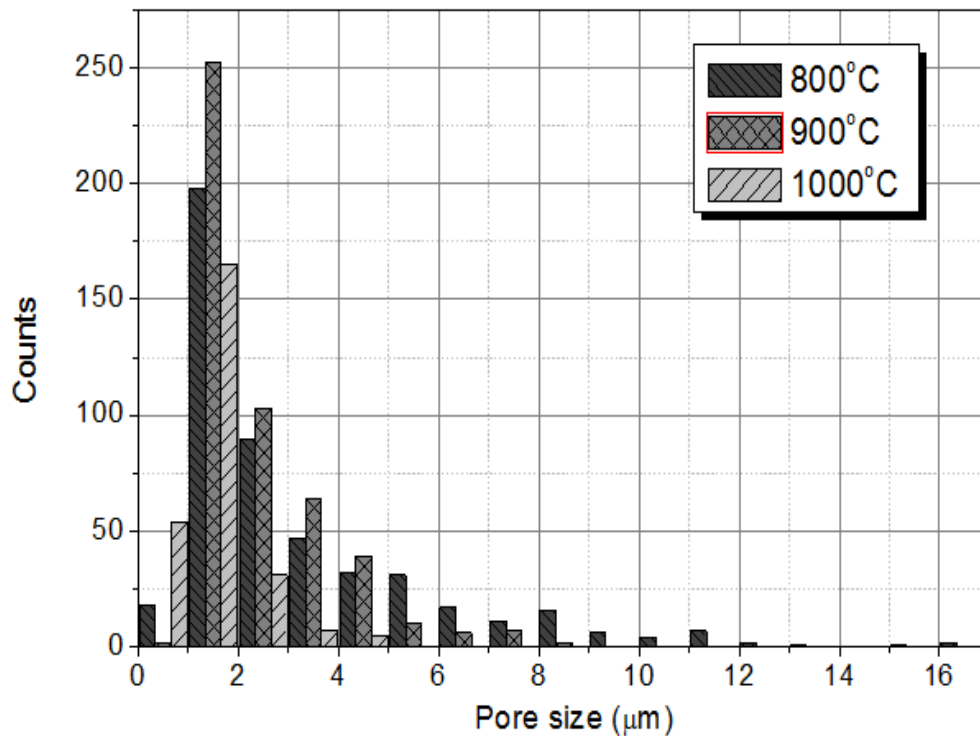
(f)

SEM images of PM material sintered at (a) 800 °C, (b) 900 °C and (c) 1000 °C and filtered images for pores characterization (d), (e) and (f).



Caracterização da porosidade

Características dos pós



$$\text{Pore size} = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Circularity index} = \left(\frac{4\pi A}{p^2}\right)$$

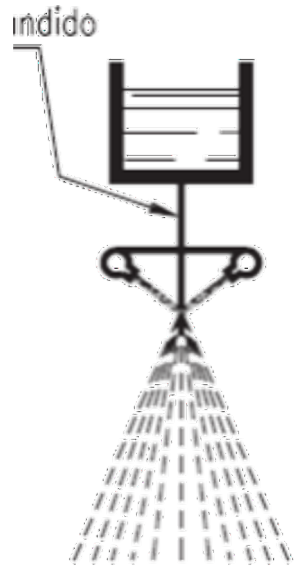


Produção de pós

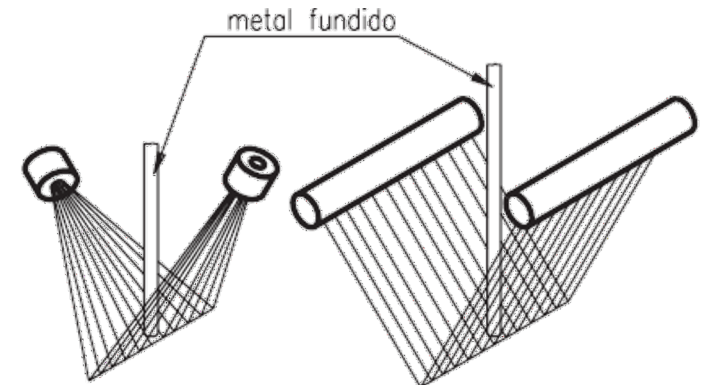
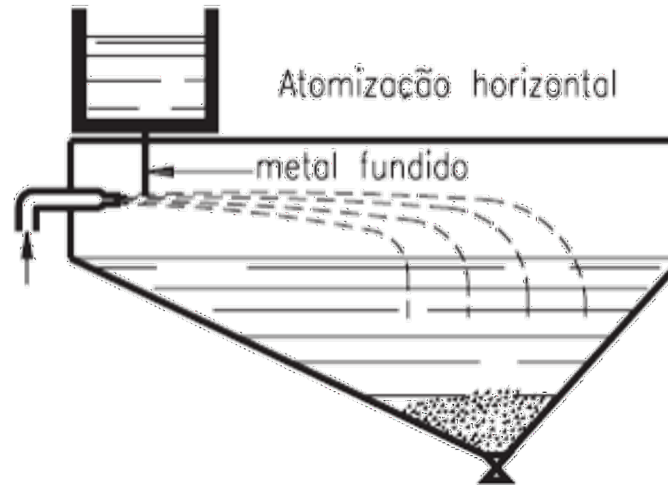
1. Atomização com líquido ou gás;
2. Redução de óxidos;
3. Deposição eletrolítica;
4. Decomposição térmica;
5. Cominuição.



Produção de Pós - Atomização



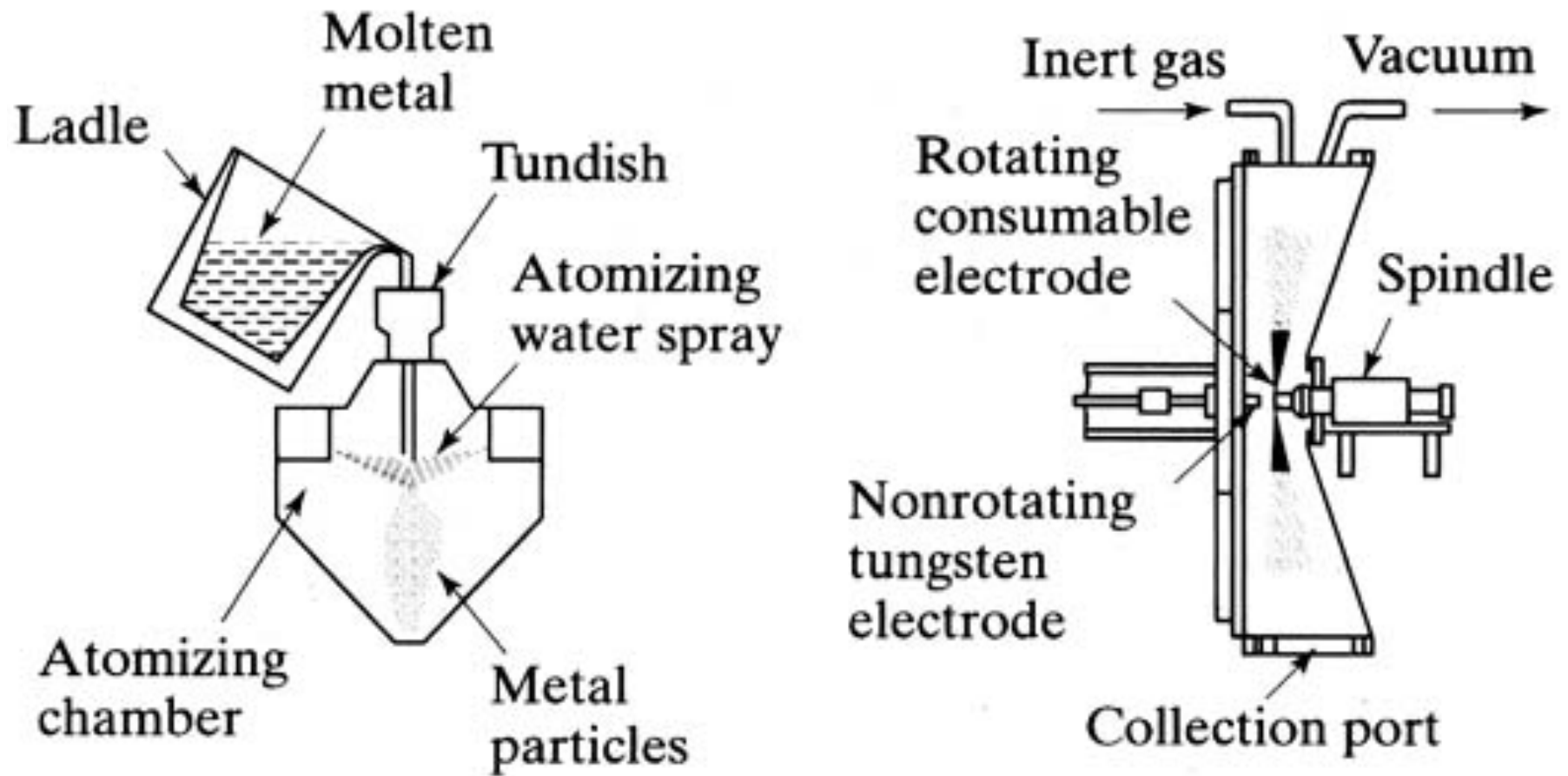
Atomização vertical



Tipos de bocais de atomização

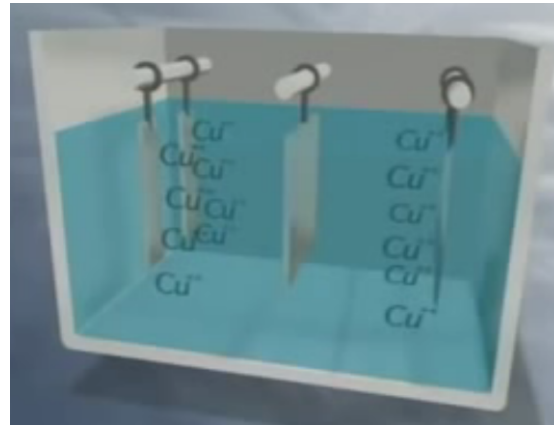
- Metal fundido é vazado através de um orifício, formando um filete líquido que é bombardeado por jatos de ar, gás ou água;
- Jatos saem de bocais escolhidos de acordo com o formato do grão desejado e produzem a pulverização do filete de metal fundido além do imediato resfriamento;
- O pó é recolhido e reduzido (reação química) e peneirado;
- A espessura do filete, pressão do fluido, configuração do bocal de atomização e tipo de atomização determinam tamanho e forma das partículas.

Produção de Pós - Atomização





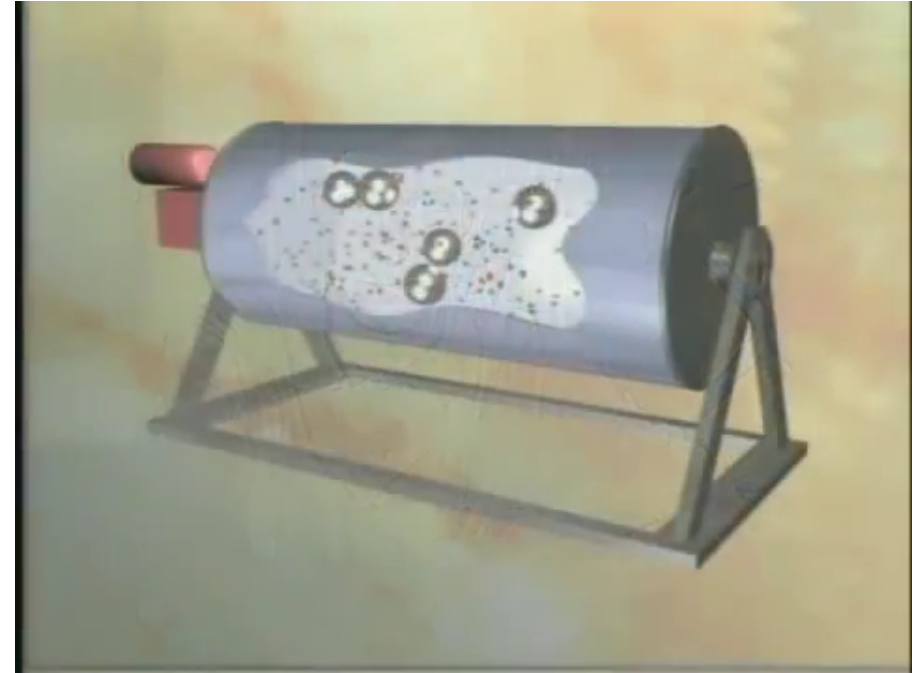
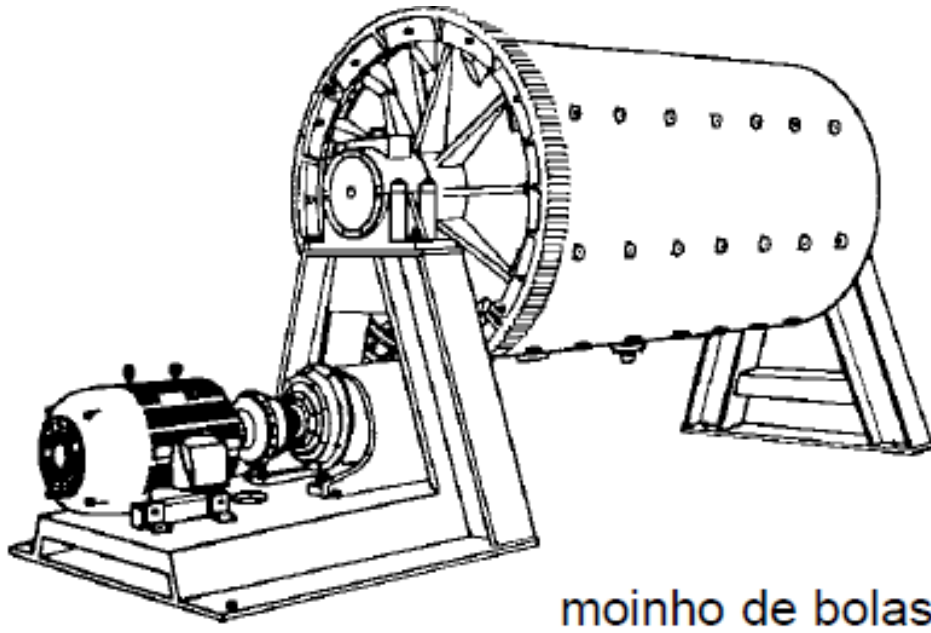
Produção de Pós - Eletrólise



- Método físico-químico, utilizado principalmente na fabricação de pó de cobre;
- Metal sólido é colocado em um tanque e dissolvido numa solução eletrolítica durante a passagem de corrente elétrica;
- Pó com alto grau de pureza;
- Depois da eletrólise, a massa de pó (lama) é neutralizada, secada e reduzida com conseguinte classificação por peneiramento.



