

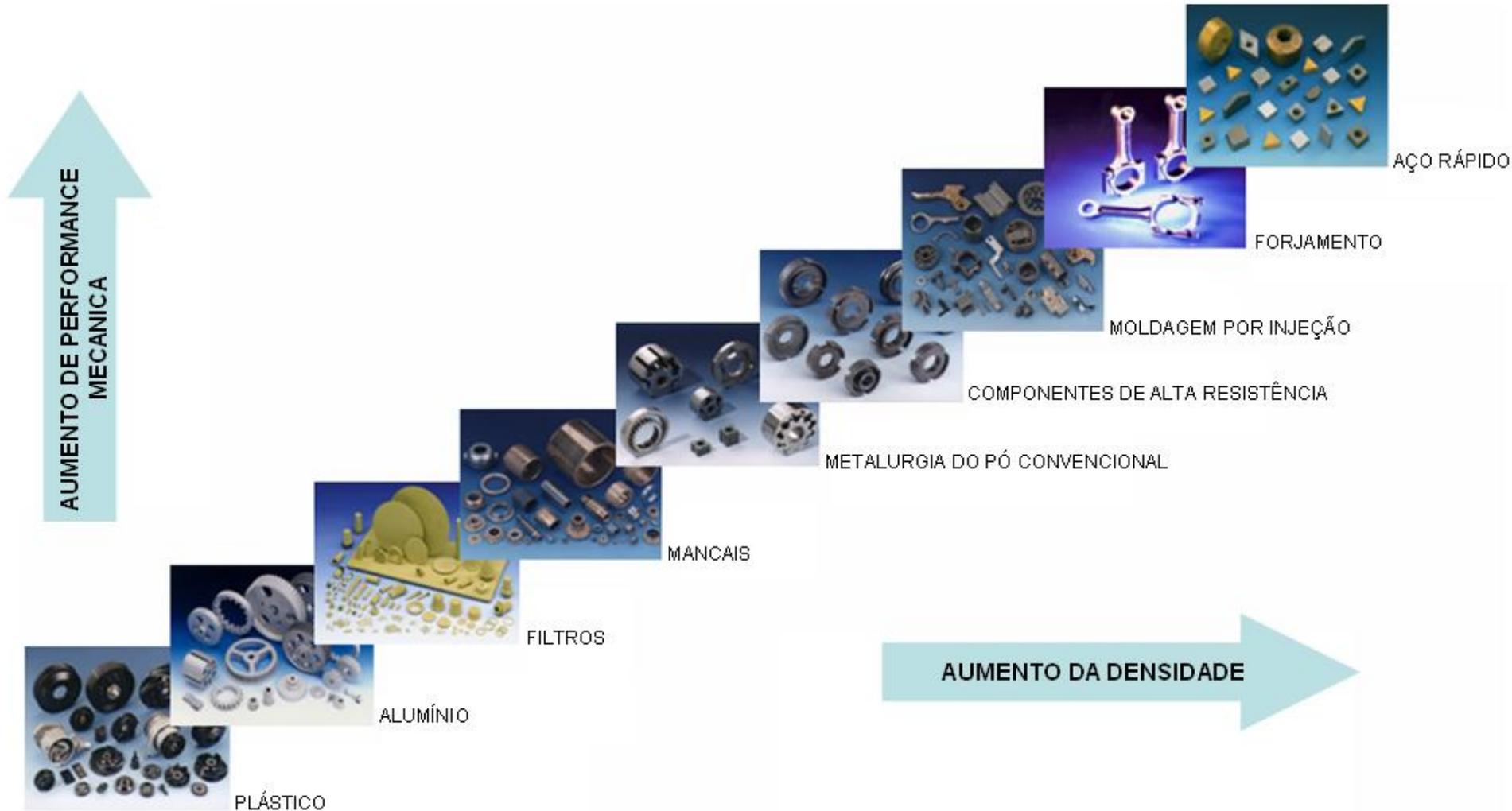


METALURGIA DO PÓ

Prof. M.Sc.: Anael Krelling

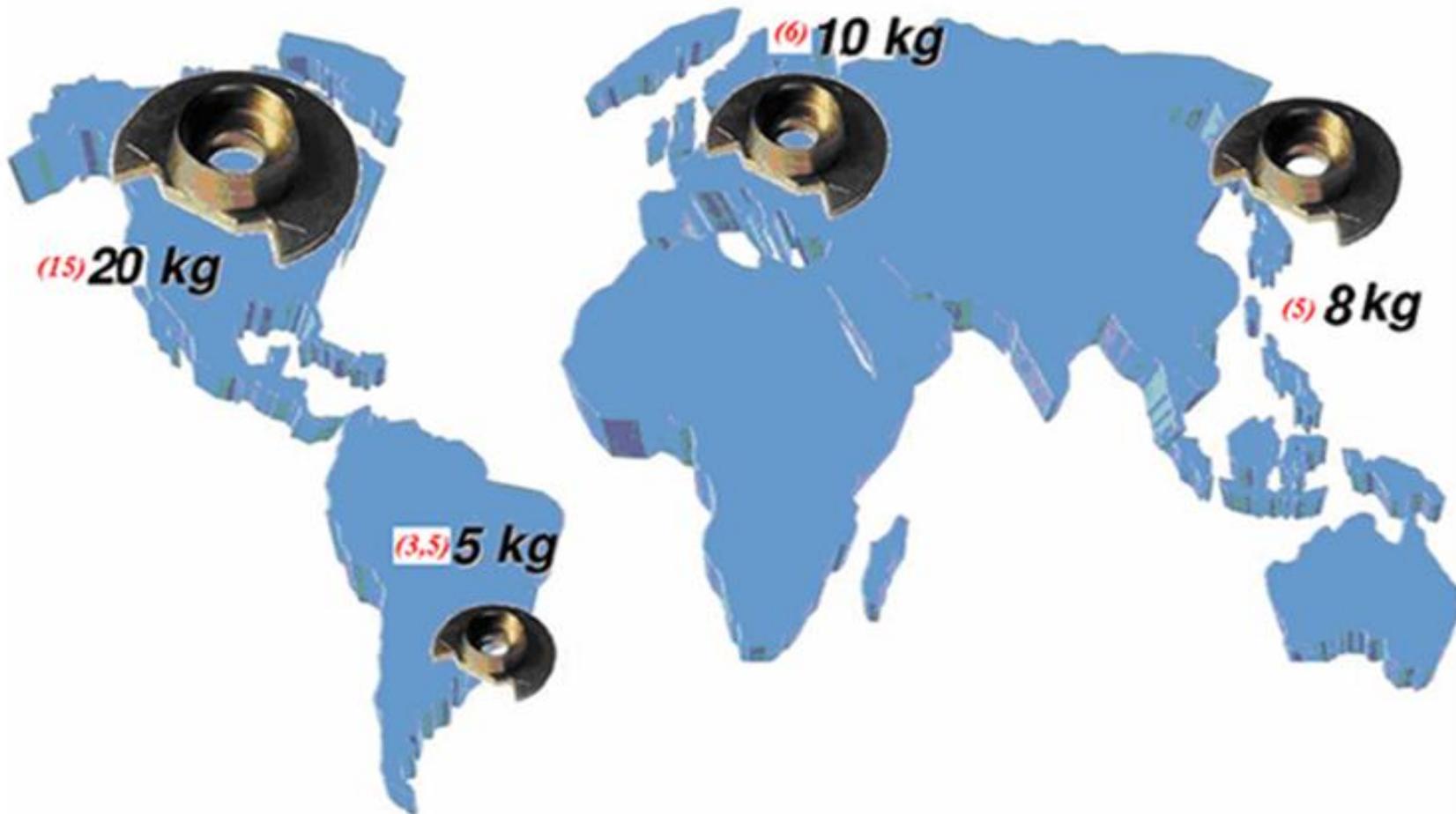
O MERCADO DA METALURGIA DO PÓ

- Ligas de Ferro com grande precisão e elevada qualidade estrutural
- Materiais de difícil processamento, com alta densidade e microestrutura uniforme
- Materiais com elevado ponto de fusão
- Ligas especiais de materiais compostos
- Materiais com forma ou ingredientes pouco comuns
- Materiais porosos
- Imãs Permanentes



