



## Aula 1

# A Ciência e Engenharia dos Materiais

Professora: Maria Ismenia Sodero

[maria.ismenia@usp.br](mailto:maria.ismenia@usp.br)



## Você já se perguntou?

1. O que é ciência e engenharia dos materiais?
2. Quais os tipos de materiais de engenharia disponíveis?
3. Quais as propriedades que os materiais apresentam?
4. Qual a relação entre estrutura, propriedade e processamento?
5. Qual a importância do estudo de CEMat?



# Perspectiva Histórica

## Materiais



Artefatos da Era da Pedra Polida



Artefatos originários da Era Final do Bronze



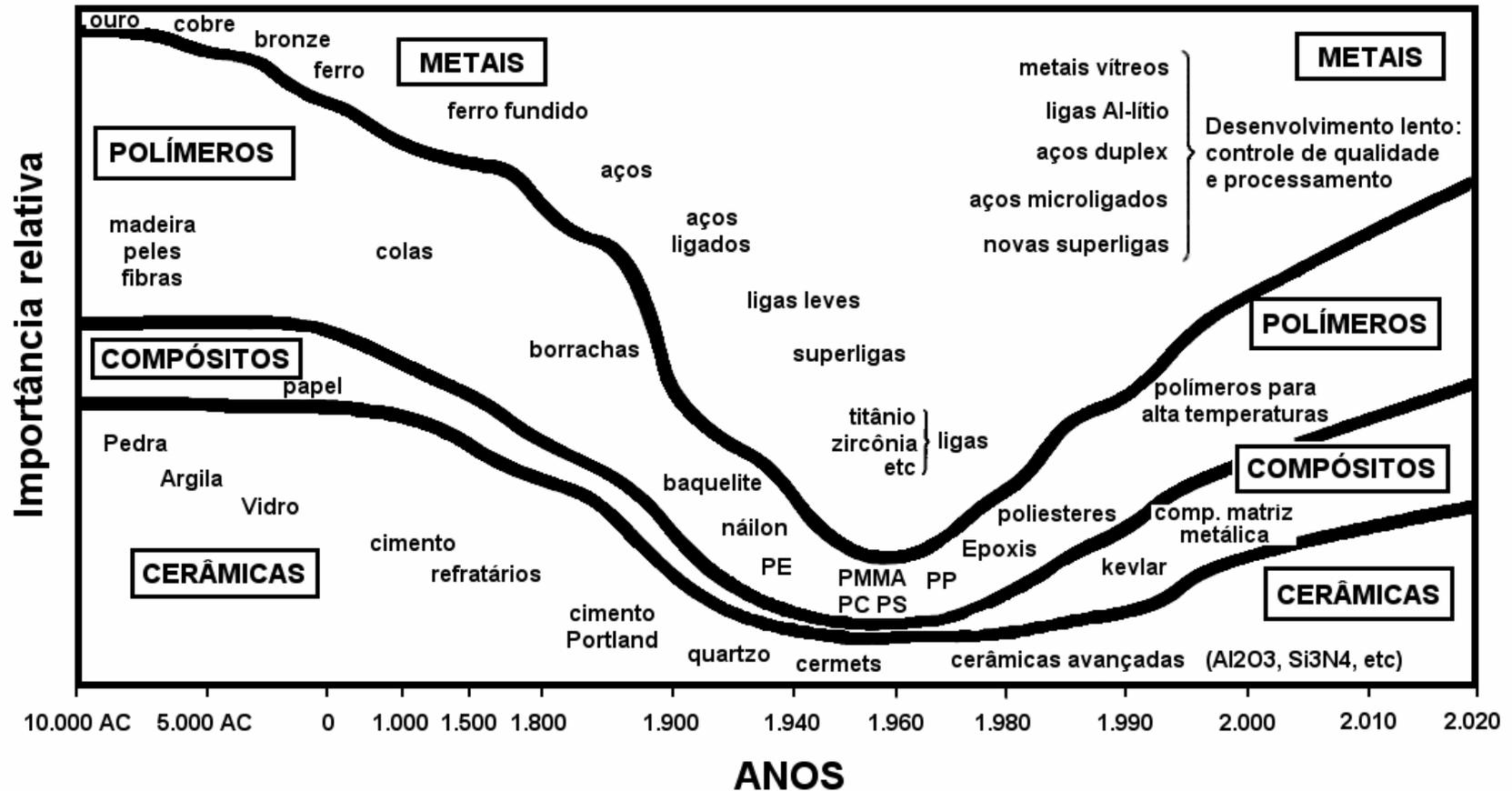
Os painéis fotovoltaicos convertem diretamente a energia luminosa em energia elétrica.



[[Imagem:Columbia.sts-1.01.jpg|thumb|180px]]



# A evolução dos materiais com o tempo





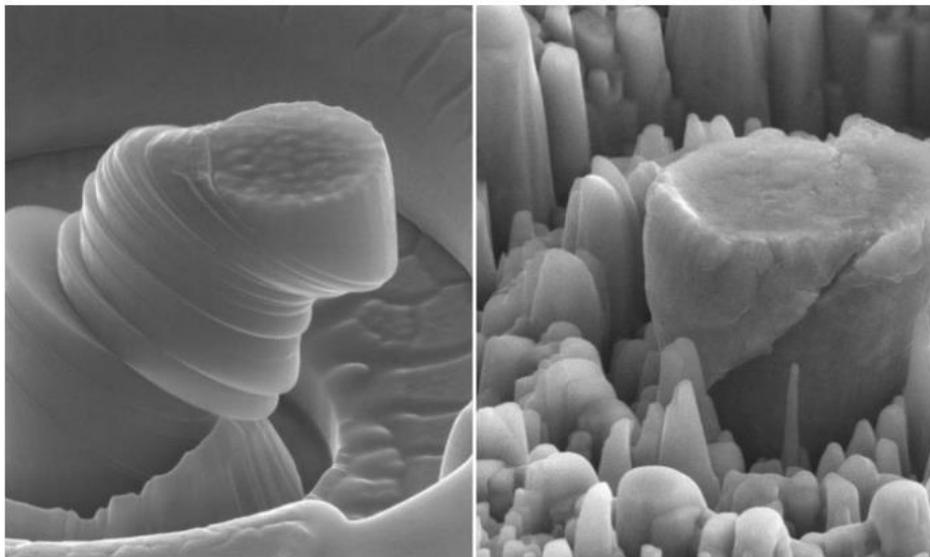
# NOTÍCIAS

## UCLA cria novo metal para fazer aeronaves e veículos mais leves

Material usa nanopartículas que o tornam mais resistente e rígido

POR O GLOBO

01/01/2016 21:12 / atualizado 01/01/2016 21:24



Fotos do novo metal obtidas em microscópio eletrônico - Divulgação / UCLA

MENU



JORNAL NACIONAL

Edição do dia 15/10/2015  
15/10/2015 21h02 - Atualizado em 15/10/2015 21h10

## Cientistas criam 1ª pele artificial que transmite impulsos para o cérebro

Equipe de universidade na Califórnia criou película com a mesma sensibilidade da pele humana e que no futuro, terá sensores de temperatura.



Cientistas de uma universidade americana desenvolveram uma espécie de pele artificial capaz de reproduzir a sensação da pele humana.

Um aperto de mão diz muita coisa. Se for fraco, pode transmitir insegurança. Uma saudação firme passa confiança. E é na pele que a gente sente a diferença. Mas quem precisa usar uma prótese não consegue perceber essa nuance.

<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/10/cientistas-criam-1-pele-artificial-que-transmite-impulsos-para-o-cerebro.html>



## Compósitos com matriz metálica (MMC)

Os MMCs, sigla para Metal Matrix Composites, no português compósitos com matriz metálica, geralmente são produzidos com um metal de baixa densidade, como alumínio e magnésio, reforçado com partículas ou fibras cerâmicas. Em comparação com um material sem reforço possui maior resistência e dureza, além de suportar maiores temperaturas de trabalho e possuir maior resistência ao desgaste.



Biela feita de compósito metálico

A fibra gera um maior reforço do que as partículas, mas é direcional, ou seja, na direção que não tem fibra o material é mais fraco. Já a vantagem das partículas em relação às fibras é que elas são economicamente mais viáveis.

<http://engenheirodemateriais.com.br/2016/04/22/compositos-com-matriz-metalica-mmc/>

## Sílica feita a partir de cascas de arroz

A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é uma das matérias-primas mais utilizadas no mundo, entre suas aplicações estão vidros, células solares, cerâmicas refratárias e até mesmo pasta de dente. Dessa forma, centenas de milhares de toneladas são produzidos todos os anos pelo mundo.

