

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA  
GERÊNCIA EDUCACIONAL DE METAL MECÂNICA  
CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA INDUSTRIAL



# PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

## METALURGIA DO PÓ E O FUTURO DA INDÚSTRIA

Prof. Eng. Mec. Norberto Moro  
Téc. Mec. André Paegle Auras

[www.norbertocefetsc.pro.br](http://www.norbertocefetsc.pro.br)

FLORIANÓPOLIS - 2007

## Sumário

METALURGIA DO PÓ .....	4
1. Definição do processo.....	4
2. Etapas da Metalurgia do Pó .....	5
3. Aplicações.....	6
4. Processos de produção do pó .....	8
5. Características dos pós.....	9
6. Compactação .....	12
7. Sinterização .....	13
8. Operações complementares .....	15
TENDÊNCIAS DA FABRICAÇÃO: O FUTURO DA INDÚSTRIA .....	16
Referências Bibliográficas .....	27

## Apresentação

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 deste processo, 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 (1.770°C).

No início do século XX, foram desenvolvidos processos para obtenção de peças de tungstênio (fusão = 3410°C) e de molibdênio (fusão = 2610°C) por metalurgia do pó. 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 este processo. 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 ou com material base de alto ponto de fusão, sempre haverá espaço para a metalurgia do pó.

Este é um processo moderno, mas os avanços científicos e tecnológicos não param, e andam a passos cada vez maiores. E isso influencia tanto na indústria quanto na sociedade. É por isso que estudemos também, nesta apostila, as tendências para os processos de fabricação à curto e longo prazo, bem como inovações tecnológicas que provavelmente farão parte de nosso futuro.

# METALURGIA DO PÓ

## 1. Definição do processo

Metalurgia do pó é um processo de fabricação que produz peças tendo como matéria-prima pó metálico ou não. O processo consiste em compactar e/ou modelar a mistura e aquecê-la (etapa chamada de sinterização), com o objetivo de melhorar a coesão da estrutura interna. A característica específica do processo é que a temperatura permanece abaixo da temperatura de fusão do elemento constituinte principal.

A metalurgia do pó é um processo em que a economia de material é levada ao extremo, com mínimas perdas de matéria-prima (as perdas na usinagem convencional, por exemplo, podem chegar a 50%). Certas ligas podem ser obtidas pela metalurgia do pó a custos várias 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 tornam a metalurgia do pó uma fonte produtora de peças para praticamente todos os ramos da indústria, como o automobilístico, de informática, aeroespacial, de material eletroeletrônico, de equipamentos e implementos agrícolas, têxtil e tantos outros.

Entretanto, algumas limitações ainda não superadas tornam a metalurgia do pó uma solução inviável em algumas situações. Em outras situações, a metalurgia do pó não é o último processo. Por exemplo, a peça tem de ser extraída de uma matriz, o que dificulta a produção de peças com certas características geométricas (furos, rasgos etc.), que devem ser obtidas por usinagem posterior.

Vantagens:

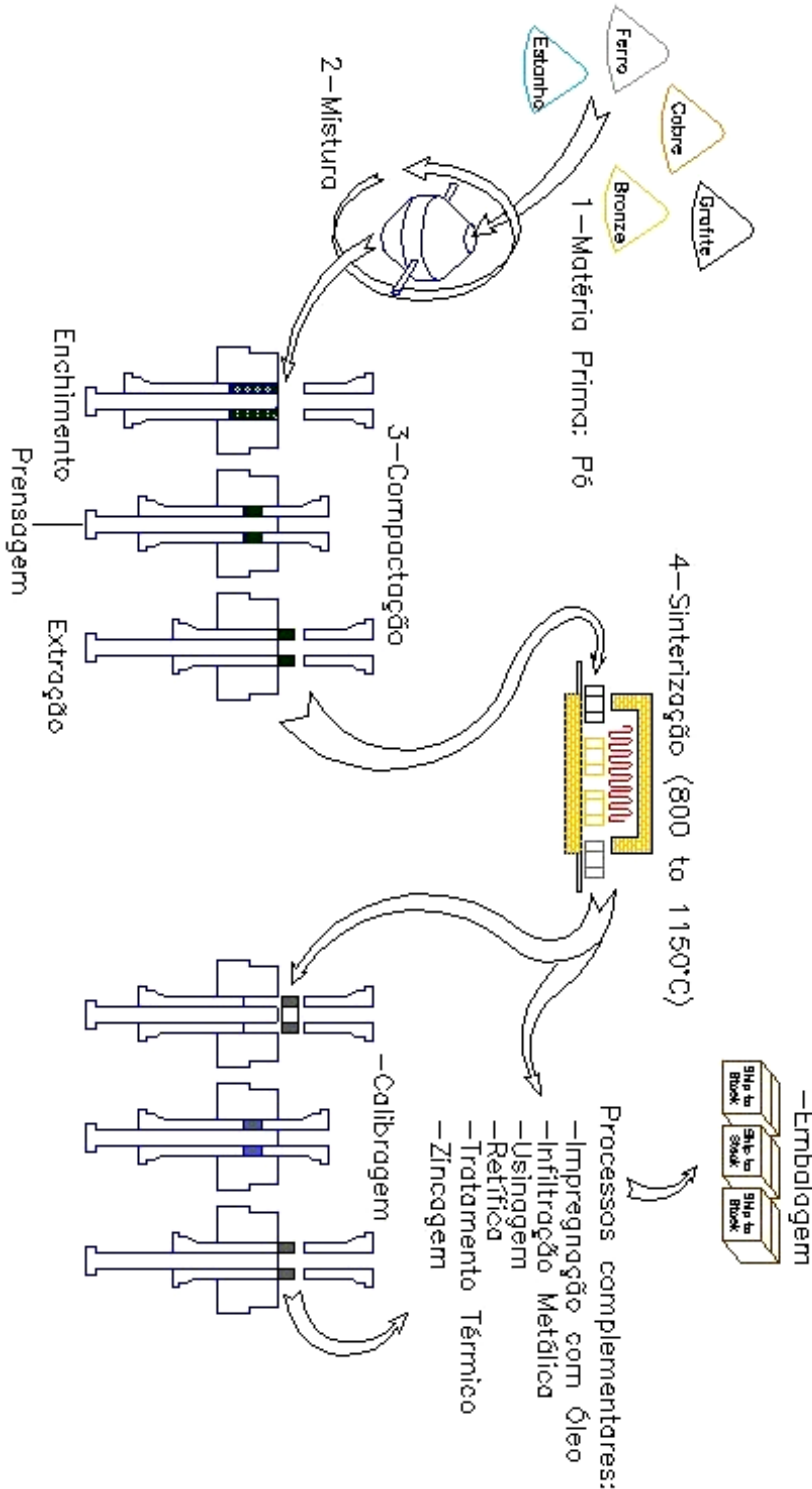
- Perda mínima de matéria-prima;
- Controle rigoroso da composição química;
- Boa tolerância dimensional, dispensando operações posteriores de usinagem;
- Homogeneidade estrutural e de propriedades;
- Bom acabamento superficial;
- Uso mais eficiente de energia;
- Processo de fácil automação.

Desvantagens:

- Alto custo inicial do ferramental, sendo necessária grandes produções para compensar o investimento;
- Tamanho e formato limitado das peças;

- Impede processo posterior de soldagem, devido ao comprometimento das propriedades físicas e químicas devido à porosidade da peça.

## 2. Etapas da Metalurgia do Pó



1. O pó é confeccionado por processos específicos.

2. Os pós são misturados para dar homogeneidade à peça.

3. A mistura é colocada na matriz, prensada e depois extraída.

4. A peça é então sinterizada em fornos especiais.

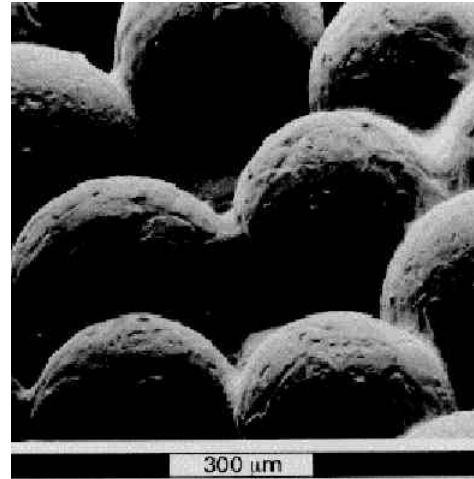
5. Dependendo do caso, a peça passa por um processo complementar para melhorar tolerâncias (calibragem), propriedades (tratamento térmico), entre outros.

### 3. Aplicações

1. Filtros sinterizados: são utilizados em várias aplicações industriais que requerem resistência em altas temperaturas e resistência mecânica e química (p.ex. filtragem de gases, óleos combustíveis e minerais, etc.). São utilizados também como abafadores de ruído e válvula corta chamas. São fabricados em bronze, níquel, aços inoxidáveis, titânio e outros.