EVOLUÇÃO DE PEÇAS SINTERIZADAS EM AUTOMÓVEIS

1995 a 2004

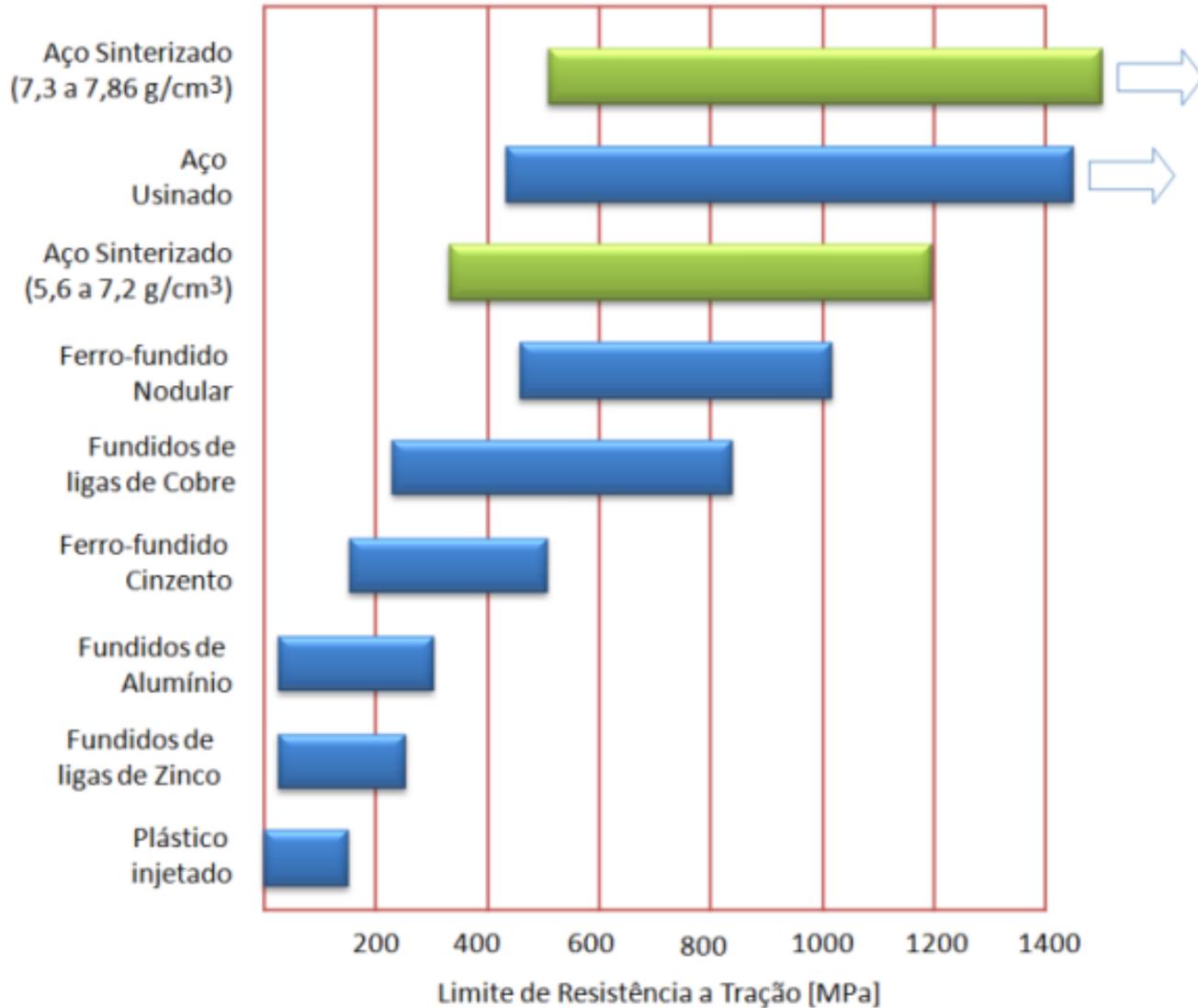


COMPARATIVO ENTRE OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

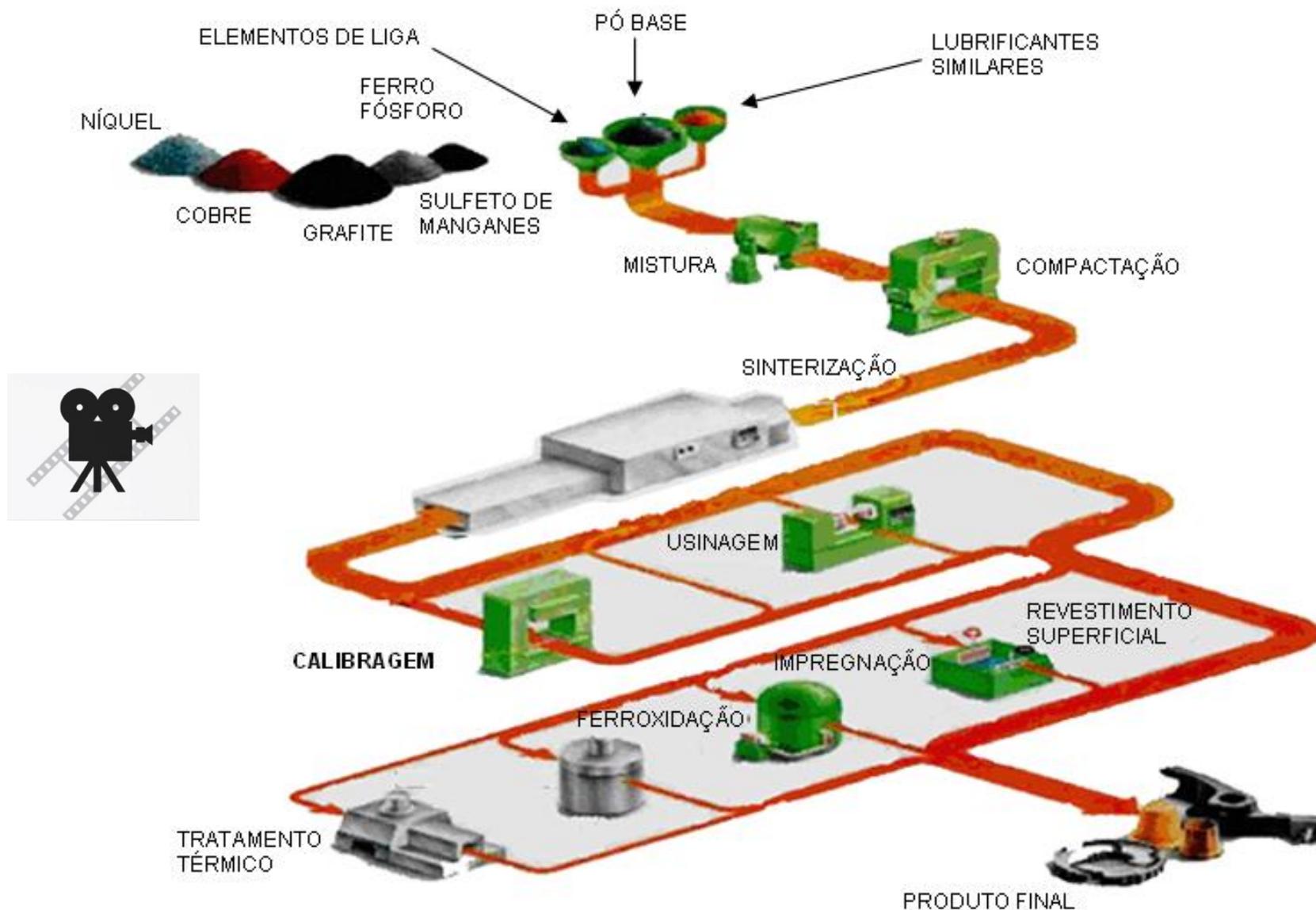




RESISTÊNCIA MECÂNICA



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

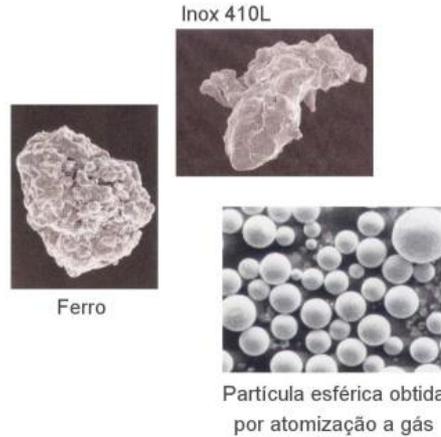
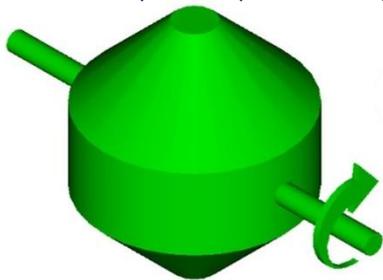


2-Mistura

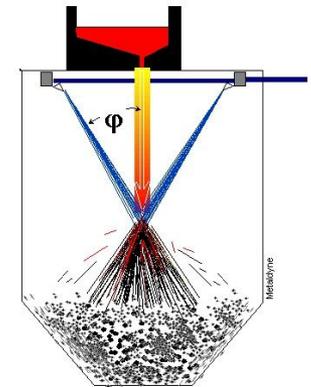
Elementos de Liga

Lubrificantes

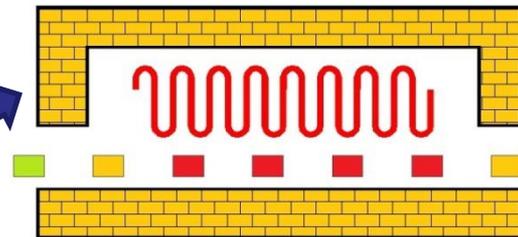
Pó base



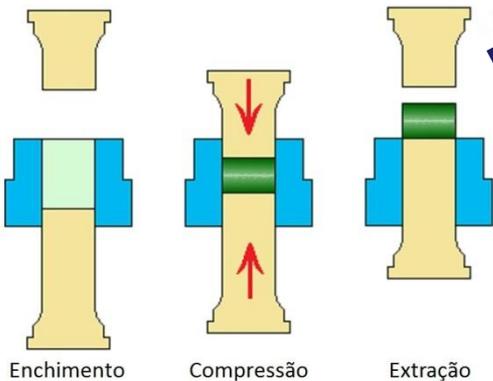
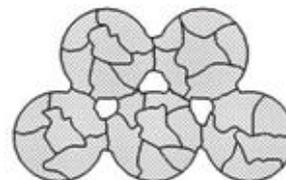
1-Atomização



4-Sinterização



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



3-Compactação

5-

OPERAÇÕES COMPLEMENTARES

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

5- Produto acabado

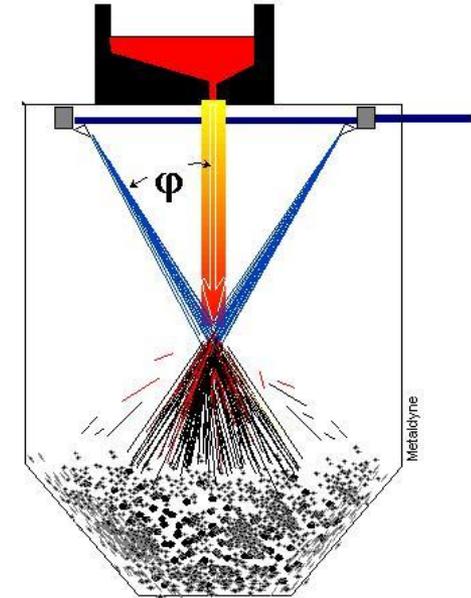
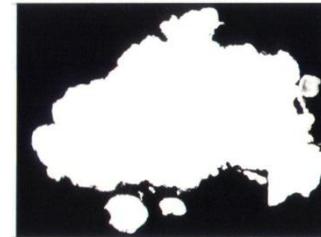
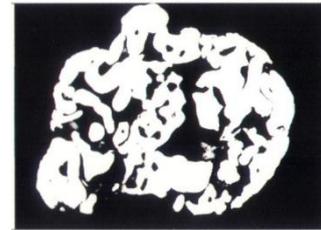
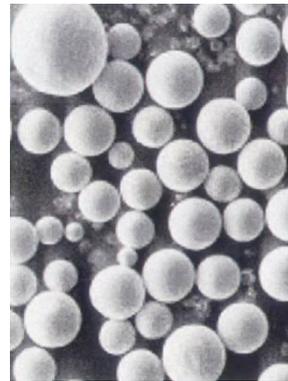
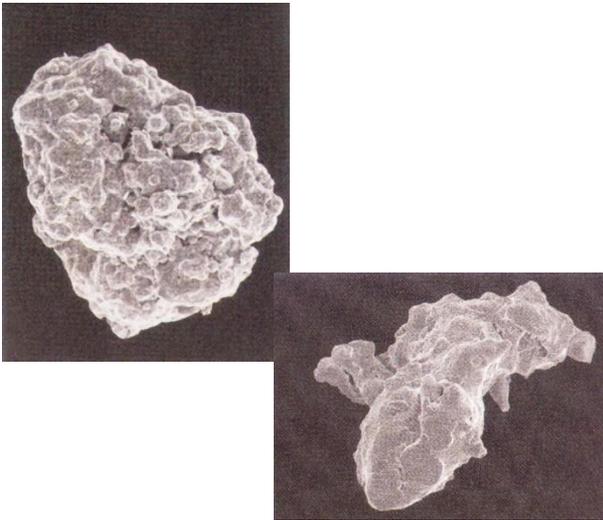


OBTENÇÃO DO PÓ

Vários processos permitem a fabricação de pó metálico:

- Atomização a água
- Atomização a gás
- Redução
- Eletrólise
- Moagem ...

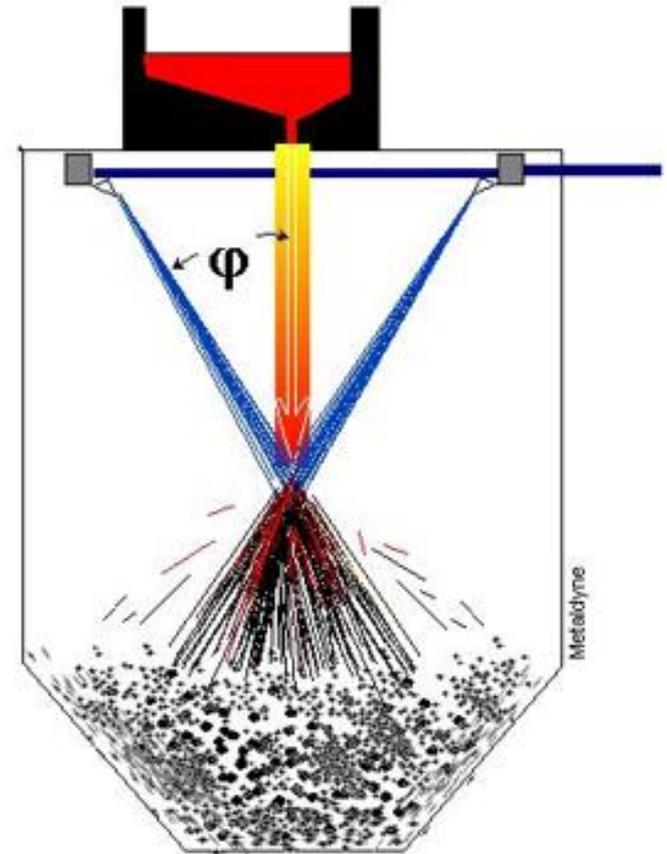
... E vários são os formatos e tamanhos obtidos

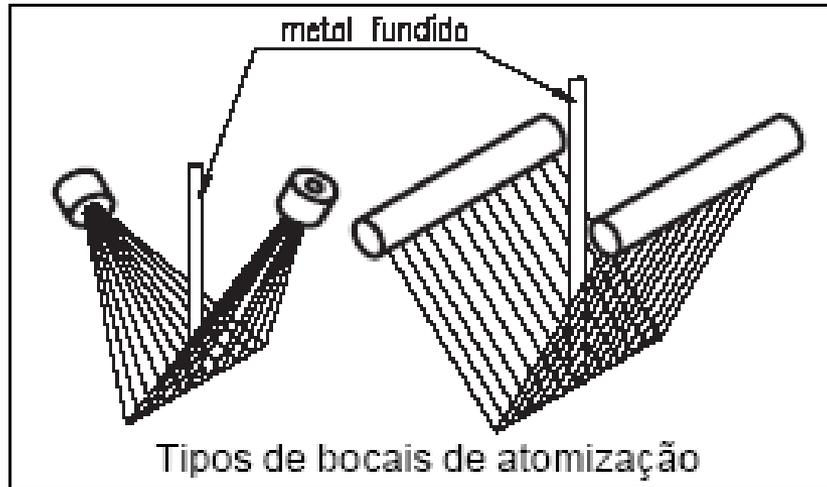


... Resultando em características que influenciam nas propriedades físicas do pó.

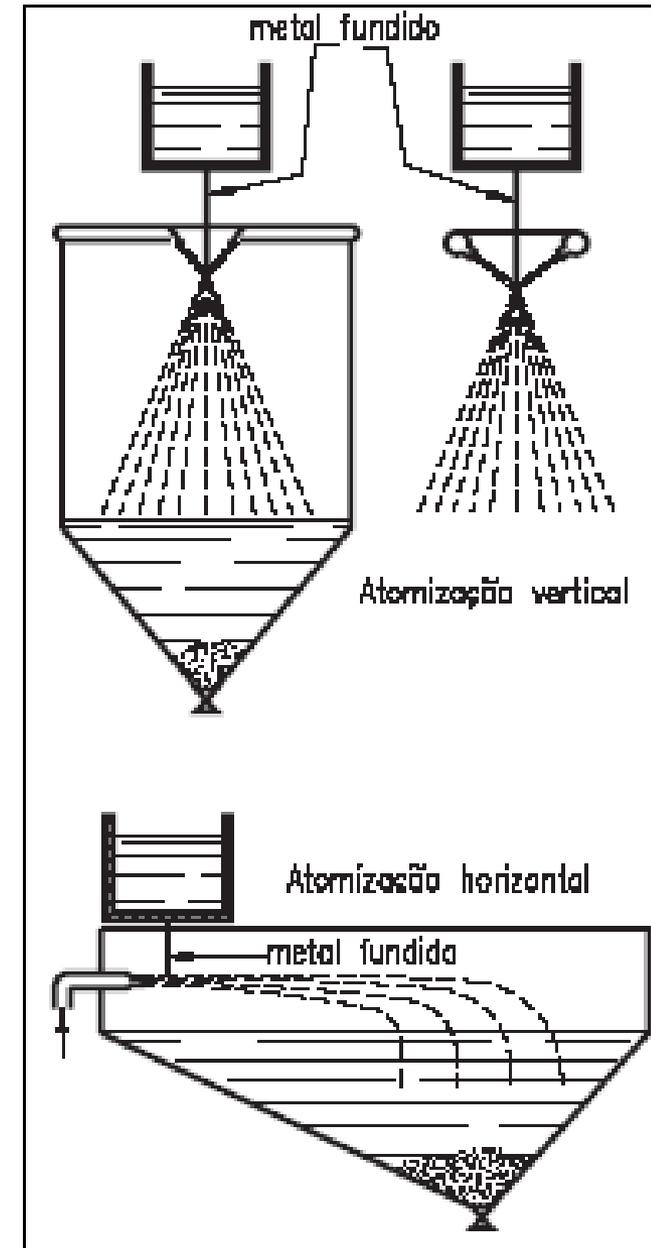
ATOMIZAÇÃO

- É um processo físico relativamente simples . O metal é fundido e vazado através de um orifício e atingido por um feixe de gás ou líquido, usualmente água. Isto separa o metal fundido em gotas que solidificam rapidamente como partículas de pó.
- O processo é seguido de recozimento em atmosfera reduzida para decompor superfícies oxidadas. A pureza na maioria dos casos é acima de 99%.