Entretanto, a forma tradicional que esse material é produzido não é a forma mais eficiente, tanto em termos energéticos quanto em econômicos. Para fazê-la, o metal silício é aquecido junto com o carvão do tipo antracite até temperaturas muito altas ( $3500^\circ\text{C}$ ) para formar compostos de silício.

Obter a sílica dos resíduos agrícolas não é tão fácil assim, graças à forte ligação química entre o silício e o oxigênio. Mas Laine conseguiu quebrar essa ligação de forma simples e barata com ajuda de etileno glicol, ou anticongelante e etanol, ou álcool de cereais.

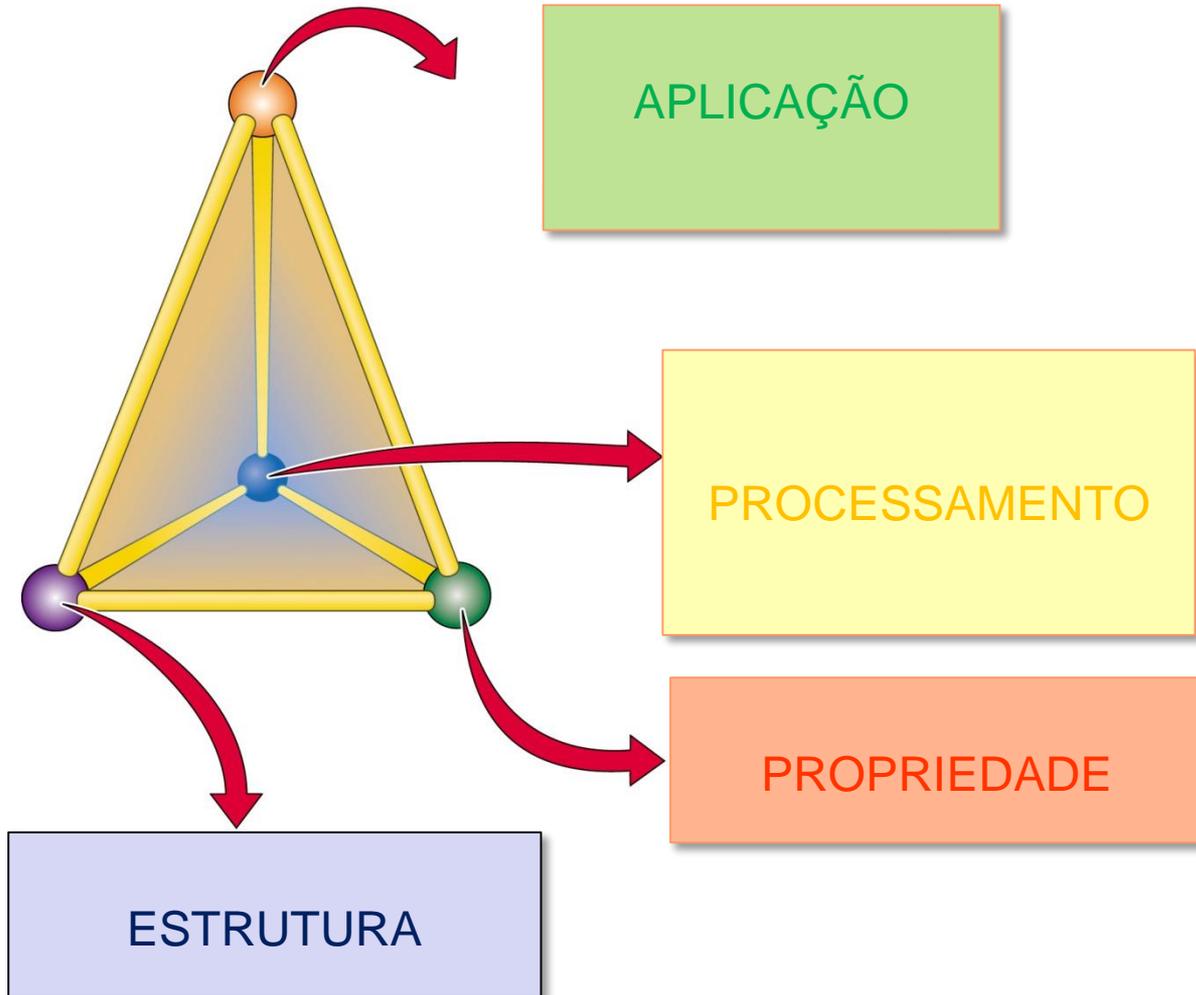
O etilenoglicol com uma pequena porcentagem de hidróxido de sódio enfraquece a ligação química entre a sílica e a cinza de casca de arroz no começo do processo, dissolvendo a sílica em uma solução líquida. Então a solução é aquecida até  $200^\circ\text{C}$  para obter a sílica como um polímero anticongelante de sílica, que pode ser filtrado com o intuito de separar o polímero do restante das cinzas.



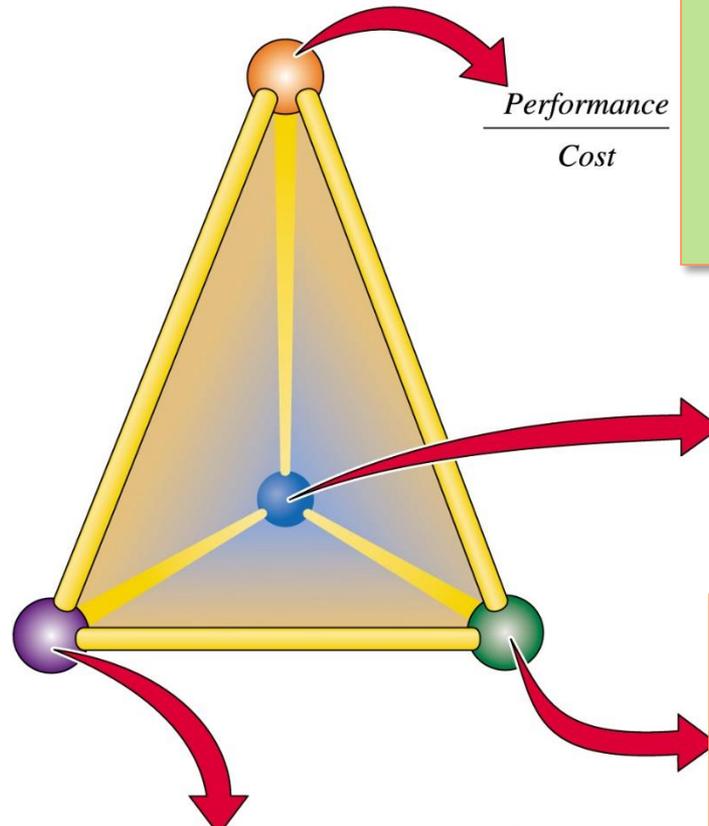
<http://engenheirodemateriais.com.br/2016/04/08/silica-feita-a-partir-de-cascas-de-arroz/>



# Tetraedro da Ciência e Engenharia dos Materiais



Adaptado: Ciência e Engenharia dos Materiais – Askeland e Phulé



*Performance*  
*Cost*

**APLICAÇÃO/DESEMPENHO**  
Chassis dos automóveis  
(leve para economia de combustível e oferecer segurança para veículo)



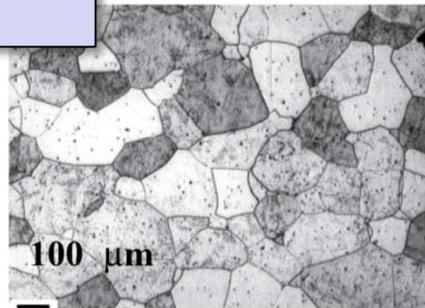
**PROPRIEDADE:**  
composição química,  
resistência mecânica,  
peso, propriedade de  
absorção de Energia,  
maleabilidade  
(conformabilidade)



**PROCESSAMENTO**

O processo de fabricação irá afetar as propriedades mecânicas?  
Que tipo de revestimento pode ser utilizado para tornar o aço mais resistência à corrosão?  
O aço pode ser soldado facilmente?