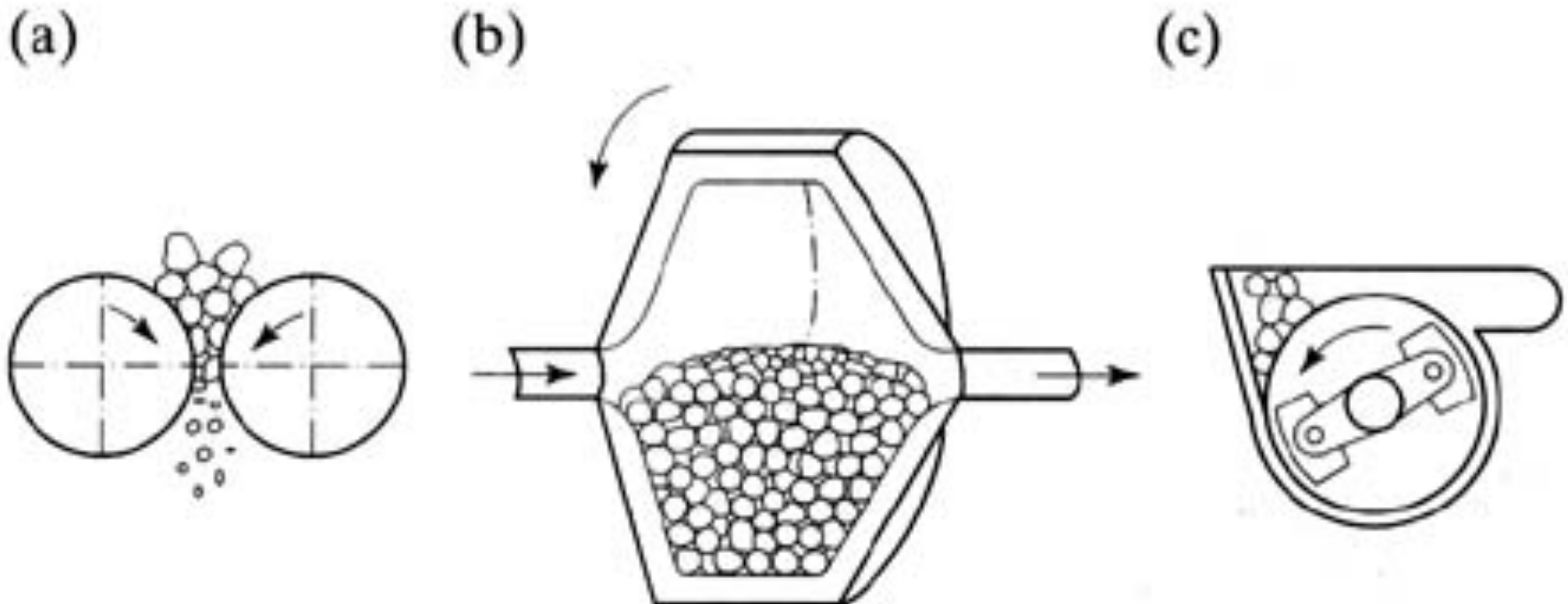
Produção de Pós – Métodos mecânicos - Moagem



- O método mecânico mais usado é a moagem.
- Consiste num tambor rotativo contendo esferas metálicas de material resistente ao desgaste. Conforme o tambor gira, as esferas se chocam, produzindo a quebra gradativa das partículas.



Produção de Pós – Processo de cominuição





Produção de Pós

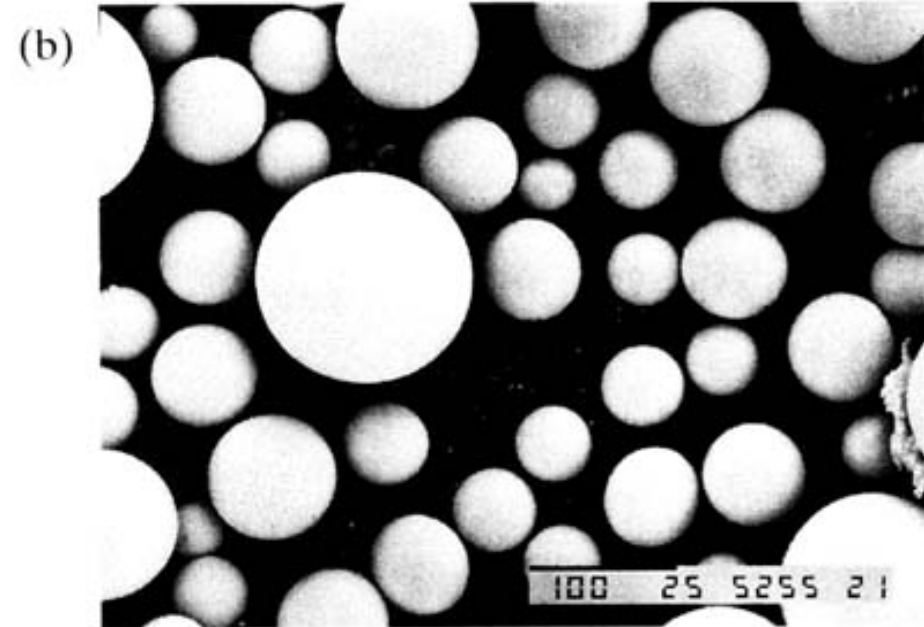
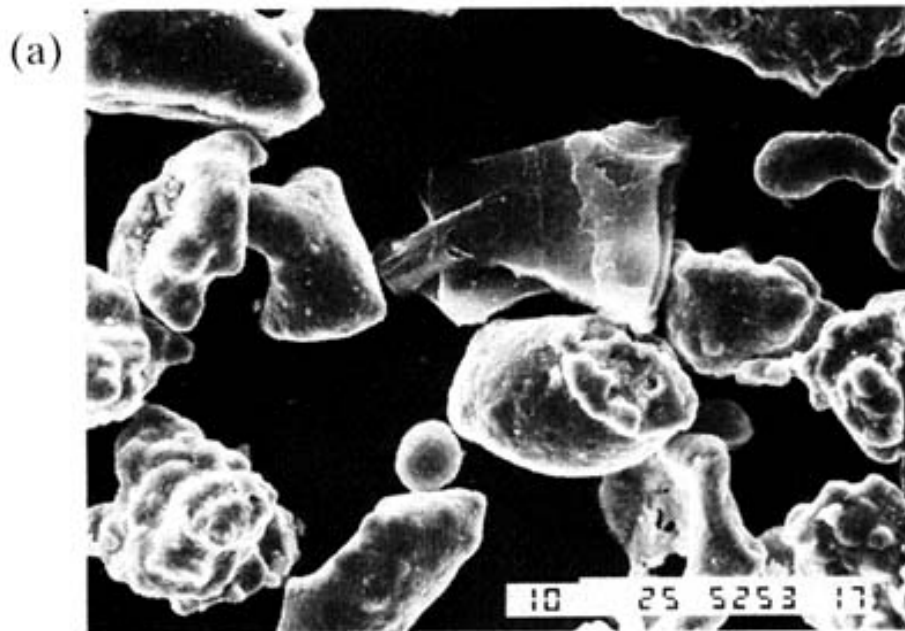
Um processo semelhante ao de cominuição, mas que utiliza diferentes tipos de metais é o “mechanical alloying”. Durante a moagem os diferentes metais reagem, produzindo uma liga na forma de pó. Embora existam outros processos esses são dos mais importantes.

Alguns tipos de pós podem ser também produzidos por redução de óxidos, utilizando gases como hidrogênio e monóxido de carbono. Os pós produzidos por esse método são porosos e de tamanho uniforme. Outro processo de produção de pós é o eletrolítico. Nesse processo há deposição do pó metálico em um dos eletrodos.



✓ Produção de pós

Diferentes tipos de pós utilizados em metalurgia do pó



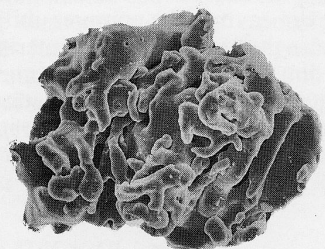


✓ Produção de pós

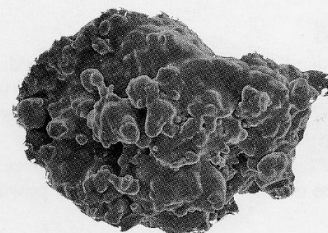
Morfologia do pó

Pó reduzido

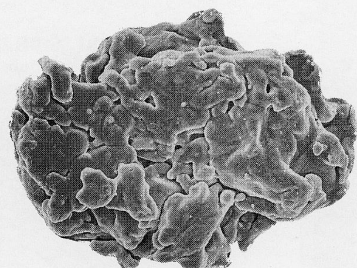
Pó atomizado



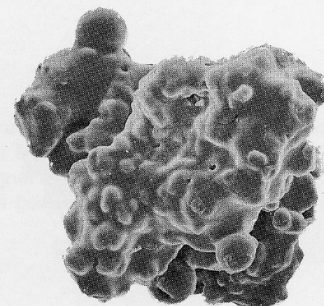
NC 100.24
Pó de boa
compressibilidade
e dureza a verde



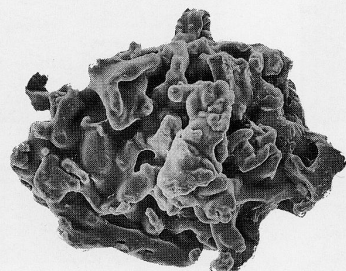
AHC 100.29
Pó de boa
compressibilidade



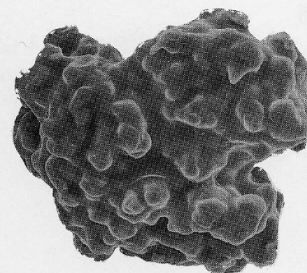
SC 100.26
Pó de alta
compressibilidade



ASC 100.29
Pó de alta
compressibilidade



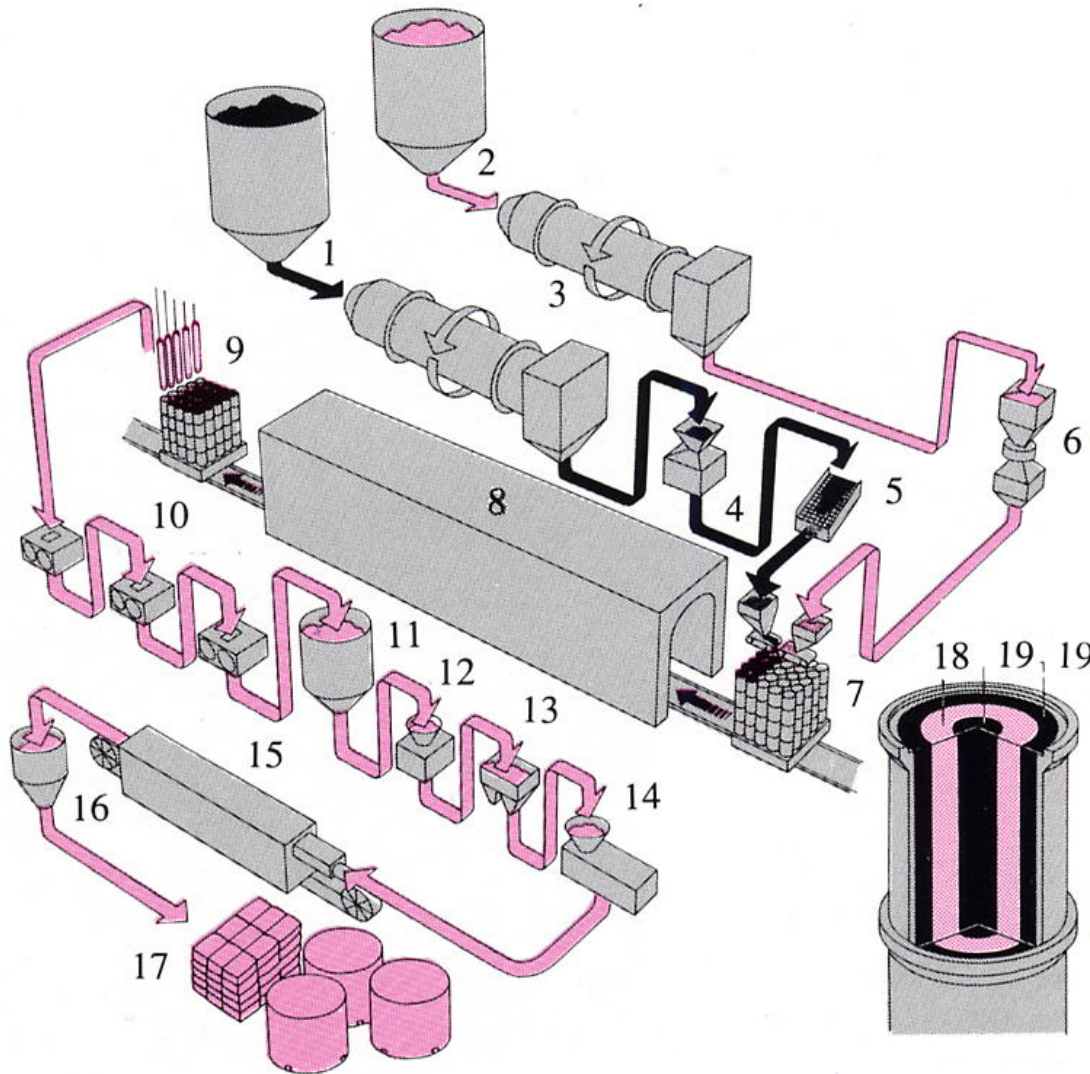
MH 80.23
Pó com elevada
resistencia à verde



ABC 100.30
Pó de alta
compressibilidade e
elvada pureza



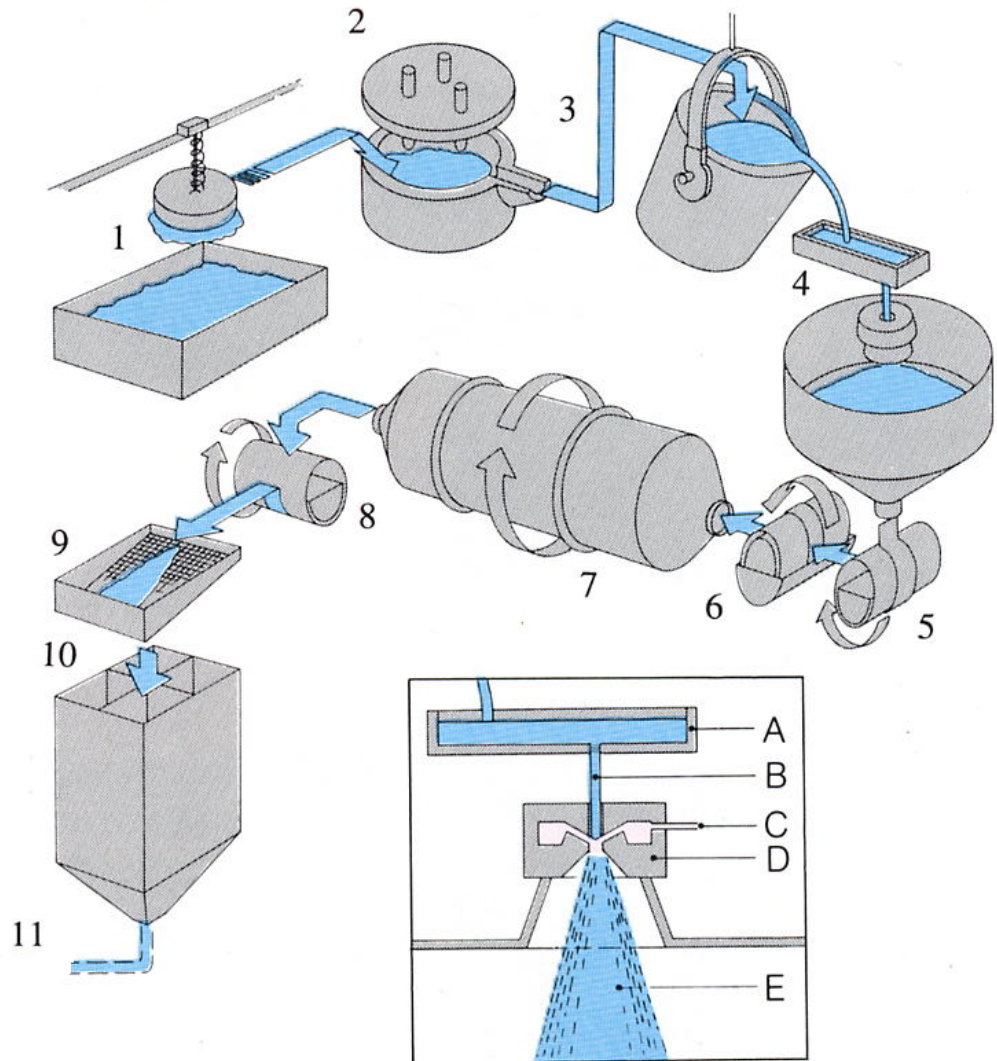
Produção de pós de ferro



- 1- Mistura redutora e desfosforante de coque e calcário
- 2- Minério de ferro
- 3- Secagem
- 4- Moagem
- 5- Peneiramento
- 6- Separação magnética
- 7- Carga no tubo cerâmico
- 8- Redução no tubo a 1200 ° C
- 9- Descarregamento da carga
- 10- Moagem
- 11- Armazenamento temporário
- 12- Moagem
- 13- Separação magnética
- 14- Moagem fina e peneiramento
- 15- Recozimento a 800-900 ° C
- 16- Homogeneização
- 17- Embalagem
- 18- Minério de ferro
- 19- Mistura redutora