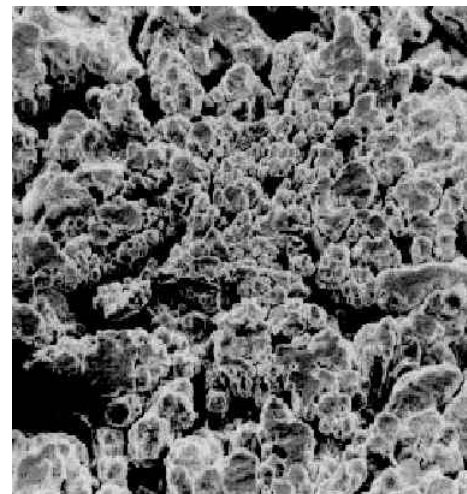
Filtros sinterizados



Visão por microscopia

2. 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.

3. Baterias: Utilizam níquel poroso nos acumuladores cádmio-níquel e nas pilhas.



Visão por microscopia da porosidade de um mancal autolubrificante

4. Próteses: Implantes cirúrgicos são recobertos com liga porosa (à base de Co-Ti), permitindo que o tecido ósseo penetre nos poros e assegure uma boa ligação com o implante.

5. Materiais especiais: São ligas (como W90-Cu-Ni) que não permite fabricação industrial devido ao alto ponto de fusão ( $3410^{\circ}\text{C}$ ), alta densidade ( $18\text{ g/cm}^3$ ), e outras características. Possuem alto poder de absorção de radiações (setor nuclear) e para blindagens (setor militar).

6. Discos de freio e embreagem: São feitos à base de liga de cobre ou ferro-cobre, aos quais se adiciona agente de atrito ( $\text{SiC}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e agente lubrificante ( $\text{Pb}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{MoS}_2$ ).

7. Metal duro: O carboneto metálico, também chamado de metal duro, 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  $1.000^\circ\text{C}$  sem sofrer perda de corte. O metal duro pode ser produzido a partir do pó de tungstênio ( $\text{W}$ ) puro, misturado ao pó de carbono ( $\text{C}$ ) em proporções cuidadosamente controladas para garantir a correta composição. Esta mistura é levada a uma temperatura de cerca de  $1.700^\circ\text{C}$ , que provoca a união do tungstênio e do carbono, dando origem às partículas duras do metal duro, representadas pelos carbonetos de tungstênio ( $\text{WC}$ ). O carboneto de tungstênio dissolve-se facilmente em cobalto ( $\text{Co}$ ), 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 - absorção de impacto).



8. Contatos elétricos: São produzidos a partir de ligas  $\text{Ag-W}$ ,  $\text{Ag-WC}$ ,  $\text{Ag-Ni}$  e  $\text{W}$  puro. Garantem boa condutividade elétrica e térmica, preservando a resistência mecânica quando aquecidos, resistência à tendência de soldagem quando em serviço e elevada resistência ao desgaste.

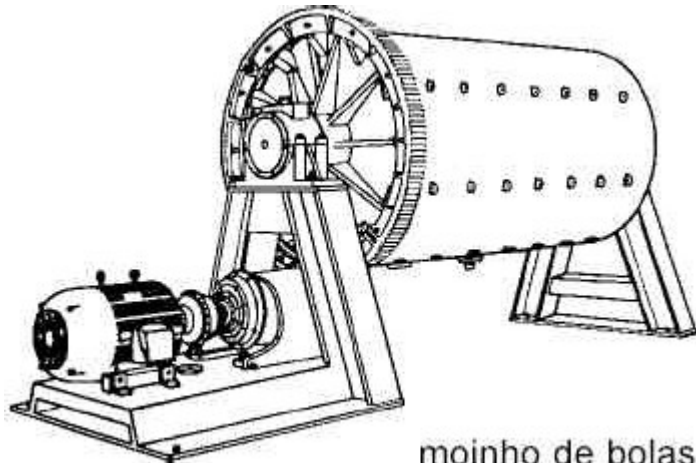
9. Ligas magnéticas: É economicamente viável obter pequenos ímãs e ímãs permanentes em  $\text{Co}_5\text{Sm}$  ( $\text{Sm}$  = samário), ímãs cerâmicos em ferrita de bário, peças polares e núcleos magnéticos de ampla utilização em motores e auto-falantes de carros, rádio e tv.

10. Peças mecânicas: Fabricadas em  $\text{Fe}$ ,  $\text{Fe-Cu-Ni}$ ,  $\text{Fe-Cu-Ni-Mo}$ ,  $\text{Fe-Cu-Pm}$  ( $\text{Pm}$  = promécio), com ou sem carbono, são usados em engrenagens do eixo comando e do virabrequim, garfos, buchas da junta homocinética, anéis sincronizadores, cubo-polia da bomba d'água, amortecedores, pistão, corpo e guia da válvula, caixa de câmbio (cubos, anéis e luvas sincronizadoras), etc.

#### 4. Processos de produção do pó

Existem vários processos para obtenção de pó metálico, sendo que sua escolha depende do conjunto de propriedades do material e das características que se quer para o pó, em função da aplicação pretendida. Os principais são:

- Métodos mecânicos (quebra e moagem): indicado para materiais frágeis ou fragilizados por algum processo anterior, consiste em fragmentar o material com o auxílio de martelos ou moinhos até um determinado tamanho de partícula. Os moinhos mais comuns são de bolas, vibratórios e de atrito.



moinho de bolas

- Cold-stream: aumenta a fragilidade dos metais em temperaturas baixas para sua transformação em pó. O pó ainda grosseiro é arrastado por um fluxo de gás sob alta pressão, através de um tubo, alcançando uma câmara grande, que é mantida sob vácuo. Ao atingir a câmara, o gás sofre uma expansão com conseqüente diminuição brusca de temperatura. O pó em alta velocidade, colide com um alvo instalado dentro da câmara, e como encontra-se relativamente frágil por causa da baixa temperatura, partem-se em partículas menores. O pó que já apresenta um tamanho suficientemente pequeno é separado da fração gasosa, a qual é novamente reconduzida ao processo.
- Atomização: neste processo o metal fundido é vazado através de um orifício apropriado a essa operação, formando um filete líquido que é atacado por jatos de ar (processo R-Z / Roheisen-Zunder), gás (processo ASEA-STORA que utiliza o argônio e o nitrogênio, ou processo CSC / Centrifugal Shot Casting) ou água. Esses jatos provocam a pulverização do filete e seu imediato resfriamento. O pó recolhido é reduzido e peneirado, estando pronto para ser usado. O tamanho e a forma das partículas variam em função de vários parâmetros, entre os quais destacam-se: a espessura do filete, a pressão do fluido, a geometria do conjunto de pulverização e evidentemente, o tipo de atomização. A atomização a água normalmente conduz a partículas irregulares e angulosas, enquanto que a atomização ao ar produz partículas mais esferoidais.

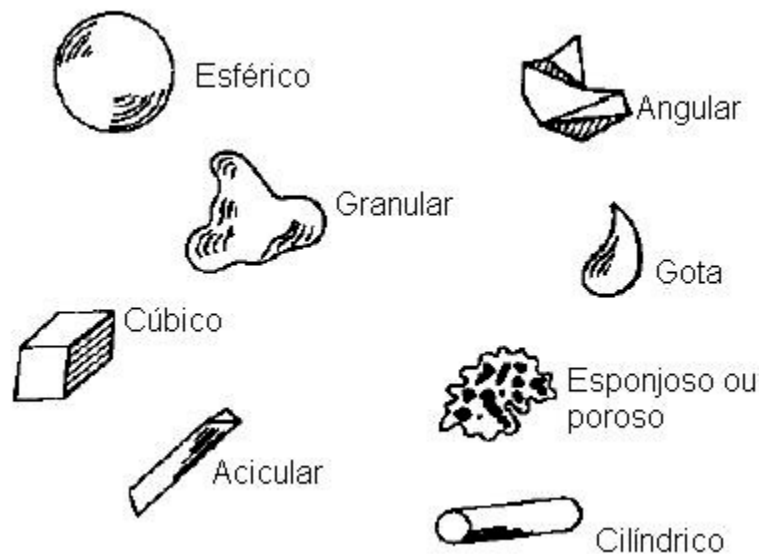


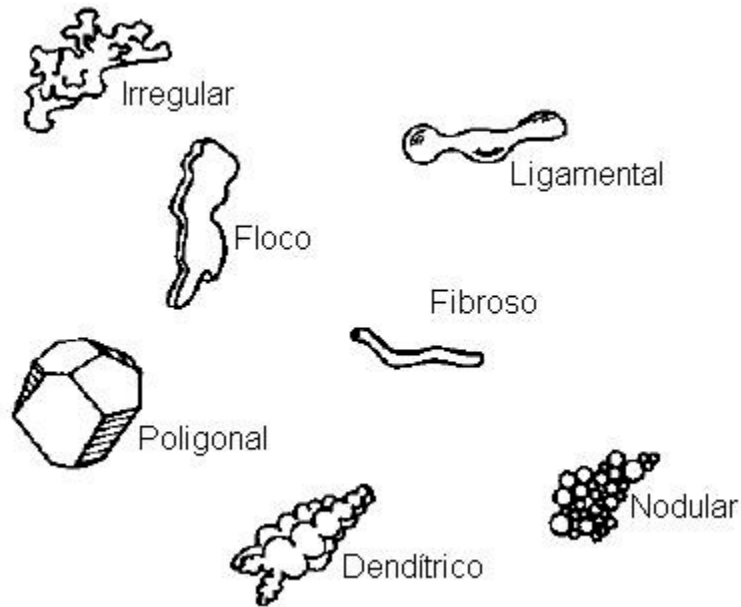
- Processo de redução química: Os processos de redução de compostos de metais com agentes redutores gasosos ou sólidos representam o grupo de processos mais significativos para obtenção de pós. Os agentes redutores mais utilizados são o carbono e o hidrogênio. A redução com o carbono só é utilizável para elementos metálicos que não formam carbonetos muito estáveis a não ser que deseja-se obter pó de carboneto como produto final e não o pó metálico, como no caso o carboneto de tungstênio, que pode ser reduzido e carbonetado num só tratamento. A redução com carbono é principalmente utilizada para o ferro, no caso pelo processo Höganäs.
- Processo de eletrólise: Os pós produzidos por esse processo, apresentam elevada pureza, baixa densidade aparente e tem grãos de estrutura nitidamente dendrítica. Após recolhido dos tanques de eletrólise, a massa de pó sob a forma de uma lama é secada e classificada por peneiramento.