**ESTRUTURA:** análise macroscópica e microestrutural



Aplicação do tetraedro da Ciência e Engenharia dos Materiais – uso de chapa de aço para fabricação de chassis. Adaptado: Ciência e Engenharia dos Materiais – Askeland e Phulé

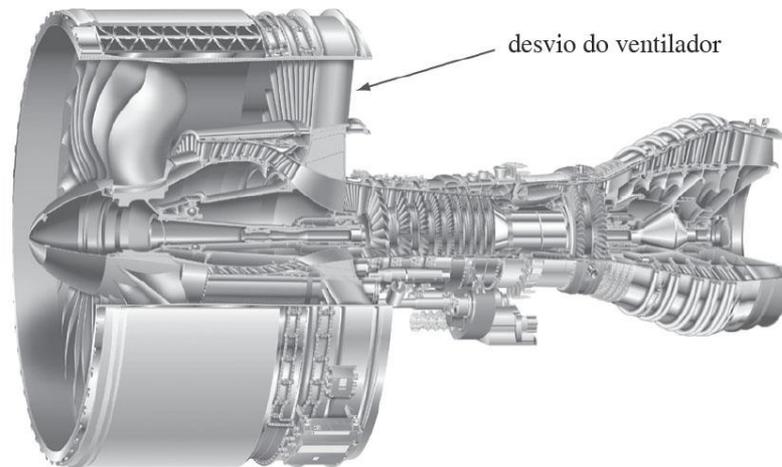


# Propriedade Mecânica

RELACIONAM A DEFORMAÇÃO À APLICAÇÃO DE UMA CARGA.

Exemplos: Módulo de elasticidade, Resistência mecânica.

Vista em corte de uma turbina de avião. A seção de compressão dianteira, que opera a baixas e médias temperaturas, utiliza geralmente componentes de titânio. A seção de combustão traseira, porém, opera com altas temperaturas, requer o uso de superligas de níquel. A capsula externa está exposta a baixas temperaturas, sendo satisfatório o emprego de alumínio e compósitos.

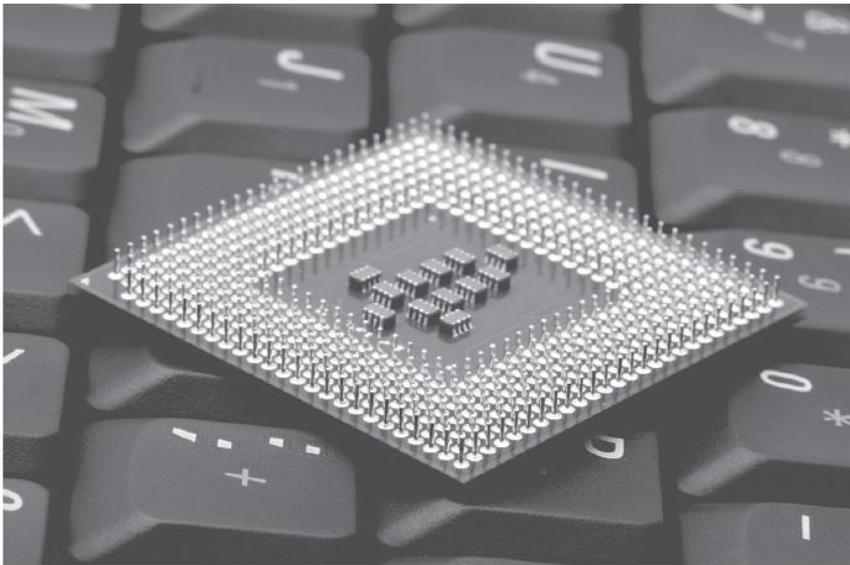




# Propriedade Elétrica

O material eletrônico mais importante é o Si puro, modificado de várias maneiras a fim de se alterar suas características elétricas.

Dispositivos eletrônicos tornaram possíveis novos produtos como satélites de comunicação e robôs



(© IMP/Alamy RF.)

Microprocessadores modernos possuem um número enorme de conexões conforme mostrado na imagem deste microprocessador Pentium II da Intel.



(CORBIS/RF.)

Braços robotizados empunhando autopeças.



# Propriedade Térmica

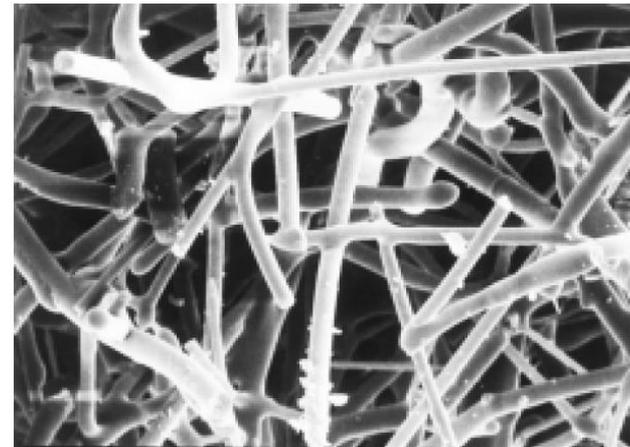
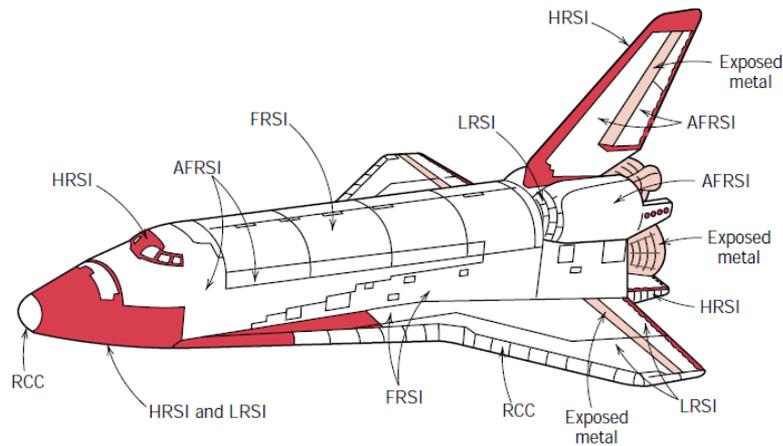


Esta fotografia mostra um cubo quente feito a partir de uma material isolante à base de fibra de sílica, o qual, apenas alguns segundos após ter sido retirado de um forno quente, pode ser segurado pelas suas arestas com as mãos nuas. A condutividade térmica deste material é tão pequena que a condução do calor do seu interior ( $T \sim 1250^{\circ} \text{C}$ ) para a superfície do material é muito pequena



# Propriedade Térmica

As restrições impostas aos materiais localizados nas regiões do ônibus espacial que são expostas a temperaturas na faixa de 400 a 1260<sup>0</sup> C são muito rígidas. Nestas regiões são utilizadas placas cerâmicas.

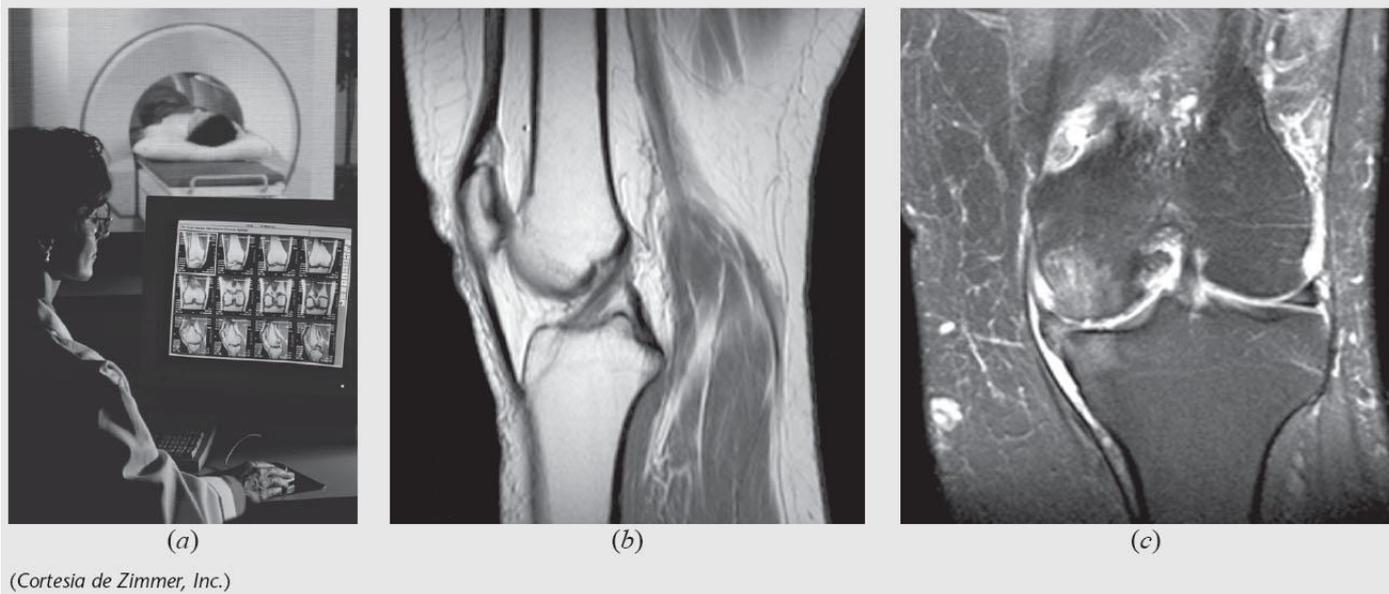


Localização dos vários componentes do sistema de proteção no ônibus espacial.

