

# Metalurgia do pó

A metalurgia do pó, também chamada **sinterização**, é o ramo da indústria metalúrgica que se dedica à produção de peças a partir de pós metálicos e não-metálicos.

Embora pesquisas arqueológicas mostrem que o homem já produzia armas, lanças e ferramentas a partir de aglomerados de ferro, há cerca de 6000 anos a.C., somente no século XIX foram dados os primeiros passos para o desenvolvimento da moderna metalurgia do pó.

O ano de 1829 representa um marco na história da metalurgia do pó, pois data desse período a produção de peças de platina maleável, material que até então não podia ser processado por fundição normal, em razão do seu alto ponto de fusão (cerca de 1.775°C).

No início do século XX, foram desenvolvidos processos para obtenção de peças de tungstênio e de molibdênio por sinterização. Mas a produção só se expandiu mesmo após a Segunda Guerra Mundial, para atender à demanda da florescente indústria automobilística.

Hoje são inúmeras as aplicações industriais de peças produzidas por sinterização. Esta tecnologia, comparada à metalurgia convencional, tornou-se competitiva tanto por razões tecnológicas quanto por razões econômicas. Onde for preciso produzir grandes quantidades de peças, de formas complexas, sempre haverá espaço para a metalurgia do pó.

Se você quiser saber mais sobre a metalurgia do pó, estudar os assuntos desta aula será um bom caminho. Você ficará conhecendo as etapas do processo de produção baseado na metalurgia do pó, poderá analisar as vantagens e desvantagens desta tecnologia e descobrirá suas principais aplicações.

## Nossa aula

### Por que utilizar a metalurgia do pó

Observe, com atenção, as peças a seguir. Você consegue imaginar quantas operações seriam necessárias para produzi-las pelos processos convencionais de usinagem? É capaz de avaliar quanto cavaco seria gerado? Acha que seria

possível produzir 2.000 peças iguais a qualquer uma dessas, por dia? Quantas pessoas e máquinas seriam necessárias para dar conta da encomenda?

A metalurgia do pó é uma alternativa que torna possível esta produção com uma única prensa e um operador, com o máximo aproveitamento da matéria-prima.

Essa tecnologia baseia-se na prensagem de pós em moldes metálicos e consolidação da peça por aquecimento controlado. O resultado é um produto com a forma desejada, bom acabamento de superfície, composição química e propriedades mecânicas controladas.

A seguir, você ficará conhecendo mais detalhes sobre as etapas do processo da metalurgia do pó.



## Etapas do processo

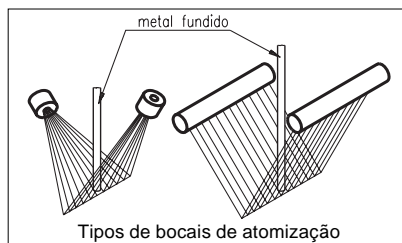
O processo de produção da metalurgia do pó envolve três etapas fundamentais: a obtenção dos pós, a compactação e a sinterização propriamente dita.

### Obtenção do pó

O tamanho, a forma e a distribuição dos grãos são características importantes na produção de peças sinterizadas e variam conforme o método de obtenção do pó. Os métodos de obtenção podem ser mecânico, químico, físico e físico-químico. Dependendo das características desejadas do grão, mais de um método pode ser empregado sucessivamente.

Um dos métodos físicos mais usados é a **atomização**. O metal fundido é vazado por um orifício, formando um filete líquido que é “bombardeado” por jatos de ar, de gás ou de água.

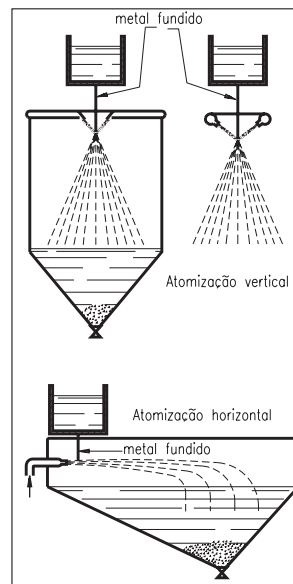
Esses jatos saem de bocais escolhidos de acordo com o formato de grão desejado e produzem a pulverização do filete de metal fundido e seu imediato resfriamento.



Depois, o pó é recolhido, **reduzido**, peneirado e está pronto para ser usado.

A espessura do filete, a pressão do fluido utilizado, as formas do conjunto de atomização, a configuração do bocal de atomização e o tipo de atomização determinam o tamanho e forma das partículas do material pulverizado.