Produção de pó de ferro



4) ATOMIZING

- 1- Sucata selecionada
- 2- Forno a rco
- 3- Aço líquido
- 4- Atomização
- 5- Separação magnética úmida
- 6- Desidratação
- 7- Secagem
- 8- Separação magnética a seco
- 9- Peneiramento
- 10- Equalização
- 11- Recozimento em fornos contínuos a 800-900 ° C

Atomização

- A- Recipiente
- B- Canal de alimentação
- C- Água em alta pressão
- D- Bocal
- E- Pó de ferro

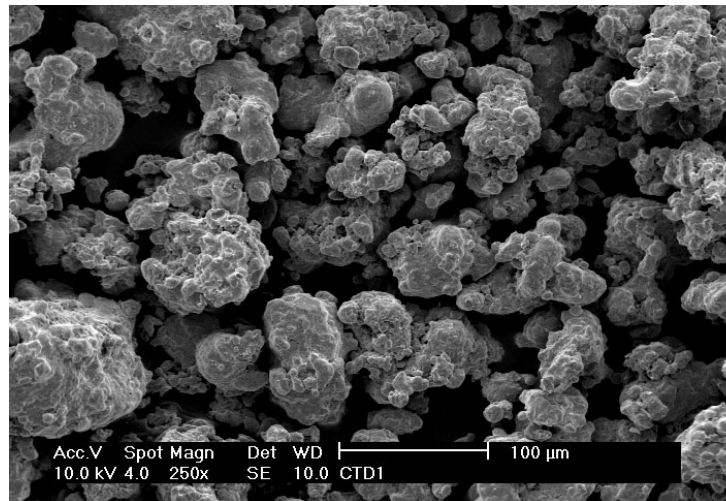


- ✓ Produção de pós

Misturas

Seleção dos materiais

- ✓ Elementares (sem elementos de liga)
- ✓ Pré-difundidos (misturas de pós com diferentes composições, facilitar processos compactação e sinterização)



(fonte site Metal Pó)

- ✓ Pré-ligados (ligas)



- ✓ Produção de pós

Misturas

- ✓ Elementares (sem elementos de liga)
- ✓ Pré-difundidos (misturas de pós com diferentes composições, facilitar processos compactação e sinterização)
- ✓ Pré-ligados (ligas)

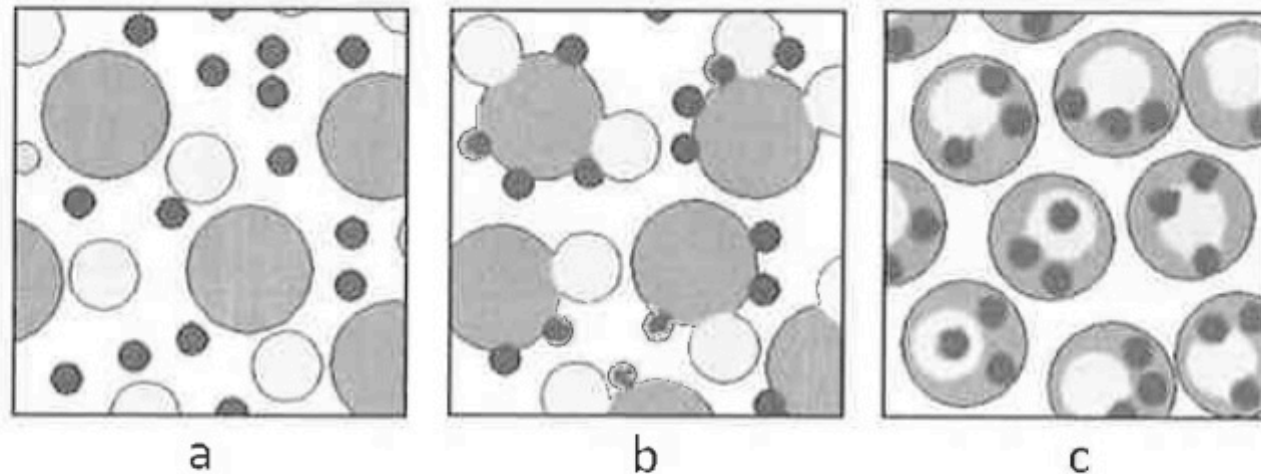


Figura 6.2- Representação dos tipos de mistura de liga: a) Elementar ; b) Pré-difundido ; c) Pré-ligado.



- ✓ Produção de pós

Misturas

Caracterização do pós

- ✓ Características metalúrgicas (composição química e presença de impurezas; microestrutura, microdureza)
- ✓ Características geométricas (distribuição granulométrica, formato externo da partícula, porosidade)
- ✓ Características que influenciam nas propriedades mecânicas (escoamento, densidade aparente, compressibilidade, pressão de extração, resistência à verde, e retorno elástico)



- ✓ Produção de pós

Misturas

A mistura consiste em obter uma homogeneização das matérias primas: pós metálicos, elementos de liga e lubrificantes.

Visa a produção de composição química especificada e adequar a mistura às condições de boa escoabilidade e densidade aparente.

A complexidade das misturas aumenta a medida que se aumentam os elementos de liga e compostos como a adição de MnS para melhorar a usinabilidade.



- ✓ Produção de pós

Misturas

Lubrificantes: usado para reduzir o atrito entre os componentes do ferramental com a mistura e dentro da própria mistura, reduzir o atrito entre as partículas.

Principais lubrificantes: estearato de zinco, ceras amídicas, estearato de lítio, lubrificantes sintéticos.

O cálculo das quantidades de lubrificante é feita levando em conta que 100% da mistura é composta por pós. Para a liga contendo 96,4%Fe, 2%Cu, 0,6%grafite e 1%Ni (% em massa) a porcentagem de lubrificante é de 0,75%.



- ✓ Produção de pós

Misturas

As misturas devem ser homogêneas.

A qualidade das misturas depende da razão entre os componentes da mistura, dos tamanho médios de partículas, granulometria, estrutura da superfície da partícula e o do método utilizado para a mistura.

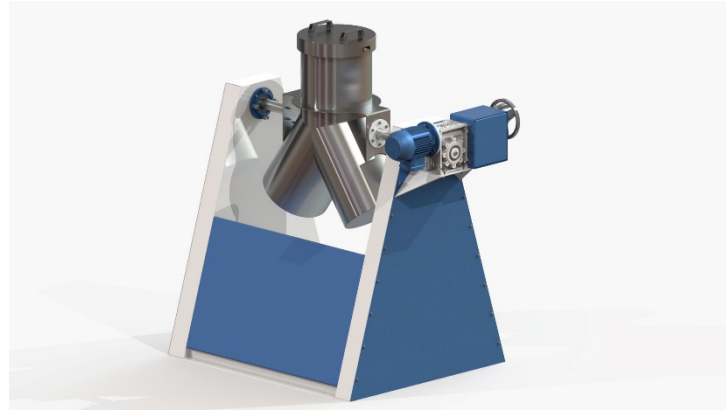


- ✓ Produção de pós

Misturas - Classificação

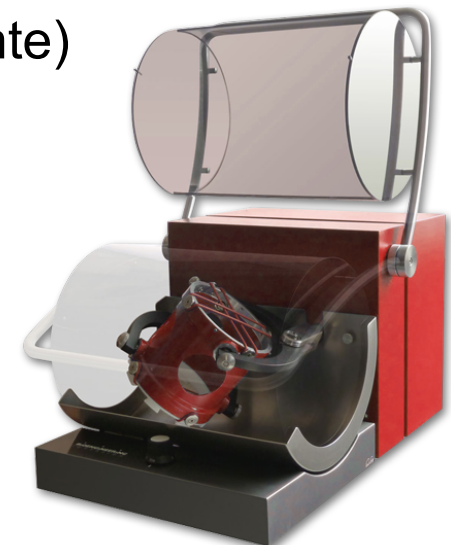
- Força

1. Gravidade (em Y)



1. Mecânica (presença de corpos estacionários ou móveis, há necessidade de mais energia em misturas que não se formam facilmente)

2. Escoamento (pós muito finos)



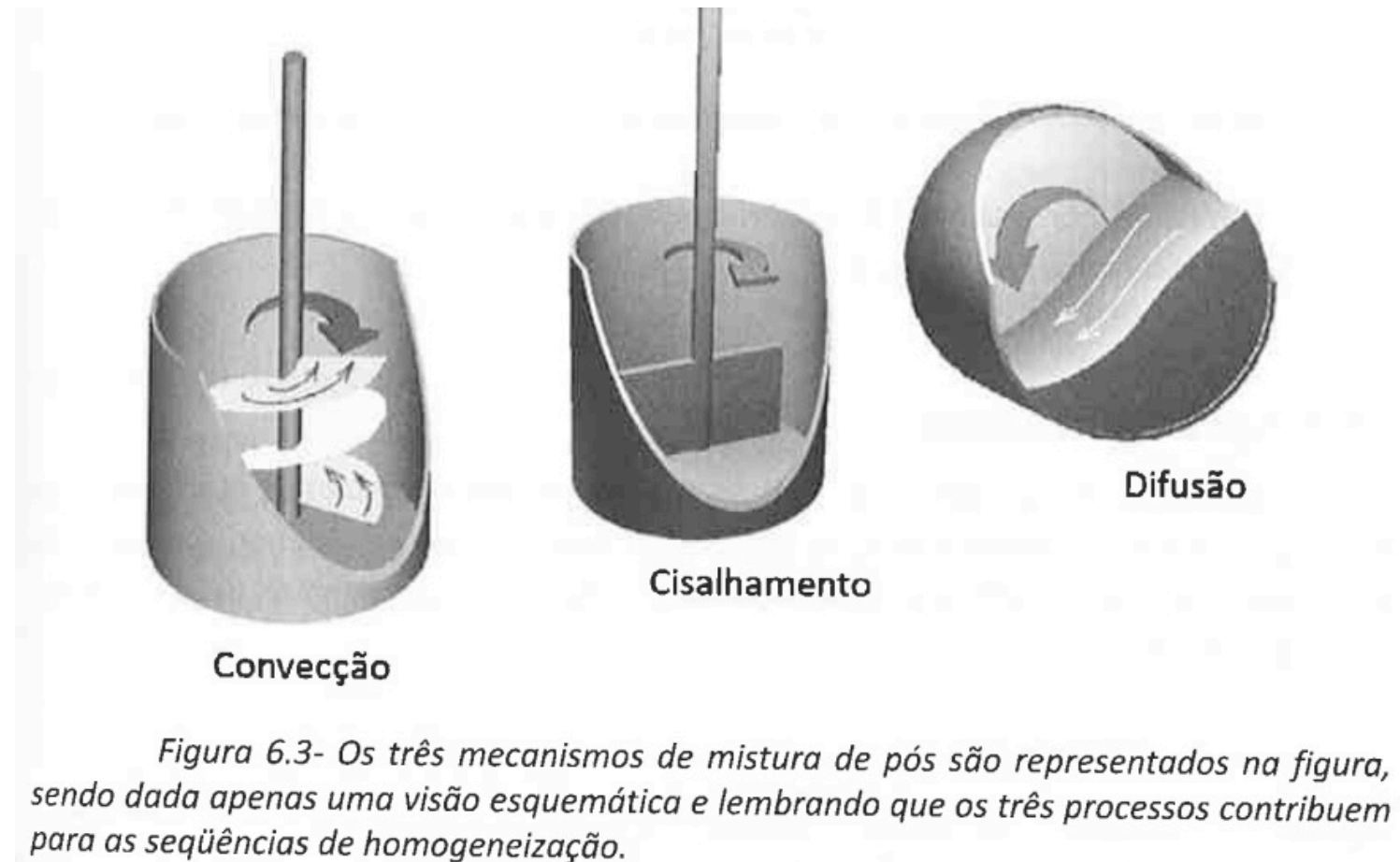


✓ Produção de pós

Misturas - Classificação

- Tipo de mistura

1. Difusão
2. Convecção
3. Cisalhamento





✓ Produção de pós

Misturas - Classificação

- Tipo de mistura

1. Difusão
2. Convecção
3. Cisalhamento

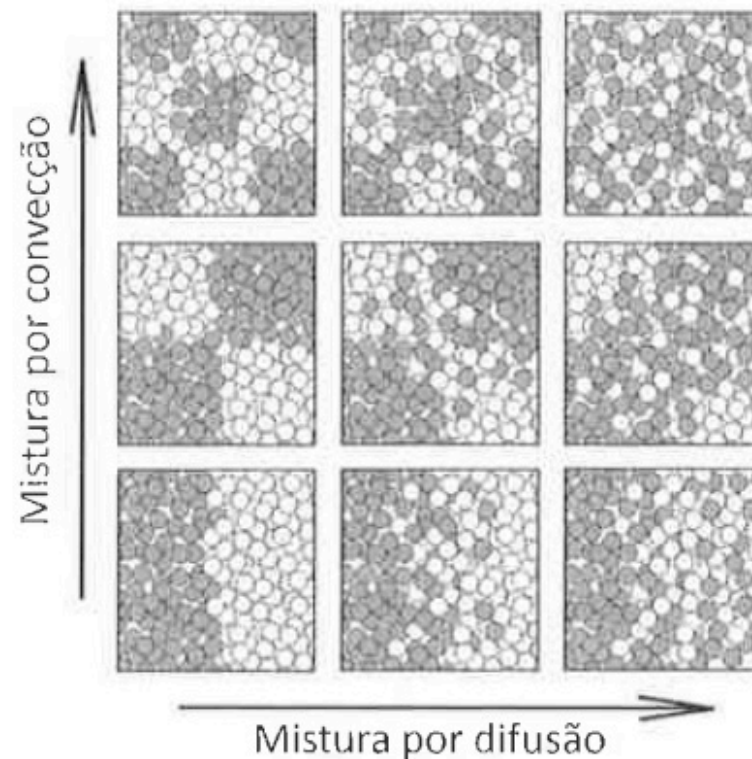


Figura 6.4 – Diferença entre os conceitos de mistura por difusão e convecção



- ✓ Produção de pós

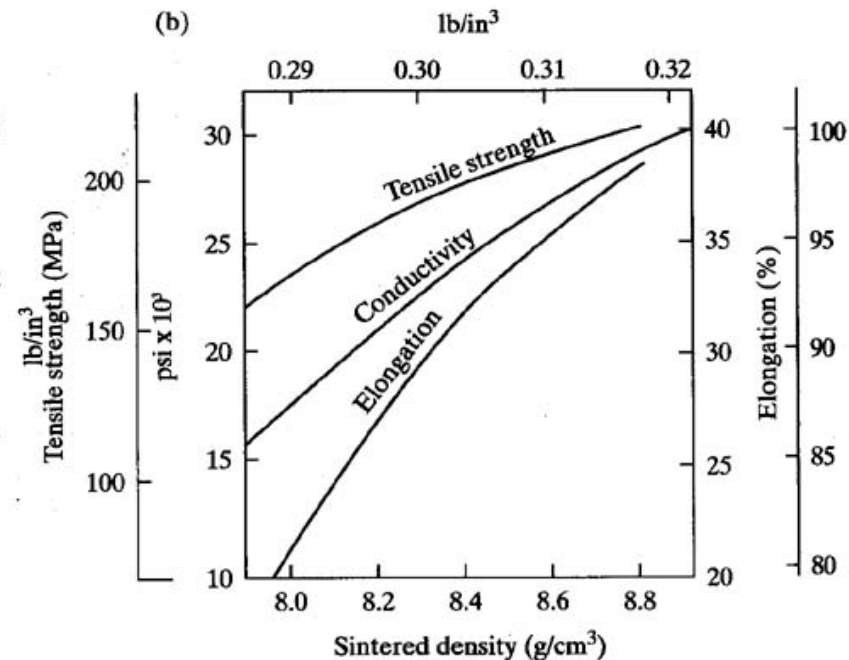
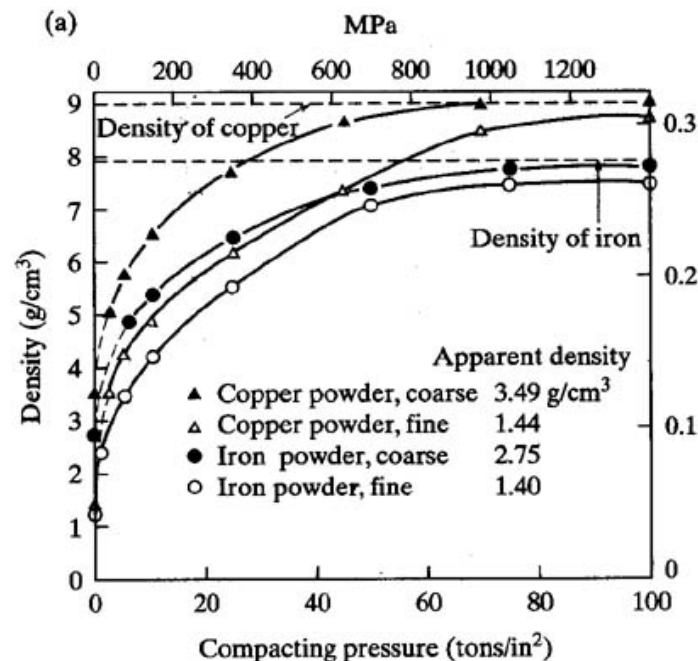
Misturas - Procedimento

- Tempo mínimo-máximo de processamento da mistura (10 a 30 min) - Volume do misturador define sua eficiência
- Segregação (manuseio, transporte e armazenamento)
 1. Trajetória e densidade da partícula
 2. Tombamento ou percolação em função de diferenças no tamanho da partícula
 3. Empoeiramento ocorre pelo acúmulo de partículas menores na superfície em função de correntes de ar.