Micrografia eletrônica de varredura de uma placa cerâmica de um ônibus espacial, onde são mostradas as fibras de sílica que foram colocadas umas às outras durante um procedimento de tratamento térmico de sinterização. Material muito poroso e de baixo peso.



# Propriedade Magnética

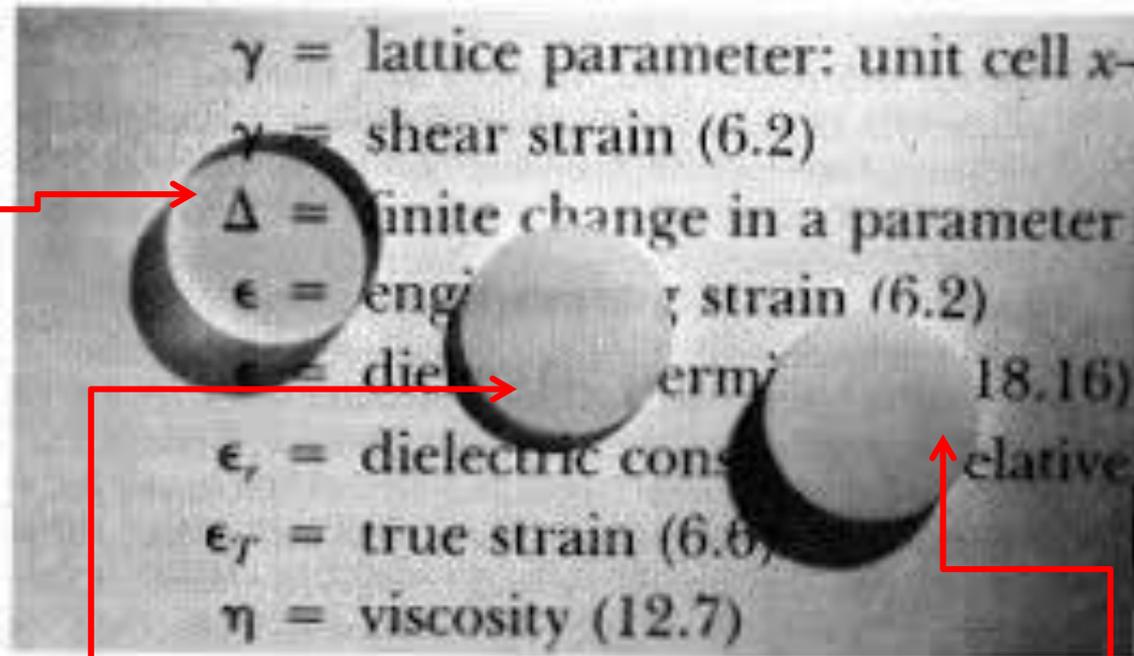


- (a) Equipamento envolvido na técnica de Ressonância Magnética
- (b) e (c) imagens RM de um ligamento cruzado anterior sadio e de um ligamento lesado



# Propriedade Óptica

Transmitância de luz de 3 amostras de óxido de alumínio



Monocristal

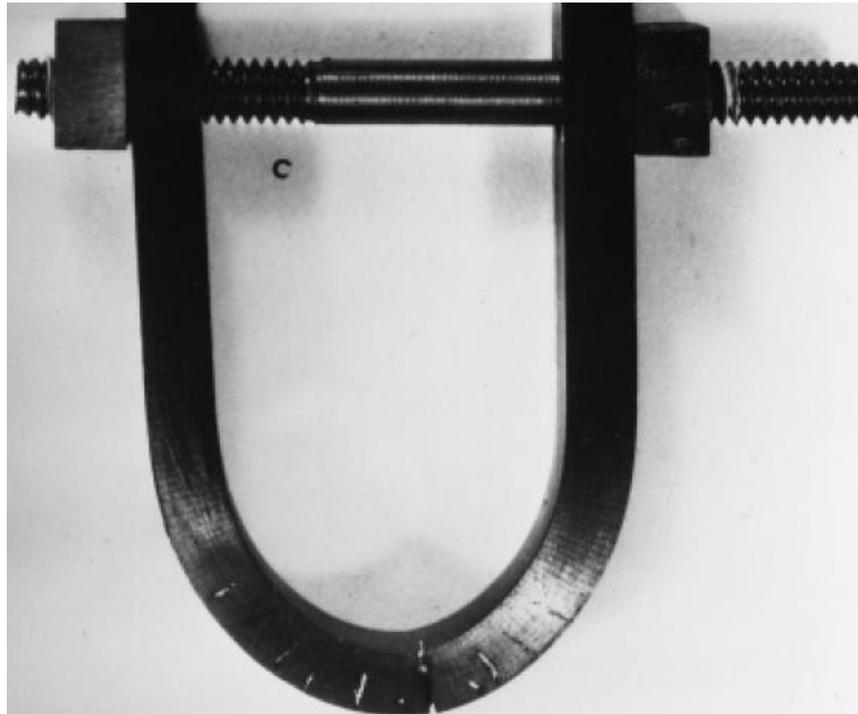
Vários Monocristais muito pequenos conectados entre si

Vários cristais muito pequenos e grande números de poros



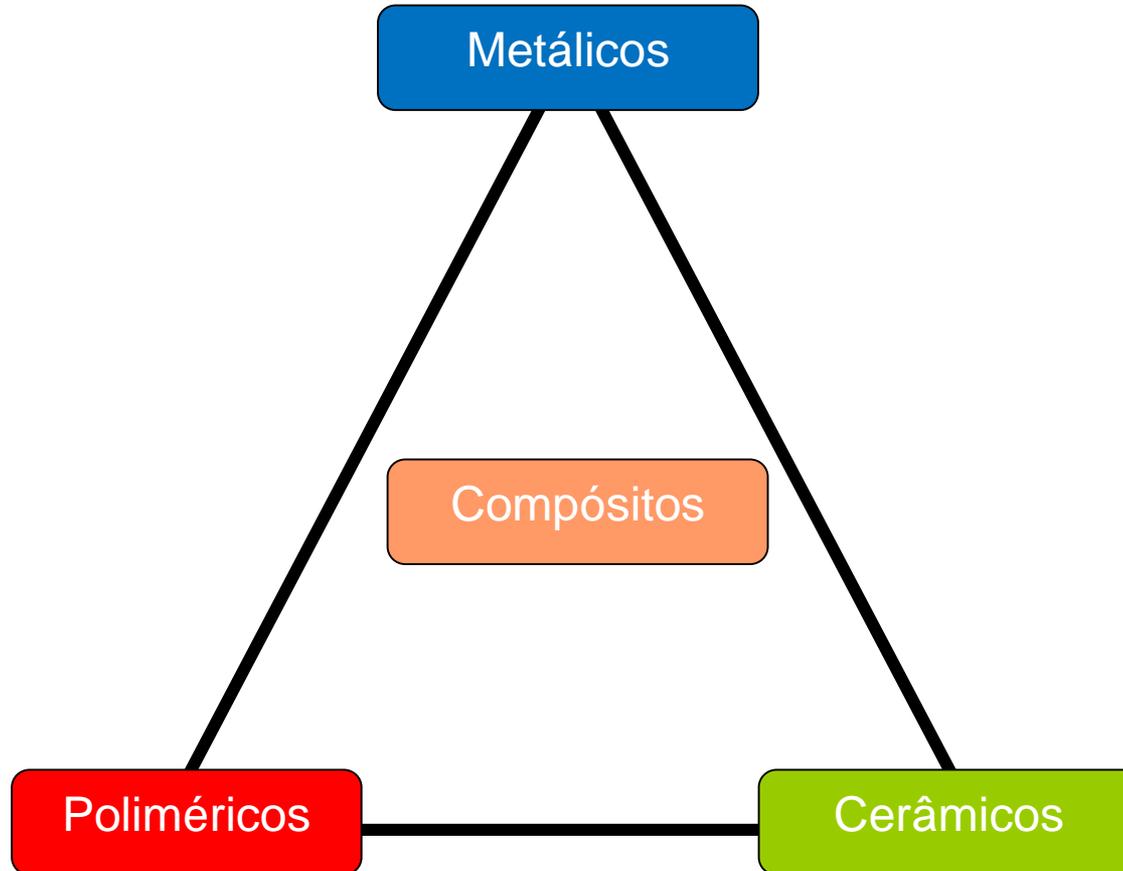
# Propriedade Deteriorativa

Imagem mostra uma barra de aço que foi dobrada até a forma de uma “ferradura” utilizando-se um conjunto de porca e parafuso. Enquanto a peça ficou imersa em água do mar, trincas de corrosão sob tensão se formaram ao longo da parte dobrada, naquelas regiões onde as forças de tração são maiores.





