



# **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA II (EM307)**

**2º Semestre**

**2005/06**

## **5. Pulverometalurgia**

**F. Jorge Lino Alves**

# Resumo

## 5. Introdução à Pulverometalurgia

- **Seleccção de matérias-primas**
- **Preparação dos pós**
- **Obtenção de componentes**
- **Controle qualidade**

# PULVEROMETALURGIA

**Pulverometalurgia:** a arte e ciência de produzir pós metálicos e utilizá-los para a produção de semi-produtos ou peças.

Permite a fabricação, de forma económica, de peças complexas com tolerâncias apertadas e de elevada qualidade.

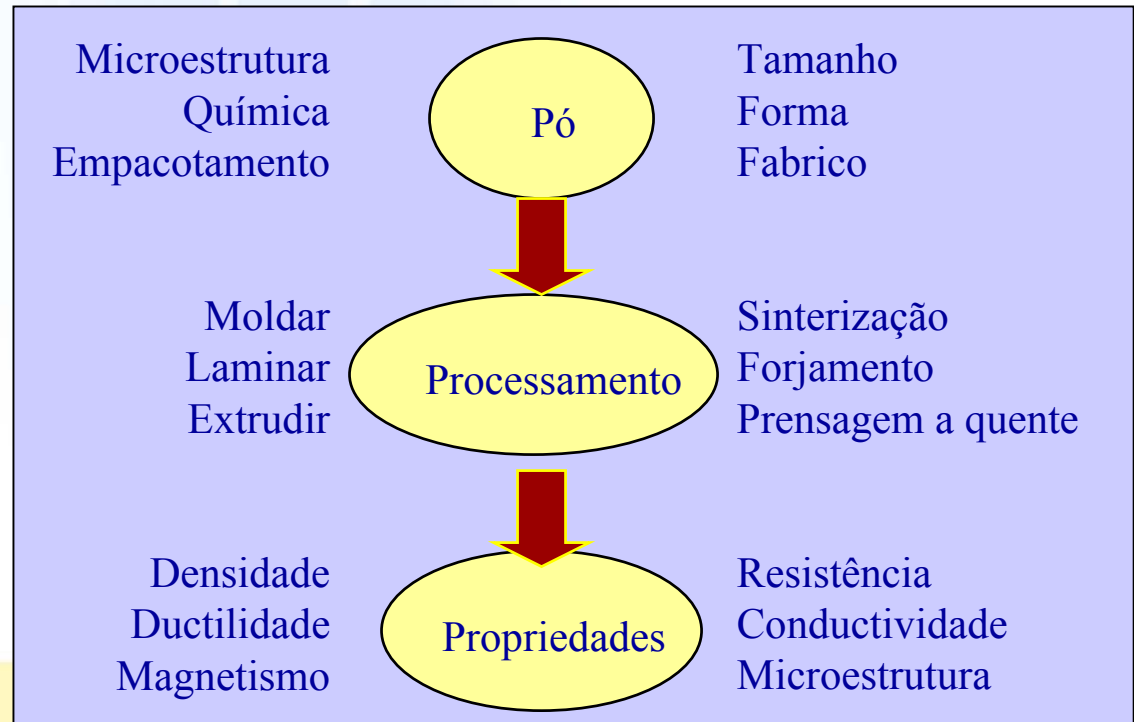
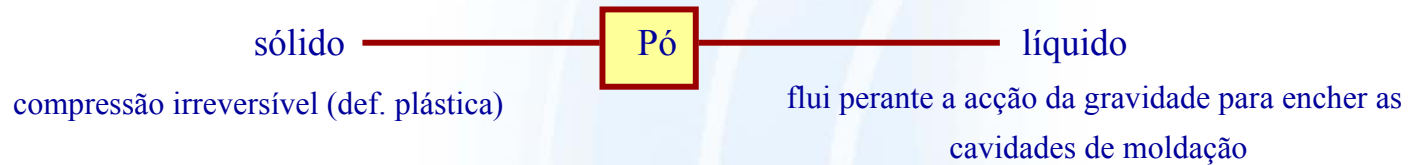
## Vantagens

1. Automatização
2. Baixos custos de energia e de capital
3. Elevada rentabilidade de utilização da matéria prima
4. Processo flexível
  - diferentes tipos de materiais
  - produção de diferentes tipos de microestruturas
  - diferentes propriedades (mecânicas, eléctricas, etc.)

<b>Aplicação</b>	<b>Exemplos de aplicação de pós metálicos</b>
Abrasivos	Discos metálicos de polimento, esferas de moagem
Agricultura	Equipamento de agricultura e jardinagem
Aeroespacial	Motores a jacto, protecções de calor
Automóvel	Insertos para válvulas, rodas dentadas
Química	Corantes, filtros
Revestimentos	Pinturas, revestimentos duros, barreiras por projecção térmica
Pirotecnia	Explosivos, combustível
Impressão	Tintas, revestimentos, laminados
Nuclear	Protecções, filtros, reflectores

**Pó** - sólido finamente dividido em partículas de dimensão inferior a 1mm.

Característica essencial do pó → elevada relação área superficial / volume



## Evolução histórica

- 3000 AC Incas usavam pós de ouro para fabricar artigos de joalheria ( $T_f=1338^\circ\text{C}$ ). Egípcios usavam pós de ferro.
- 300 DC Colunas obtidas com pós de ferro.
- 1800 Aparelhos de laboratório em platina, precipitação química de pós e novos meios de consolidação (Rússia e Inglaterra).
- Moedas Cobre, prata e chumbo prensados e sinterizados.

### **Era moderna**

- 1910 Coolidge usa pó de tungsténio para desenvolver um filamento (dúctil) para a lâmpada de Edison.
- 1930 Carbonetos cementados, chumaceiras em bronze poroso, contactos eléctricos em cobre-grafite.
- 1940 Novas ligas de W, ligas ferrosas estruturais, metais refractários.

### **Filamentos para lâmpadas (um caso exemplar das vantagens desta tecnologia)**

- Edison obteve um sistema de iluminação com uma lâmpada de filamento incandescente em 1879.
- Para a tecnologia crescer ele pretendia um material para o filamento que fosse durável, de baixo custo e que resistisse a vários ciclos de aquecimento.
- A sua primeira escolha foram as fibras naturais carbonizadas. Em Inglaterra já tinham sido utilizados filamentos de platina em invólucros de vidro sob vácuo.
- Nos finais de 1800 os esforços para encontrar um filamento para lâmpadas, que fossem duráveis tinham-se concentrado em filamentos de carbono com vários tratamentos para aumentar a potência óptica.

- Em 1905, Whitney optimizou a metalização dos **filamentos de carbono**, obtendo potências de **4 lumens/watt**. A partir desta altura a investigação dirigiu-se para os metais refractários, com a utilização do tântalo e posteriormente do tungsténio.
- O primeiro **filamento em tungsténio** foi produzido a partir de uma mistura de pós com um ligante orgânico que permitia a conformação através de uma extrusão. O ligante era posteriormente queimado e as partículas sinterizadas, para se obter um filamento frágil. A potência era agora de **8 lumens/watt**, o dobro da obtida com os filamentos em carbono.
- Em 1910, Coolidge desenvolveu filamentos de tungsténio dúcteis, utilizando pó de tungsténio e um processo de deformação controlado. O tungsténio permitia uma temperatura de funcionamento mais elevada e dava mais luz.
- Em 1937, desenvolveu-se o filamento enrolado e em 1959 foi adicionado o halogéneo para regenerar o filamento durante o funcionamento.
- Hoje em dia, 1 kg de pó de W produz 150.000 filamentos para lâmpadas de 40W, tendo cada uma delas uma vida de cerca de 1000h de funcionamento com uma potência de cerca de **13 lumens/watt**. Contudo, a utilização dos filamentos de W pode estar a acabar.
- Novas lâmpadas sem eléctrodos que funcionam a 13.56 Hz e utilizam arcos em quartzo demonstraram já possuir uma eficiência de **135 lumens/watt**.