## 5. Características dos pós

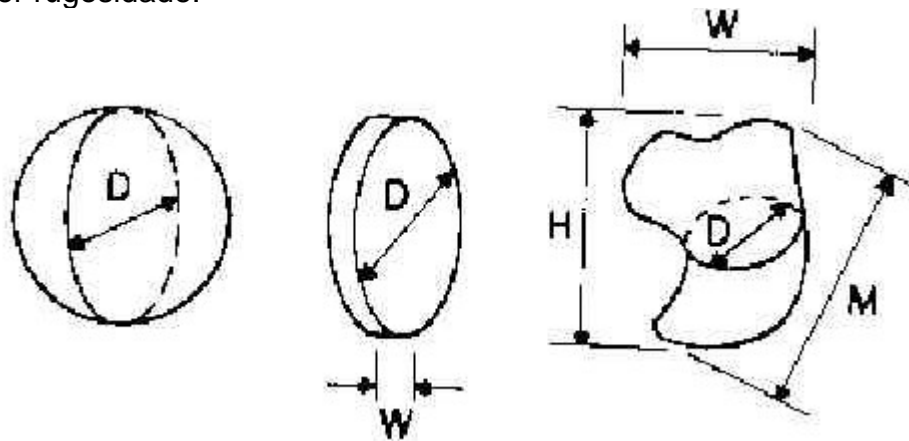
Entre as características mais importantes dos pós metálicos estão a forma e o tamanho das partículas individuais. Para o projeto de uma peça sinterizada, a distribuição granulométrica das partículas é outra informação importante. Os vários métodos de obtenção de pó metálicos conduzem a diversas formas, tamanhos, distribuição e outras características dos pós, sendo imprescindível o domínio do processo de obtenção e caracterização dos pós para se chegar a uma peça final que atenda os quesitos de engenharia.

- a) Forma geométrica das partículas: as formas mais comuns são acicular, dendrítica, angular, fibrosa, granular, porosa, nodular, irregular ou esférica.



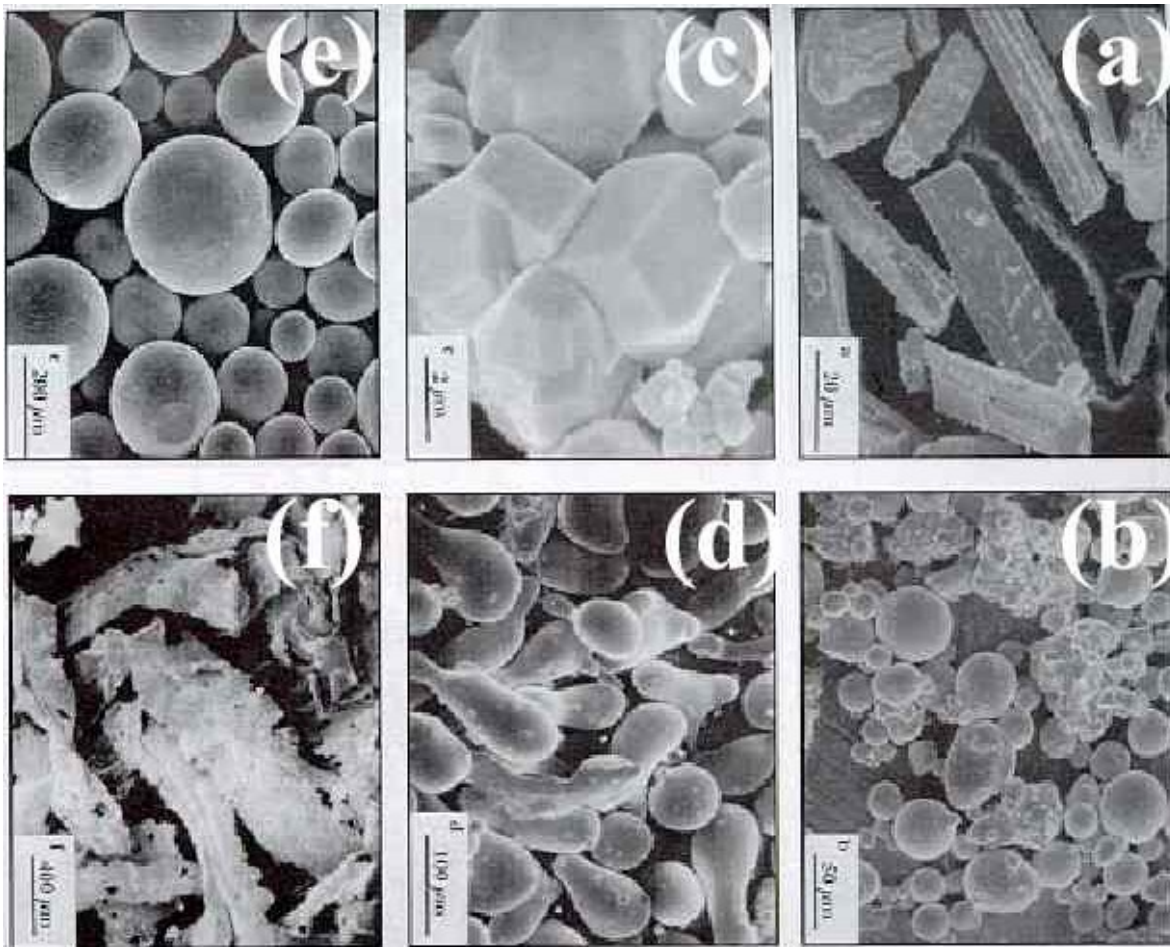


- b) Tamanho: o diâmetro médio das partículas influencia algumas características do produto final. Por exemplo, uma partícula maior permite maior compactação, enquanto uma menor permite uma superfície com menor rugosidade.

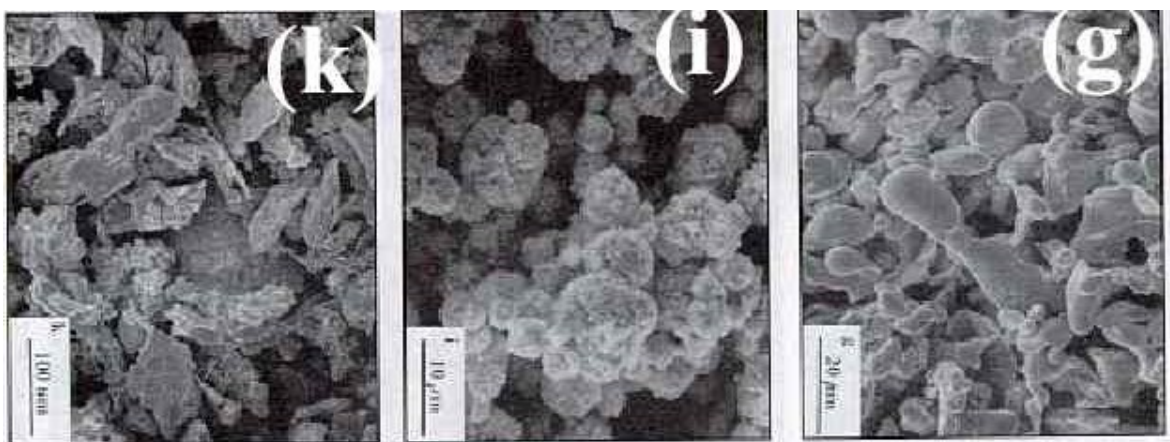


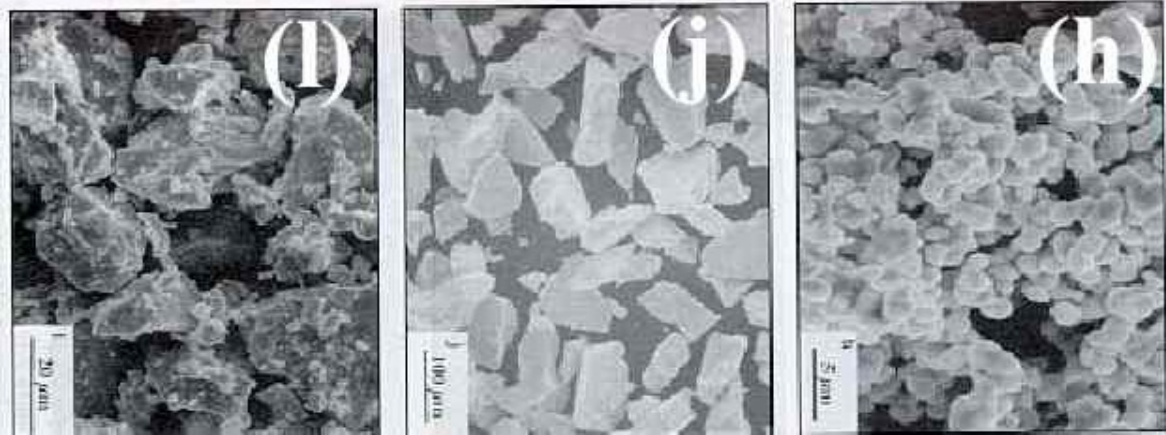
Abaixo podemos ver imagens microscópicas de vários pós, caracterizados pelo material e processo de fabricação do pó:

- Telúrio, moido.
- Liga Fe, atomização a gás (argônio).
- Tungstênio, reduzido por gás, agregado poligonal.
- Estanho, atomizado com ar, arredondado com ligamentos.
- Liga Fe, atomizado por centrifugação, esférico.
- Estanho, resfriamento rápido sobre uma placa, flocos.