# *TIPOS DE MATERIAIS DE ENGENHARIA*





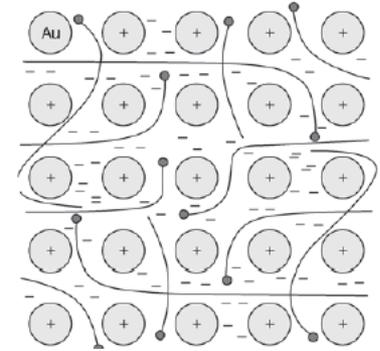
## Exercícios – em sala

1. Faça uma lista de itens de sua cozinha (pelo menos 5). Para cada um deles, determine a classe de materiais utilizados na fabricação do item.
2. Faça uma lista dos componentes principais do seu automóvel (pelo menos 5). Para cada um deles, determine a classe de materiais utilizados na fabricação do item.



# Tipos de Materiais

## Metais



Peças metálicas comuns, incluindo várias molas e garras, são característicos de sua grande variedade de aplicações.



- ✓ Os elétrons não estão ligados a nenhum átomo em particular e por isso são bons condutores de calor e eletricidade;
- ✓ Opacos à luz visível;
- ✓ Têm aparência lustrosa quando polidos - brilho;
- ✓ Geralmente são resistentes (propriedade mecânica e deformáveis (alta plasticidade));
- ✓ São muito utilizados para aplicações estruturais – resistente a fratura: alta tenacidade
- ✓ Sensíveis à corrosão;



# Tipos de Materiais

## Cerâmicos

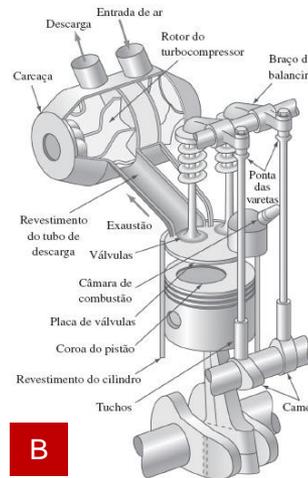
- ✓ óxidos, nitretos e carbetos;
- ✓ Leves e duráveis;
- ✓ Geralmente isolantes de calor e eletricidade;
- ✓ Mais resistentes a altas temperaturas e à ambientes severos que metais e polímeros;
- ✓ São materiais de alta dureza, porém frágeis.
- ✓ Resistentes à corrosão.



(a)

Corp.)

A) Exemplos de materiais desenvolvidos para aplicações avançadas em motores. Válvulas de motores, assentos de válvulas e pinos de pistão fabricados em nitreto de silício. B) Possíveis aplicações de componentes cerâmicos em um motor turbo-diesel.



B

(Segundo *Metals and Materials* December, 1988.)



Material de cozinha fabricado de uma cerâmica vítrea, que oferece boas propriedades mecânicas e térmicas. O prato pode suportar um choque térmico, indo diretamente da chama do fogo para um bloco de gelo.



# Tipos de Materiais

## Polímeros



Painéis de automóveis



Roupas sintéticas



Tecnologia de pneus

- ✓ Compostos orgânicos baseados em carbono, hidrogênio e outros elementos não-metálicos;
- ✓ São constituídos de moléculas muito grandes (macromoléculas);
- ✓ Baixa resistência à deformação (podem ser extremamente flexíveis);
- ✓ Baixo ponto de fusão;
- ✓ Reatividade química mais alta;
- ✓ Baixa densidade, boa razão resistência/peso;
- ✓ Sensíveis a altas temperaturas;
- ✓ Em geral, maus condutores de eletricidade;
- ✓ Podem ser tóxicos quando queimados;
- ✓ Podem ser divididos em Termoplásticos e Termofixos;

# Polímeros



**Figura 1.13** O painel traseiro nesse carro esportivo foi uma aplicação pioneira de um polímero de engenharia em uma aplicação metálica estrutural tradicional. O polímero é um náilon moldado por injeção. (Cortesia da Du Pont Company, Engineering Polymers Division.)



**Figura 1.11** As diversas peças internas de um medidor de tempo em estacionamento são feitas de um polímero de acetato. Os polímeros projetados normalmente são baratos e caracterizados por sua facilidade de moldagem e propriedades estruturais adequadas. (Cortesia da Du Pont Company, Engineering Polymers Division.)



# Tipos de Materiais Compósitos

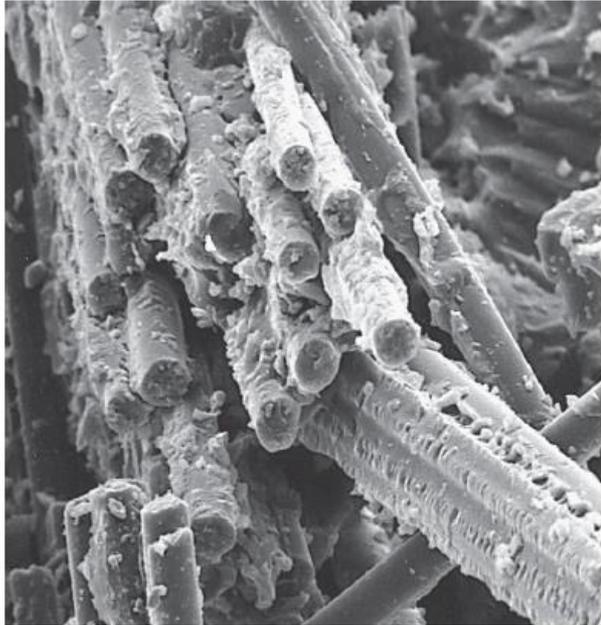


Figura 1.14 Exemplo de um compósito de fibra de vidro, composto de fibras de vidro reforçando, em escala microscópica, uma matriz de polímero. A tremenda profundidade de campo nessa imagem microscópica é característica do microscópio eletrônico de varredura (SEM) (Cortesia da Owens-Corning Fiberglas Corporation.)



Figura 1.15 Cabeça e corpo do taco de golfe moldados a partir de um compósito de epóxi reforçado com fibra de grafite. Os tacos de golfe feitos desse sistema de compósito avançado são mais fortes, mais rígidos e mais leves que o equipamento convencional, permitindo que o jogador lance a bola para mais longe com maior controle. (Cortesia da Fiberite Corporation.)



# Classificação Funcional

Observe que metais, plásticos e cerâmicas aparecem em categorias diferentes.



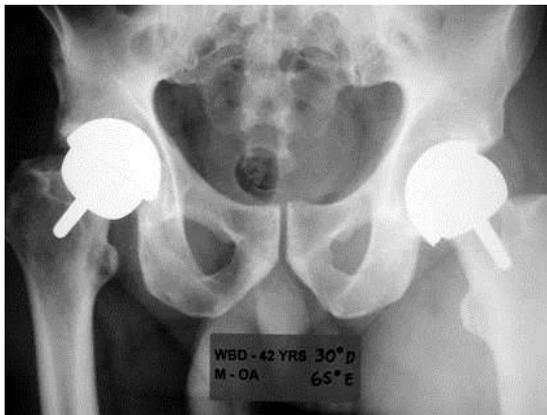


# Biomateriais

Biomateriais são empregados em componentes para implantes de partes em seres humanos;

Esses materiais não devem produzir substâncias tóxicas e devem ser compatíveis com o tecido humano (isto é, não deve causar rejeição);

Metais, cerâmicos, compósitos e polímeros podem ser usados como biomateriais.