- O tamanho e a forma das partículas variam em função de vários parâmetros: espessura do filete, pressão da água, geometria do conjunto de pulverização.
- A forma das partículas depende das características do metal fundido, como tensão superficial, viscosidade e densidade → Maior tensão superficial do líquido mais arredondada a partícula.



Atomização a água:

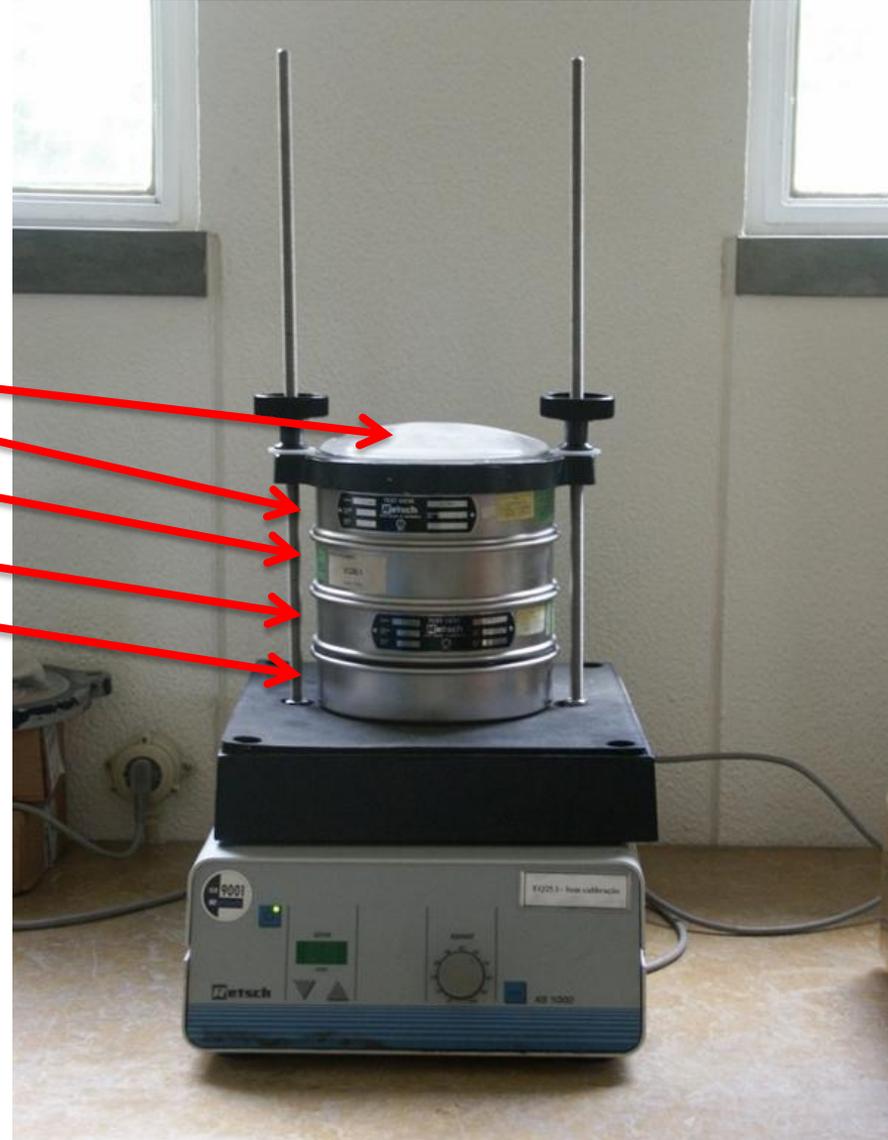
- ✓ Metais que fundem abaixo de 1600°C .
- ✓ Pós irregulares e com alguma oxidação
- ✓ Ferro, aço inoxidável, cobalto, ligas de níquel, etc.
- ✓ Processo geralmente preferido para grandes volumes e baixo custo.
- ✓ A extração rápida de calor resulta em partículas com formato irregular.
- ✓ Pós atomizados a água apresentam excelente compressibilidade devido à sua densidade aparente normalmente ser menor do que dos pós atomizados a gás.

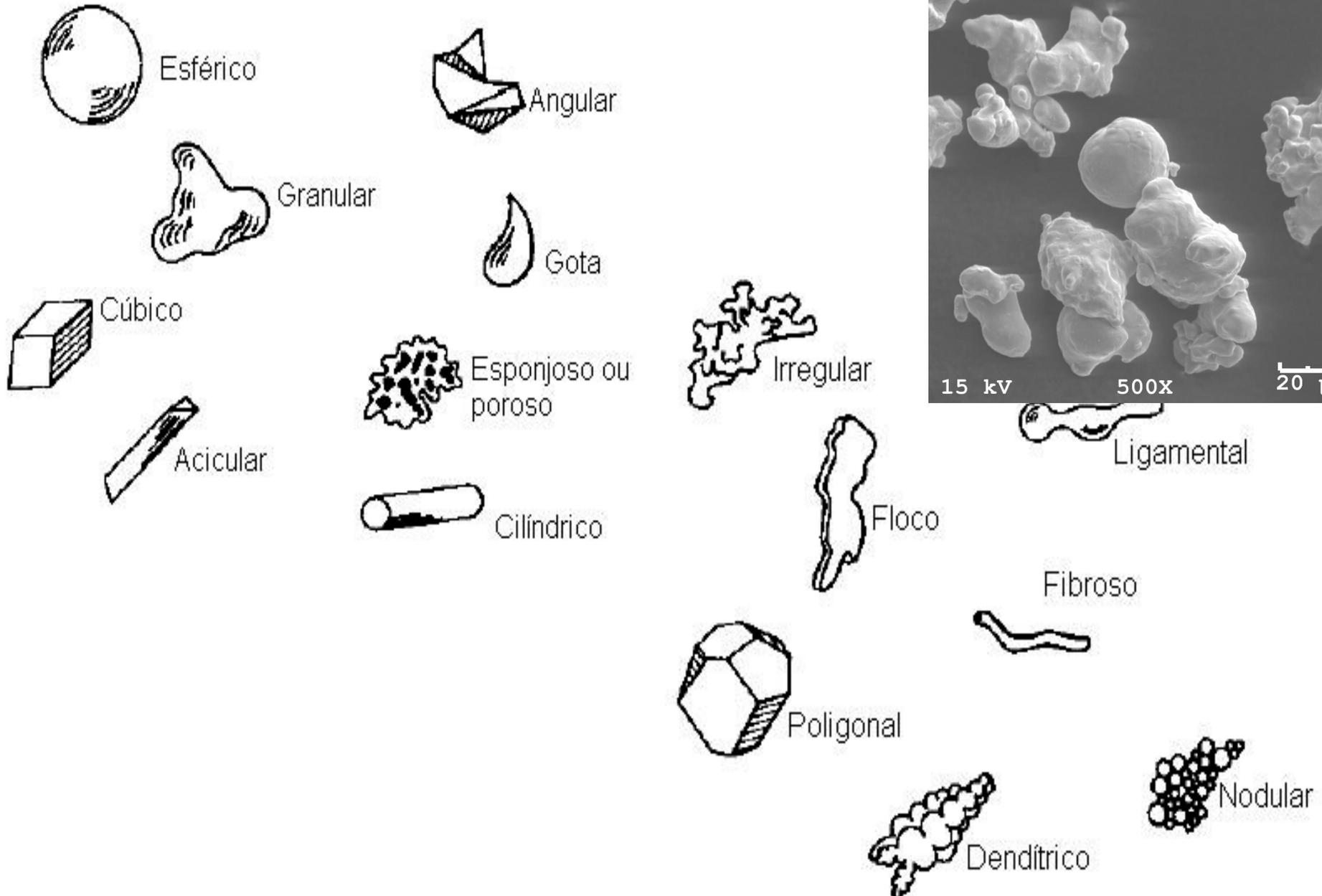
Atomização a gás:

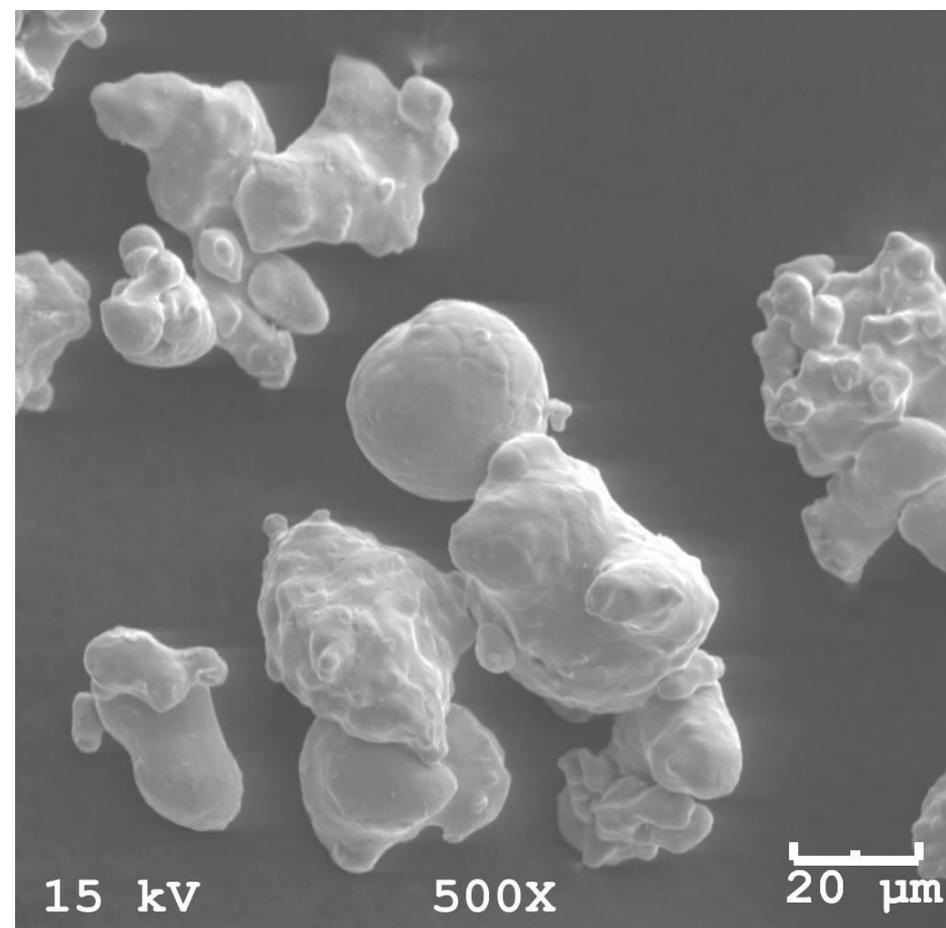
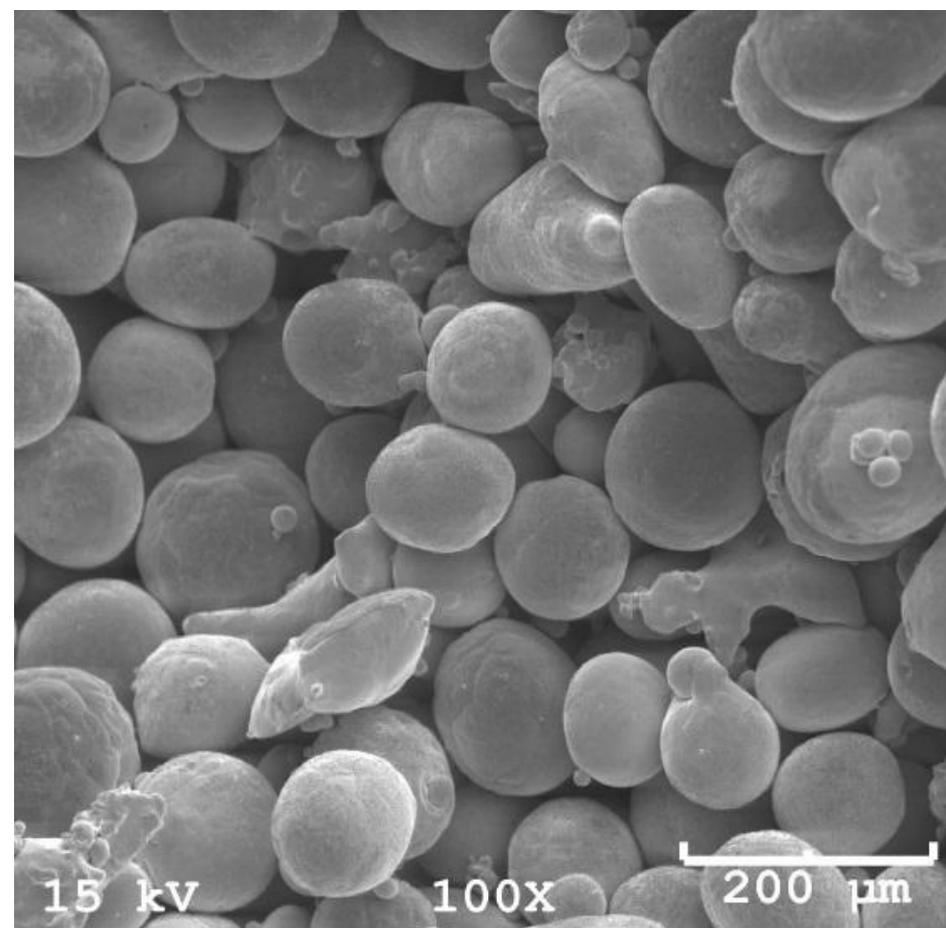
- ✓ Nitrogênio, hélio, argônio.
- ✓ Pós esféricos.
- ✓ Al, Cu, Ni, Mg, Co, Fe, etc
- ✓ Atomização por gás inerte é um processo largamente utilizado para obtenção de pós metálicos de formato esférico, boa escoabilidade, baixo percentual de oxigênio e elevada pureza.
- ✓ Materiais com elevado teor de elementos de liga, como as superligas a base de níquel são atomizados por gás inerte.