Compactação

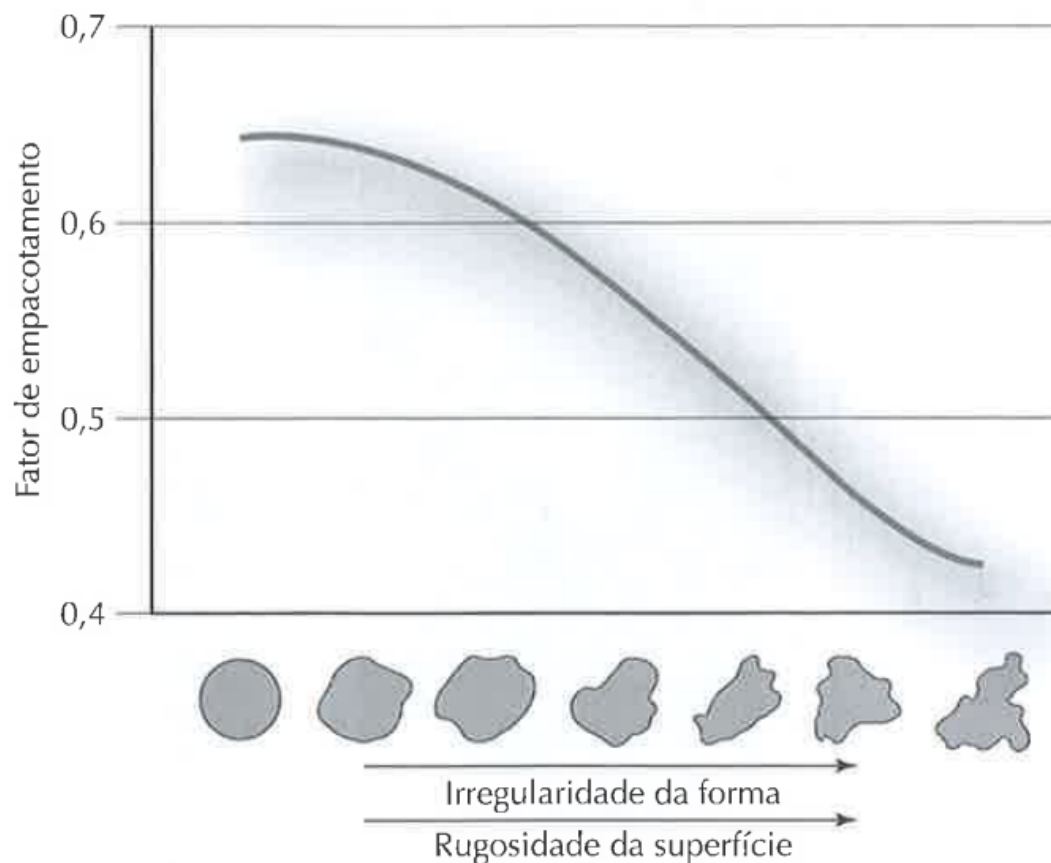
Outra etapa do processo de metalurgia do pó a compactação. Os pós metálicos ou cerâmicos são compactados em matrizes, sendo prensados na forma desejada. Essa etapa é muito importante, pois além da forma, o prensado deve ter densidade alta, isto é, as partículas devem estar todas em contato umas com as outras. Quanto mais elevada a densidade do compactado melhor. Esse prensado é chamado de compactado verde.





Compactação

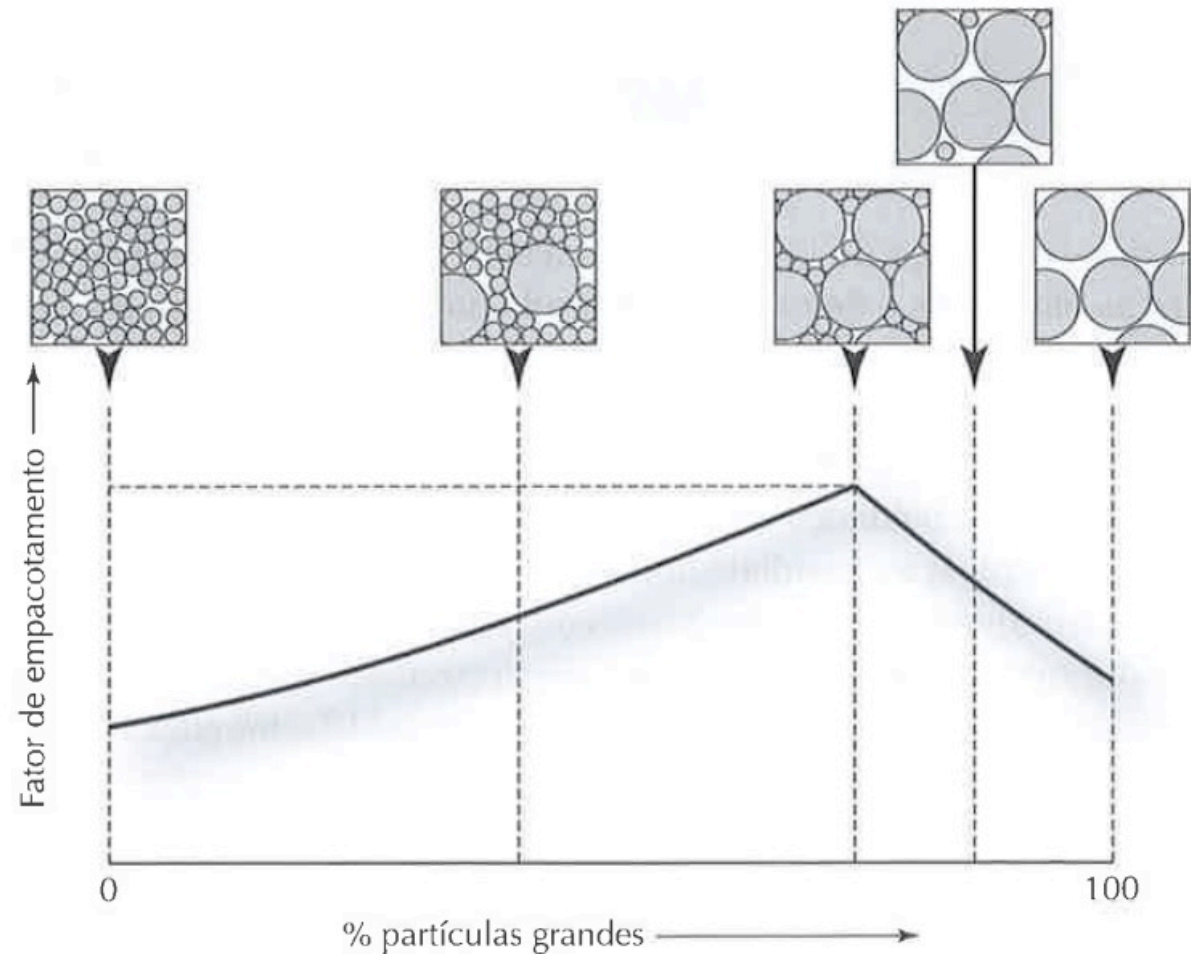
Figura 6.2
Fator de empacotamento de partículas de mesmo tamanho de acordo com a sua rugosidade superficial e irregularidade de forma.





Compactação

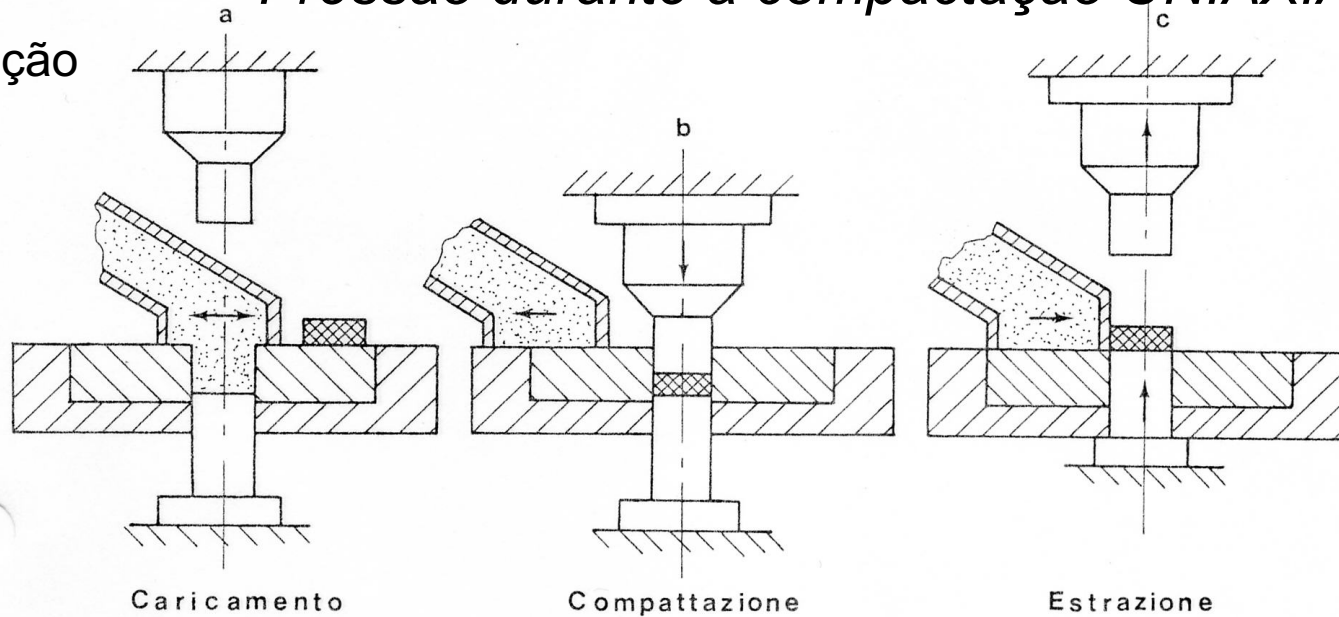
Figura 6.3
Fator de empacotamento de uma mistura homogênea entre partículas esféricas de tamanhos diferentes de acordo com a quantidade relativa entre elas.