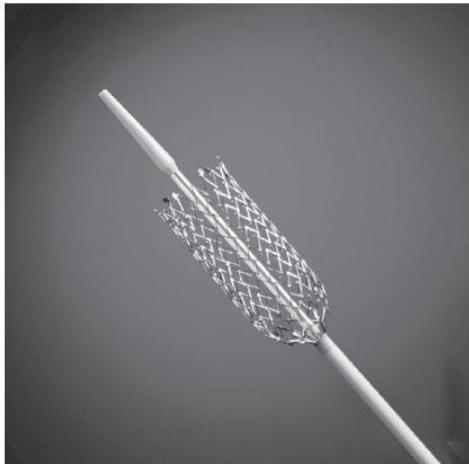
# Materiais Inteligentes

Materiais sensíveis a estímulos do ambiente externo (temperatura, tensão, luz, umidade e campos elétricos e magnéticos) e respondem a tais estímulos variando suas propriedades (mecânicas, elétricas ou de sua aparência), sua estrutura ou suas funções.

Ex: ligas de memória de forma e cerâmicas piezoelétricas.

**MEMs** = sistemas microeletromecânicos = dispositivo miniaturizado.

Ex: airbags em automóveis, para detectar tanto a desaceleração, como o peso da pessoa sentada no carro, de modo a abrir o airbag na velocidade correta.



(a)



(b)

(Fonte: <http://www.designinsite.dk/htmsider/inspmat.htm>.)  
(Cortesia de Nitinol Devices & Components @Sovereign/Phototake NYC.)

Reforço expansível(stent) de paredes arteriais enfraquecidas ou para expansão de artérias contraídas

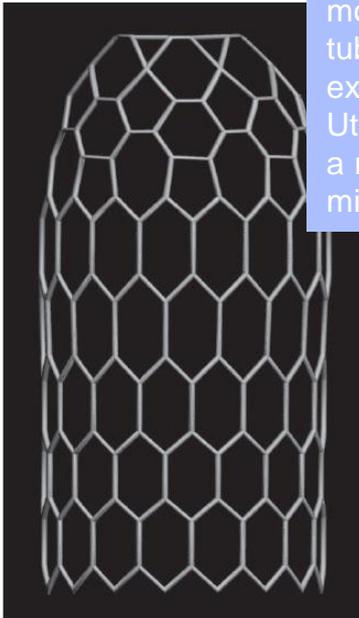
Fundamentos da Ciência e  
Engenharia dos Materiais  
William F. Smith/Javad Hashemi



# Nanomateriais

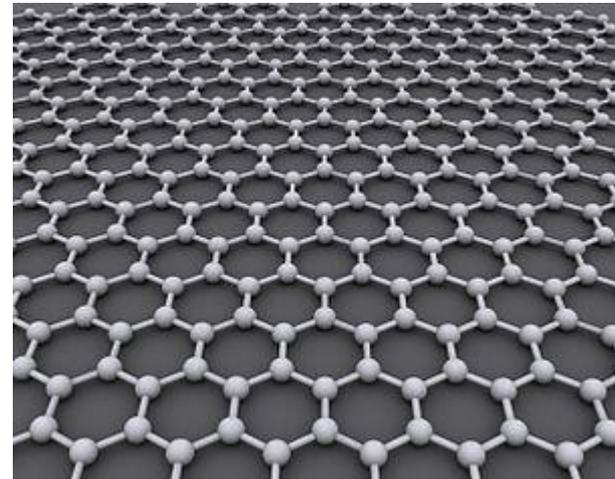
Materiais com escala de comprimento característica, ou seja, diâmetro da partícula, tamanho de grão, espessura da camada, menor do que 100 nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ).

Um esquema de um nanotubo, mostrando padrões hexagonais no tubo e padrões pentagonais nas extremidades. Utilizados como reforço para aumentar a resistência de polímeros e pontas de microscópio.



(Extraído de Eisenstadt, M., "Introduction to Mechanical Properties of Materials: An Ecological Approach", 1. ed., ©1971. Reimpresso com permissão de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.)

**Grafeno** possui uma estrutura hexagonal cujos átomos individuais estão distribuídos, gerando uma fina camada de carbono. É o material mais forte (200 vezes mais resistente do que o aço), mais leve e mais fino (espessura de um átomo) que existe



Grafeno: <http://www.tecmundo.com.br/grafeno>



# Da estrutura às propriedades

As ligas de Al são relativamente dúcteis, enquanto as de Mg são frágeis – necessidade de observação da arquitetura em escala atômica ou microscópica.

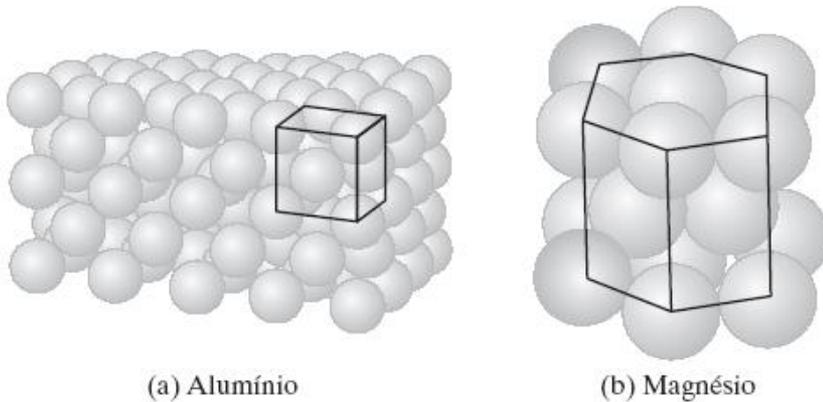


Figura 1.18 Comparação das estruturas cristalinas para (a) alumínio e (b) magnésio.

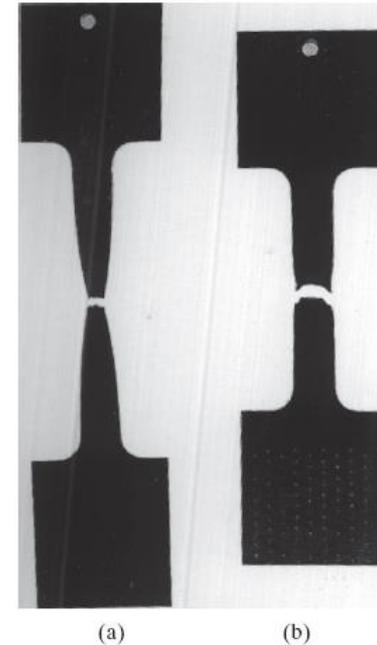
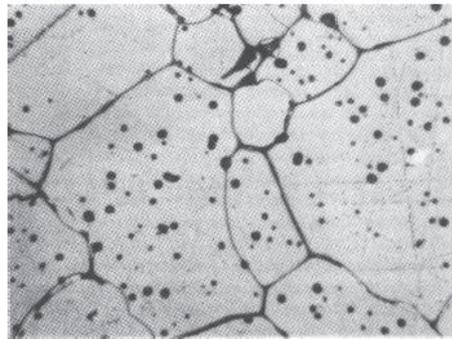


Figura 1.19 Contraste no comportamento mecânico do (a) alumínio (relativamente dúctil) e (b) magnésio (relativamente frágil) resultantes da estrutura em escala atômica mostrada na Figura 1.18. Cada amostra foi puxada com tensão até ser fraturada. (Cortesia de R. S. Wortman.)

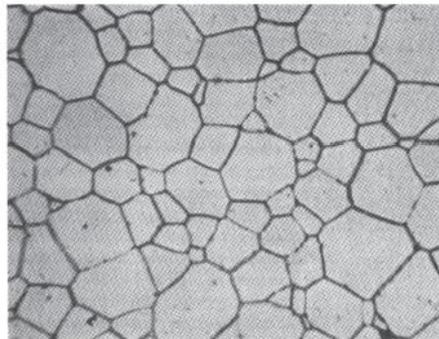


# Da estrutura às propriedades

## Desenvolvimento de cerâmicas transparentes



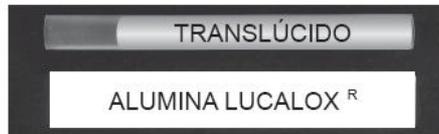
(a) 50 μm



(c) 50 μm



(b)



(d)

Adição de 0,1% em peso de MgO, melhorando processo de densificação em alta temperatura para o pó de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Microestrutura sem porosidade – material quase transparente, com excelente resistência ao ataque químico pelo vapor de sódio.