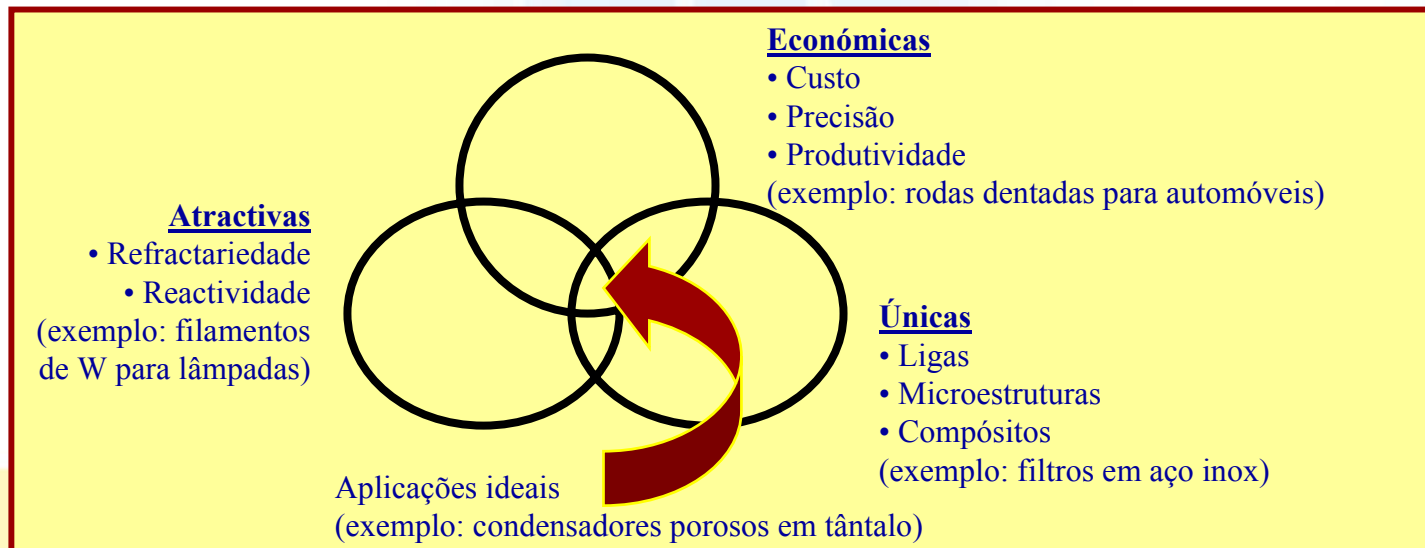
Inicialmente os produtos de pulverometalurgia eram seleccionados devido ao seu baixo preço.

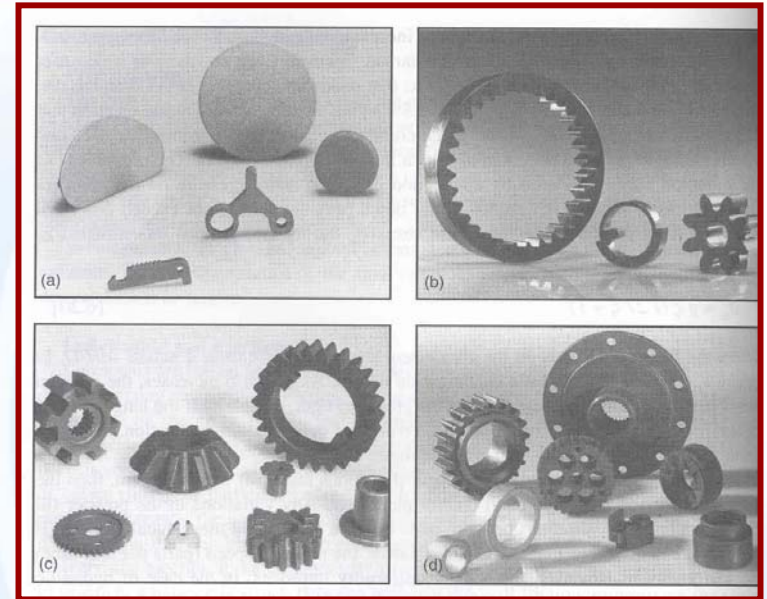
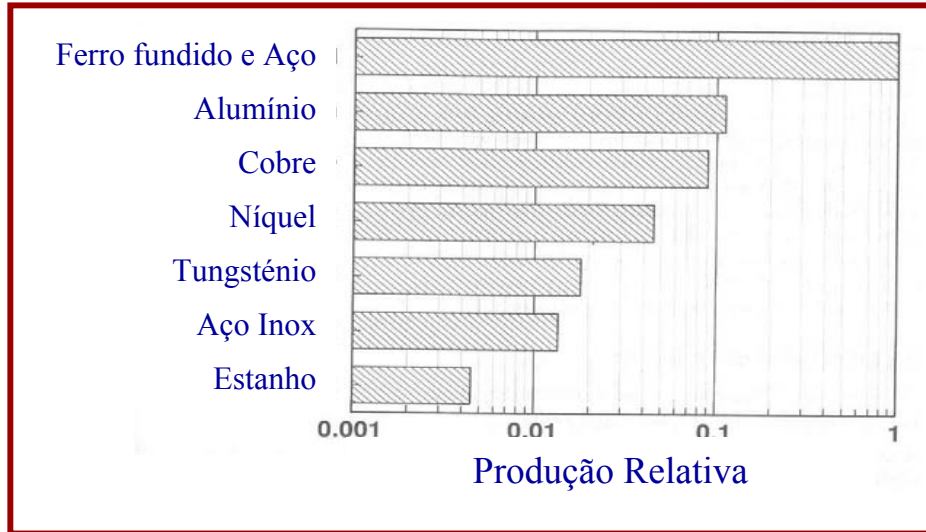
### Actualmente

- Melhor qualidade
- Homogeneidade
- Propriedades ligadas a um custo atractivo e elevada produtividade

### Oferece-se a possibilidade de produzir materiais tais como:

- Super ligas de Ni
- Materiais compósitos de matriz de Alumínio
- Ligas de Al de elevada rigidez para a indústria aeronáutica