- (g) Aço inox, atomizado com água.
- (h) Paládio eletrolítico, esponja.
- (i) Níquel, decomposição química da carbonila, porosa.
- (j) Vidro metálico de Fe.
- (k) Titânio, reduzido com Na e moído, irregular.
- (l) Hidreto de Nióbio, moído, irregular.





## 6. 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.

Nos primeiros movimentos do punção, a compactação causa apenas o adensamento do pó, sem deformação das partículas e sem produzir adesão entre elas. Com o aumento da pressão, que varia de 1,6 a 9,3 t/cm<sup>2</sup> ocorre deformação plástica das partículas, formando uma espécie de “solda fria”.

A compactação gera uma peça com formato final ou aproximado à peça a ser fabricada, chamada de compactado verde. É muito frágil, e o manuseio inadequado pode “esfarelar” a peça.

O projeto da peça é muito importante, porque pode acarretar nessa etapa a formação da zona neutra. Esta zona é uma região em que as partículas sofreram menos forças de compactação, que irá gerar uma peça final heterogênea, com zonas de propriedades distintas. Certos tipos de geometria de peça são inviáveis justamente devido à formação de zonas neutras.



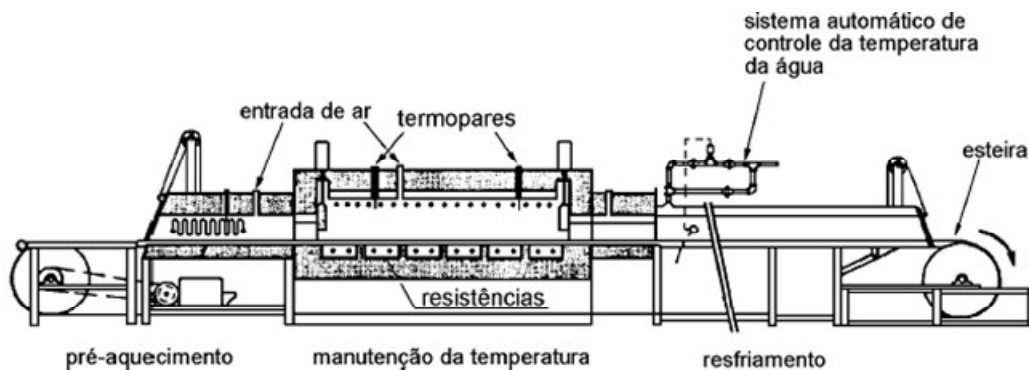
## 7. Sinterização

O compactado verde, dentro ou fora da matriz, é aquecido a temperaturas altas, mas que permanecem abaixo da temperatura de fusão do metal base<sup>1</sup>. Além da temperatura, são controlados a velocidade de aquecimento e resfriamento, o tempo de permanência e a atmosfera em contato com a peça.

O tempo de aquecimento melhora o mecanismo de coesão do compactado para uma determinada temperatura. Em contrapartida, temperaturas próximas às de fusão do metal, geram obtenção da força coesiva máxima em um curto espaço de tempo, geralmente segundos.

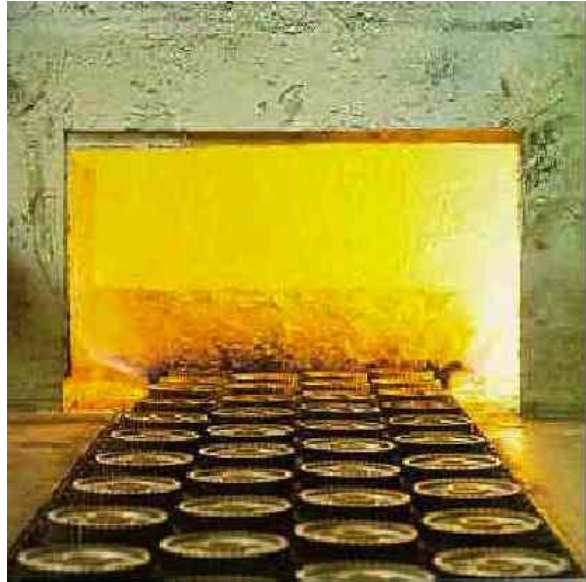
São quatro as funções do controle da atmosfera: previne ou minimiza reações químicas entre o compactado verde e os gases da atmosfera; evita oxidação; remove impurezas superficiais e internas existentes; e eventualmente, fornece um ou mais elementos químicos para se ligarem com o compactado verde.

A sinterização é feita, normalmente, em fornos contínuos, caracterizados por três zonas de operação: pré-aquecimento, manutenção da temperatura e resfriamento. Veja figura a seguir:

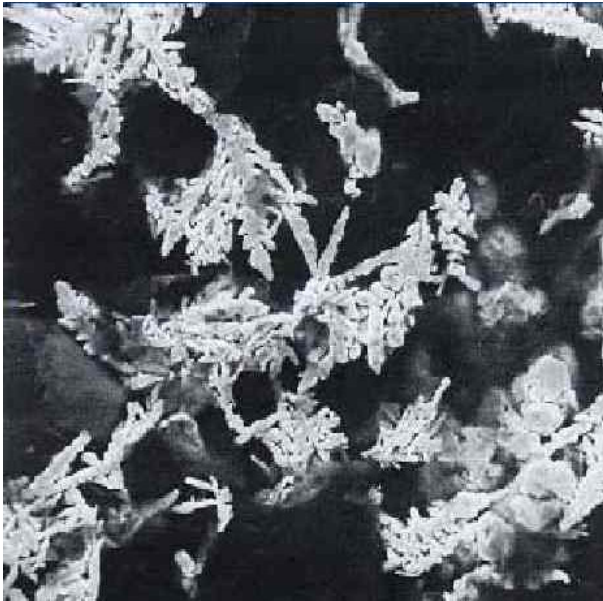


Durante a sinterização ocorrem reações químicas e físicas entre as partículas, reduzindo e em alguns casos até eliminando a porosidade existente no compactado verde. A contração do compactado verde, em comparação com a peça final, chega a ser de 40% do volume, sendo uma redução linear de cerca de 16%.

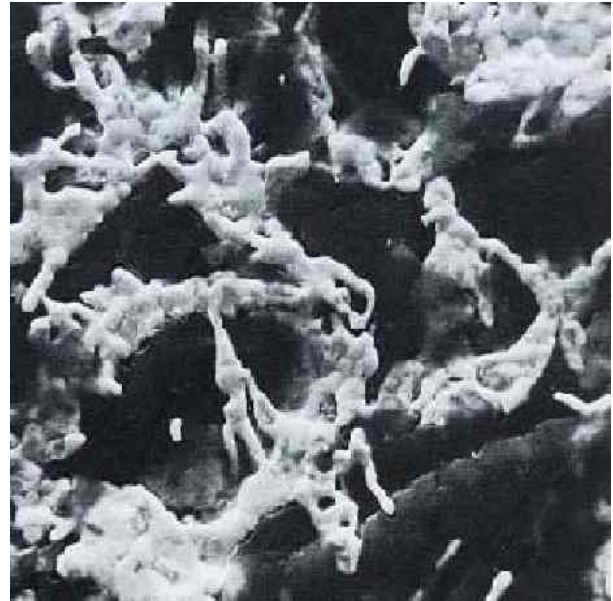
<sup>1</sup> Metal base: é o material predominante da peça, que irá determinar as características básicas do produto final.