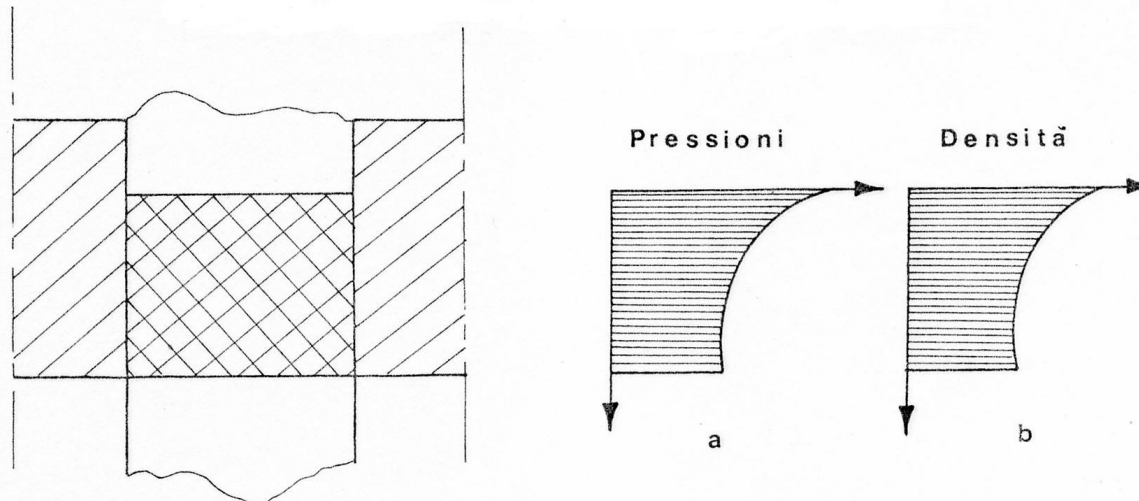


Pressão durante a compactação UNIAXIAL

✓ Compactação



Compactação simples

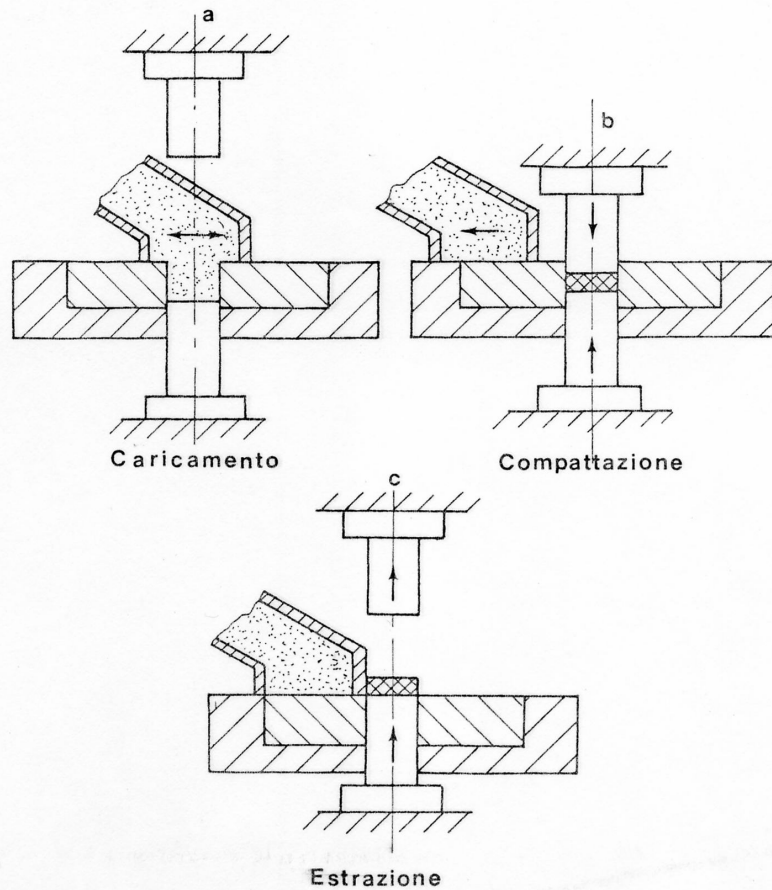


Distribuição de pressão e densidade

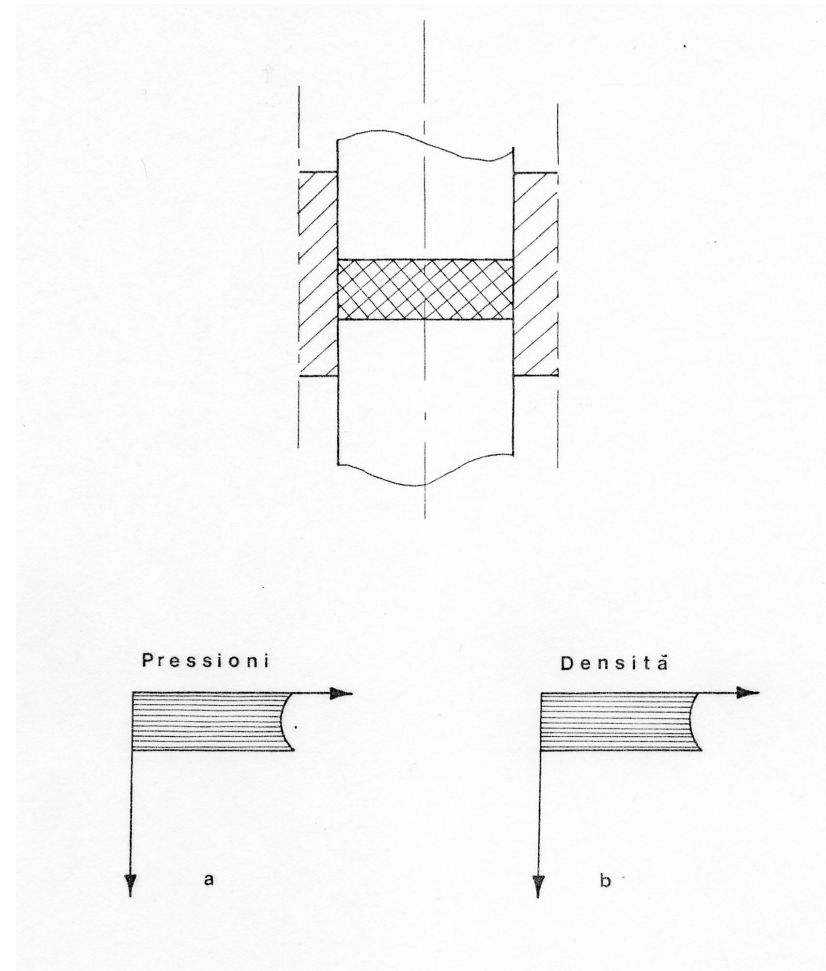


Pressão durante a compactação

✓ Compactação



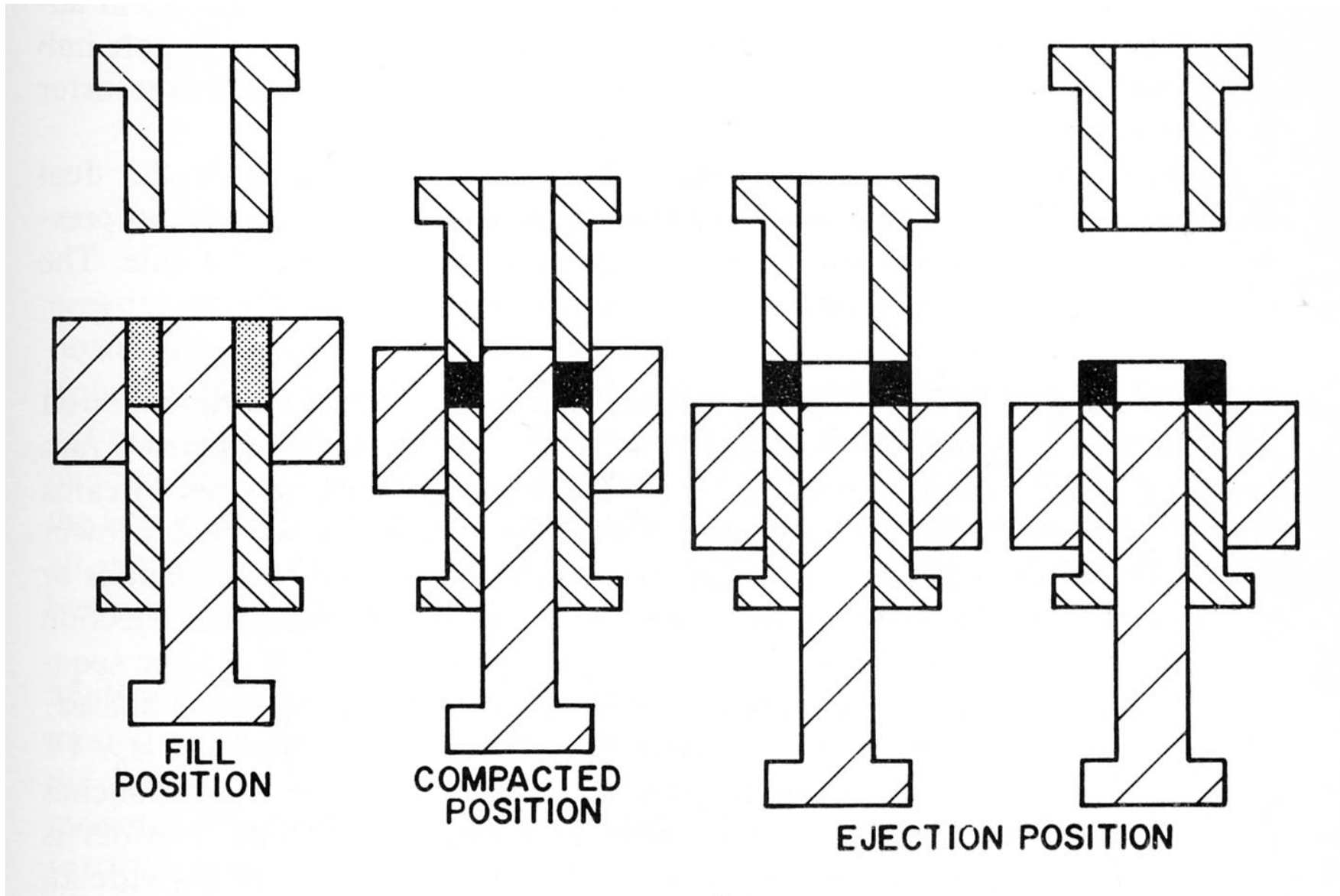
Compactação dupla ação



Distribuição de pressão e densidade



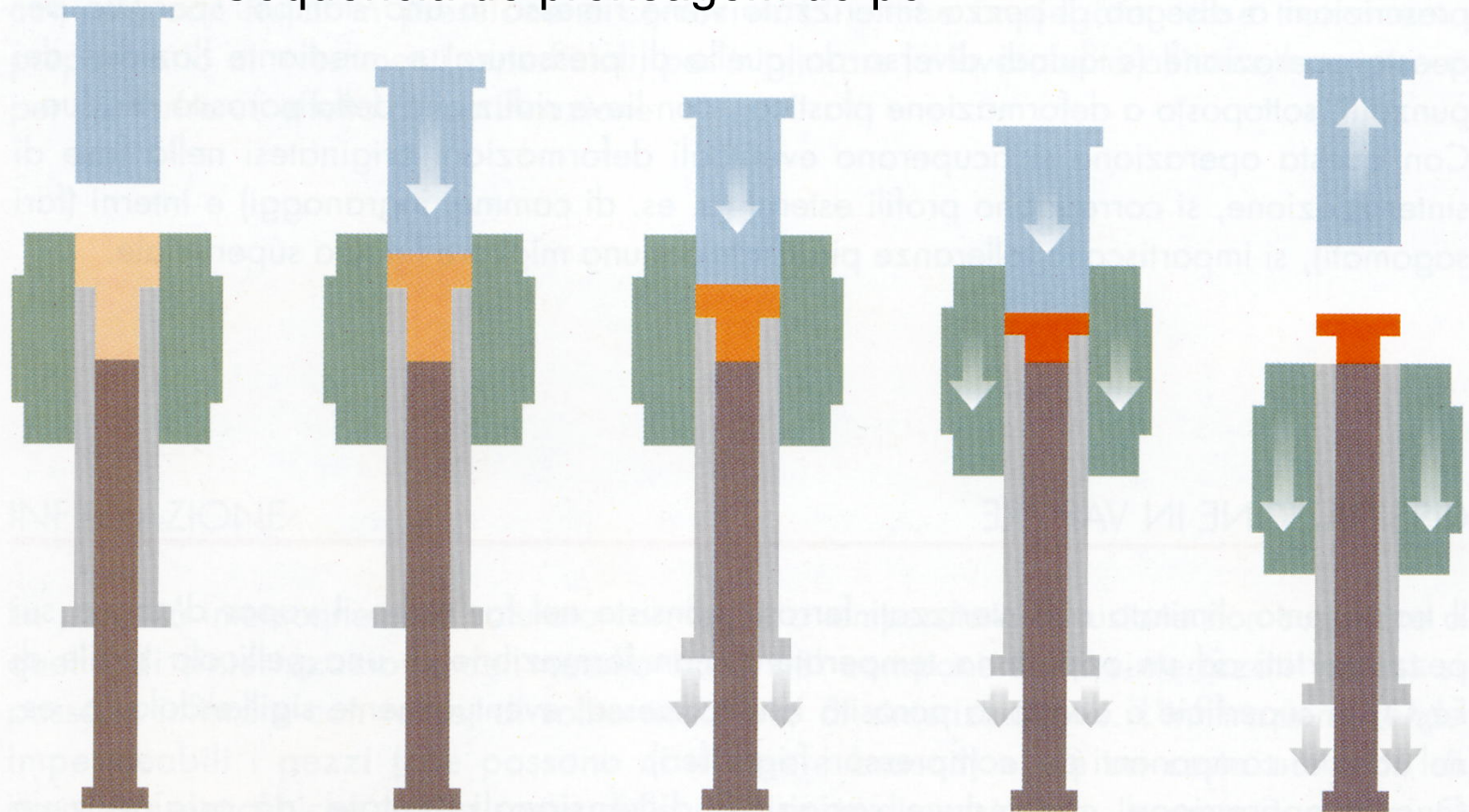
✓ Compactação





✓ Compactação

Sequência de prensagem do pó



Riempimento della cavità dello stampo

Discesa del punzone superiore e inizio della pressatura

Continua la densificazione

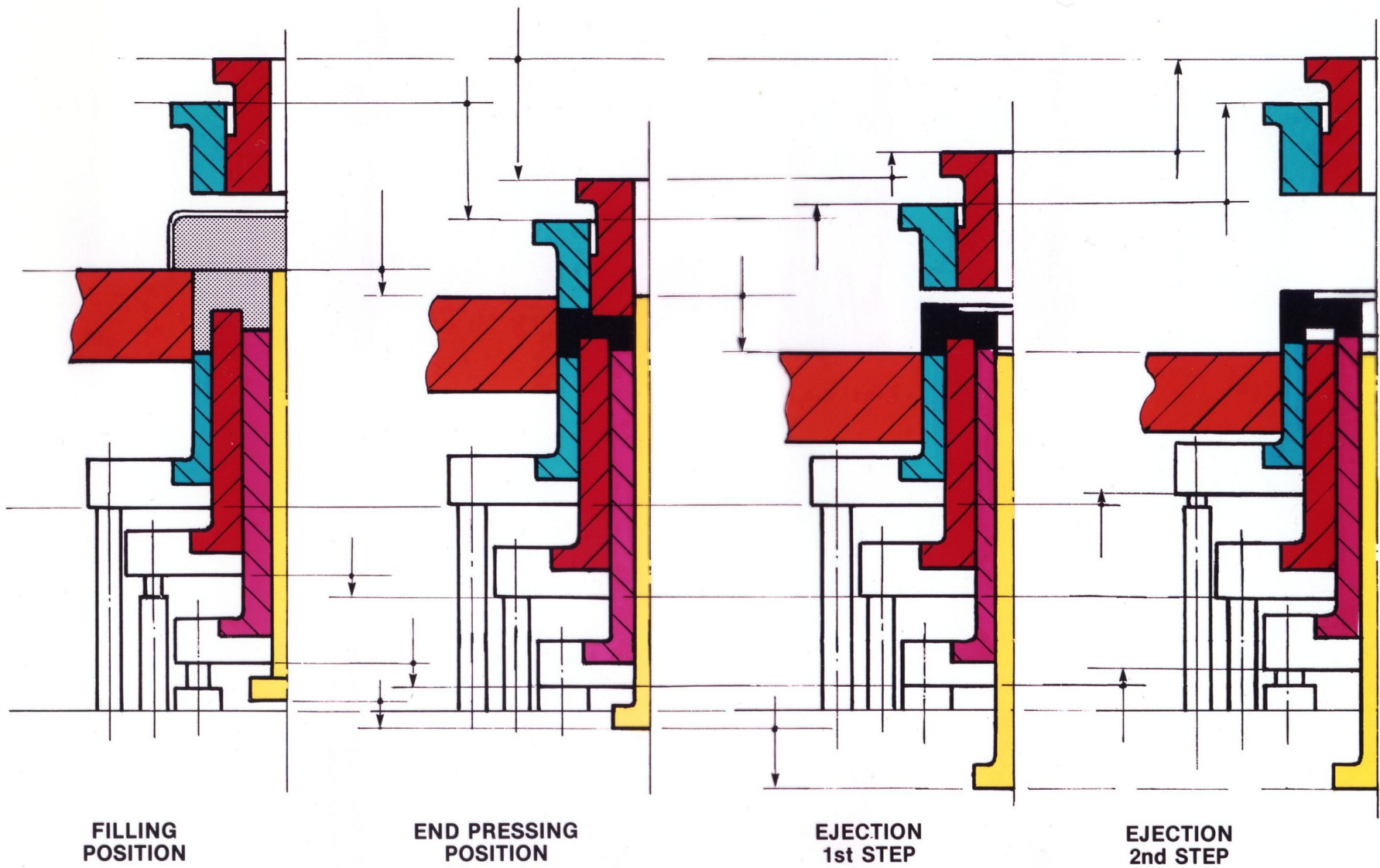
Fase finale della pressatura

Il punzone superiore risale e la matrice scende in modo da estrarre il compatto



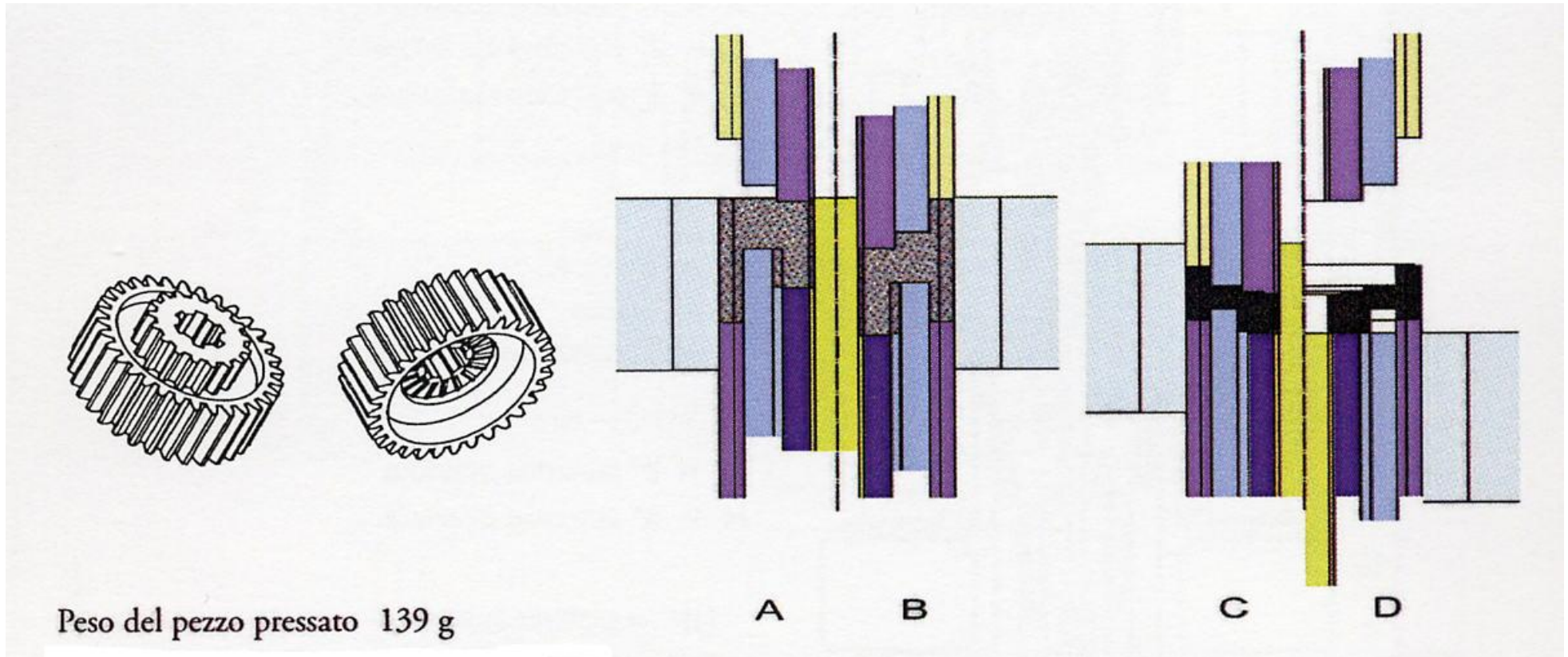
✓ Compactação

PRENSA HIDRÁULICA MULTIPLACAS





✓ Compactação



Peso del pezzo pressato 139 g

A

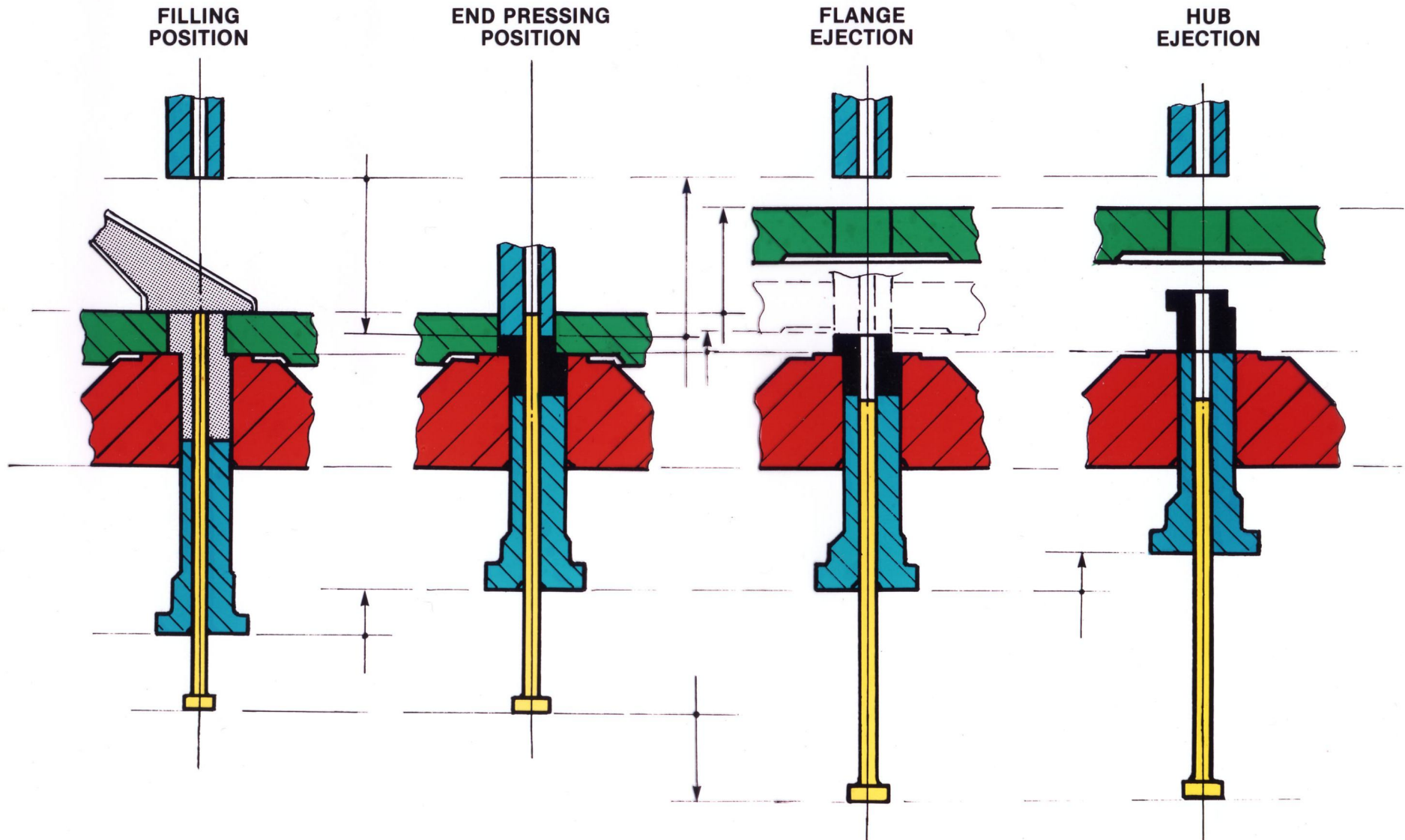