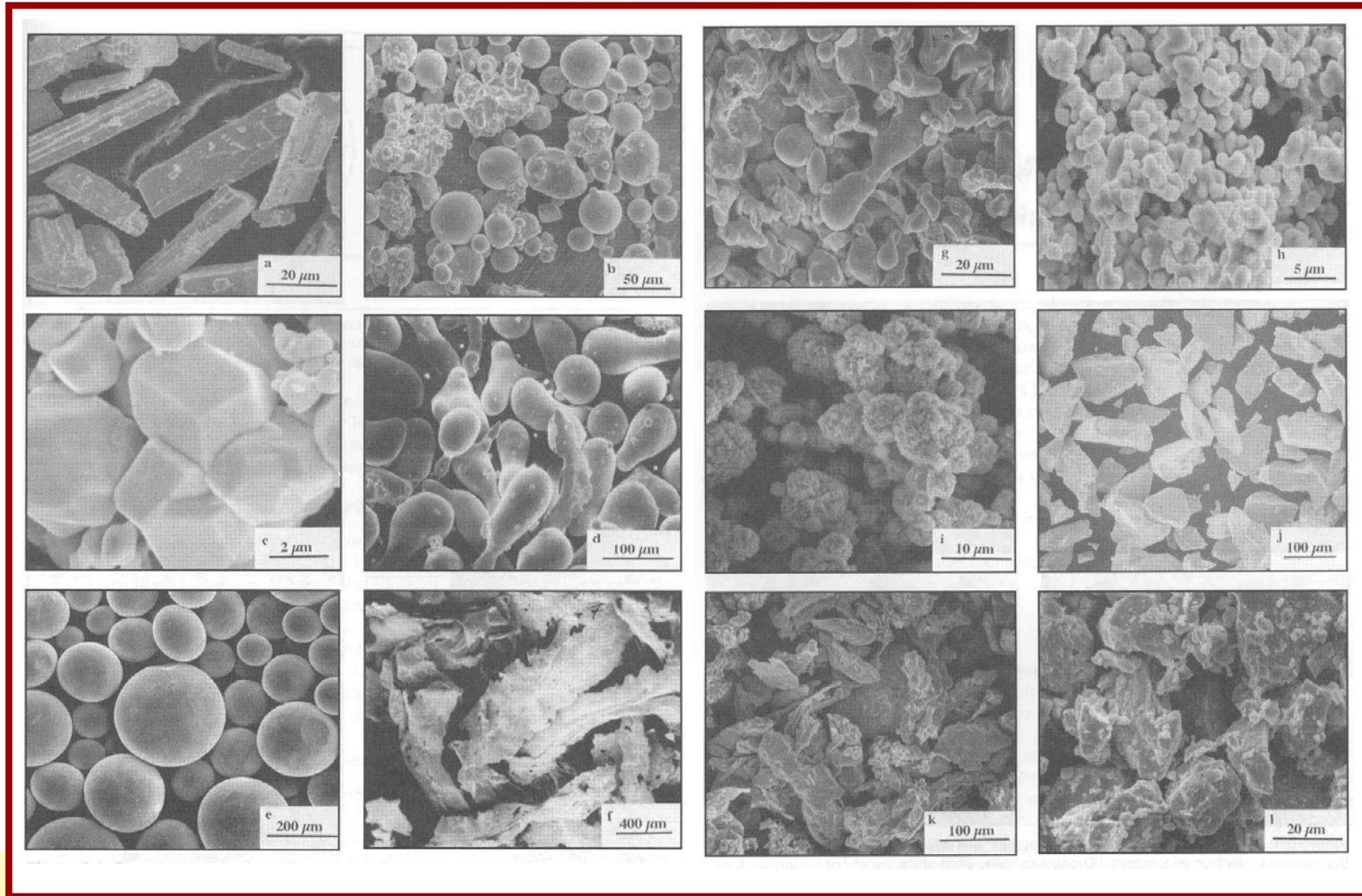


## Futuro da Pulverometalurgia

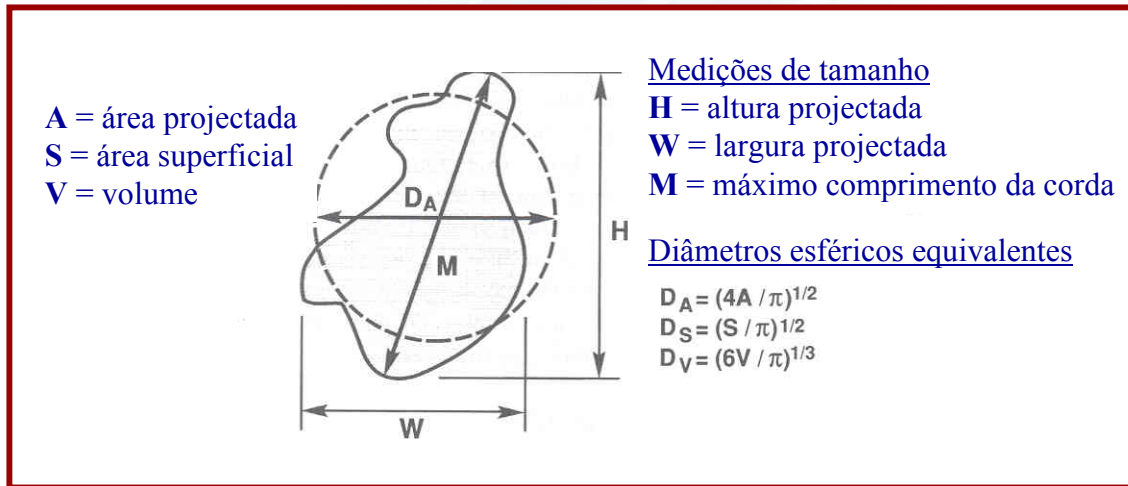
1. Considerável volume de produção de peças estruturais de ligas ferrosas com elevada qualidade
2. Consolidação de materiais de elevado desempenho, densos e fiáveis
3. Fabricação de materiais difíceis de processar
4. Produção de uma forma económica de ligas especiais, compósitos com diferentes fases misturadas
5. Síntese de ligas “instáveis”, tais como materiais amorfos, microcristalinos ou metaestáveis
6. Processamento de peças complexas (materiais ou formas)



## Morfologia dos pós

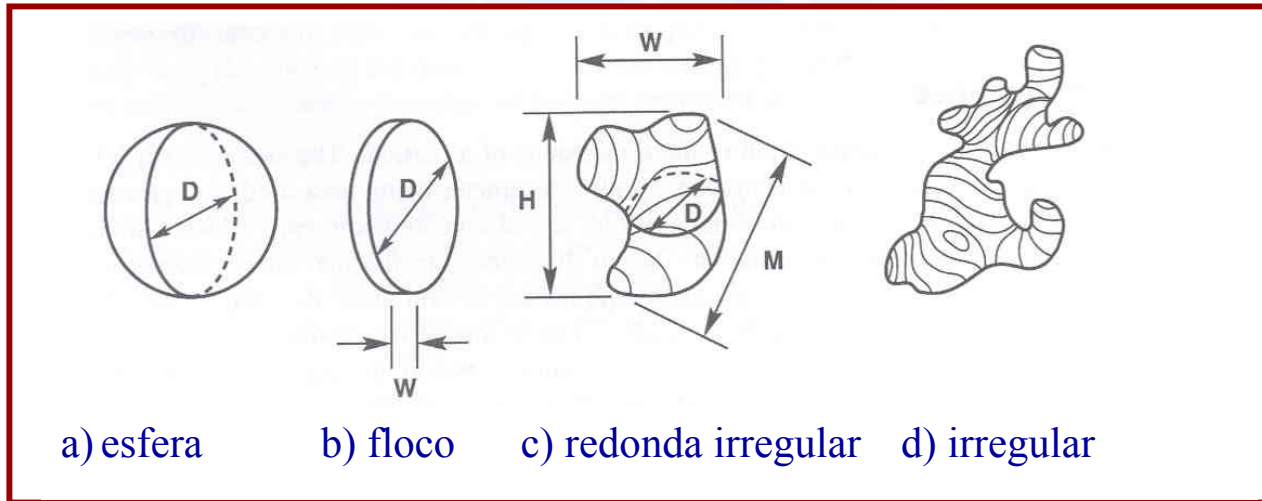


Geralmente a Pulverometalurgia utiliza partículas maiores do que o fumo ( $> 0.01$  a  $1 \mu\text{m}$ ) e menores do que a areia ( $< 0.1$  a  $3 \text{mm}$ )