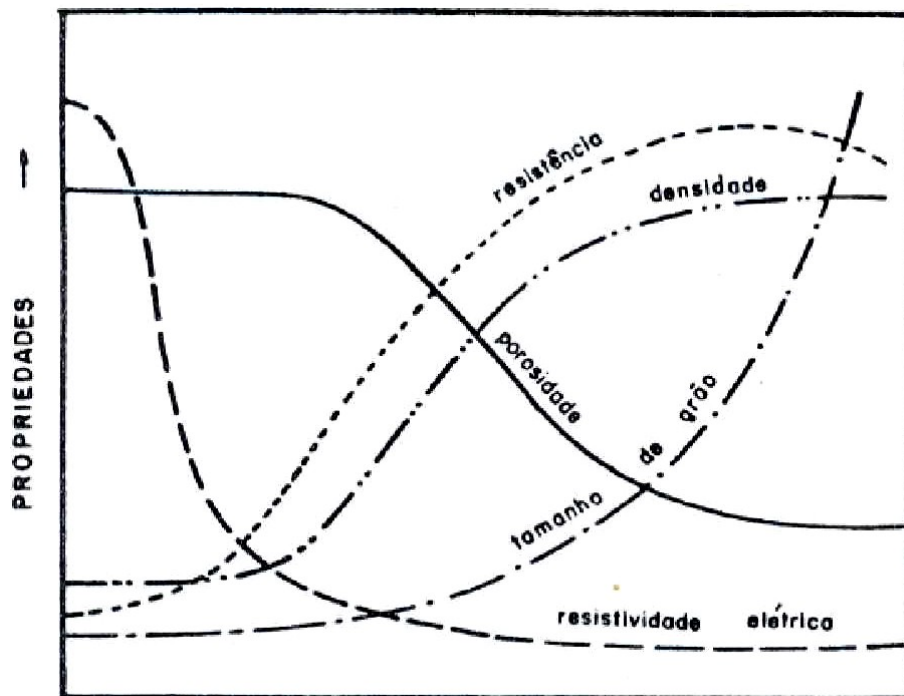
Os fenômenos que ocorrem na sinterização são os seguintes: ligação inicial entre partículas; crescimento da ligação; fechamento dos canais que interligam os poros; arredondamento dos poros; densificação ou contração dos poros; crescimento eventual dos poros.



Micrografia: compactado verde



Micrografia: compactado sinterizado



TEMPERATURA DE SINTERIZAÇÃO —  
Influência da temperatura nas propriedades da peça

## 8. Operações complementares

Nem sempre a produção de peças por metalurgia do pó termina na operação de sinterização. Operações complementares são frequentemente aplicadas com os seguintes objetivos: conferir melhor acabamento; maior precisão dimensional às peças; melhor densidade, dureza e resistência mecânica; etc.

- **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.
- **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.
- **Tratamentos térmicos:** as peças sinterizadas podem ser submetidas a tratamentos térmicos convencionais para melhoria das propriedades mecânicas. Em tratamentos superficiais (cementação e nitretação) a densidade é fator importante, devido a difusão dos gases através de seus poros (quanto maior a densidade menor é a porosidade).
- **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/cm<sup>3</sup>) 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.
- **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.

## **TENDÊNCIAS DA FABRICAÇÃO: O FUTURO DA INDÚSTRIA**

Quando um piloto de Fórmula 1 sobe ao pódio, o mérito pela vitória deve ser creditado não apenas a ele, mas também a toda uma equipe, que trabalhou em conjunto para que seu desempenho pudesse ser cercado de êxito. Você já viu, por exemplo, o que acontece em cada parada no box: um grupo de profissionais altamente qualificados acerca-se do veículo e cada um faz a sua parte, com eficiência, para que o piloto possa ganhar alguns milésimos de segundo de vantagem em relação aos concorrentes. A troca de pneus, o abastecimento de combustível, a verificação das partes vitais do veículo, tudo isso é feito com o máximo cuidado, rapidez e coordenação de movimentos. Tudo funciona dentro de uma concepção sistêmica, em que as ações estão interligadas, influenciam-se mutuamente e contribuem para um resultado que só será obtido muitas voltas depois.

Nas empresas ocorre uma situação semelhante: para que a organização atinja seus objetivos, é necessário que seus colaboradores (funcionários de todos os níveis e prestadores de serviços em geral) trabalhem harmoniosamente, conscientes de que uma parcela do sucesso da empresa depende do grau e da qualidade do seu envolvimento no processo produtivo. Ou seja, pode-se considerar que toda empresa funciona como um sistema, voltado para a produção de bens ou serviços.

Os sistemas, por definição, são dinâmicos. às vezes fica difícil, para quem está dentro do sistema, ter uma visão global das mudanças que estão ocorrendo. Devemos olhar o sistema produtivo de fora, analisando as tendências e perspectivas de utilização dos processos de fabricação convencionais e avançados neste começo de século.

### **1. O futuro dos métodos tradicionais de fabricação**

Com o surgimento das máquinas de eletroerosão, dizia-se que as limas passariam a ser peças de museu. Entretanto, não foi isso que ocorreu. As limas ainda são utilizadas em larga escala, para fazer pequenos ajustes, para tirar rebarbas de peças e às vezes até na confecção do próprio eletrodo empregado na eletroerosão.

É fato que as limas têm pouco a evoluir e que não competem com as máquinas mais modernas. Apesar disso, tudo indica que ainda continuarão a ser utilizadas, coexistindo com outros métodos avançados de produção devido à sua simplicidade e aplicabilidade em certas situações.

Os princípios básicos de funcionamento das máquinas mais modernas, como um torno por Comando Numérico Computadorizado (CNC), por exemplo, são semelhantes aos das máquinas convencionais. Isso significa que o operador dessas máquinas deve ter o conhecimento dos processos básicos de usinagem em torno convencional, além dos conhecimentos específicos de operação do torno CNC. Engana-se quem pensa que os métodos novos vieram para tomar lugar dos tradicionais. Seu objetivo é aperfeiçoar os métodos já existentes. Dessa forma, a



tendência é que sejam reservados aos métodos tradicionais os serviços mais grosseiros, de produção em pequena escala, pelo menos por algumas décadas.

## **2. Os novos métodos de fabricação**

Quando os métodos não tradicionais de usinagem surgiram, foram usados inicialmente para casos especiais, como materiais difíceis de usinar. Entretanto, com a evolução tecnológica e conseqüente redução de custos, foram levados à indústria convencional, onde passaram a representar boa parcela da produção de certas peças. As vantagens do investimento dos empresários são claras: maior produtividade e/ou maior qualidade dos produtos, além de outras vantagens secundárias, como maior segurança, mais produção em menor espaço, etc., que no fim de tudo representa a base do funcionamento: melhoria na relação custo/benefício.

Em alguns casos, têm-se a redução dos custos mantendo-se os benefícios do produto. Já em outros, há uma agregação de valor qualitativo (benefício) com um mesmo custo. Por exemplo, um empresário que fabrica pregos adere a um novo processo de fabricação. O investimento realizado pode ser compensado com mais produtos com menos custos, ou então mesma quantidade de produto mas que rende mais lucro.

Esta relação de custo/benefício sempre estará em vigor nas indústrias. Entretanto, a tendência é que existam outras formas de agregar valor ao produto: investimentos sociais e ambientais. Empresas que cuidam do meio ambiente, seja por processos com menor impacto ou por investimento direto, terão produtos com maior valor. De igual forma, empresas que proporcionam excelentes condições aos colaboradores e que investem na sociedade civil.

Com relação aos processos de fabricação, veja algumas tendências:

- As máquinas de comando numérico deverão estar reservadas, principalmente, aos trabalhos unitários, em pequenas séries. A elas será confiada a fabricação de protótipos, modelos, matrizes, eletrodos, etc. A grande vantagem desses equipamentos está na flexibilidade que apresentam, pois podem usinar peças com diferentes perfis, com uma simples troca de programa.
- As máquinas de eletroerosão poderão vir a concorrer com as máquinas de comando numérico. Seu preço horário é menor, o que compensa as menores taxas na remoção de material. Um atrativo deste método é que na confecção de eletrodos, em alguns casos, o acabamento manual é dispensável, o que torna a sua confecção mais rápida e mais econômica. Além disso, na eletroerosão, a forma erodida da peça é bem definida, o que proporciona economia de tempo de ajuste, numa relação de montagem.
- As máquinas de usinagem eletrolítica, confrontadas com as máquinas de eletroerosão, deverão ser reservadas aos trabalhos repetitivos, de média precisão.
- A metalurgia do pó irá crescer e ganhar mais espaço da fundição.

De um modo geral, pode-se afirmar que o futuro dos métodos de fabricação está intimamente associado a duas situações: o desenvolvimento de novos materiais, capazes de suportar esforços extremos nas mais adversas condições de trabalho (temperaturas muito altas e muito baixas, pressões anormais, velocidades elevadas etc.); e a implementação e desenvolvimento da automação em todos os processos produtivos, ou seja, a indústria mecânica do século XXI será predominantemente comandada por sistemas eletrônicos e computadorizados.

### **3. O impacto social da evolução tecnológica**

Cada vez mais os cérebros ganham importância em relação aos braços. Os novos métodos de produção permitem produzir mais, a preços mais baixos, utilizando menos mão-de-obra. Ou seja, as inovações tecnológicas e as mudanças administrativas incorporadas ao setor produtivo usam menos trabalho humano braçal, gerando menos empregos.

O desemprego é considerado um dos mais graves problemas mundiais. Segundo a OIT - Organização Internacional do Trabalho -, cerca de 900 milhões de pessoas, incluídas na faixa da população economicamente ativa, estão desempregadas ou subempregadas atualmente. O grande desafio do século XXI é conciliar o aumento da capacidade de produção, proporcionado pelas inovações tecnológicas, com a capacidade de geração de trabalho.