Um método físico-químico utilizado, principalmente para a produção de pós de cobre, é a **eletrólise**. O metal, na forma sólida, é colocado num tanque e dissolvido numa solução eletrolítica, na qual passa uma corrente elétrica.



**Reduzido:** Submetido a reação química em que o átomo recebe elétrons de outros átomos, pela ação de um agente redutor que pode ser sólido ou gasoso.

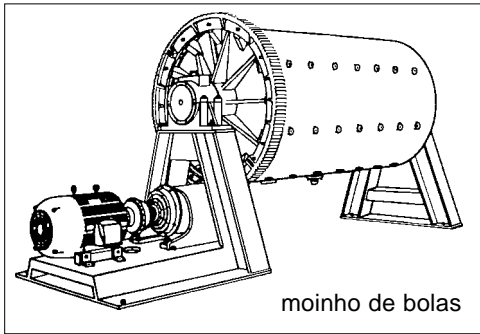
**Eletrólise:** reação não espontânea que produz a decomposição de uma substância, em solução aquosa ou fundida, por meio de corrente elétrica.

Os pós obtidos por esse processo apresentam elevado grau de pureza.

Depois de recolhida do tanque de eletrólise, a massa de pó, em forma de lama, é neutralizada, secada, reduzida e classificada por peneiramento. Para obtenção de grãos menores, este processo é complementado por métodos mecânicos.

Podem ser obtidos também por meio da **pirólise**, um método **físico-químico** que consiste na decomposição de uma substância por ação do calor.

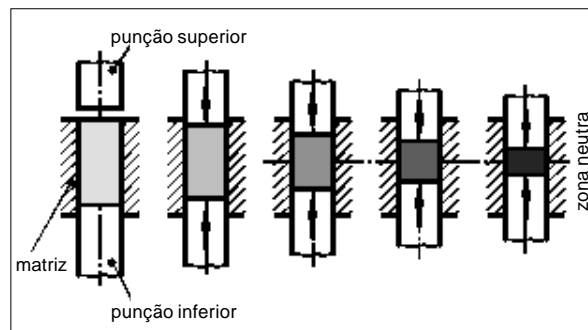
Entre os **métodos mecânicos** para obtenção de pós, um dos mais usados é a **moagem**. Em geral, ela é feita num equipamento chamado moinho de bolas, que consiste num tambor rotativo contendo esferas metálicas de material resistente ao desgaste. Quando o tambor gira, as esferas chocam-se umas contra as outras, desintegrando gradativamente o material que se encontra no interior do tambor.



Os pós podem ser obtidos também por **métodos químicos**, como a **corrosão**, que produz a oxidação do metal pelo ataque de ácidos ou bases, ou a **redução** de óxidos metálicos pelo emprego de hidrogênio ou monóxido de carbono.

### Compactação

Nesta etapa, uma quantidade predeterminada de pó é colocada na cavidade de uma matriz montada em uma prensa de compressão, que pode ser mecânica ou hidráulica. A compactação ocorre por deslocamentos simultâneos dos punções superior e inferior, à temperatura ambiente. Veja abaixo a seqüência dessa operação.



Nos primeiros movimentos do punção superior e do punção inferior, a compactação causa apenas o adensamento do pó, sem deformação das partículas e sem produzir adesão entre elas. Se o processo for interrompido, o pó não manterá uma forma com contornos definidos.

O aumento da pressão provocará deformação plástica das partículas. As partes mais finas de cada partícula sofrerão deformação ou quebra, que favorece o entrelaçamento dos grãos, produzindo uma espécie de "solda fria".

Com o aumento da compressão, o atrito do material contra as paredes da matriz e a fricção interna das partículas elevam a densidade do material aos valores desejados.

Após a compactação, a peça é chamada de “compactado verde”. A consistência do compactado verde faz lembrar a de uma paçoca de amendoim, que deve ser manuseada com cuidado para não se quebrar. A densidade e a resistência são duas características importantes nesta etapa, pois influenciam as propriedades mecânicas da peça final.

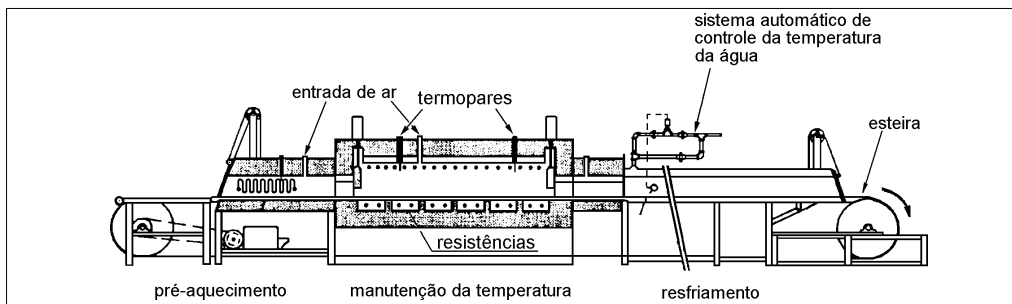
### Atenção: cuidado com a “zona neutra”!