	Peneira		Exemplo de Pó de aço para compactação
	Mesh (US)	Métrico (Microns)	
	Tampa		
Peneira grossa	60	250	2%
Peneira média	100	150	9%
Peneira fina	325	45	65%
	Fundo		24%

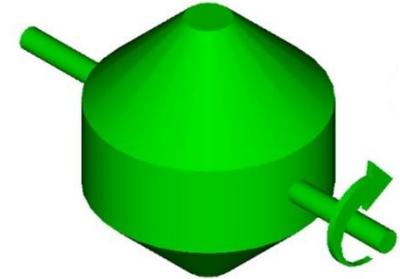
Peneira grossa
Peneira média
Peneira fina





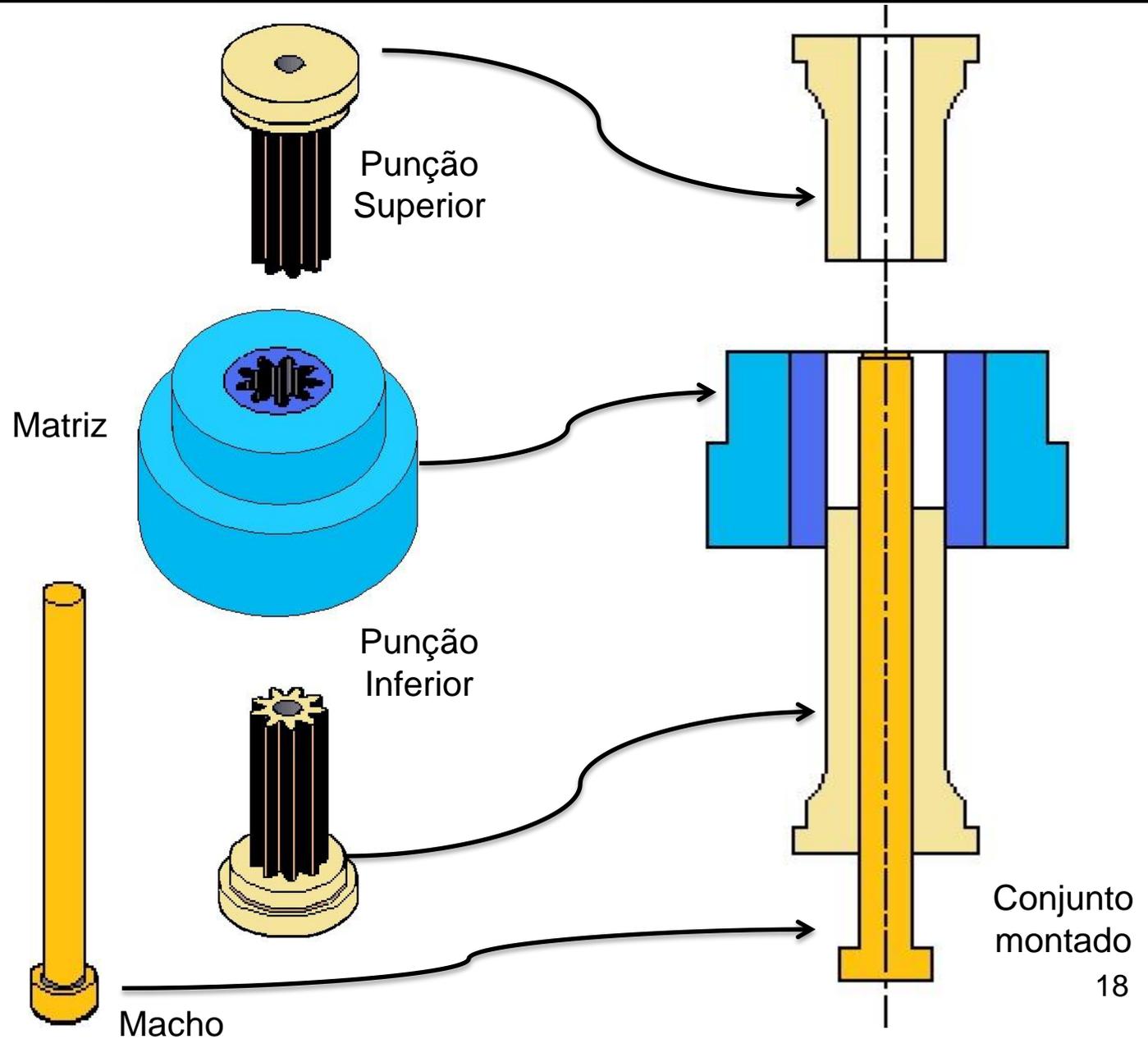


MISTURA



<i>Elementos</i>	<i>Quantidade (%)</i>	<i>Exemplo: Mistura de 1.000Kg</i>
Pó de ferro	96,40%	1.000 Kg x 96,40% = 964,00 kg
Pó de cobre	2,00%	1.000 Kg x 2,00% = 20,00 kg
Pó de grafite	0,60%	1.000 Kg x 0,60% = 6,00 kg
Pó de níquel	1,00%	1.000 Kg x 1,00% = 10,00 kg
Total (sem o lubrificante)	100%	1.000 Kg
Lubrificante adicionado	0,75% sobre o total	1000 Kg x 0,75% = 7,50 kg