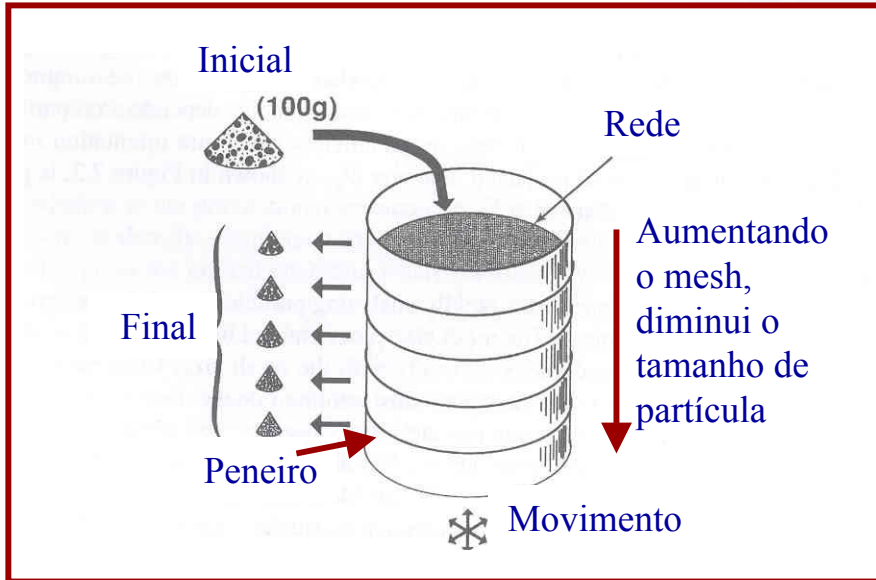


Medição	Símbolo	Valor
<u>Medições lineares</u>		
Altura projectada	H	1.00
Largura projectada	W	0.72
Máx. comprimento da corda	M	1.03
<u>Diâmetros esféricos equivalentes</u>		
Área projectada	$D_A$	0.76
Área superficial	$D_S$	1.45
Volume	$D_V$	0.95

Dependendo da técnica de medição escolhida, uma partícula equiaxial pode originar 22% de variação na dimensão aparente, o que mostra a importância de indicar o parâmetro de medição utilizado.



Partículas mais pequenas (maior energia superficial) maior tendência para a aglomeração (deriva da água adsorvida).



Tamanho de mesh	Abertura $\mu\text{m}$	Tamanho de mesh	Abertura $\mu\text{m}$
18	1000	100	150
20	850	120	125
25	710	140	106
30	600	170	90
35	500	200	75
40	425	230	63
45	355	270	53
50	300	325	45
60	250	400	38
70	212	450	32
80	180	500	25
		600	20

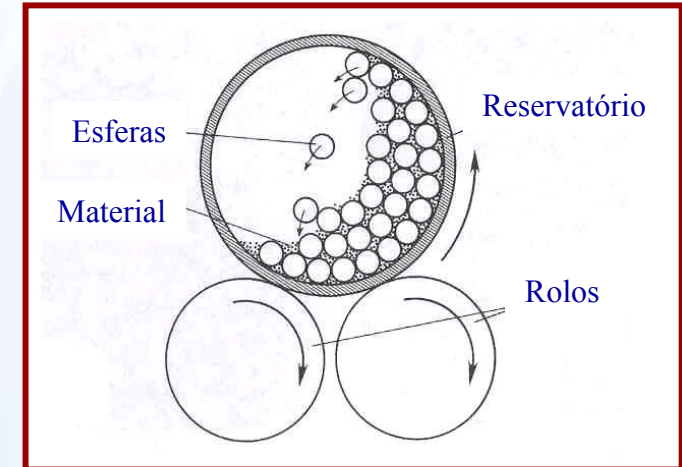
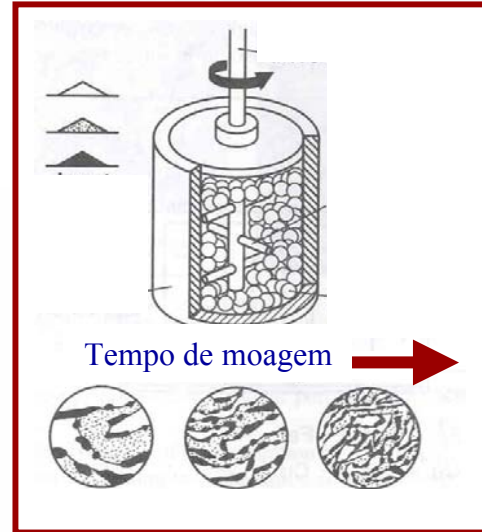
*As partículas podem ser analisadas (classificadas) por:*

1. Microscopia óptica e electrónica
2. Crivagem em seco ou molhado
3. Sedimentação
4. Dispersão de luz
5. Sensibilidade a uma corrente eléctrica
6. Bloqueamento a Raios X