Figura 1.20 Microestrutura porosa no  $\text{Al}_2\text{O}_3$  policristalino (a) leva a um material opaco (b). A microestrutura quase sem porosidade no  $\text{Al}_2\text{O}_3$  policristalino (c) leva a um material translúcido (d). (Cortesia de C. E. Scott, General Electric Company)



Figura 1.21 Lâmpada de vapor de sódio em alta temperatura, que se tornou possível pelo uso de um cilindro de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  translúcido para conter o vapor de sódio. (Observe que o cilindro de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  está dentro do envelope de vidro exterior.) (Cortesia da General Electric Company.)



# Opções de materiais para indústria

O vasilhame pode ser fabricado em três tipos de materiais diferentes. A bebida pode ser comercializada em latas de alumínio (ou aço - metal), garrafas de vidro (cerâmica) e garrafas plásticas (polímero)





# Propriedades requeridas para-brisas

- 1- Deve ser transparente – permitir que se observe através dele;
- 2- Deve ser impermeável à água – para não ser atingido pela chuva;
- 3- Deve ser tenaz o suficiente para resistir à quebra devido a pequenos impactos;
- 4- Custo – não pode alterar de modo significativo o preço do carro;
- 5- Deve suportar várias temperaturas

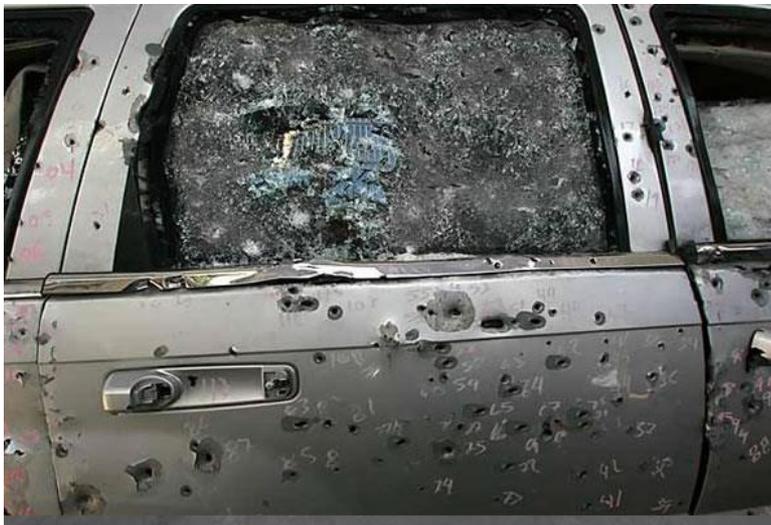
Que material utilizar???

Resposta: Vidro





Conhecer quais as propriedades são importantes para a aplicação específica, compreendendo que a lista das propriedades desejadas pode se tornar mais longa e mais complicada à medida que as necessidades dos produtos evoluem.





## BOM EXEMPLO É POUCO

Enquanto discutimos a adoção de aços especiais em alguns modelos, os europeus já extrapolaram. Nessa era em que o Euro NCAP fica cada vez mais exigente, a Volvo se tornou "neurótica" de vez com a segurança. E isso é bom, como bem prova o V40. Como lá fora a capotagem e batidas traseiras são testadas com violência, a marca sueca investe em uma gaiola (a chamada dog cage) feita em aço do tipo boró estampado a quente. Assim mesmo, zo-

nas que não têm espaço para dissipar tanta energia aturam danos inconcebíveis para um carro convencional. Capaz de ser moldado a quente (no mesmo forno) com espessuras diferentes ao longo da chapa inteira, esse material e soldas a laser incrementam a segurança que inclui airbags até

para os pedestres sob o capô (opcional no V40 vendido no Brasil). Todo cuidado é pouco para uma marca que deseja zerar o número de mortes em acidentes envolvendo seus modelos. É a chamada tolerância zero.

**AUTO**  
ESPORTE



### LEGENDA

- ALUMÍNIO
- AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
- AÇO DE EXTRA RESISTÊNCIA
- AÇO CONVENCIONAL
- AÇO DE RESISTÊNCIA BEM ALTA
- AÇO ULTRA-ALTA RESISTÊNCIA
- PLÁSTICO

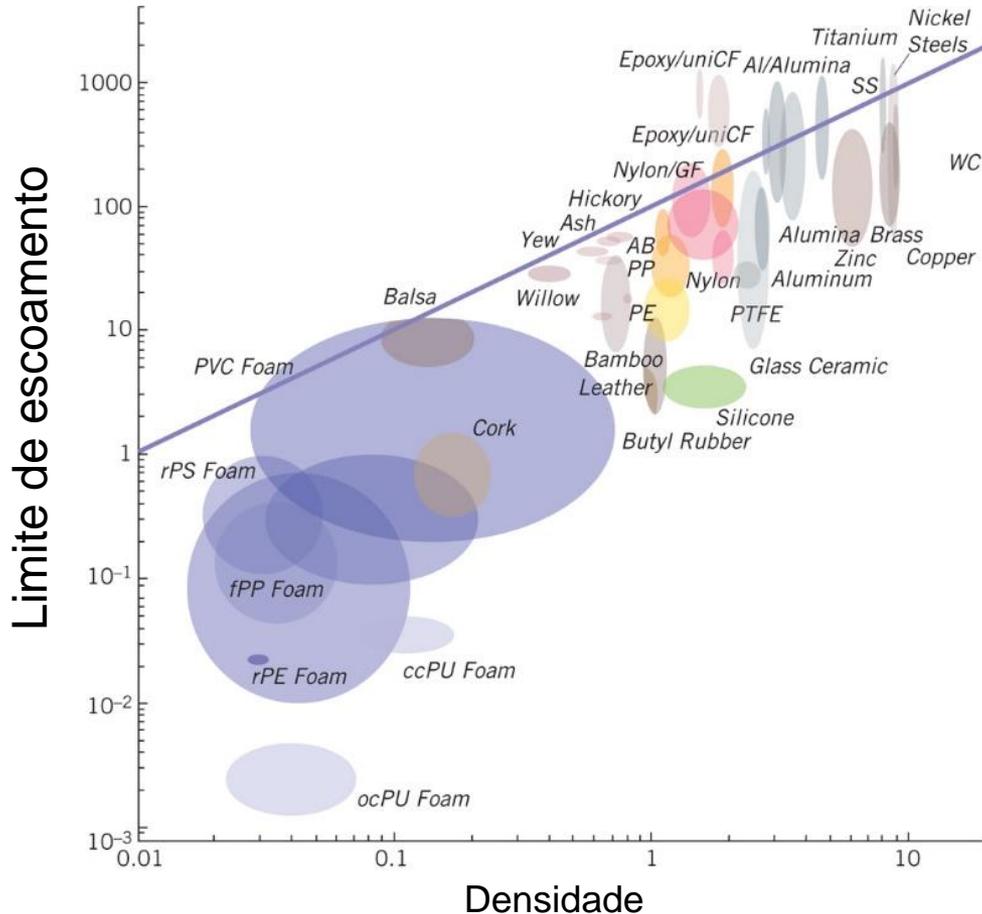
### LEGENDA

- ALTA RESISTÊNCIA 410 MPA
- ULTRA-ALTA RESISTÊNCIA 690 MPA
- MÉDIA RESISTÊNCIA 300 MPA
- ESTAMPAGEM PROFUNDA 260 MPA
- AÇO DO TIPO BORO 1.300 MPA



# Diagramas de Ashby

## Mapas de propriedades



Os mapas de propriedades são mapas de seleção num espaço bidimensional que permite conhecer o comportamento das classes de materiais, com respeito a uma propriedade ou uma combinação de propriedades.

No entanto, não dão qualquer ideia do porquê uma classe específica de materiais suplanta outra em determinada área, nem fornecem qualquer indicação de como selecionar entre a larga faixa de materiais dentro de uma determinada categoria.