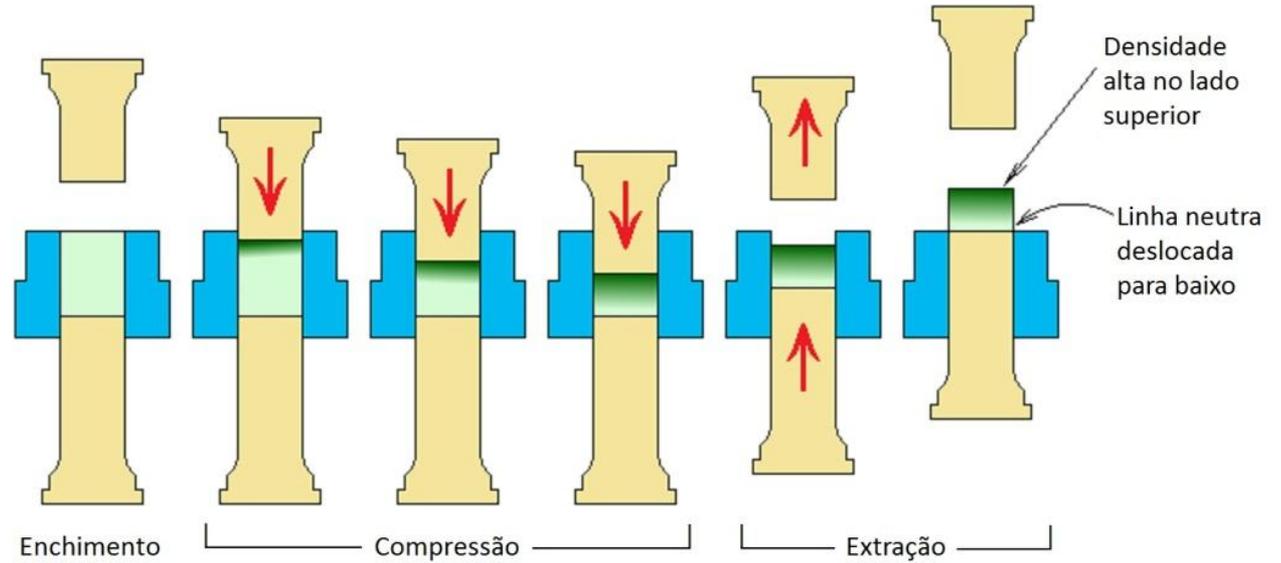
COMPACTAÇÃO





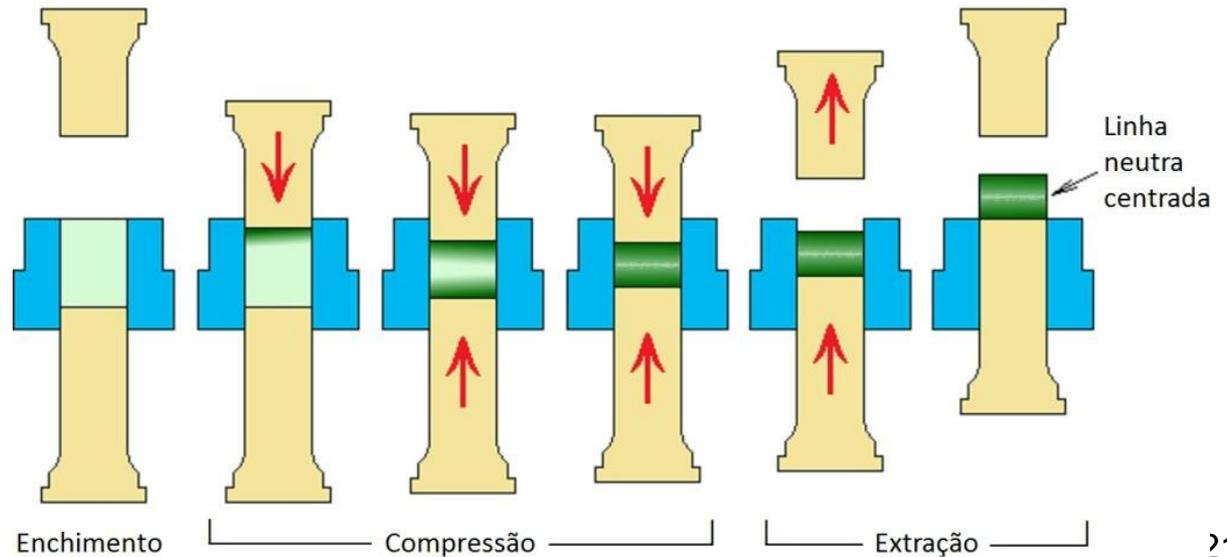


Simples ação



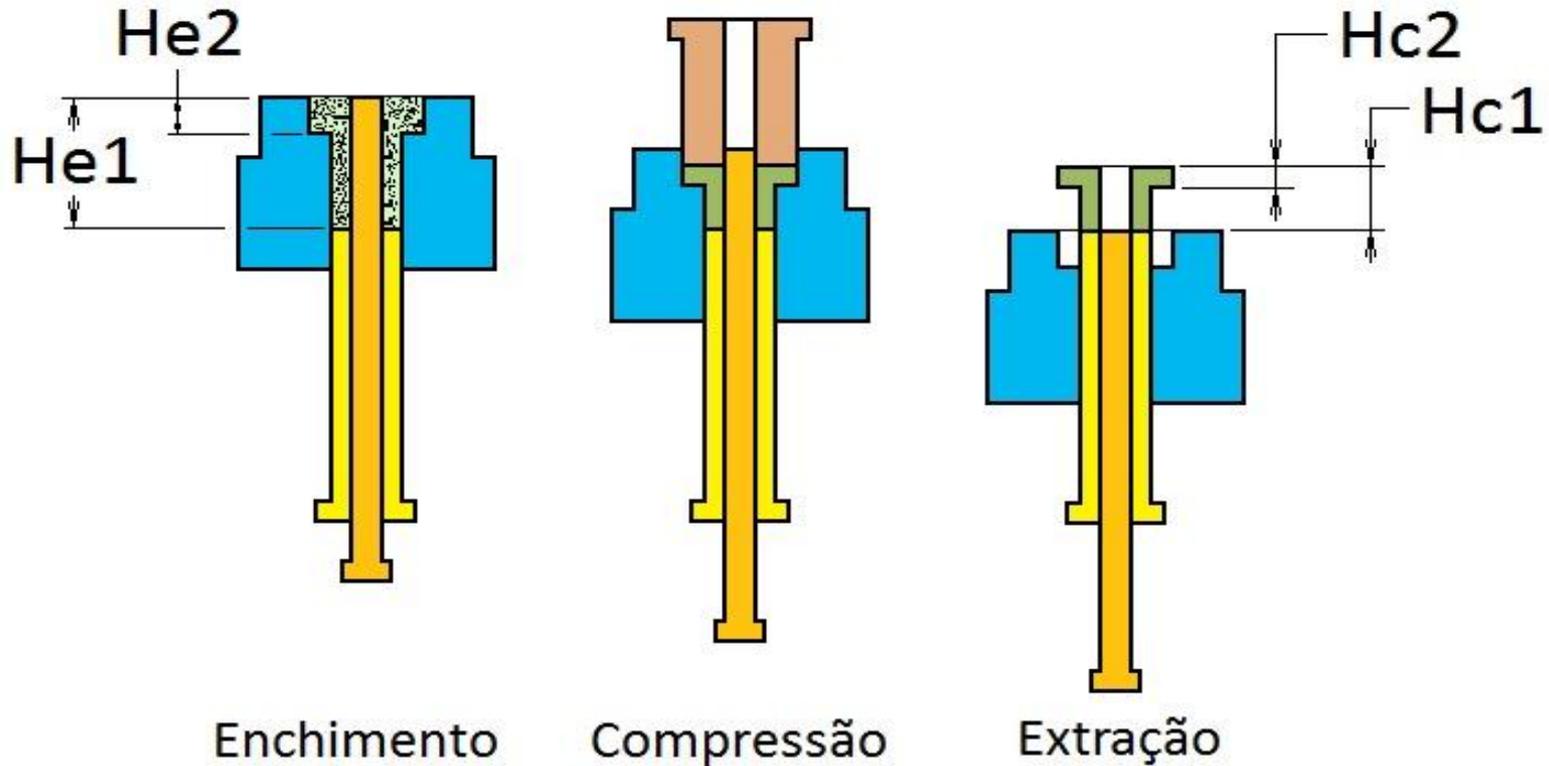
Fonte: Grupo Setorial de M/P. A Metalurgia do Pó, 1ª Ed., 2009

Dupla ação

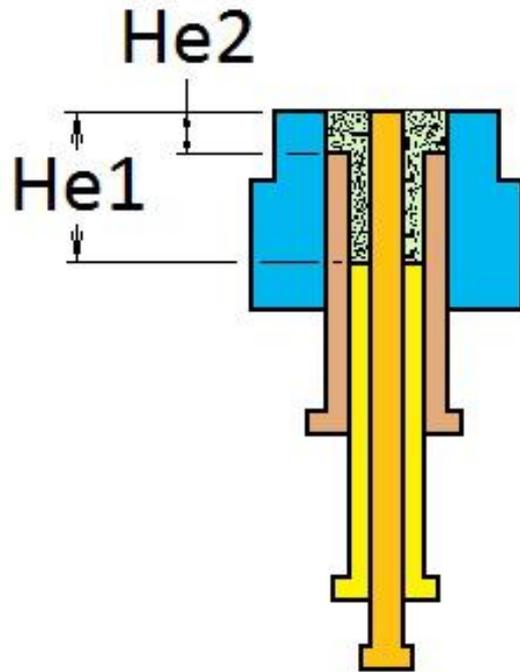


Fonte: Grupo Setorial de M/P. A Metalurgia do Pó, 1ª Ed., 2009

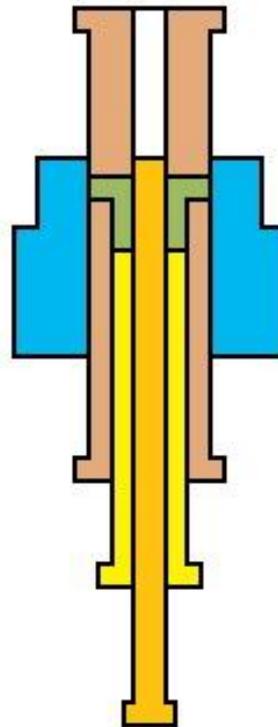
Matriz com “ombro” (enchimento fixo)



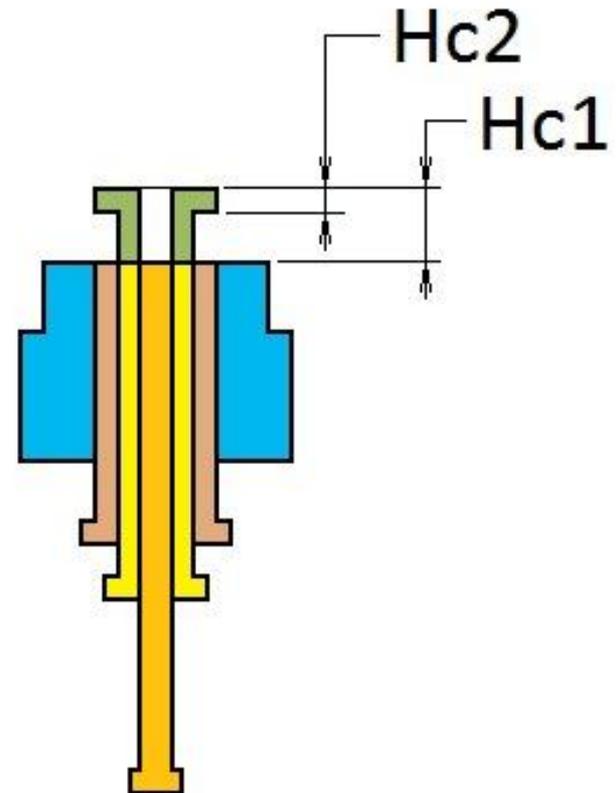
Múltiplos punções



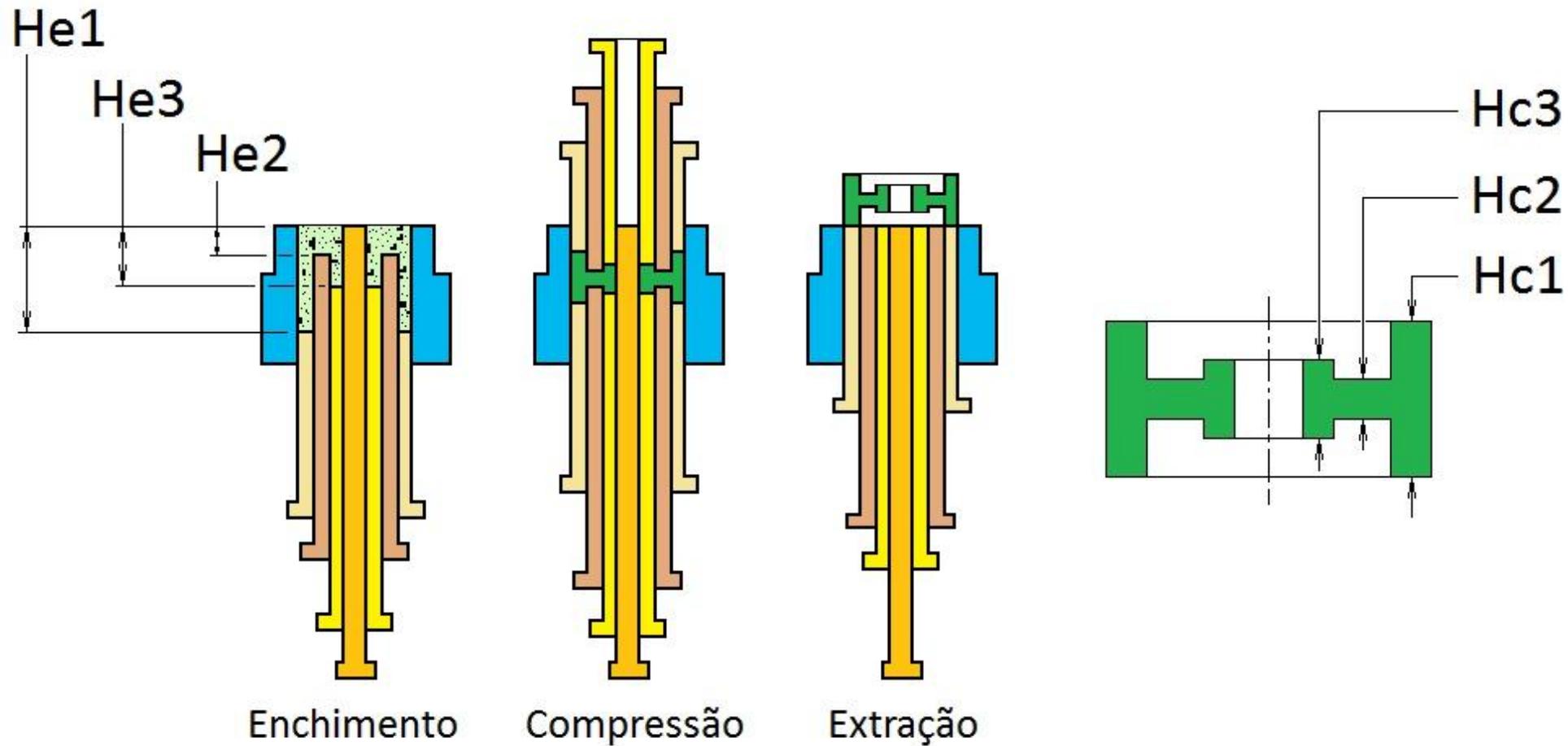
Enchimento



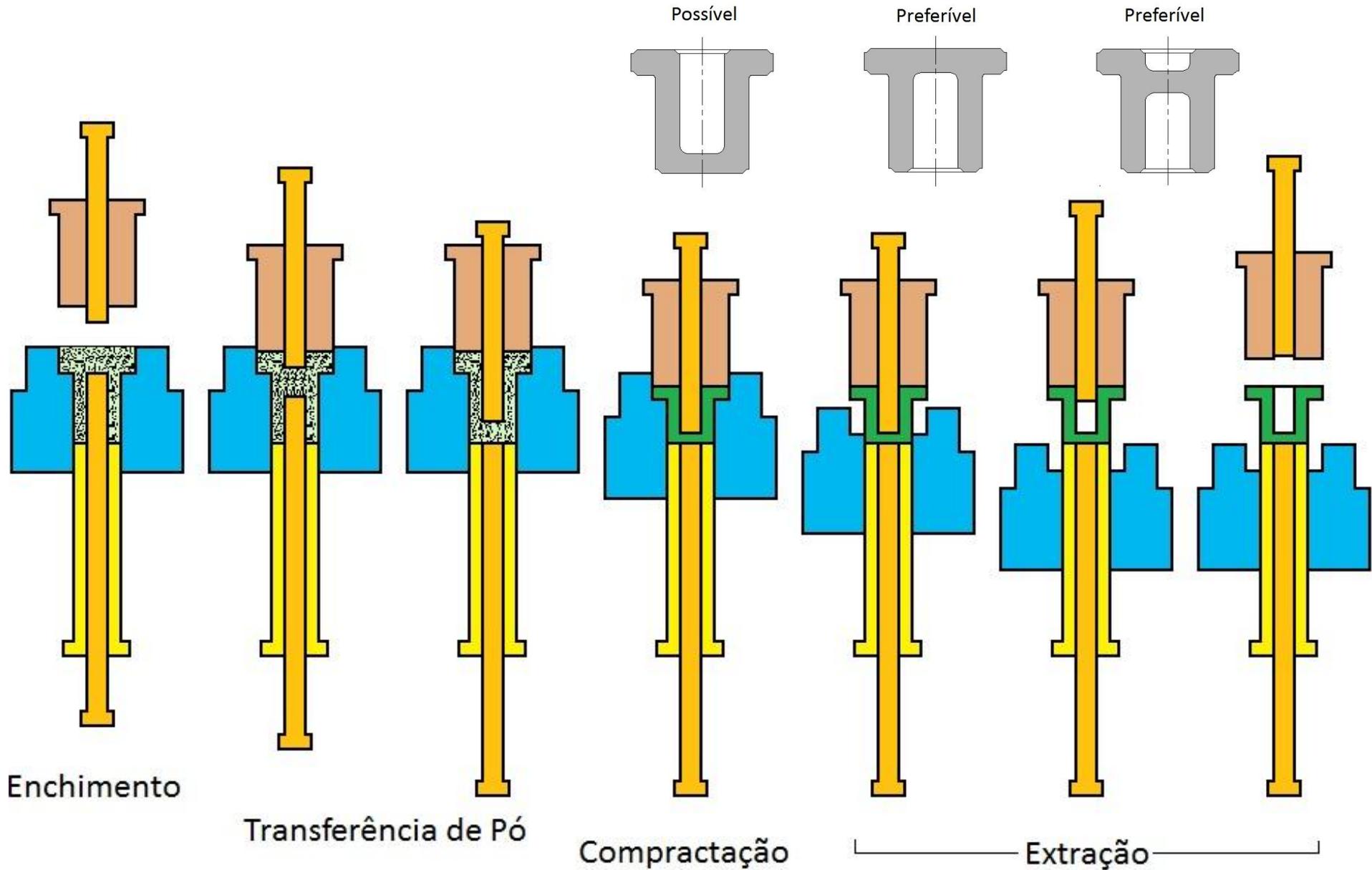
Compressão



Extração



Fonte: Grupo Setorial de M/P. A Metalurgia do Pó, 1ª Ed., 2009



Ferramenta

Características:

- Polimento espelhado
- Tolerância entre componentes: 5 a 50 μm
- Material extremamente tenaz
- Material extremamente duro
- Material indeformável

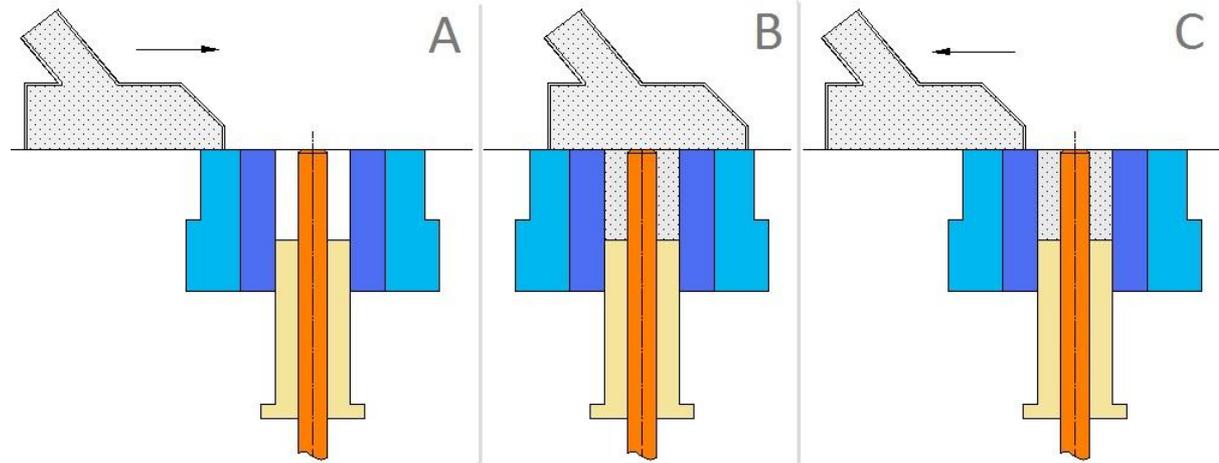


Materiais:

- Metal duro: Alta dureza porém frágil e caro
- Aço rápido (HSS): Boa tenacidade porém dureza inferior ao MD
- Aço rápido sinterizado: Dureza próxima à do metal duro com a tenacidade do aço

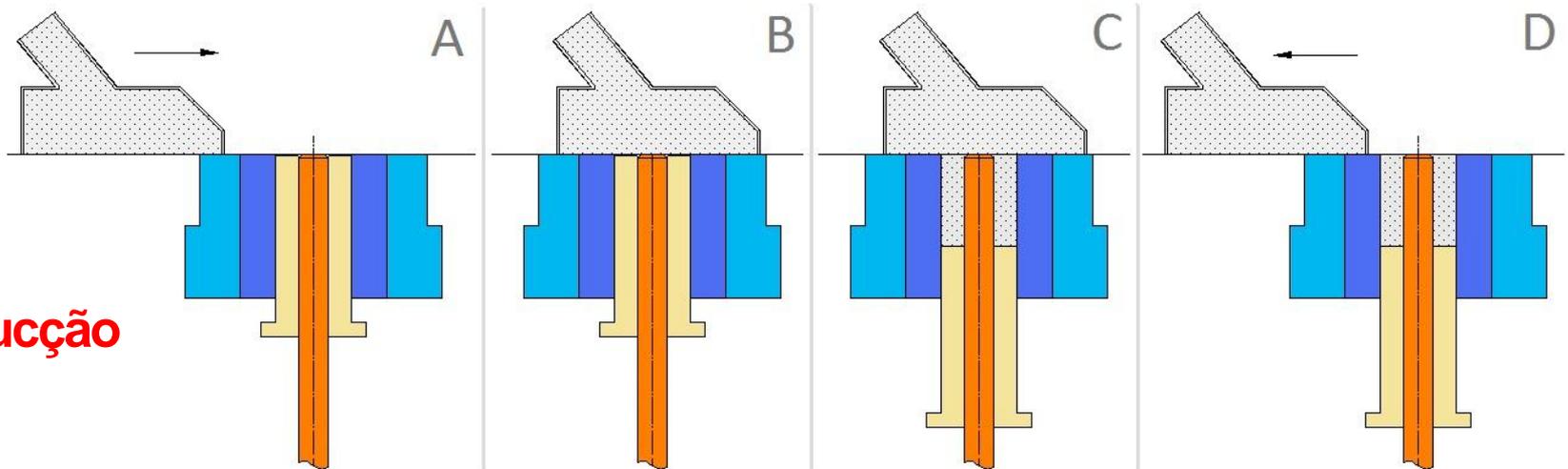
Enchimento

Por gravidade

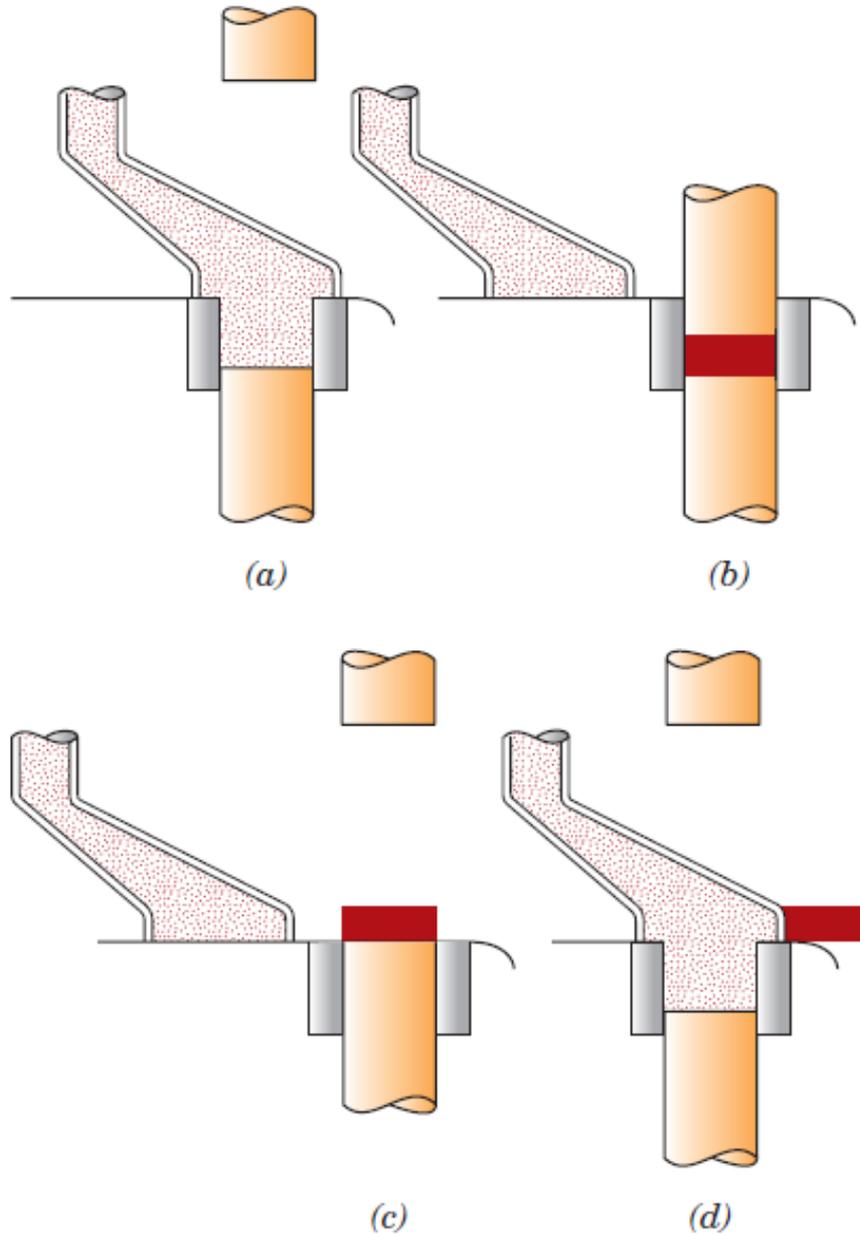


Fonte: Grupo Setorial de MP. A Metalurgia do Pó, 1ª Ed., 2009

Por sucção



Fonte: Grupo Setorial de MP. A Metalurgia do Pó, 1ª Ed., 2009



SINTERIZAÇÃO

A sinterização é um processo no qual pós, uma vez compactados, recebem tratamento térmico, no qual a temperatura de processamento normalmente é menor que a sua temperatura de fusão.

Durante o processo ocorrem várias reações no estado sólido do elemento, que são ativadas termicamente.

Este processo cria uma alteração na estrutura microscópica do elemento base, cuja finalidade é obter uma peça sólida coerente.

Sinterização implica geralmente em retração e densificação. No entanto, alguns produtos sinterizados podem ser menos densos do que a verde (ex.: refratários porosos).

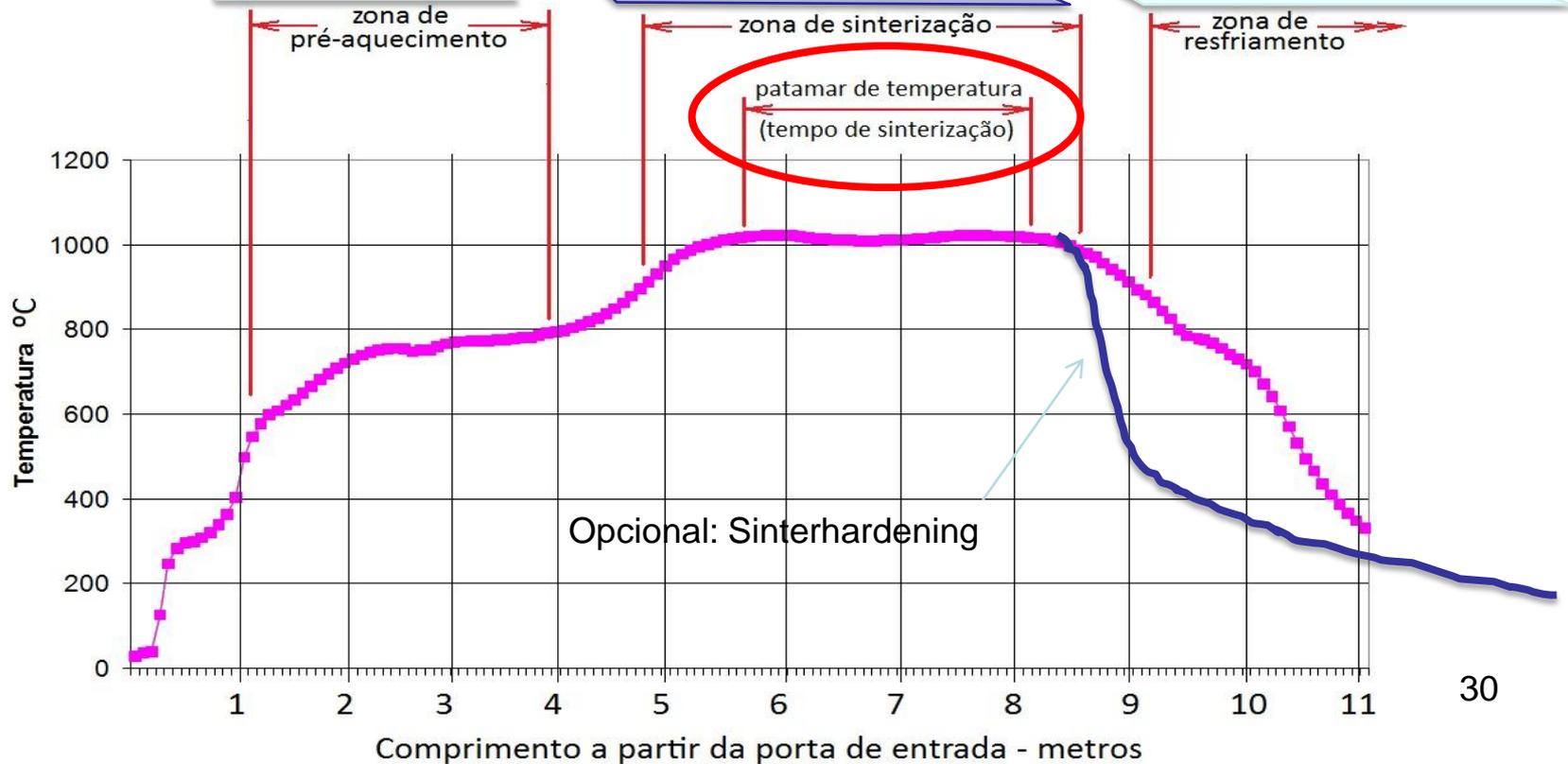
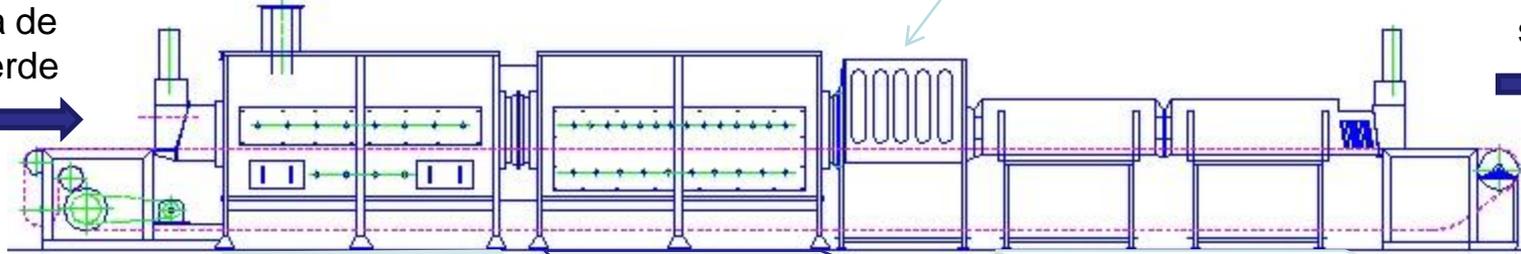
Sinterização ocorre a partir de $1/2$ a $2/3$ da temperatura de fusão, o suficiente para causar difusão atômica ou fluxo viscoso.