# FABRICAÇÃO DOS PÓS

## 1. Processos Mecânicos

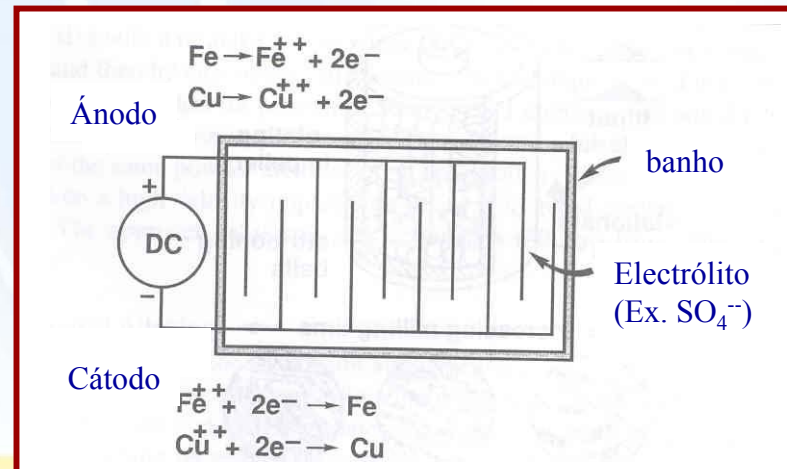
- Impacto
- Atrito
- Corte
- Compressão



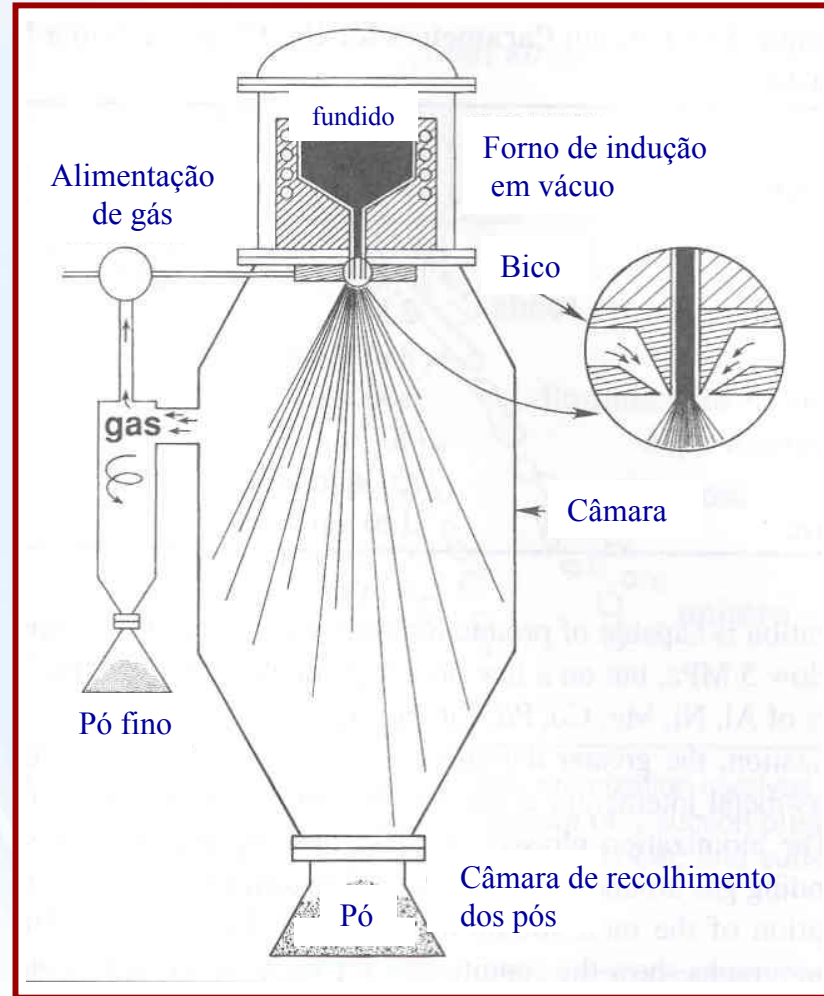
## 2. Reacções Químicas



## 3. Deposição Electrolítica

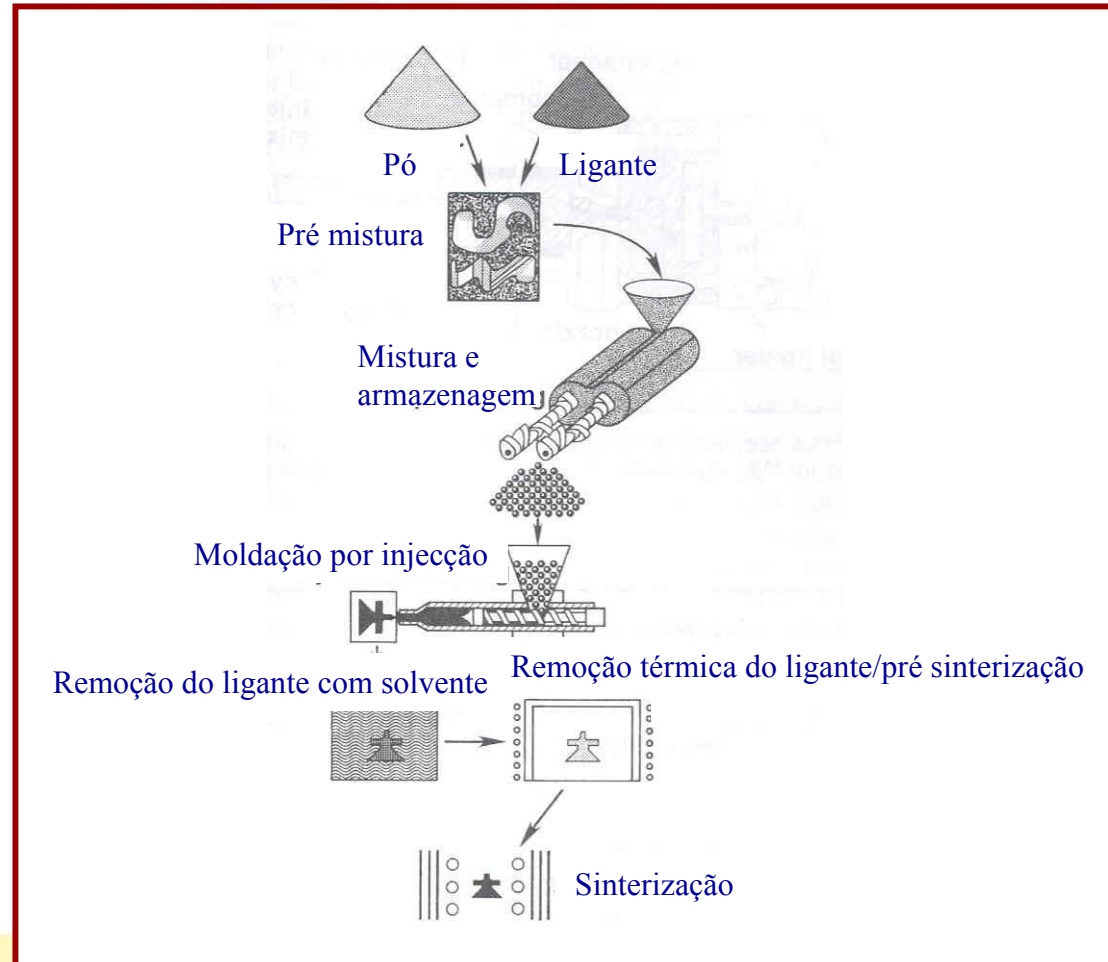


## 4. Atomização de Metal Líquido

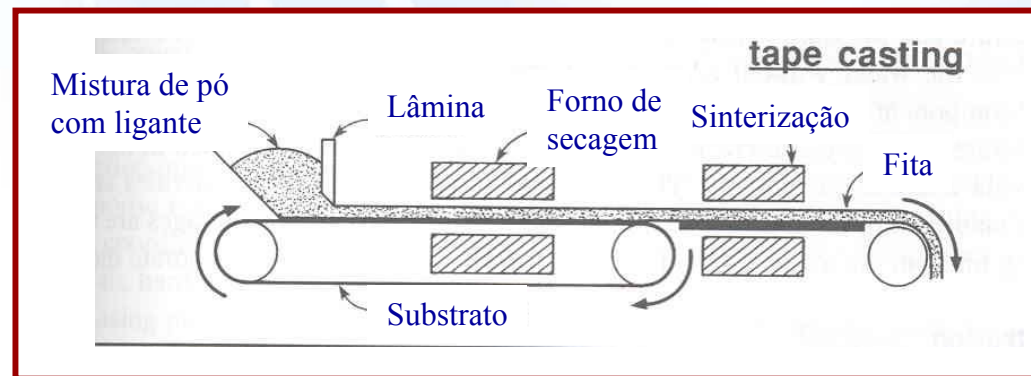
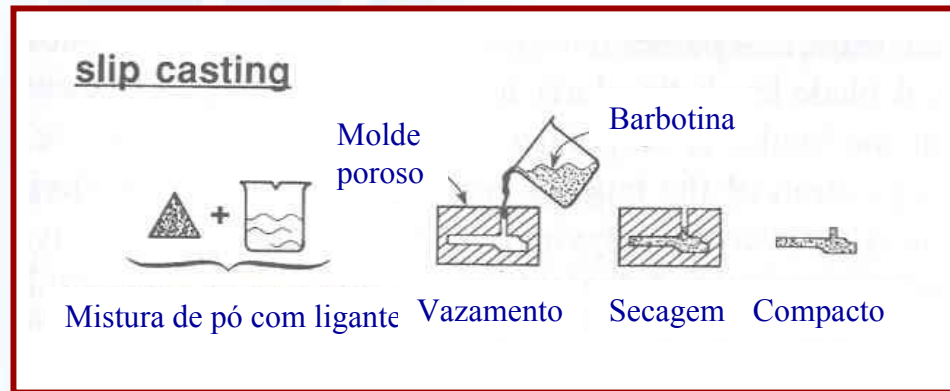