A **zona neutra** é a região do compactado verde em que as partículas menos sofreram a ação das forças de compactação. Dependendo da geometria da peça, a localização da zona neutra torna inviável a produção de uma peça por sinterização, pois não se consegue, em torno dessa zona, um grau de compactação compatível com as outras regiões da peça.

### Sinterização

Esta é a etapa de consolidação final da peça. A massa de partículas, na forma de compactado verde ou confinada em moldes, é aquecida a temperaturas altas, mas abaixo do ponto de fusão do **metal base**, sob condições controladas de temperatura, velocidade de aquecimento e resfriamento, tempo de permanência e atmosfera.

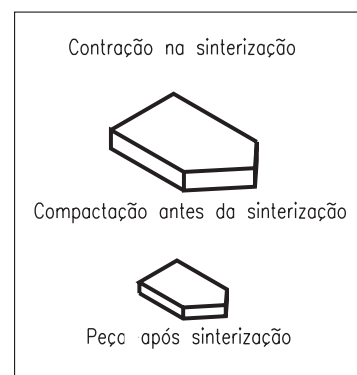
A sinterização é feita, normalmente, em fornos contínuos, caracterizados por três zonas de operação: preaquecimento, manutenção da temperatura e resfriamento. A figura a seguir mostra uma vista esquemática de um forno desse tipo.



**Metal base:** é o metal principal do processo e determina as características básicas do produto final.

Nesta etapa, ocorre a ligação química e metalúrgica das partículas do pó, o que reduz ou até mesmo elimina a porosidade existente no compactado verde. Este passa a formar um corpo coerente, que apresenta as propriedades típicas dos produtos sinterizados.

Na sinterização ocorre, normalmente, uma deformação do compactado, que se contrai, podendo chegar a uma redução de 40% do seu volume inicial ou a uma redução linear de cerca de 16%.



## Operações complementares

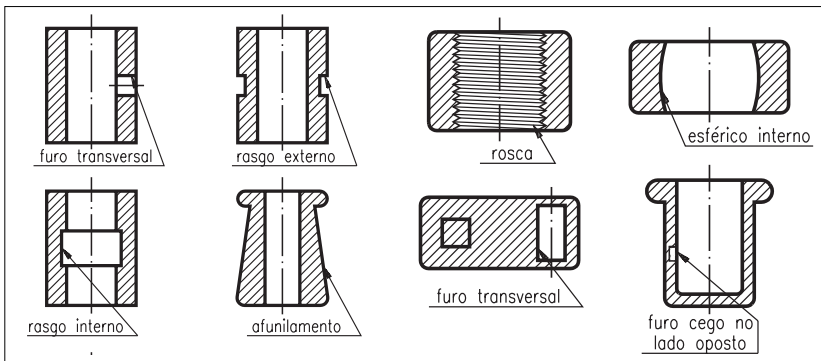
Depois da sinterização, a peça ainda pode passar por processos de **recompressão, tratamentos térmicos e usinagem**, ou ser imediatamente utilizada.

A **recompressão** é necessária para garantir tolerâncias apertadas, rugosidade prevista etc. Deve ser feita quando, durante a sinterização, a deformação da peça ultrapassa os limites estabelecidos.

### Atenção!

Pastilhas de metal duro não devem ser recomprimidas. Havendo deformação, devem ser lapidadas ou retificadas.

Peças sinterizadas podem ser **tratadas termicamente**, do mesmo modo que as peças metálicas convencionais. Em tratamentos térmicos que conferem dureza apenas à camada superficial da peça, como a cementação e a nitretação, a densidade é um fator importante na difusão dos gases através dos seus poros. Pode ocorrer o endurecimento total da peça.



A usinagem de peças deve ser feita, sempre que for impossível conseguir a configuração geométrica ideal da peça diretamente nas matrizes e machos de compactação. É o caso de furos transversais, sangrias, roscas, reentrâncias transversais internas ou externas etc., como mostra a figura ao lado.

## Principais aplicações

### Filtros sinterizados

Uma das primeiras aplicações da tecnologia da metalurgia do pó se deu na fabricação de **filtros sinterizados**. Esses elementos filtrantes são formados por camadas superpostas de partículas arredondadas ou esféricas de pós metálicos, com diferentes tamanhos de grãos. A superposição das camadas de grãos forma um conjunto de “malhas” que se interceptam, dando porosidade ao material.