# Exemplo: Quadro de uma bicicleta

## Critério de resistência mecânica:

Seleção preliminar de uma material para o quadro de uma bicicleta, considerando um aço de alta resistência, uma liga de titânio, a liga de alumínio AA7074 e um polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC)

Material	Aço- liga	Ti	Al	PRFC
Resistência mecânica (Mpa)	1000	800	500	700

Tabela 1 indica que aço seria o mais adequado,

Material	Aço- liga	Ti	Al	PRFC
IM (resistência/densidade)	133	170	185	390

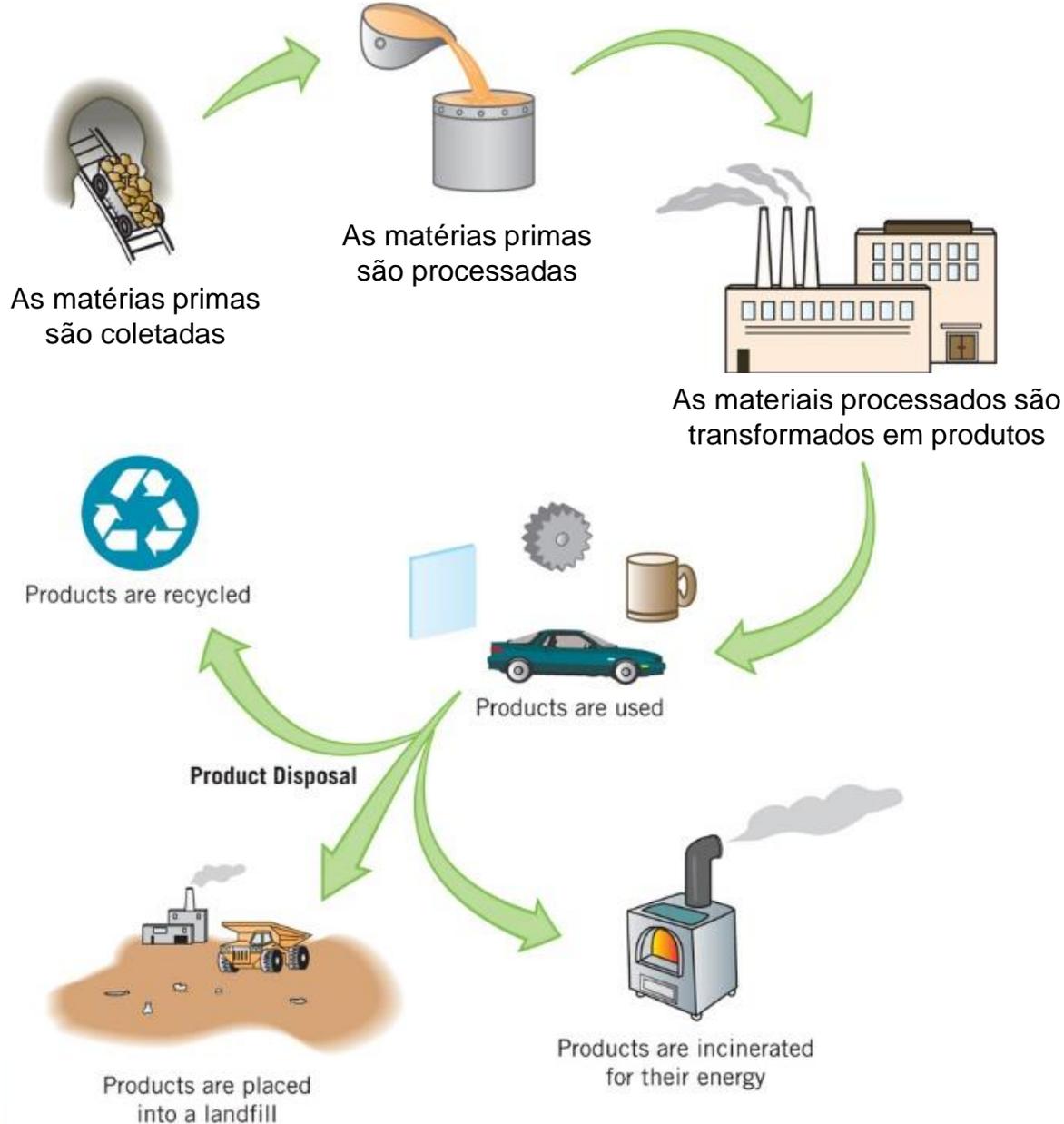
Tabela 2: analisando o índice de mérito, o PRFC aparece como o mais adequado

Material	Aço- liga	Ti	Al	PRFC
US\$/Kg	0,75	15	3	20 (variável)

Tabela3: indica que o uso do PRFC só se justifica em bicicletas de altíssimo desempenho.

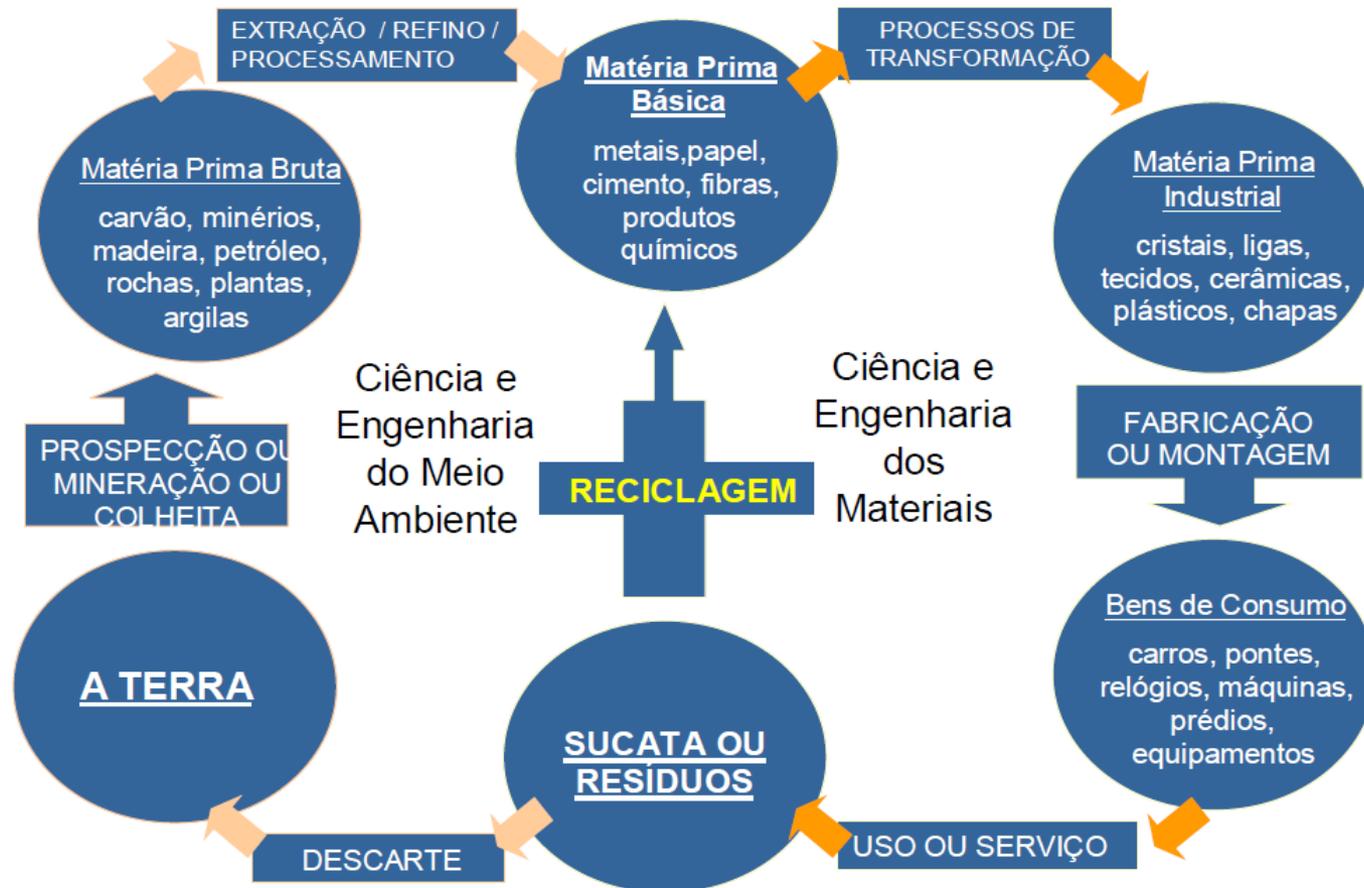


# Sustentabilidade e Engenharia Verde





# Ciclo Global dos Materiais





# Referências Bibliográficas

- 1) Askeland, D. R.; Phule, P. P. Ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: CENGAGE, 2008;
- 2) Callister Jr., W. D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006;
- 3) Callister Jr., W. D. Ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008;
- 4) Shackelford, J. E. Ciência dos materiais. São Paulo: Prentice Hall, 2008;
- 5) Hashemi, J.; Smith, W. Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto Alegre, McGrawHill, 2012.