## Conformação e Compactação

### 1. Injecção



## 2. Slip Casting e Tape Casting

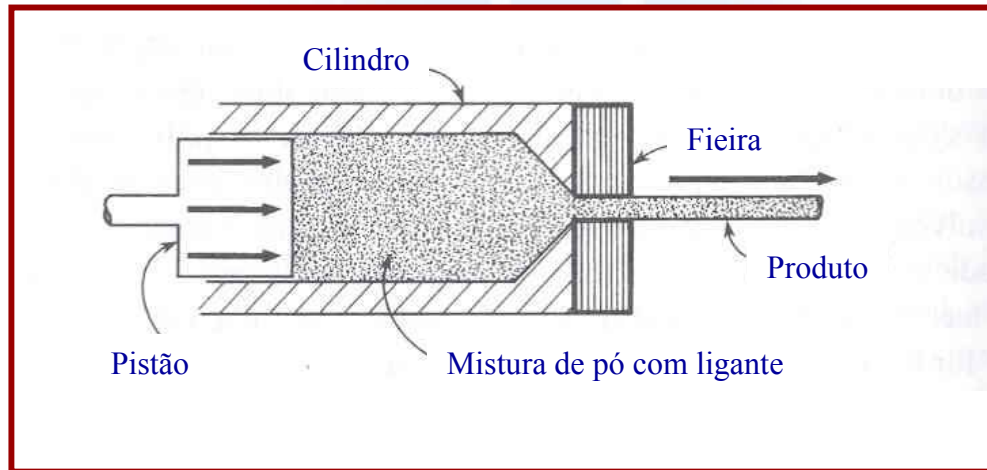




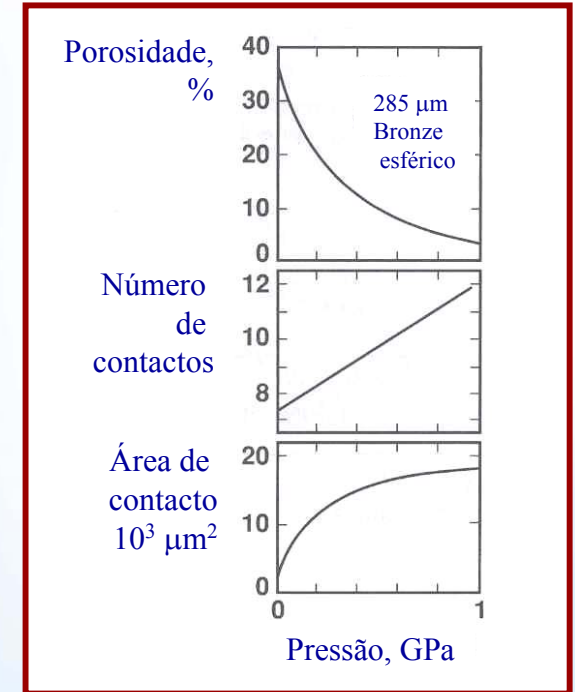
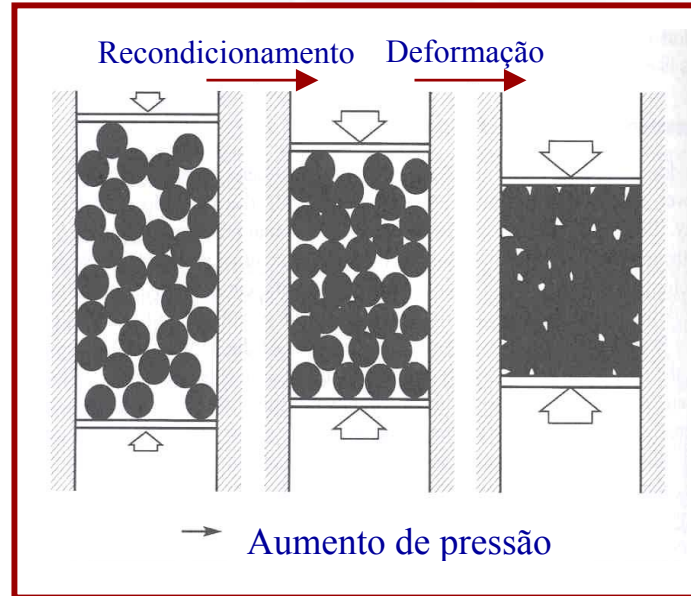
### 3. Técnicas de Congelamento

- Moldação a baixas pressões
- Arrefecimento no molde (ex. vácuo), remoção da água (sublimação) - não há variação de volume

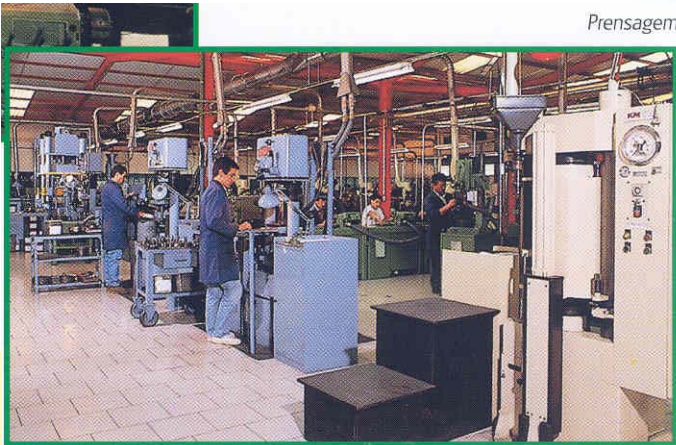
### 4. Extrusão

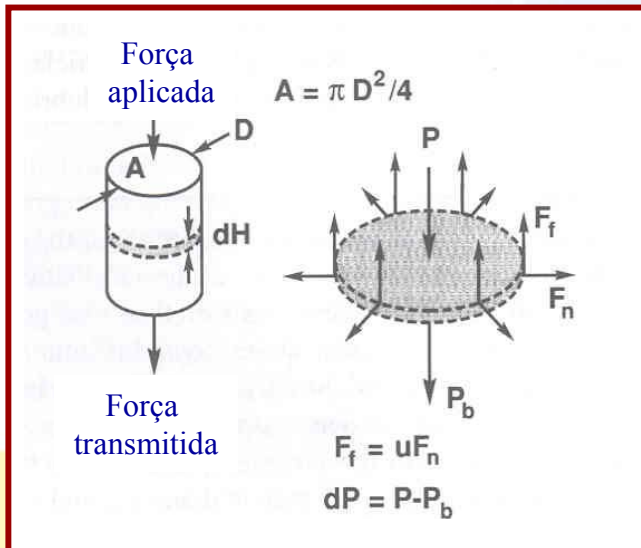
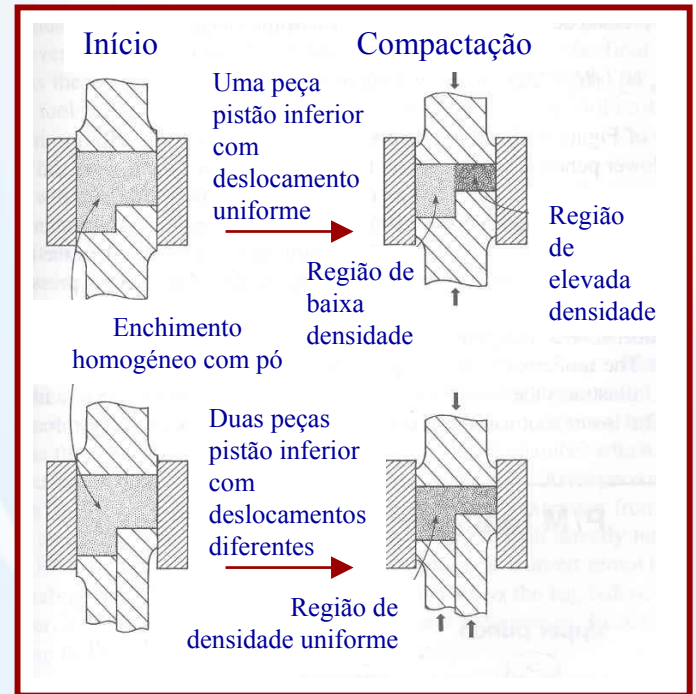
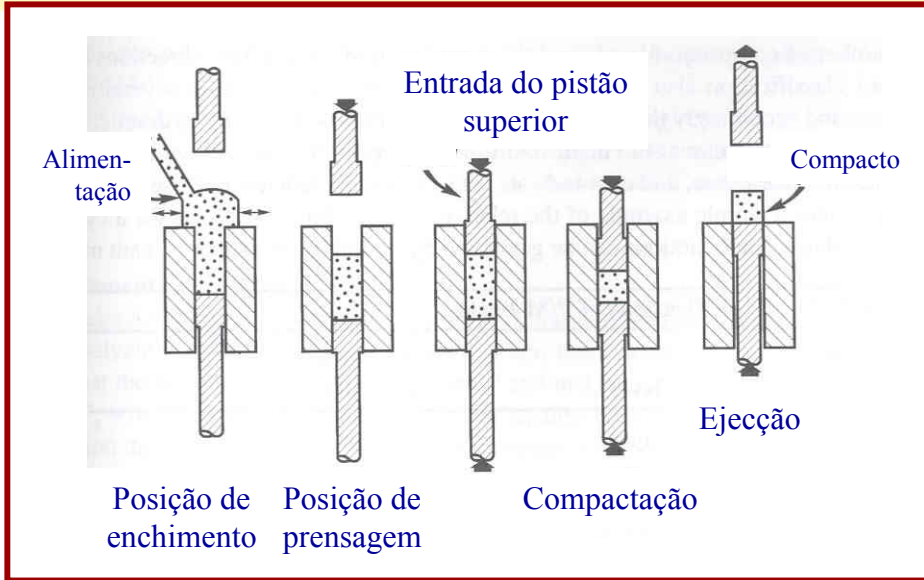