SINTERIZAÇÃO

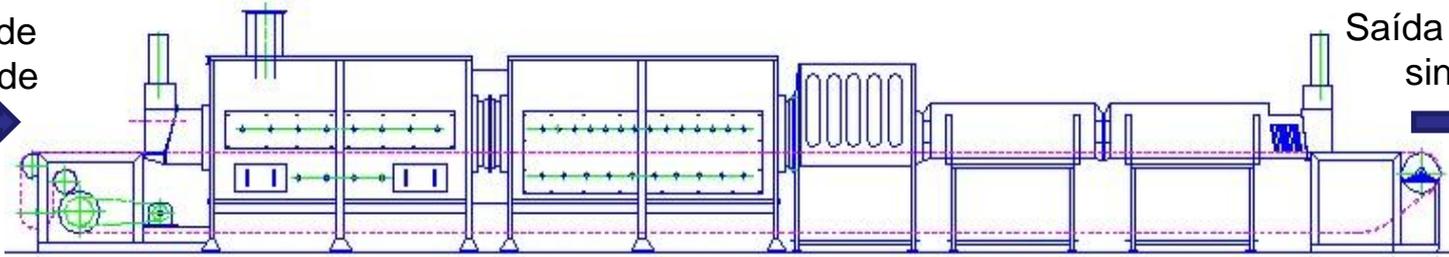
Entrada de
peça verde

Opcional: Sinterhardening

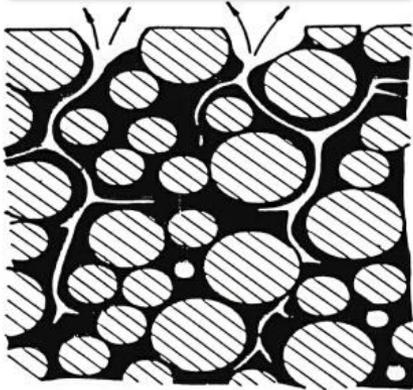
Saída de peça
sinterizada



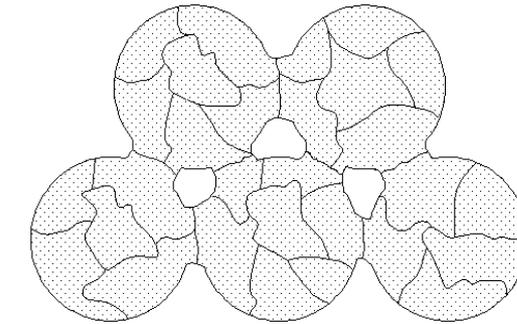
Entrada de
peça verde



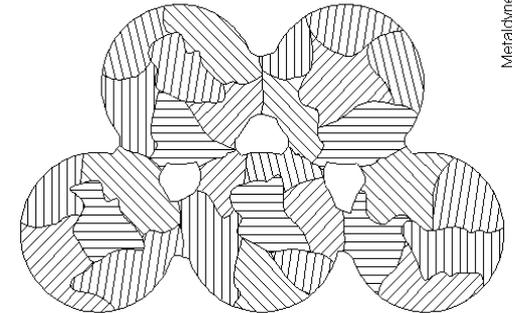
Saída de peça
sinterizada



Metaldyne



Metaldyne



Metaldyne

Pré Aquecimento:

500 - 800°C

O lubrificante é
retirado da peça

Sinterização:

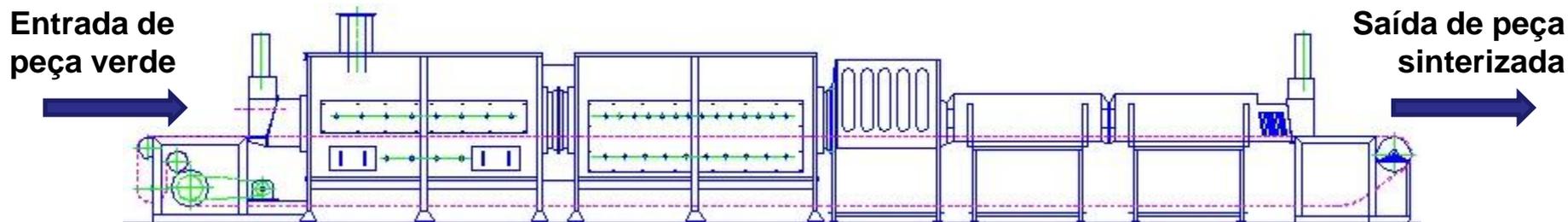
Bronze: 780 - 840°C

Aço: 1050 - 1150°C

Ligação metalúrgica das
partículas de pó

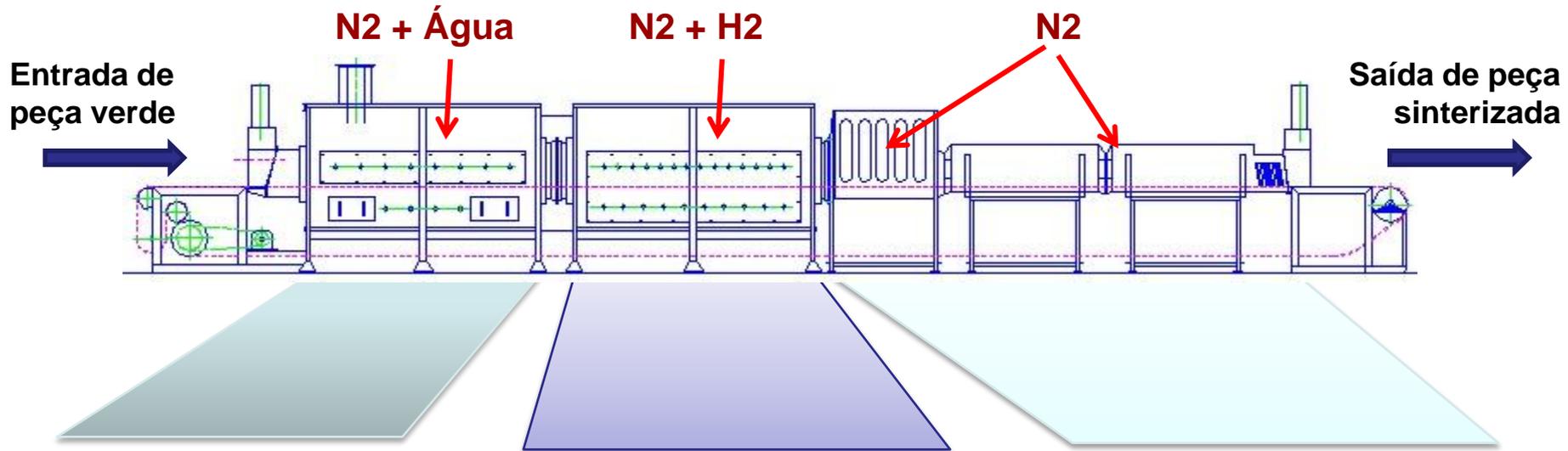
Resfriamento:

A micro-estrutura do
material é formada



Valores para etapa de sinterização
(Zona de alta temperatura)

Material	Temperatura (°C)	Tempo de patamar (min)
Alumínio	595-625	10-30
Bronze	760-860	10-20
Cobre	840-900	12-45
Latão	840-900	10-45
Ferro, ferro grafita, etc.	1000-1150	8-45
Níquel	1000-1150	30-45
Aço Inox	1090-1290	30-60
Imãs Alnico	1215-1300	120-150
Metal duro	1425-1480	20-30



Pré Aquecimento:

Atmosfera oxidante
facilita a retirada e a
queima do lubrificante

Sinterização:

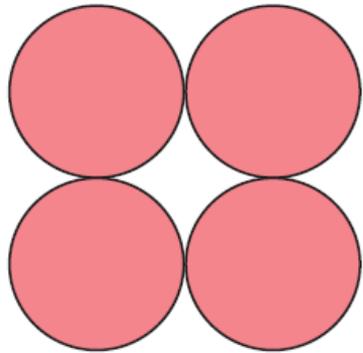
Atmosfera redutora
reverte o processo de
oxidação ocorrido no pré-
aquecimento

Resfriamento:

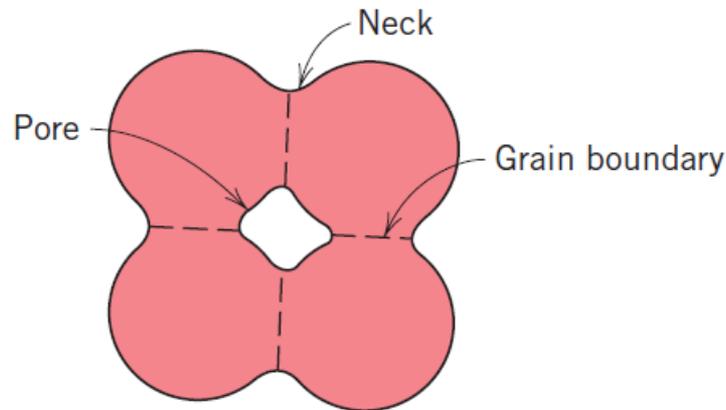
Atmosfera neutra cuja
função é evitar que a
peça se oxide durante a
etapa de resfriamento

Sinterização no Estado Sólido

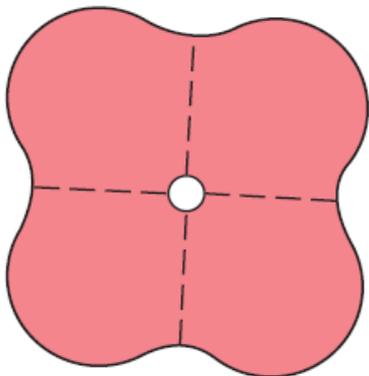
A temperatura promove a união das partículas do pó. Isto ocorre a temperaturas abaixo do ponto de fusão do material, porém suficiente para criar um “pescoço” de ligação entre as partículas de pó.



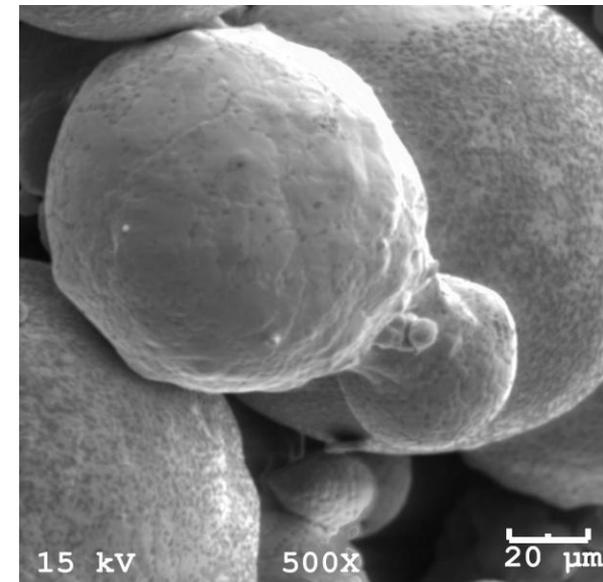
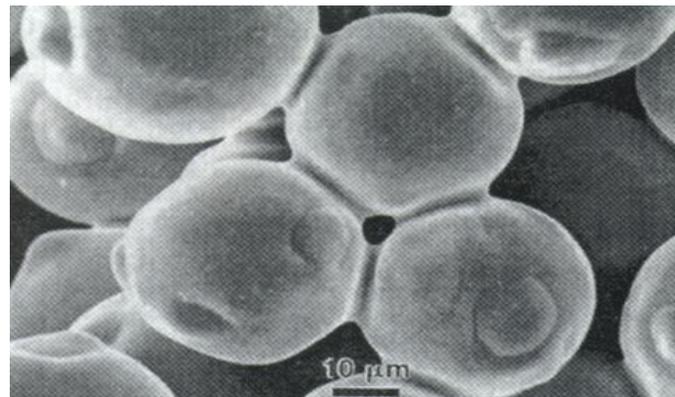
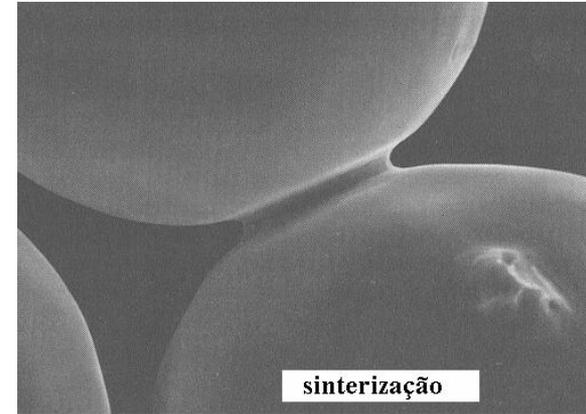
(a)



(b)

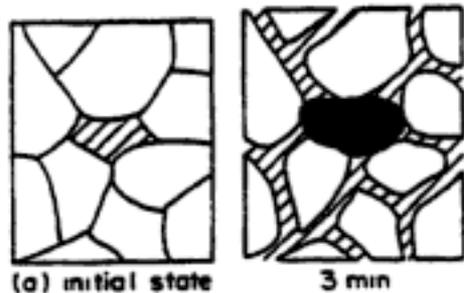
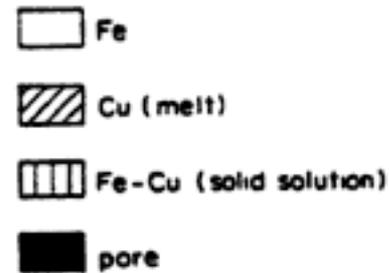


(c)

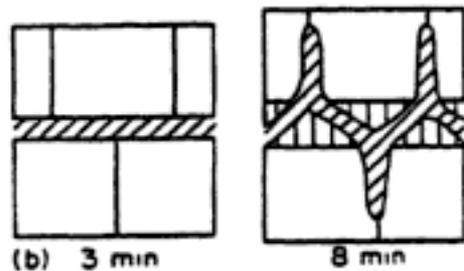


Sinterização com Fase Líquida

Outra maneira de sinterizar-se o material é utilizando-se dois materiais com ponto de fusão diferentes. O material com menor ponto de fusão se funde e interconecta as partículas do outro pó.