Todo mercado produtor é sustentado por um mercado consumidor. À medida que diminui a oferta de trabalho, encolhe também o mercado consumidor, a ponto de comprometer o equilíbrio do sistema social. É por isso que alguns países, como o Japão, estão começando a trilhar um caminho inverso, voltando a substituir, em alguns casos, o trabalho dos robôs por trabalho humano. Segundo esse novo enfoque, a robotização ficaria restrita aos trabalhos que pudessem acarretar riscos à saúde do trabalhador.

Outro aspecto importante é que as novas tecnologias não fazem discriminação quanto ao sexo: uma vez que o desenvolvimento do trabalho independe de força muscular, como era comum nos sistemas produtivos tradicionais, a mulher ganha espaço para competir, em igualdade de condições, com a força de trabalho masculina. Na prática, isso se traduz em aumento de participação feminina em áreas que anteriormente eram restritas ao sexo masculino.

### **4. O profissional do futuro**

O emprego formal, entendido como aquela atividade continuada, exercida por uma pessoa numa mesma empresa por muito tempo em uma tarefa específica, tal como o conhece grande parte da geração hoje engajada no mercado de trabalho, está com seus dias contados.

Num futuro próximo, tudo indica que as atividades profissionais serão exercidas de forma intermitente, na empresa ou fora dela. As pessoas deverão trabalhar em projetos, com começo, meio e fim. Terminado um projeto, poderão

participar de novo projeto, na mesma empresa ou em outra. Em alguns casos, o trabalho será realizado na própria casa.

Para enfrentar essa nova realidade, o profissional deverá ser polivalente, isto é, capacitado a desempenhar múltiplas funções. Já há exemplos dessa tendência nos dias atuais: nas empresas onde vigora a filosofia de “qualidade assegurada”, qualquer operador tem autoridade para interromper a produção, se detectar falhas, devendo pesquisar e executar as formas de correção.

No sistema TPM (manutenção produtiva total), no qual a meta é “quebra zero”, cada trabalhador é responsável pela conservação do equipamento que utiliza, o que inclui a realização de tarefas rotineiras de manutenção e limpeza. Isso valoriza o profissional, mantendo-o motivado a buscar atualização contínua.

Já entramos no mundo da multifuncionalidade. Logo não haverá mais trabalho para quem foi adestrado para fazer uma coisa só. Do trabalhador espera-se uma permanente disposição para aprender. O constante avanço tecnológico exigirá dos seres humanos a dedicação de uma grande parcela do seu tempo para aprender a dominar as inovações. Nesse mundo, só haverá trabalho para quem for capaz de aprender continuamente.

## **Exercício**

Analise o parágrafo a seguir, extraído de uma palestra proferida pelo professor José Pastore, em 1995.

*Tudo indica que o mundo do trabalho do próximo milênio será completamente diferente do mundo atual. Para começar, o próximo milênio vai sacramentar a “morte do emprego” que já começou a acontecer. Não confundam com a morte do trabalho. Este vai continuar porque haverá muitas coisas a serem feitas. Mas o emprego está condenado a morrer.*

O que Pastore quis dizer com “morte do emprego”? O que poderia ser feito para evitar a “morte do emprego”? O que podemos fazer para que tenhamos trabalho no futuro, dentro dessa perspectiva?

## Inovações Tecnológicas

### Metais Líquidos, uma nova revolução nas ligas metálicas

04/11/2005

A NASA está coordenando um esforço de pesquisas que poderá revolucionar tudo o que se sabe sobre metais. Eles estão desenvolvendo o "metal líquido", um novo tipo de material estrutural com características similares aos plásticos, que se resfria rapidamente e tem duas vezes mais resistência do que o titânio.



Os engenheiros sempre acreditaram que o plástico e o aço fossem os melhores materiais estruturais para se utilizar na construção de produtos grandes. Mas essas novas "ligas sem formas", ou amorfas, combinam a resistência do aço com a capacidade de moldagem do plástico.

O Dr. Bill Johnson, do Instituto de Tecnologia da Califórnia, estuda os metais com estruturas atômicas líquidas há mais de 30 anos. Ele se uniu ao Dr. Atakan Peker, da empresa Liquidmetal Technologies, para desenvolver sua idéia de construir metais líquidos que formam ligas metálicas densas, que se cristalizam sem a necessidade de um resfriamento rápido.

A NASA entrou nas pesquisas disponibilizando condições de microgravidade, por meio da missão que levou a bordo o Laboratório de Ciências em Microgravidade, para que os cientistas pudessem aprimorar suas ligas metálicas.

Johnson continuou sua pesquisa em solo utilizando a levitação eletrostática e o aquecimento a laser. Nesse processo, pequenas esferas são mantidas suspensas no vácuo e fundidas por um feixe de raio laser.

Os cientistas então conseguiram criar uma nova forma de mistura metálica que passa do estado líquido para o sólido a temperatura ambiente. O líquido inclui os elementos zircônia, titânio, níquel, cobre e berílio.

Ao invés de ter que ser resfriado rapidamente para se tornar um sólido, um metal líquido se resfria e endurece a temperatura ambiente, evitando a vitrificação - um processo que o transformaria numa espécie de vidro. Os cientistas batizaram esse metal líquido de "Vitreloy". Essa nova liga metálica possui uma resistência quase inacreditável: uma barra de dois centímetros e meio de espessura consegue sustentar 136 toneladas, contra um pouco menos de 80 toneladas de uma barra de titânio com as mesmas dimensões.

Outra grande vantagem da liga de metal líquido é a sua elasticidade. Para testar essa característica, os cientistas construíram três bolas de aço do mesmo tamanho e três tubos de aço, também com as mesmas dimensões. Na base de cada tubo, foram colocados três materiais diferentes: aço, titânio e o metal líquido.

Cada uma das esferas de aço foi liberada da mesma altura, podendo "quicar" livremente até parar. As esferas que atingiram as bases de aço e titânio quicaram entre 20 e 25 segundos. A esfera que atingiu o metal líquido ficou pulando por nada menos do que 1 minuto e 21 segundos.

## Novo material se contrai quando aquecido

25/11/2004

A maioria dos sólidos se expande quando aquecidos, um fenômeno familiar com muitas implicações práticas. Mas mesmo essa regra tem exceções. A principal delas é um composto chamado tungstato de zircônio, uma mistura de zircônio e tungstênio, que apresenta um efeito chamado expansão térmica negativa.

Enquanto os engenheiros trabalham duro para explorar as aplicações práticas do fenômeno, em áreas que vão da eletrônica até materiais para dentistas, os físicos até agora se debatiam sem saber como explicar porque o composto tem um comportamento tão esquisito que seu nome até parece coisa comum.

O que chama a atenção nesse comportamento anômalo é que, no tungstato de zircônio, ele acontece em uma ampla faixa de temperaturas e de maneira uniforme em todas as direções. A água em ponto de ebulição e até congelada também apresenta o fenômeno, mas de forma tão sutil e numa faixa de temperatura tão estreita, de frações de grau, que não gera interesse prático.

Agora, pesquisadores de várias universidades norte-americanas, trabalhando conjuntamente, acreditam ter encontrado a resposta para a questão. A pesquisa sairá publicada no exemplar de amanhã (26/11) da revista *Physical Review Letters*.

"Nós mostramos que a combinação de frustração geométrica e movimentos atômicos incomuns são importantes para a expansão termal negativa do tungstato de zircônio," explica o professor Zack Schlesinger, da Universidade da Califórnia.

Frustração geométrica soa como algo que um estudante de matemática do colegial possa sentir, mas, na verdade, esta é uma rica área de pesquisa na Física e na Ciência dos Materiais. Em termos simples, a frustração geométrica é como tentar cobrir um piso com pentágonos - os desenhos não se encaixam.

No caso do tungstato de zircônio, a frustração geométrica acontece quando variações de temperatura causam certas vibrações da estrutura cristalina do material - a configuração de ligações atômicas que mantém unidos os átomos de um cristal.

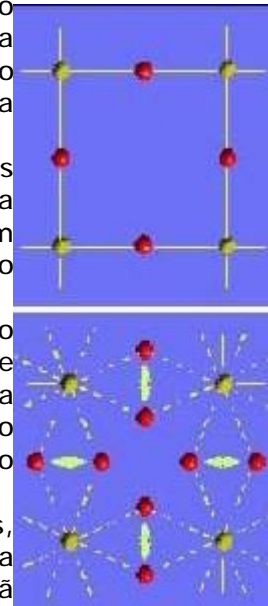
A expansão termal tradicional dos sólidos resulta de alterações nos movimentos atômicos que causam essas vibrações estruturais. Como o aquecimento adiciona energia cinética ao sistema, a estrutura cristalina se expande - na maioria dos sólidos - para acomodar os movimentos atômicos que estão recebendo um incremento de energia.

Para estudar os movimentos atômicos envolvidos nas vibrações estruturais, os físicos separam as vibrações em "modos" discretos, ou tipos de vibrações. Na investigação do tungstato de zircônio, Schlesinger e seus colegas encontraram evidência de um modo rotacional ("girante") que, devido à frustração geométrica, ocorre junto com um modo translacional ("prá frente e prá trás").

A mistura desses movimentos rotacionais e translacionais tem o efeito de manter toda a estrutura coesa quando o calor injeta mais energia nas vibrações.