## Compactação

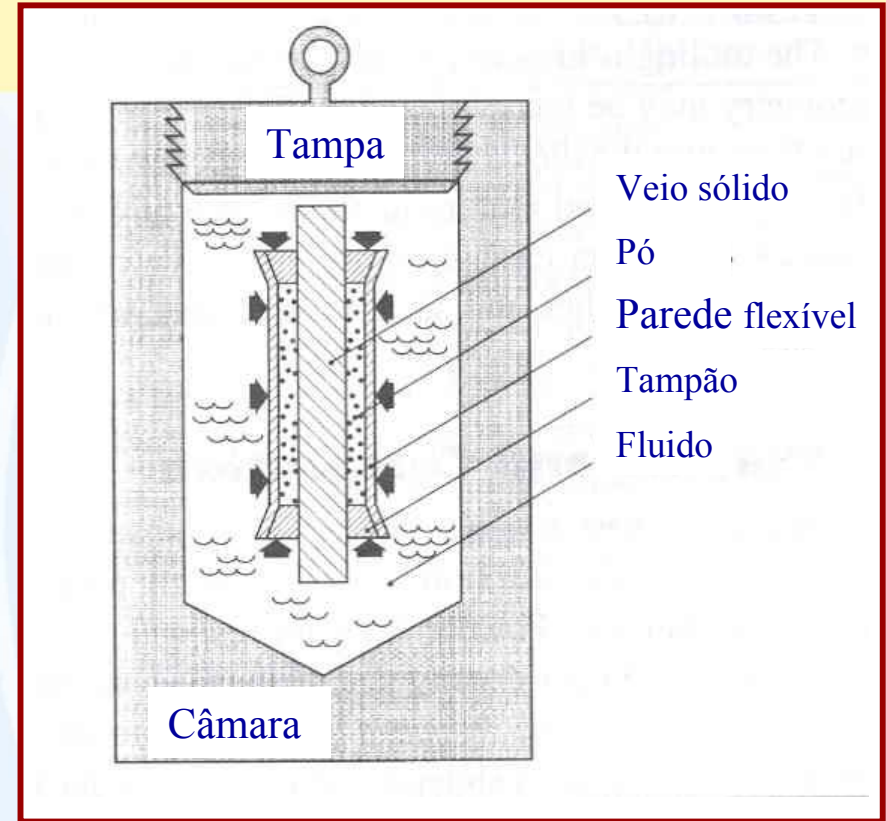
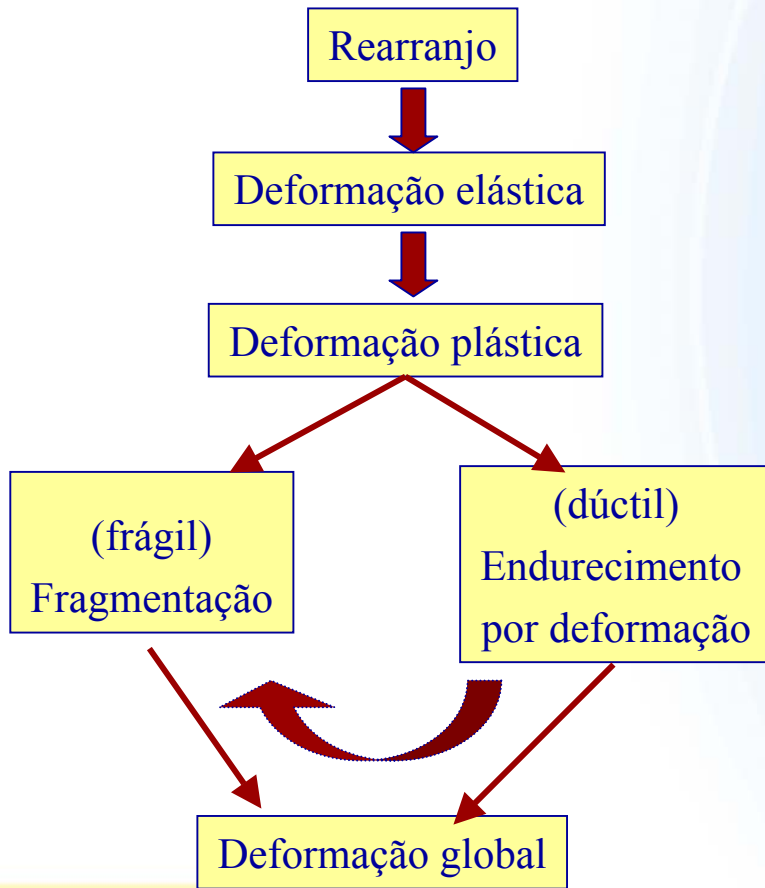