Os filtros sinterizados são bastante usados nas atividades industriais que ocorrem em altas temperaturas e requerem elevadas resistências mecânica e química. São aplicados na filtragem de gases, líquidos, óleos combustíveis e minerais. São também utilizados como abafadores de ruído e válvula cortachamas.

### Carboneto metálico

O carboneto metálico, também chamado de metal duro, é o mais conhecido produto da metalurgia do pó. Tem importância fundamental no campo das ferramentas de corte, peças de desgaste e brocas para perfuração de rochas. Nessas ferramentas, o metal duro é adaptado nas partes cortantes, na forma de pastilha.

Essas pastilhas possuem elevada dureza (quase igual à do diamante) e suportam temperaturas de até 1.000°C sem sofrer perda de corte.

O metal duro pode ser produzido a partir do pó de tungstênio (W) puro, misturado ao pó de carbono (C) em proporções cuidadosamente controladas para garantir a correta composição. Na sinterização, esta mistura é levada a uma temperatura de cerca de 1.700°C, que provoca a união do tungstênio e do carbono, dando origem às partículas duras do metal duro, representadas pelos carbonetos de tungstênio (WC).



O carboneto de tungstênio dissolve-se facilmente em cobalto (Co), o qual é adicionado à mistura, atuando como metal ligante. O resultado final combina as propriedades da partícula dura (resistência ao desgaste) com as propriedades do metal ligante (tenacidade).

### **Mancais autolubrificantes**

Uma das características da sinterização é possibilitar o controle da porosidade do produto final. Esta característica é particularmente importante na produção de mancais autolubrificantes. A porosidade existente no mancal pode ser preenchida com óleo, para garantir uma lubrificação permanente entre o eixo e o mancal.

## **A metalurgia do pó veio para ficar**

A sinterização é um processo em que a economia de material é levada ao extremo, com mínimas perdas de matéria-prima. Certas ligas podem ser obtidas pela metalurgia do pó a custos muitas vezes inferiores do que se fossem produzidas pela metalurgia convencional.

A possibilidade de conjugar peças simples e partes sinterizadas também representa um importante fator de economia de custos, com preservação de qualidade do produto final.

O controle exato da composição química desejada do produto final, a redução ou eliminação das operações de usinagem, o bom acabamento de superfície, a pureza dos produtos obtidos e a facilidade de automação do processo produtivo são alguns dos motivos que tornaram a metalurgia do pó uma fonte produtora de peças para praticamente todos os ramos da indústria, como o automobilístico, o de informática, o aeroespacial, o de material eletroeletrônico, o de equipamentos e implementos agrícolas, o têxtil e tantos outros.

Entretanto, algumas limitações ainda não superadas tornam a metalurgia do pó uma solução inviável em algumas situações.

A peça tem de ser extraída de uma matriz. Isso dificulta a produção de peças com certas características geométricas, já citadas anteriormente (rasgos transversais), que devem ser obtidas por usinagem posterior.

O custo de produção do ferramental (matriz e macho) é muito elevado. Por isso, só se justifica a escolha desse processo quando o volume de produção requerido for muito grande.

A maioria das peças sinterizadas pesa menos de 2,5 kg. Peças maiores, com até 15 kg, podem ser fabricadas. Porém, o tamanho da peça é um limitador importante, uma vez que as potências de compactação são proporcionais à área da seção transversal das peças. Grandes peças exigem máquinas de elevada potência de compactação, muitas vezes acima das opções disponíveis.

Talvez você não tenha se dado conta, mas é provável que já venha utilizando peças sinterizadas em muitos dos equipamentos e dispositivos que usa no dia-a-dia. Fazer uma pesquisa para descobrir até que ponto a metalurgia do pó faz parte da sua vida poderá ser uma maneira interessante de conhecer e avaliar, na prática, as características dos produtos sinterizados. E, para consolidar os conhecimentos obtidos nesta aula, resolver os exercícios a seguir será uma boa idéia.

**Pare! Estude!  
Responda!**

#### **Exercício 1**

As etapas básicas do processo de produção pela metalurgia do pó são:

- a) .....
- b) .....
- c) .....

#### **Exercício 2**

Para que serve o método de atomização?

#### **Exercício 3**

Descreva o funcionamento do método de moagem.

#### **Exercício 4**

O que é o compactado verde?

#### **Exercício 5**

Por que, em alguns casos, a peça tem de ser recomprimida após a sinterização?