B

C

D



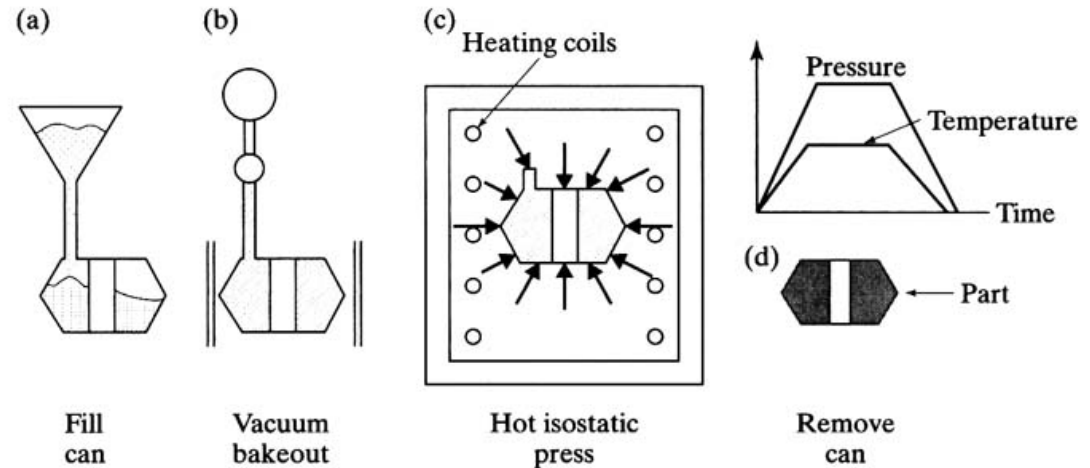
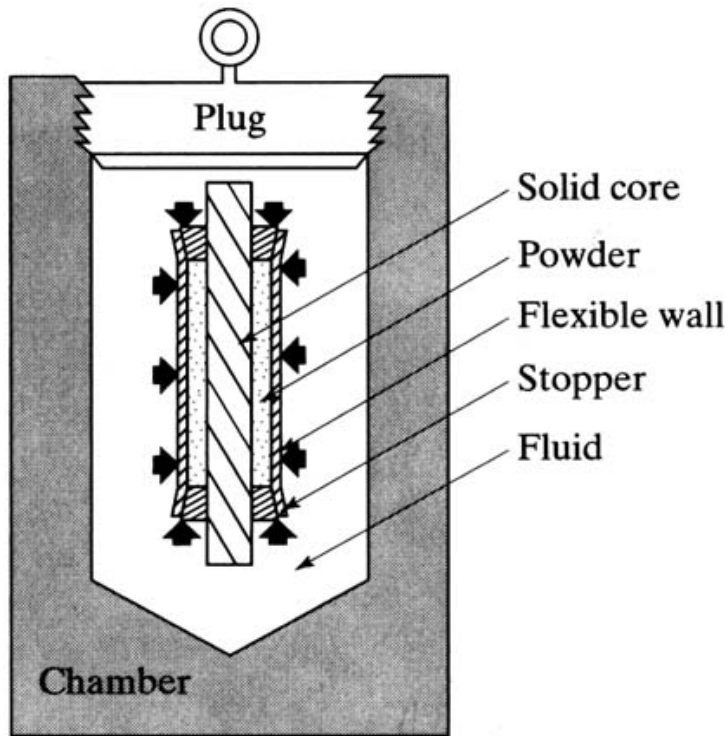
✓ Compactação





Compactação ISOSTÁTICA

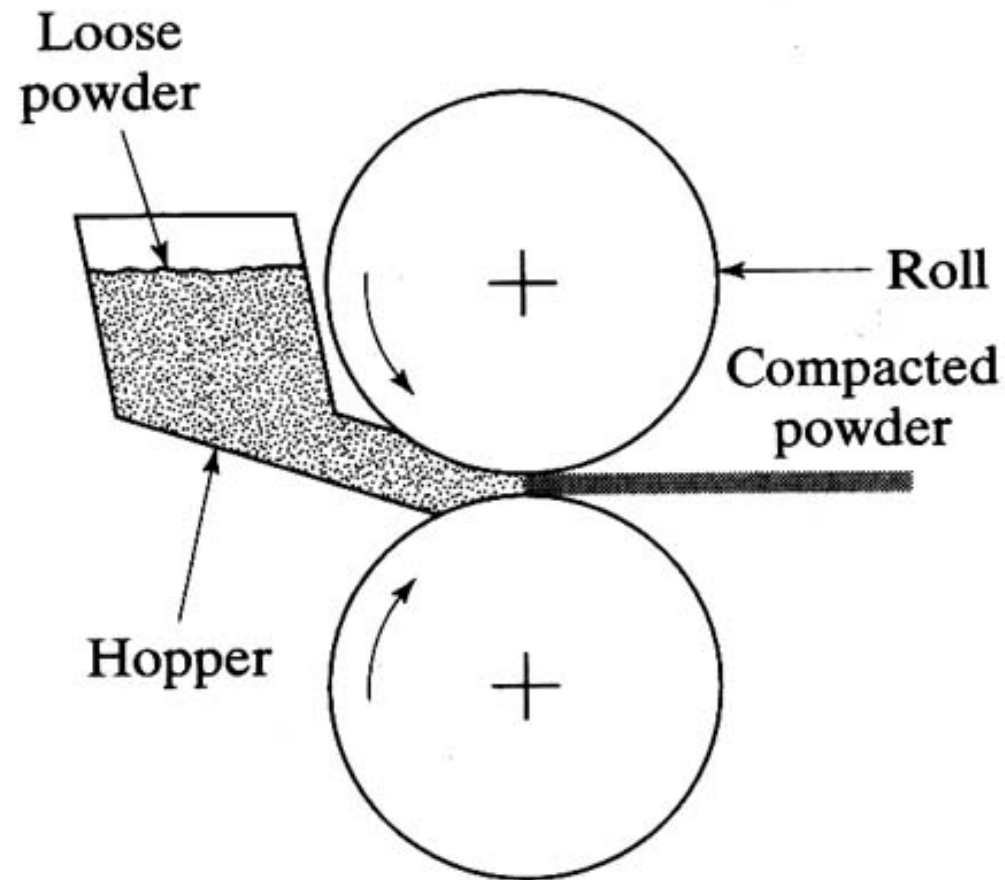
A compactação pode ser feita de várias formas. Uma das maneiras de se obter homogeneidade no prensado é se fazer uma compactação isostática. Essa compactação pode ser feita a frio (CIP-cold isostatic pressure), utilizando água, ou a quente (HIP-hot isostatic pressure), utilizando um gás ou outro fluido.





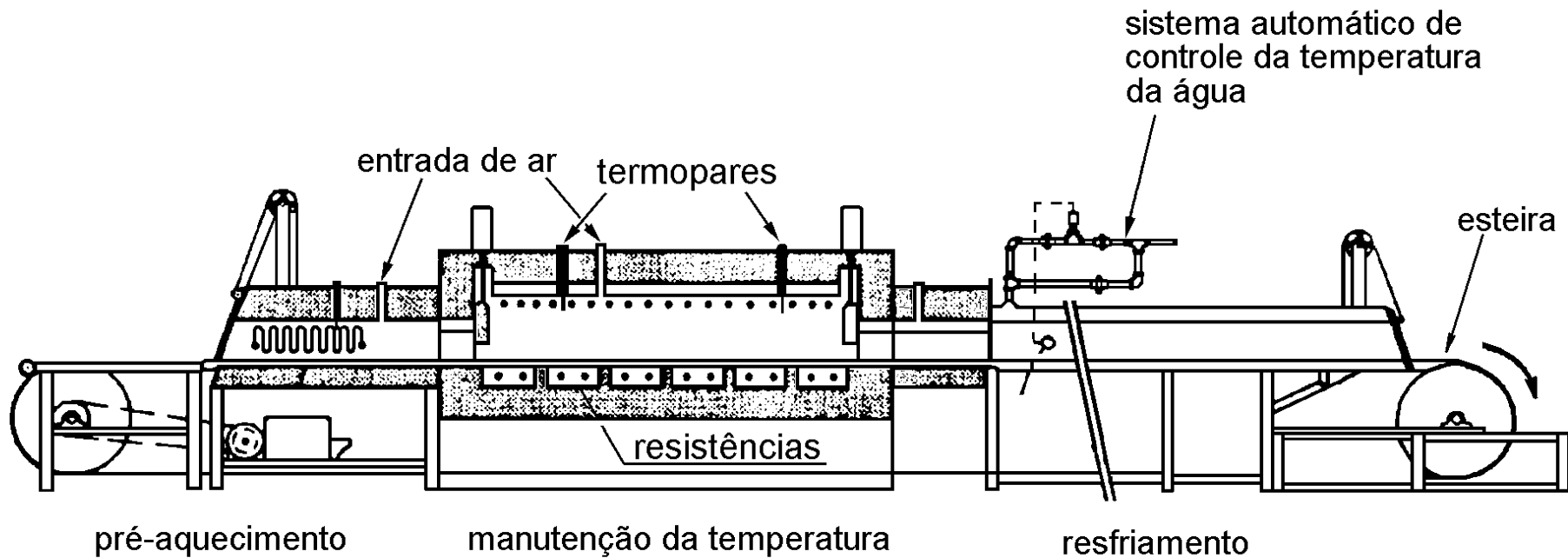
- ✓ Compactação

Laminação de pós





PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO





SINTERIZAÇÃO

O processo de sinterização é influenciado pelos seguintes parâmetros:

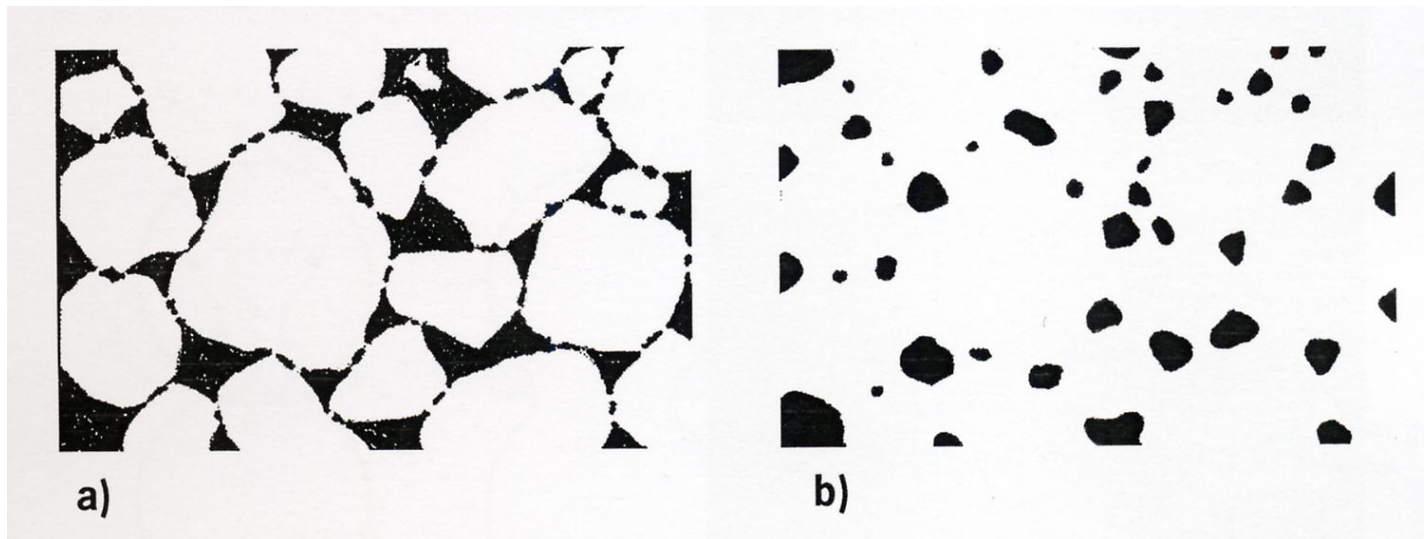
Temperatura e tempo;

Estrutura geométrica das partículas;

Composição da mistura;

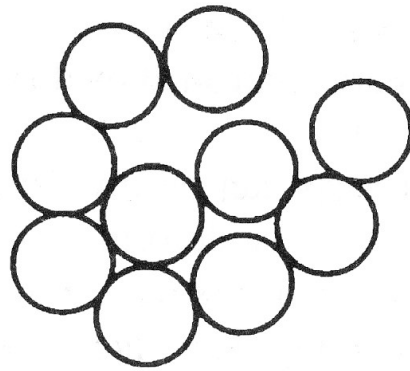
Densidade da peça ao verde (pressão);

Composição da atmosfera.