Prensagem

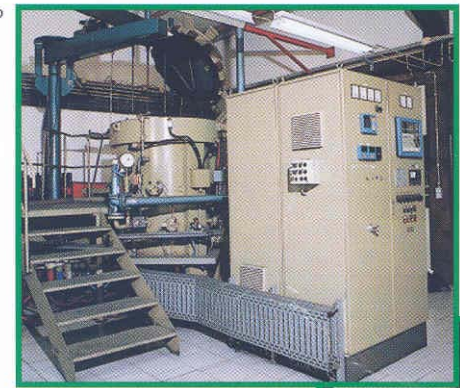




## FASES DA COMPACTAÇÃO

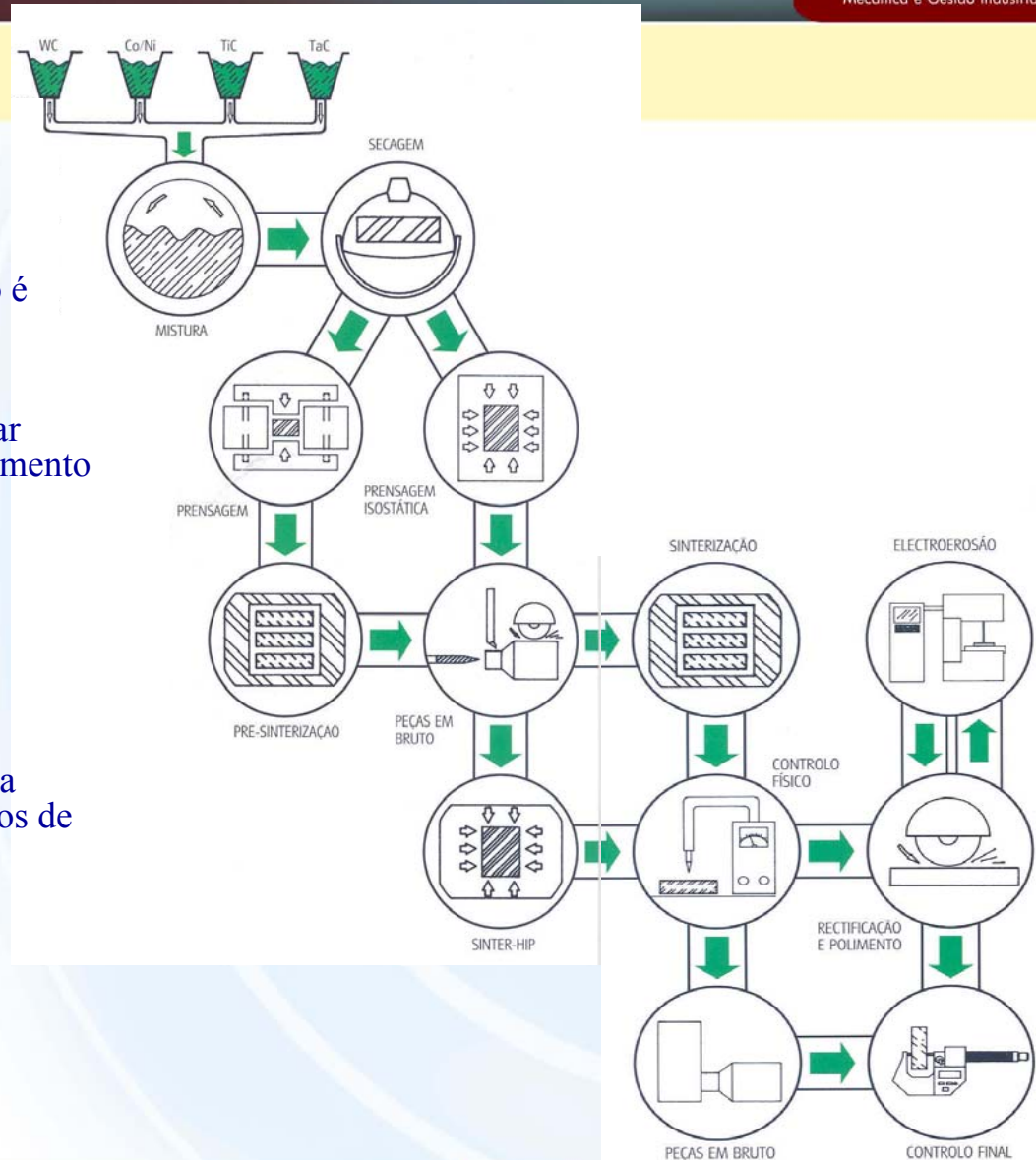


SINTERIZAÇÃO HIP



## ETAPAS DO PROCESSAMENTO DE COMPONENTES EM CW

1. CW misturado com Co (3-30%)
2. Sendo necessária elevada resistência à corrosão é adicionado Ni
3. Na moagem é adicionado parafina. Após moagem é adicionada parafina para formar finos grânulos. Estes grânulos facilitam o enchimento de moldes para peças complicadas.
4. Secagem em tinas com atmosfera controlada
5. Prensagem + prensagem isostática
6. Queima da parafina
7. Sinterização em fornos de grafite com atmosfera controlada. As peças são colocadas em tabuleiros de grafite
8. Corte (electroerosão)
9. Rectificar e polir com diamante de diferentes granulometrias até obter acabamento espelhado
10. Controle de qualidade



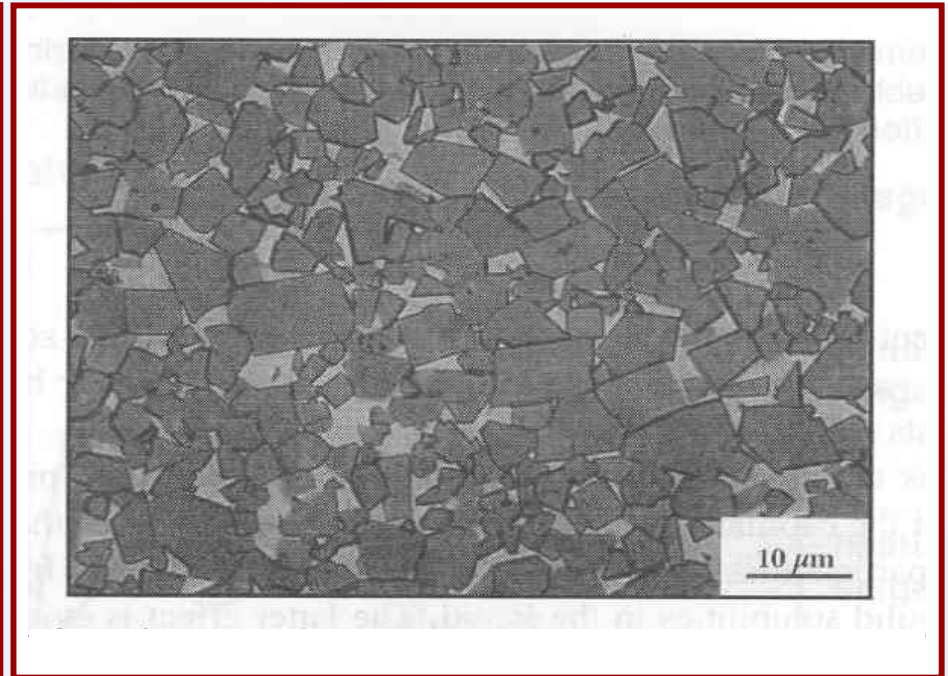
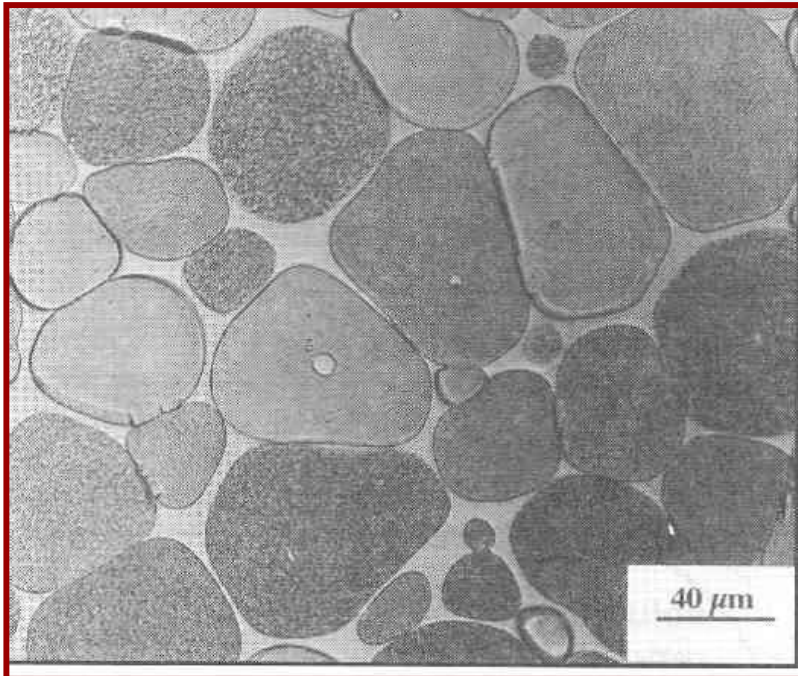
## ISO 4499 – Determinação metalográfica da microestrutura

Símbolo	Designação
Fase $\alpha$	Carboneto de tungsténio
Fase $\beta$	Fase ligante (por exemplo à base de Co, Ni, Fe)
Fase $\gamma$	Carboneto de rede cúbica (por ex. TiC, TaC) podendo conter outros carbonetos (por ex. WC) em solução sólida
Fases do tipo $\eta$	Carbonetos múltiplos de tungsténio e pelo menos um metal como fase ligante

## ISO 4505 – Determinação metalográfica da porosidade e do carbono não combinado

Ampliação 100x

{  
 poros < 10  $\mu\text{m}$  - tipo A  
 poros 10 - 25  $\mu\text{m}$  - tipo B  
 poros 25-75  $\mu\text{m}$ , 75-125  $\mu\text{m}$  e > 125  $\mu\text{m}$



As fases presentes nas microestruturas de carbonetos sinterizados são geralmente reveladas (1 a 20s) com soluções aquosas preparadas com quantidades iguais de 10 a 20 % de ferrocianato de potássio e de potássio ou soda.