Em outros materiais que apresentam expansão termal negativa, os modos vibracionais que mantêm o sólido coeso criam instabilidades que eventualmente levam a rearranjos na estrutura atômica. Como resultado, a expansão termal negativa somente ocorre em uma estreita faixa de temperatura. No tungstato de zircônio, entretanto, a frustração geométrica parece bloquear qualquer instabilidade. Ao menos, é isso o que os cientistas acreditam.

"Entender um sistema complexo como esse não é algo trivial. Você tem que quebrá-lo em todos os seus diversos componentes de movimentação atômica, e nosso trabalho



está tendo progressos nessa direção," afirmou o professor Schlesinger. "[Nosso trabalho] envolve tanto análise matemática quanto medições experimentais e, em última instância, você terá que ser capaz de visualizar 'a coisa'".

Os experimentos propriamente ditos são relativamente simples, afirmou o professor. Eles envolvem iluminar o material com luz infravermelha e medir a refletividade, a qual pode ser matematicamente transformada em condutividade ótica. Essas medições revelam as frequências da luz que são absorvidas pela interação com as vibrações estruturais. A seguir os pesquisadores analisam como essas medidas variam com a temperatura.

Schlesinger afirmou que as descobertas têm tanto interesse teórico quanto prático. No lado da Física pura, ela fornece um novo e incomum exemplo de frustração geométrica, que geralmente é estudada no campo do magnetismo e de sistemas desordenados. O tungstato de zircônio não é desordenado, sendo, na verdade, um cristal estoiquiométrico perfeito.

No lado prático, a expansão termal é um grande problema em várias áreas. Os dentistas, por exemplo, conhecem a questão como o "problema do chá com sorvete", que causa quebras nos materiais utilizados em obturações e restaurações devido a variações bruscas de temperatura.

Os engenheiros que trabalham desde a microeletrônica até motores de alto desempenho devem também lidar sempre com a expansão termal. Um material que não se expanda ou contraia com a variação da temperatura poderá ter uma ampla gama de aplicações.

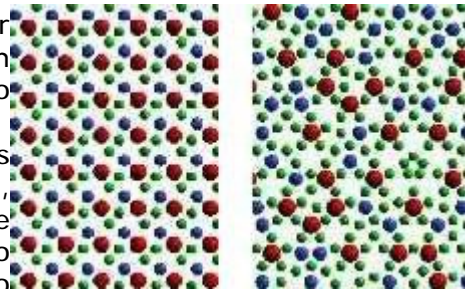
"Se você criar o mix adequado de materiais para neutralizar a expansão termal, isso será um avanço tecnológico muito significativo," afirma Schlesinger.

## **Novo processo produtivo faz metais perderem peso**

20/12/2005

Um novo processo produtivo, capaz de transformar titânio, aço inoxidável e muitos outros metais, em uma nova geração de peças, poderá ter um impacto enorme em todo o setor industrial.

Ao contrário das peças sólidas tradicionais, os novos componentes têm uma minúscula estrutura, similares a um andaime, mas com seções que medem duas vezes o diâmetro de um fio de cabelo humano, o que as torna incrivelmente leves. Como



as cargas a que as peças estão sujeitas se espalham ao longo das seções, essas peças podem ter sua massa consistindo em até 70% de ar, mas mantendo a resistência suficiente para operar de forma correta e segura.

Os novos componentes poderão substituir os metais em circuitos integrados, aplicações automotivas e em muitos outros campos da engenharia. Peças de aviões, por exemplo, poderão ser produzidas com a metade do peso das peças tradicionais.

O primeiro sistema em escala comercial para a manufatura rápida dessa nova geração de componentes metálicos está sendo desenvolvido por engenheiros da Universidade de Liverpool, Inglaterra.

Explorando uma técnica chamada fundição seletiva a laser (SLM), esse sistema totalmente automatizado constrói as peças, camada por camada, a partir de finíssimos pós metálicos, utilizando um feixe de laser infravermelho para fundir o pó e criar a estrutura desejada.

As camadas podem ser feitas com apenas 25 micra de espessura, tornando possível a construção de partes complexas, nas quais propriedades como resistência termal, absorção de impacto e muitas outras possam ser distribuídas em pontos específicos,

para atender às exigências de cada aplicação em particular. Isso não pode ser feito com as peças tradicionais de metais sólidos.

Embora existam outras formas de se construir estruturas metálicas em rede, elas não permitem a fabricação precisa de propriedades funcionais de acordo com a necessidade. Por exemplo, o novo sistema pode ser utilizado para se fabricar componentes que retirem calor rapidamente do ponto onde esse calor é produzido.

Esse é o caso específico do sistema de resfriamento dos chips de computador.

Outro exemplo são os motores dos carros de competição. Os componentes compósitos utilizados nesses motores são fabricados a partir de um bloco de espuma metálica, cobertos com um revestimento de fibra de carbono impregnado com resina e curados em um forno. Com o novo processo, a espuma metálica poderá ser criada na máquina SLM no formato exato da peça desejada, eliminando a etapa inicial de usinagem.

## **Ligas metálicas quasicristalinas poderão produzir equipamentos sem atrito**

22/09/2005

Engenheiros de materiais da Universidade de Duke, Estados Unidos, desenvolveram um novo modelo de liga metálica "quasicristalina" que poderá permitir a construção de uma nova geração de equipamentos e peças virtualmente livres de fricção.

Quasicristais, da mesma forma que os cristais normais, consistem de átomos que se combinam para formar estruturas geométricas - triângulos, retângulos, pentágonos etc. - que se repetem em um padrão. Mas, ao contrário do que acontece nos seus "parentes normais", o padrão dos quasicristais não se repete a intervalos regulares.

É por isto que os quasicristais se tornam interessantes quando o assunto é a diminuição do atrito. Enquanto os padrões atômicos de duas superfícies cristalinas, atritando-se uma contra a outra, podem se alinhar, causando fricção, isto não acontece nos materiais quasicristalinos. Dois materiais quasicristalinos poderão esfregar-se um contra o outro com um atrito quase desprezível.

Ligas metálicas quasicristalinas já são usadas em grande número de aplicações industriais, inclusive nas conhecidas painéis anti-aderentes, porque elas combinam as propriedades de resistência à abrasão e ao calor das resinas antiaderentes, com a condutividade térmica própria dos metais.

Entretanto, ainda há um obstáculo importante impedindo o uso de quasicristais na construção de superfícies que devam deslizar uma contra a outra: a existência de contaminantes superficiais microscópicos, como os gases atmosféricos, que entram entre as superfícies e interferem com sua "lubricidade" característica. Os gases formam uma finíssima camada de moléculas sobre a superfície da liga, formando um padrão cristalino, anulando as vantagens dos quasicristais.

O que os cientistas fizeram agora foi justamente modelar essa ação das moléculas de gases. A pesquisa, que será publicada no próximo exemplar do periódico *Physical Review Letters*, mostra como preservar a estrutura superficial de baixo atrito de um quasicristal na presença de um gás.

Experiências anteriores haviam mostrado que átomos do gás xenônio somente assumirão uma estrutura do tipo cristalina se mais do que uma camada se formar sobre a liga quasicristalina. A quantidade de camadas formadas é determinada pela temperatura e pela pressão. Os pesquisadores escolheram o xenônio porque esse gás praticamente não reage com os metais das ligas, o que facilita a geração de um modelo genérico, sem outras complicações de reações indesejadas.

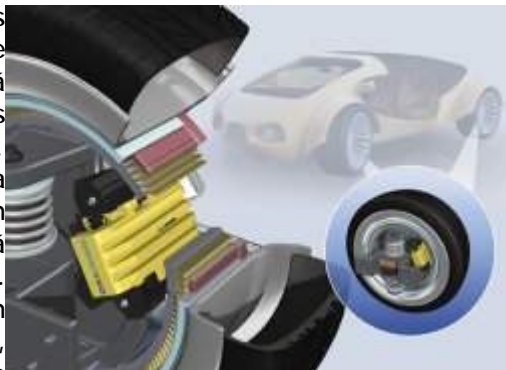
A nova simulação agora desenvolvida mostra exatamente como se dá essa formação de várias camadas e como elas interagem com a liga quasicristalina. Utilizando o novo programa, os cientistas esperam agora ampliar seu entendimento sobre a manutenção das propriedades de baixo atrito dos quasicristais. Para alcançar aplicações práticas,

eles poderão analisar o comportamento do modelo quando os gases presentes foram os "mais complicados" e reativos gases presentes na atmosfera.

## **Carros do futuro terão motores nas rodas**

15/08/2006

Imagine abrir o capô do seu carro e, ao invés do motor, encontrar... suas malas. Você corre lá atrás, achando que se enganou - afinal, já foi muito comum carros terem motores traseiros; mas só encontra outro porta-malas. Esta é mais ou menos a idéia lançada pela empresa alemã Siemens VDO. Em um conceito batizado de eCorner, a empresa está propondo levar o motor para as rodas. Motores elétricos, é claro, independentes, um para cada roda. Segundo os engenheiros, esse enfoque poderá dar ao veículo uma dirigibilidade e uma estabilidade que não podem ser alcançadas com a tecnologia atual.



O conceito eCorner junta nas rodas, além do motor, todas as mais recentes tecnologias automotivas, entre as quais direção elétrica, freios elétricos, controle de estabilidade e suspensão ativa. Ao incluir os motores na mesma estrutura, a empresa leva ao limite o conceito de "drive-by-wire" - tudo acionado por fios, eletronicamente, sem qualquer conexão mecânica.