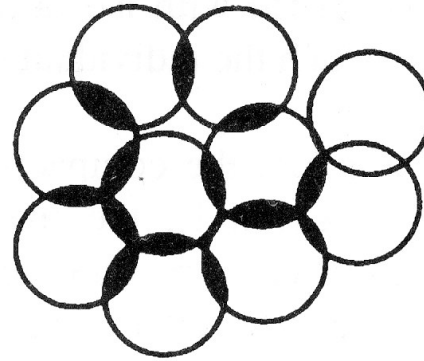




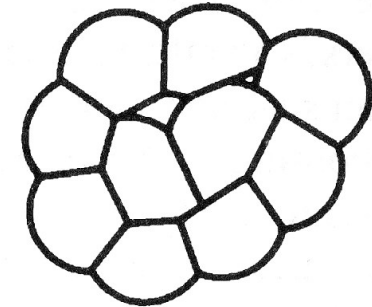
✓ Sinterização



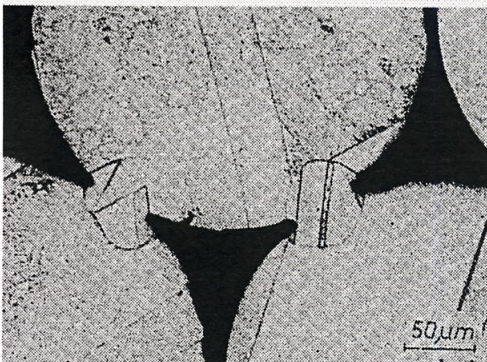
a



b



c



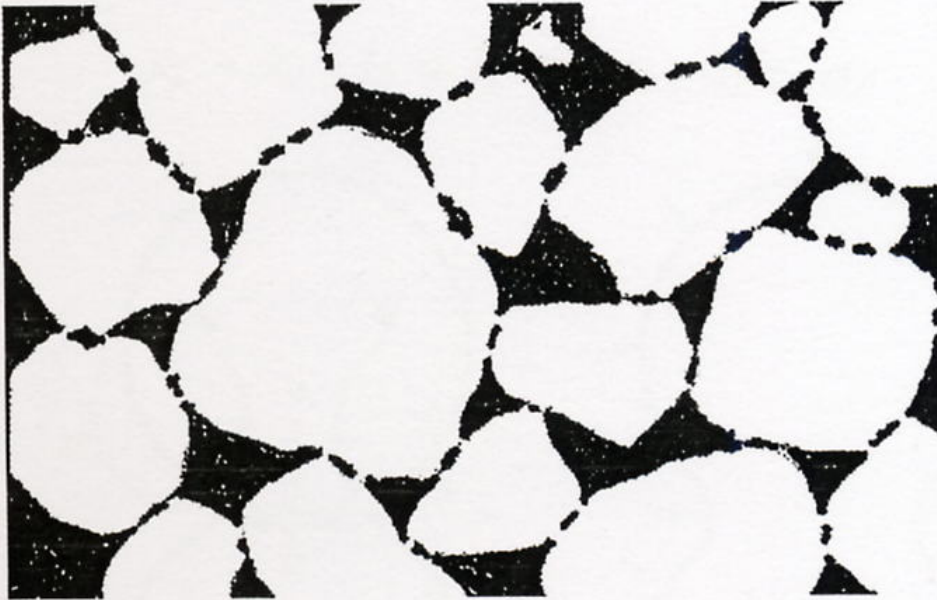
Força motriz → redução de energia livre associada com as superfícies:

- Redução da área superficial total (Crescimento das partículas → mudança forma dos poros);
- Eliminação da interface sólido-vapor (crescimento de grão → densificação).



Sinterização

Fase sólida – Material Homogêneo



a)

Condição inicial



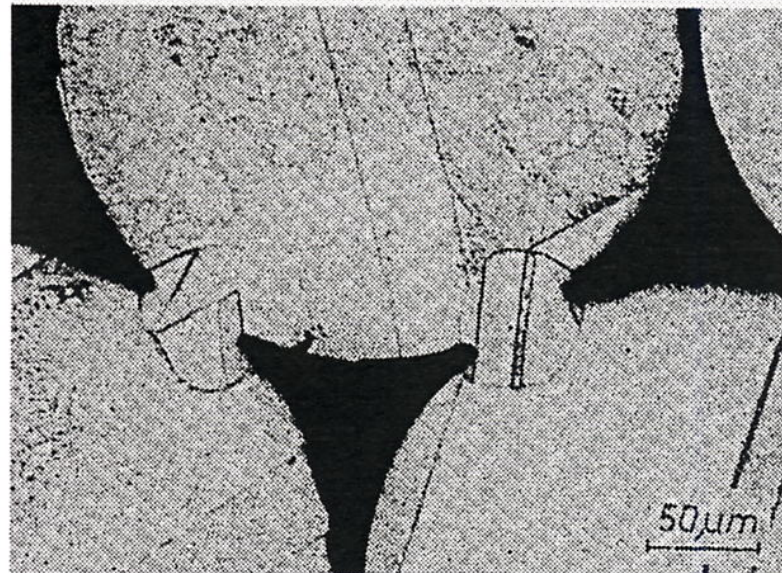
b)

Condição Final



Sinterização

Formação do ponto de sinterização



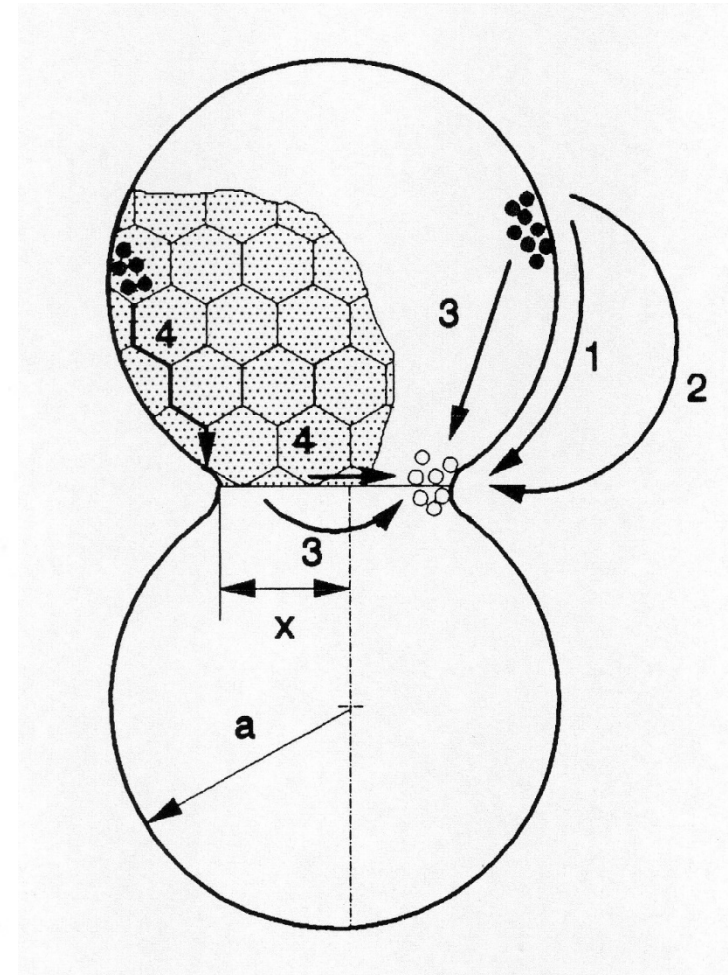
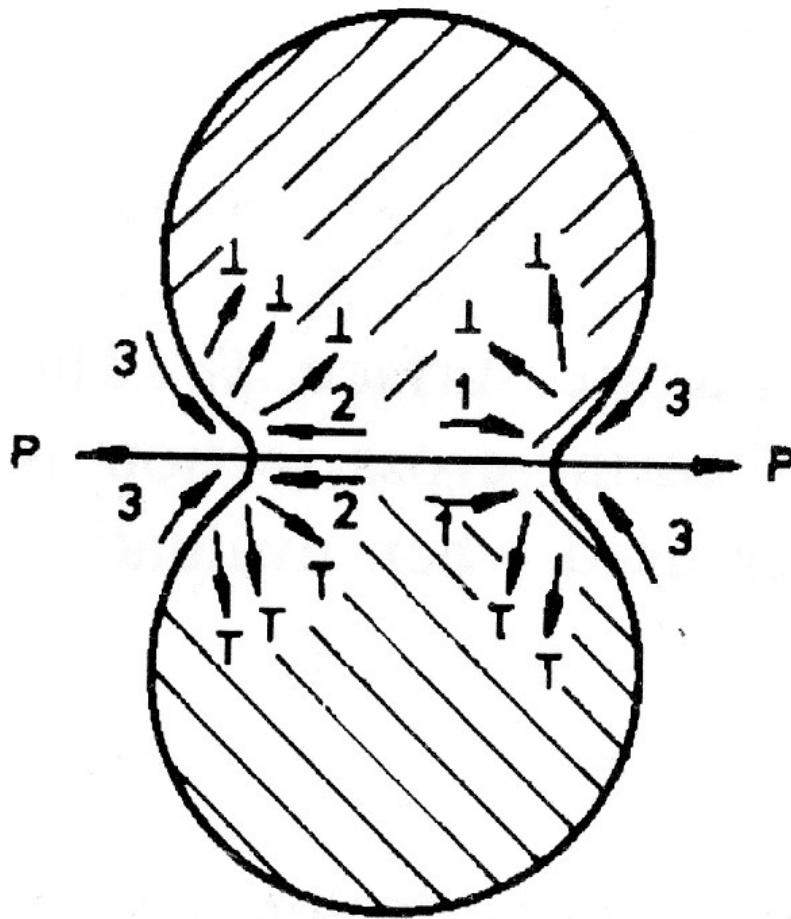
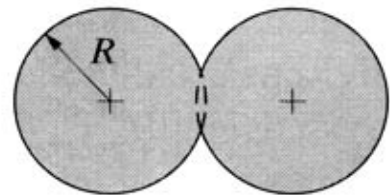
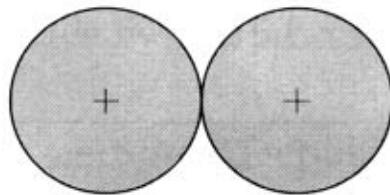


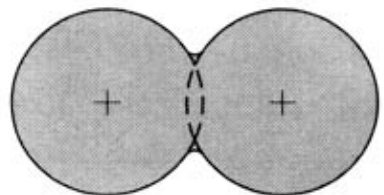


Ilustração do que pode ocorrer durante o processo de sinterização e que causa a união entre as partículas de pó.

(a)

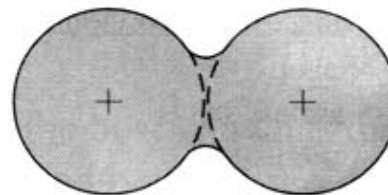
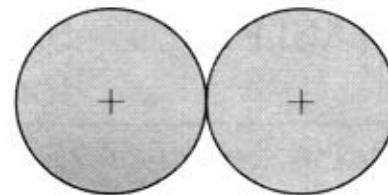


Neck formation
by diffusion

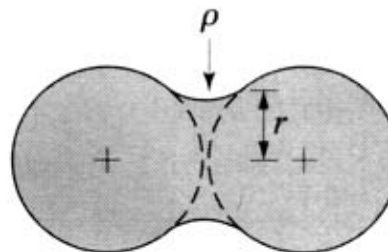


Distance between
particle centers
decreased, particles
bonded

(b)



Neck formation
by vapor phase
material transport

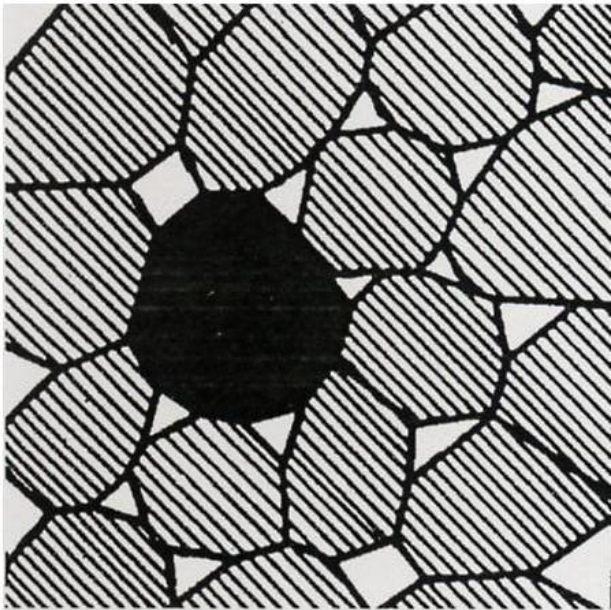


Particles bonded,
no shrinkage (center
distances constant)