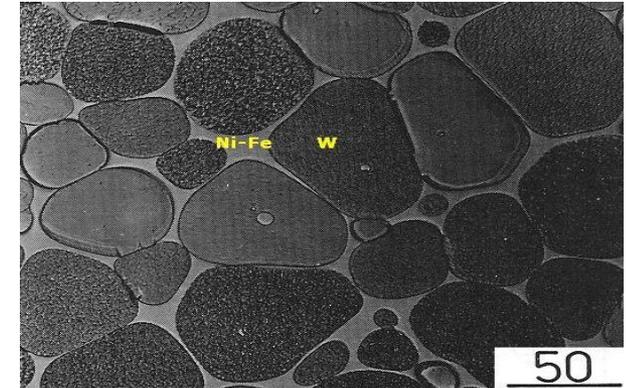


→ Separação das partículas



→ Penetração nas fronteiras de grãos

→
expansion



OPERAÇÕES COMPLEMENTARES

Calibragem: durante a sinterização, as peças podem sofrer mudanças não esperadas nas dimensões e até empenar. Para corrigir os defeitos, utiliza-se a calibragem, que é uma deformação plástica por aplicação de pressão em moldes específicos. O resultado é melhor precisão dimensional.

Tratamentos térmicos: as peças sinterizadas podem ser submetidas a tratamentos térmicos convencionais para melhoria das propriedades mecânicas. Em tratamentos superficiais (cimentação e nitretação) a densidade é fator importante, devido a difusão dos gases através de seus poros (quanto maior a densidade menor é a porosidade).

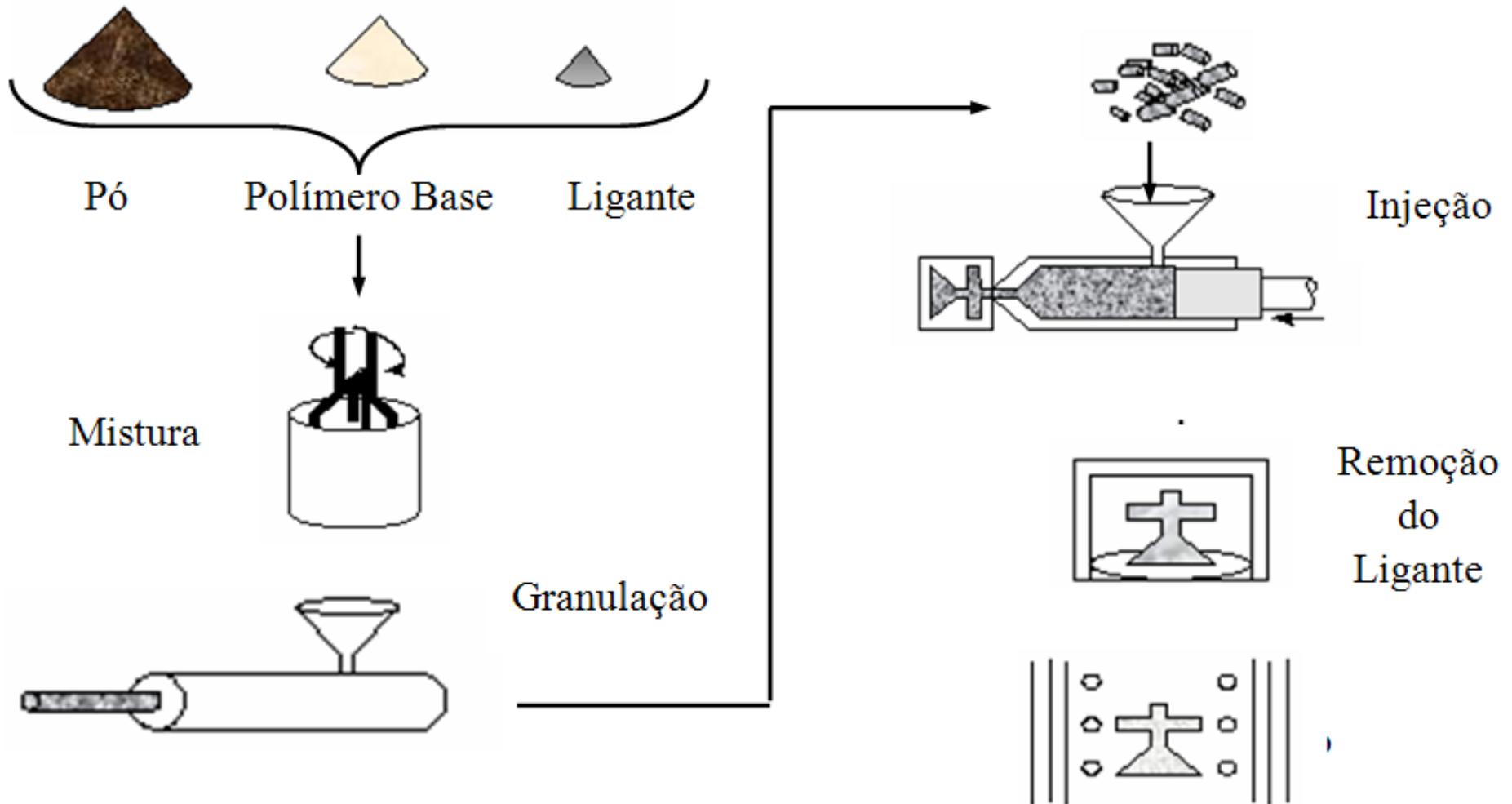
Impregnação: consiste em impregnar substâncias como óleos, graxas, impermeabilizantes para evitar corrosão / oxidação. É feita com banho quente, banho parcial (por capilaridade) ou a vácuo.

Recompressão: uma nova compressão após a sinterização aumenta a densidade e melhora as propriedades mecânicas do material. Os esforços envolvidos são bem maiores que na calibragem e só podem ser aplicados para certos tipos de material. Por exemplo, pastilhas de metal duro, utilizados como ferramentas de usinagem, não podem ser recomprimidas. Caso existam deformações, devem ser lapidadas ou retificadas.

Usinagem: assim como na fundição, muitas peças sinterizadas sofrem posterior usinagem para conseguir a configuração projetada e que não é possível ser feita, como furos, sangrias, roscas, etc.

Infiltração: é um processo de fechamento dos poros (total ou parcial) de uma peça sinterizada com baixa ou média densidade ($5,6$ até $6,8$ g/cm³) com um metal ou liga de ponto de fusão mais baixo. A infiltração do metal líquido ocorre por efeito de capilaridade (atração molecular), e tem o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas, resistência à corrosão, e também como pré-tratamento para acabamento superficial, como cromação, niquelação e galvanização

PIM – POWDER INJECTION MOLDING



VANTAGENS :

- Facilidade de automação do processo
- Produtividade elevada: Processo adequado para grandes lotes
- Precisão e repetitividade
- Máximo aproveitamento de material
- Eliminação de operações de usinagem
- Permite formas complexas, bom acabamento superficial e tolerâncias estreitas
- Pureza dos produtos obtidos, e controle preciso da composição química.

LIMITAÇÕES :

- Geometria da peça deve permitir extração
- Custo de ferramental é elevado
- Tamanho da peça, em função da capacidade de compactação (força envolvida)
- Eventuais defeitos não podem ser corrigidos



Onde a Metalurgia do Pó é empregada



Peças estruturais diversas



Materiais:

- Aço Carbono
- Aço Inox
- Ferro
- Bronze
- Latão

Peças para compressores herméticos:

Aplicação:

- Ar condicionado
- Geladeiras
- Câmaras frigoríficas



Buchas auto-lubrificantes:

Aplicação:

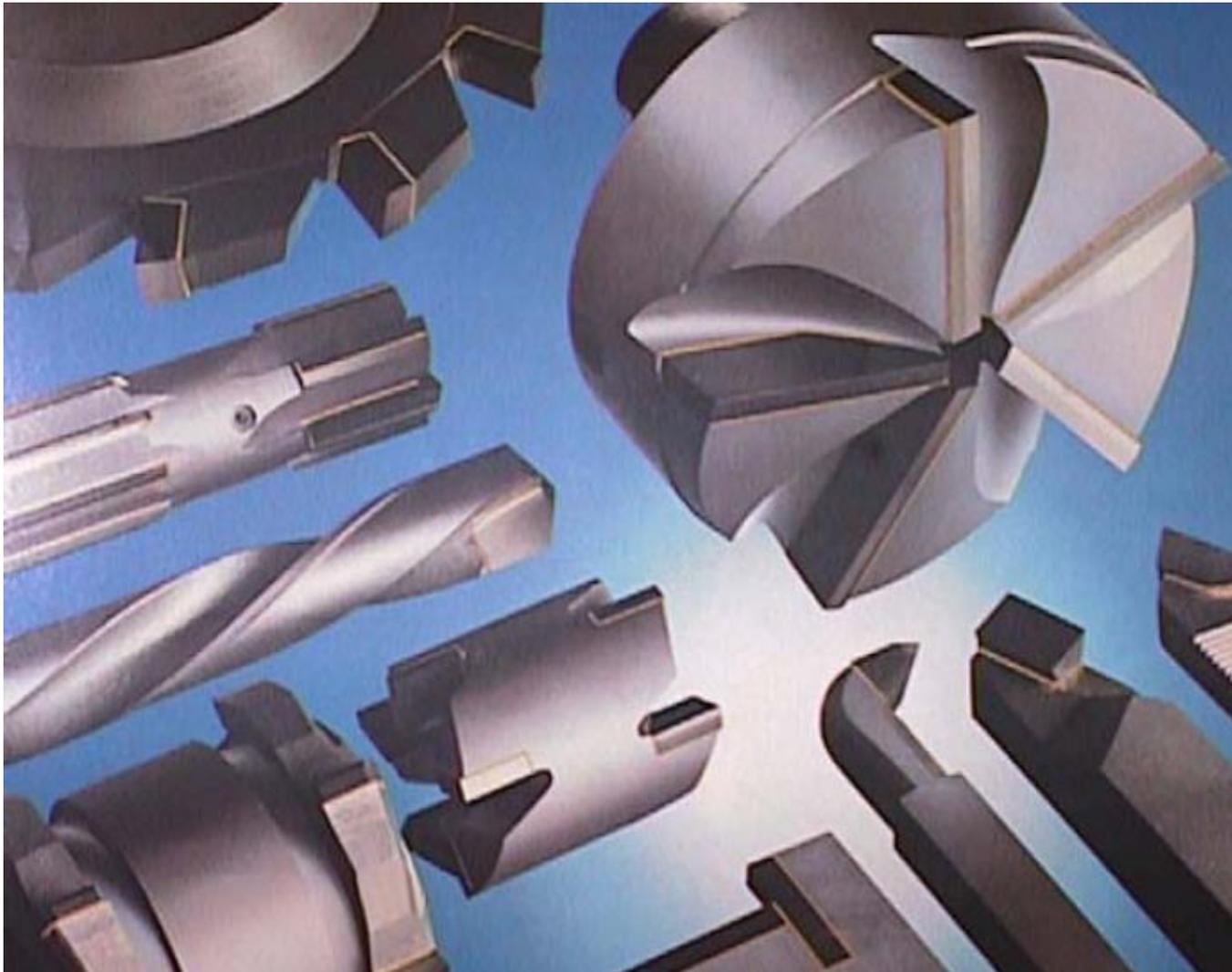
- Automobilística
- Eletrodomésticos
- Ferramentas elétricas
- Motores elétricos



Materiais:

- Bronze
- Ferro
- Ferro Grafite
- Ferro Bronze

Componentes de metal duro: ferramentas de usinagem



Materiais porosos: meios filtrantes