Embora confirme que continuará pesquisando melhorias nos motores a combustão atuais, a empresa afirmou em um comunicado que acredita que a partir de agora é mais importante investir no futuro. "Veículos híbridos são apenas um passo intermediário no caminho das soluções de propulsão do futuro. Nós consideramos ser o motor elétrico a solução atual de longo prazo para atender mesmo as mais restritivas leis sobre emissões [de poluentes] do futuro," disse Klaus Egger, vice-presidente da empresa.

## **Ford lança primeiro motor alimentado a hidrogênio**

20/07/2006



A empresa norte-americana Ford lançou o primeiro motor de combustão interna alimentado por hidrogênio. O gás é tido como o combustível do futuro, graças à sua eficiência energética e à não emissão de poluentes.

E a estréia do hidrogênio se fez em grande estilo: o motor é um peso-pesado de 10 cilindros em V e 6,8 litros de capacidade. O novo motor equipará os ônibus a hidrogênio que a empresa colocará no mercado norte-americano até o final deste ano.

Apesar da estréia do novo motor, a empresa afirmou que continuará com as pesquisas a todo vapor, em busca principalmente de um sistema de injeção direta, que deverá aumentar a potência e diminuir o consumo de hidrogênio. "Nós apenas arranhamos a superfície em termos do que pode ser



alcançado com a tecnologia de motores a combustão interna de hidrogênio," disse Vance Zanardelli, engenheiro responsável pelo desenvolvimento do motor.

Virtualmente todos os componentes do motor tiveram que ser adaptados para funcionar com o hidrogênio. O gás tem uma capacidade de lubrificação muito menor do que a gasolina ou o diesel, o que exigiu a fabricação de peças com ligas especialmente reforçadas.

As velas tiveram que ser construídas em irídio para permitirem uma vida útil razoável. As bobinas de ignição, que nos carros normais já operam em altas voltagens, tiveram que passar a operar no que está sendo chamado de ultra-alta- voltagem.

Hoje, os maiores impeditivos ao uso generalizado do hidrogênio como combustível são sua "fabricação" e seu armazenamento. A extração do hidrogênio da água consome muita energia. E estudos mostraram a inviabilidade de seu armazenamento em tanques como os utilizados para o gás natural. Ao invés disso, ele deverá ser armazenado em forma sólida - uma reação química se encarregará de retirar os átomos de hidrogênio do composto sólido.

## **Cientistas dão primeiro passo para construir ímãs de plástico**

23/11/2006

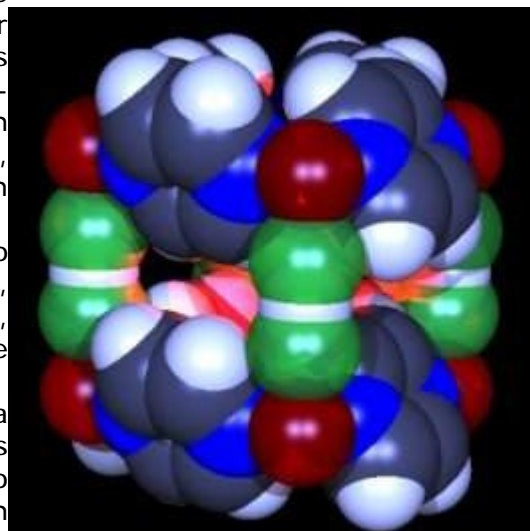
Até hoje, não era possível fabricar magnetos de materiais orgânicos, como os plásticos, por exemplo. Agora, porém, pesquisadores alemães do Instituto Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, trabalhando em conjunto com colegas de várias outras instituições, conseguiram pela primeira vez criar ordem magnética em um polímero.

A estrutura, que consiste em um composto químico de hidrogênio, flúor, carbono e cobre, foi criada utilizando-se uma técnica inédita, apresentando uma estrutura tridimensional e muito estável.

O magnetismo é uma propriedade física da matéria relacionada ao alinhamento dos spins dos elétrons. O ferro, por exemplo, é magnético porque os spins de seus elétrons se alinham paralelamente uns com os outros, gerando um campo magnético uniforme. Já o antiferromagnetismo acontece quando spins vizinhos são orientados em direções opostas.

O cobre metálico não é magnético. Mas Jochen Wosnitza e seus colegas descobriram que a 1,54 Kelvin - ou seja, apenas 1,54° acima do zero absoluto - os átomos de cobre incorporados no composto químico se ordenam antiferromagneticamente. No composto, cada íons de cobre possui um spin magnético que interage com os spins vizinhos através de unidades orgânicas. Como se dá essa interação e como ela pode ser alterada ainda será objeto de novas pesquisas.

O trabalho está ainda em seus primeiros passos, mas aponta para a possibilidade de, no futuro, magnetos poderem ser construídos a partir de materiais orgânicos, com propriedades ajustadas conforme a necessidade. Magnetos permanentes podem ser feitos de ferro, cobalto e neodímio, por exemplo, mas, de acordo com o que se conhecia até hoje, seria impossível construí-los a partir de plásticos.



## Vitamina C poderá revolucionar indústria de plásticos

08/11/2006

Na semana passada, cientistas apresentaram uma nova técnica para fabricar plásticos que, além de mais eficiente e mais barata, é muito menos danosa ao meio-ambiente.

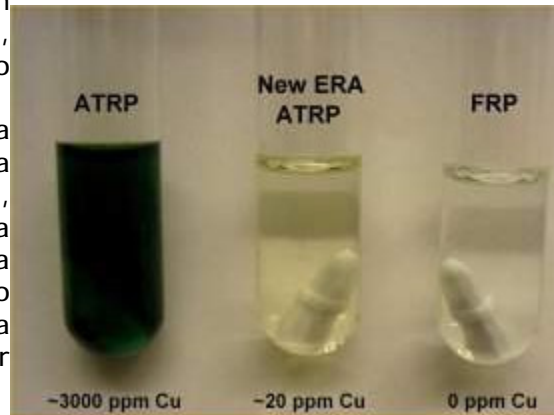
Agora, quase que simultaneamente, outra equipe de pesquisadores, desta vez da Universidade de Pittsburgh, Estados Unidos, descobriu que a vitamina C, além de ajudar a tratar resfriados, também pode ser utilizada para melhorar dramaticamente o rendimento do processo de fabricação de plásticos - uma técnica chamada de polimerização por radicais livres.

Plásticos são polímeros - longas cadeias de moléculas, normalmente muito complexas, montadas a partir de unidades químicas menores e mais simples. Utilizando a polimerização por radicais livres, os engenheiros químicos conseguem construir plásticos adequados para inúmeras aplicações diferentes - da levíssima espuma de um traveseiro até uma rígida estrutura para a maçaneta de um carro.

Mas, para algumas dessas aplicações, as moléculas básicas que virão formar os polímeros não se ligam facilmente. Para resolver o problema, os engenheiros criaram um método chamado de polimerização radicalar por transferência atômica, que facilita a montagem das cadeias poliméricas.

Agora, os cientistas descobriram que a adição ao processo de vitamina C, glucose ou outro agente absorvedor de elétrons, consegue diminuir a necessidade do catalisador metálico (cobre) por um fator de 1.000. Como o catalisador precisa ser removido dos produtos finais, menos cobre significa muito menos resíduos, desperdícios e menores custos para sua remoção.

Agora, com duas descobertas quase simultâneas, ambas apresentando soluções mais ambientalmente corretas, não há porque a indústria de plásticos não passe por uma significativa reformulação nos próximos anos.



## Referências Bibliográficas

**Artigos.** <http://www.inovacaotecnologica.com.br>, acessado em 25/abr/2007.

FEISTAUER, A.; GONÇALVES, F. J. F.; PACHECO, L. C.; SOUSA, G. C.; MARTINS, C. G.; MORO, N. **Metalurgia do Pó**. Florianópolis: CEFET/SC, 1999.

PADOVEZI, D. F.; NEVES, D. C.; GOMES, G. L.; LEONARDI, W. M. **Metalurgia do Pó**. São Paulo: Universidade Mackenzie, 2003. Disponível em: [http://meusite.mackenzie.com.br/carlosmonezi/seminarios/2o\\_semestre/2\\_2003/metalurgia\\_do\\_po\\_apresentacao.pdf](http://meusite.mackenzie.com.br/carlosmonezi/seminarios/2o_semestre/2_2003/metalurgia_do_po_apresentacao.pdf), acessado em 25/abr/2007.

NUNES, Raul A. **Metalurgia do Pó**. Rio de Janeiro: Pontífica Universidade Católica, 2003. Disponível em: <http://www.dcmu.puc-rio.br/~ranunes/org/Caracterizacao1.pdf>, acessado em 25/abr/2007.

**Metalurgia do Pó.** Apostila. Disponível em <http://cursos.unisanta.br/mecanica/polari/sinterizacao.html>, acessado em 25/abr/2007.

**Processos de Fabricação: Tendências e Perspectivas.** Apostila do Curso Técnico em Mecânica. Telecurso 2000. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br>, acessado em 25/abr/2007.

**Processos de Fabricação: Metalurgia do Pó.** Apostila do Curso Técnico em Mecânica. Telecurso 2000. Disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br>, acessado em 25/abr/2007.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.