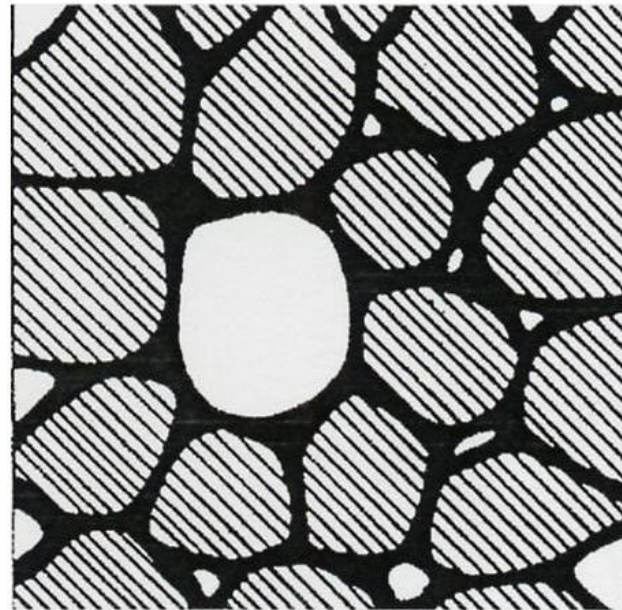


Sinterização

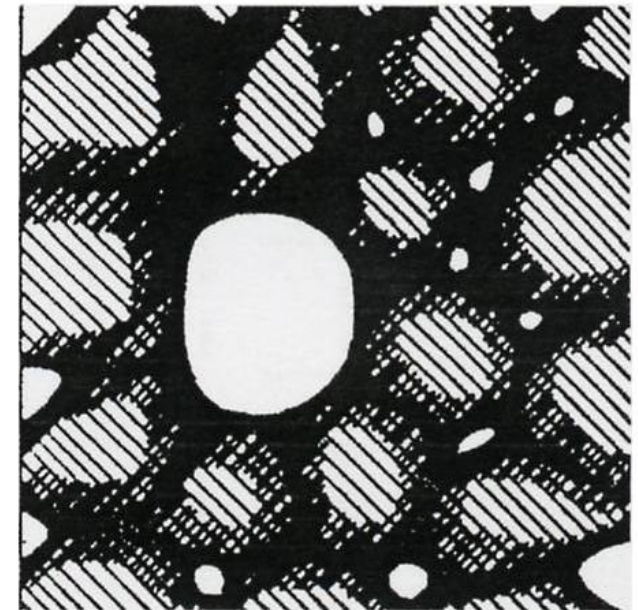
Sinterização com formação de fase líquida



Material heterogêneo



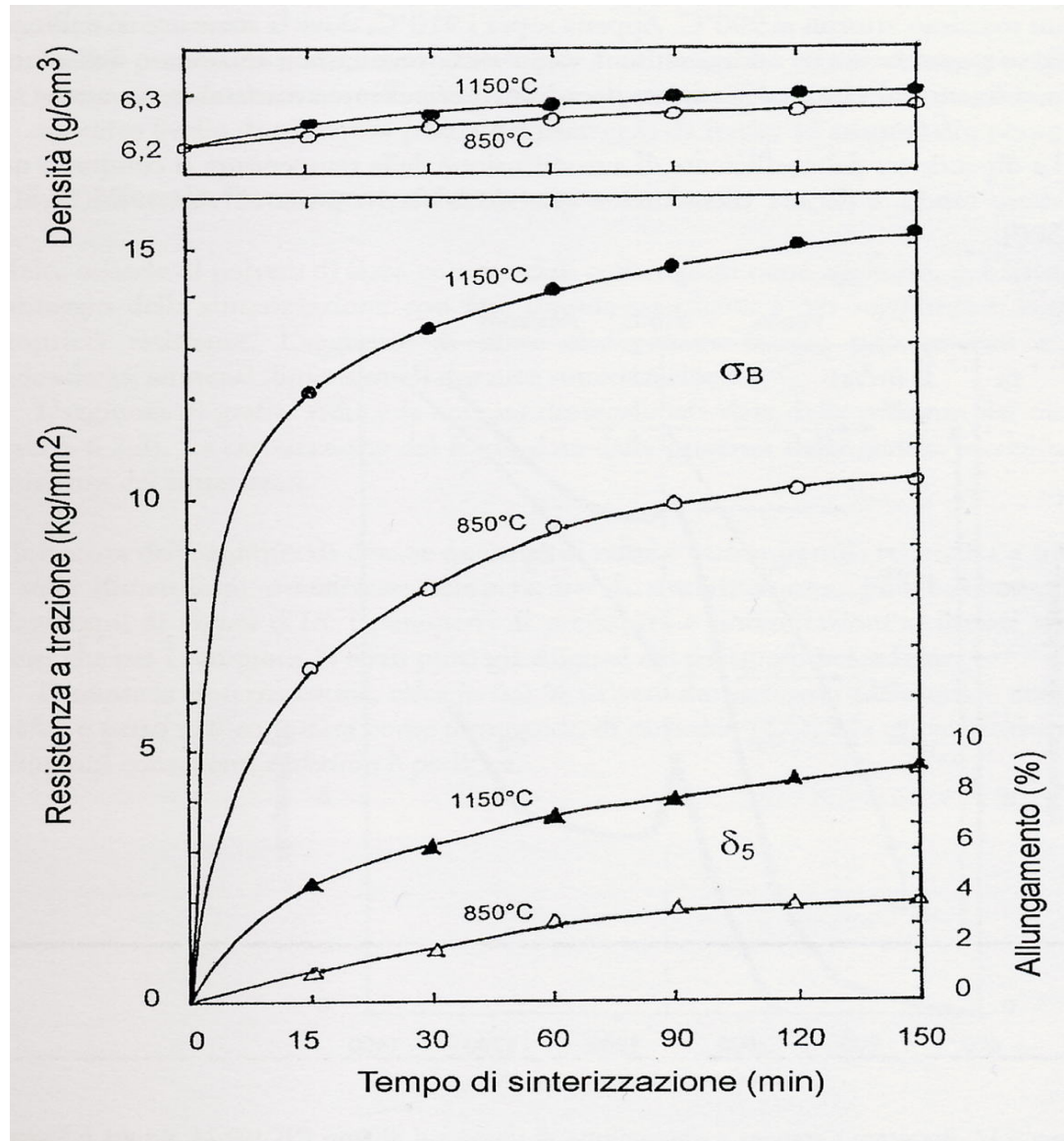
Fusão do componente com mais baixo ponto de fusão

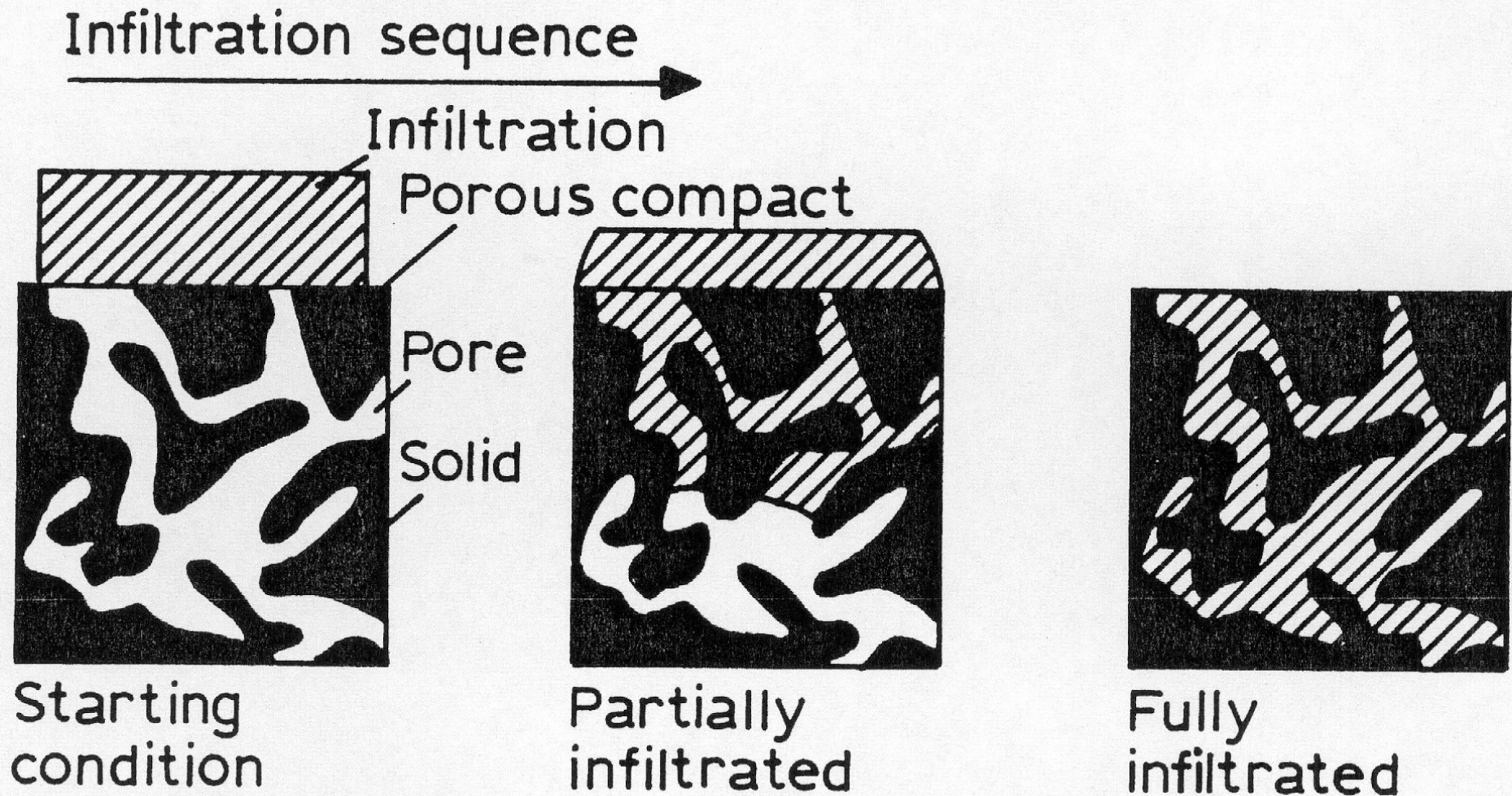


Ligação da fase sólida com a líquida



Sinterização

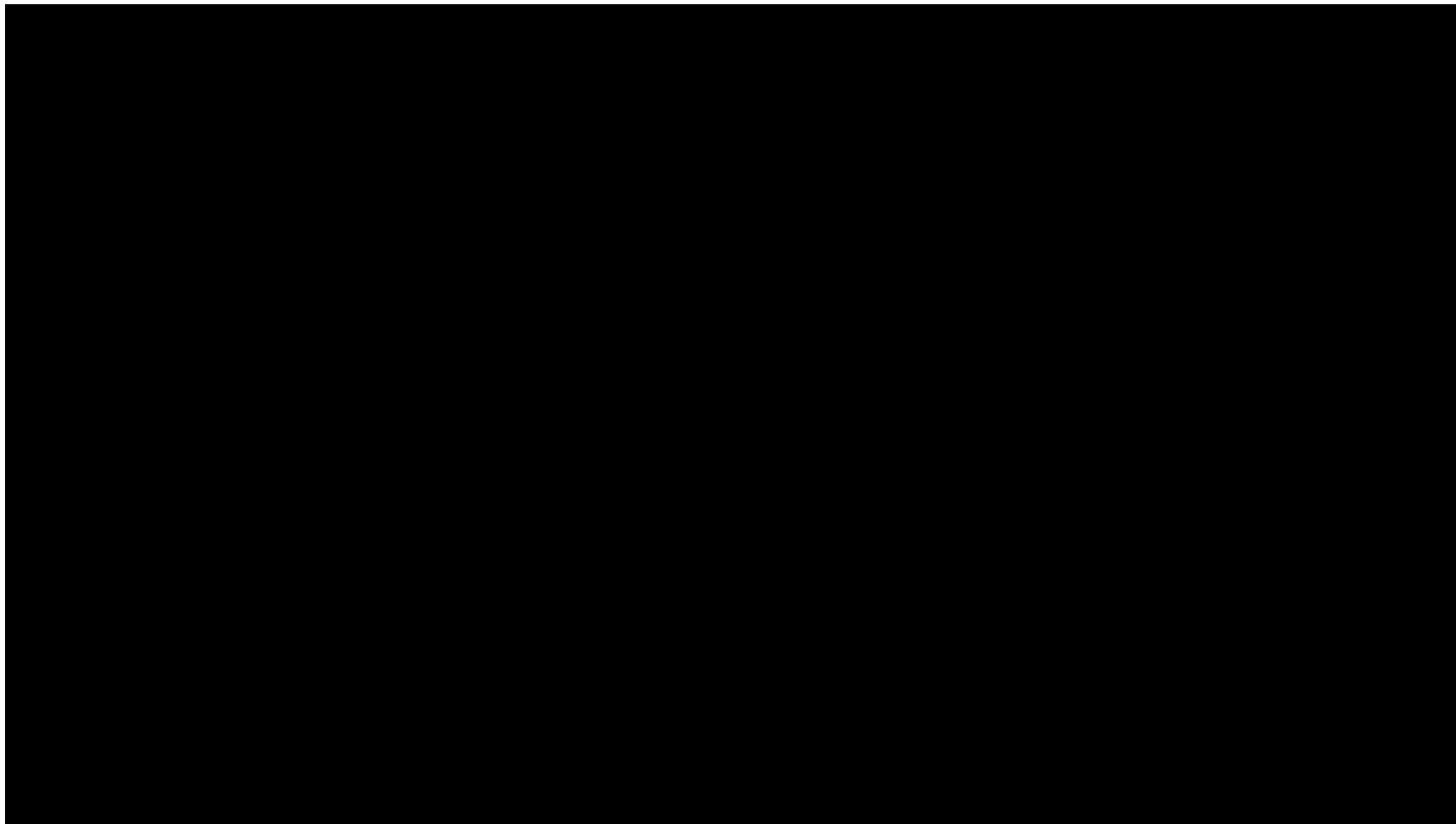




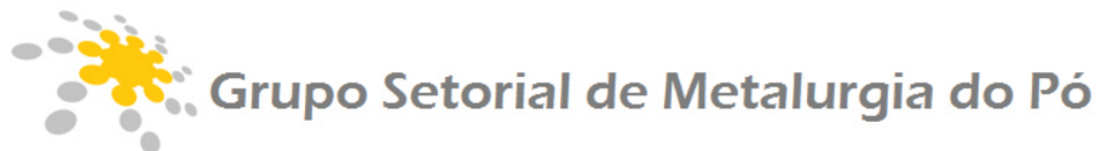
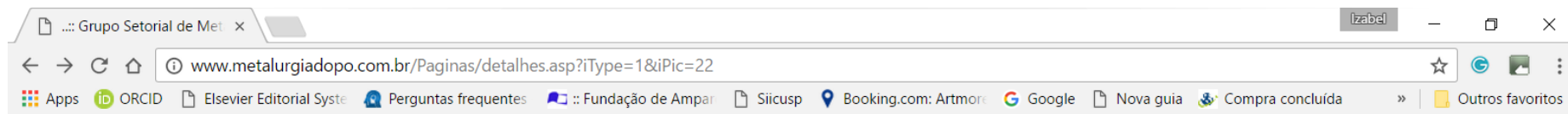


Temperaturas e tempos de sinterização para vários metais

Material	Temperature (° C)	Time (Min)
Copper, brass, and bronze	760–900	10–45
Iron and iron-graphite	1000–1150	8–45
Nickel	1000–1150	30–45
Stainless steels	1100–1290	30–60
Alnico alloys (for permanent magnets)	1200–1300	120–150
Ferrites	1200–1500	10–600
Tungsten carbide	1430–1500	20–30
Molybdenum	2050	120
Tungsten	2350	480
Tantalum	2400	480



https://www.youtube.com/watch?v=l39m28NZ7_s



Grupo Setorial de Metalurgia do Pó

HOME
HISTÓRICO
EMPRESAS PARTICIPANTES
SOBRE A METALURGIA DO PÓ
APLICAÇÕES
PUBLICAÇÕES
EVENTOS
CONTATO

Publicações

CURSOS

- [Aplicações](#)
- [Compactação](#)
- [Sinterização](#)
- [Formas preferíveis](#)

Copyright 2011 © - Todos os direitos reservados.
Grupo Setorial de Metalurgia do Pó





1. Quais as principais etapas dos processos de metalurgia do pó? Faça uma descrição de cada uma dessas etapas.
2. Descreva os principais processos de produção de pós metálicos
3. Por que a compactação é importante?
4. Descreva o processo de compactação uniaxial e isostática
5. Quais são os fatores que afetam a compactação na metalurgia do pó?
6. Como avaliar as propriedades mecânicas de sinterizados?
7. Como se dá a união das partículas no processo de sinterização?
8. Quais são as diferenças na sinterização com e sem fase líquida?
9. Quais são os principais componentes de misturas em metalurgia do pó?



FIM