

# GMEC7301-Materiais de Construção Mecânica

## Introdução

### TIPOS DE MATERIAIS

Quais são os materiais disponíveis para o engenheiro?

## Classificação dos materiais.

O sistema de classificação mais comum considera 5 categorias de materiais:

- a) Metais
- b) Cerâmicos
- c) Polímeros
- d) Compósitos
- e) Semi-condutores

Esta classificação tem como base a natureza das ligações químicas predominantes em cada categoria de material.

## a) Metais

O exemplo mais típico de metal é o aço estrutural, este no caso consiste mais propriamente em uma liga metálica, ou seja, uma mistura de vários elementos metálicos podendo conter também elementos não metálicos predominando a ligação química do tipo metálica. Apresentam estrutura cristalina ordenada.

Características:

- resistência
- conformabilidade
- bom condutor de eletricidade e calor

Envolve praticamente toda a tabela periódica, ou seja:

Ferro e aços a partir do elemento Fe.

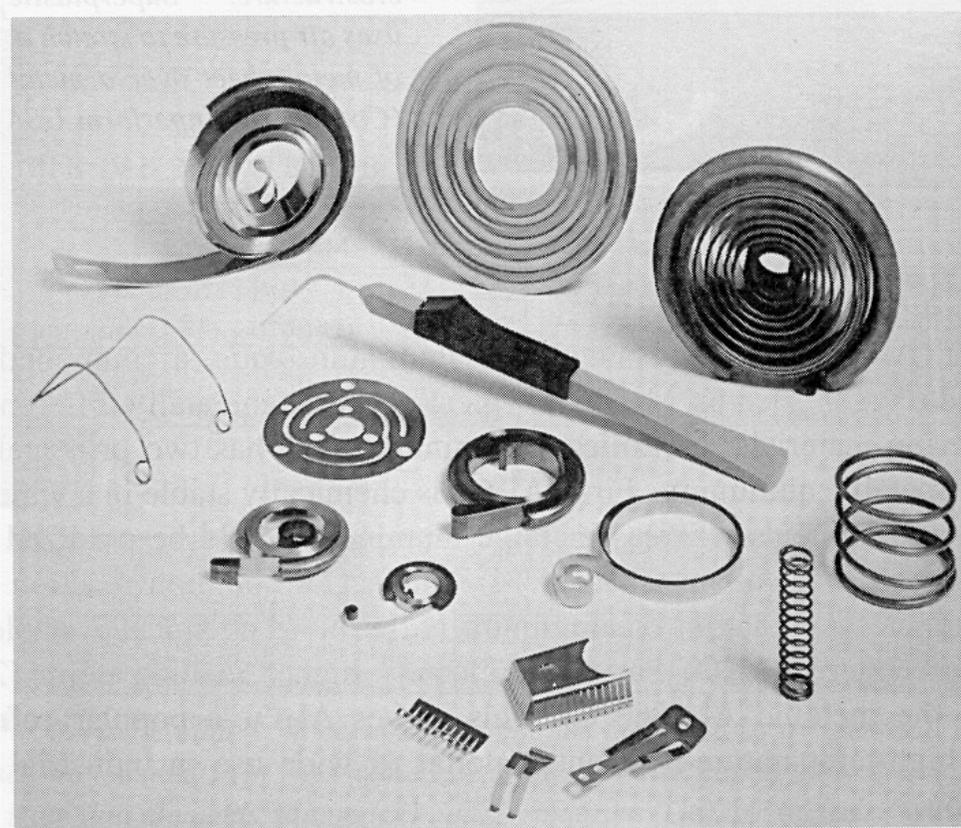
Ligas de alumínio a partir do elemento Al.

Ligas de magnésio a partir do elemento Mg.

Ligas de níquel a partir do elemento Ni.

Ligas de titânio a partir do elemento Ti.

## Exemplos de Peças Metálicas



**FIGURE 1-1** *These examples of common metal parts, including various springs and clips, are characteristic of their wide range of engineering applications. (Courtesy of Elgiloy Company)*

## b) Cerâmicos

São compostos por elementos metálicos e não metálicos onde a união dos átomos ocorre pela formação de ligações iônicas ou parcialmente iônicas havendo neste caso algum caráter covalente.

O termo cerâmico tem origem do grego “keramicos” que significa matéria queimada. Isto se deve ao fato de que as propriedades de utilização só são obtidas após um tratamento térmico denominado de cozimento ou queima.

Principal matéria prima: Argila ou barro.

## Características Gerais dos Materiais Cerâmicos:

- elevada resistência mecânica (alta dureza)
- mau condutor de corrente elétrica em geral com exceção da grafita)
- isolante térmico em geral
- mais estável do que os metais
- resistente à altas temperaturas (600°C a 1600°C) ⇒ refratários
- resistência à corrosão (baixa reatividade)
- elevada fragilidade é a sua principal desvantagem

Os cerâmicos comerciais e mais comuns correspondem a combinação de um metal com pelo menos um dos elementos: C, N, O, P e S.

Quando apresentam estrutura cristalina semelhante aos metais são denominados de cristais cerâmicos.

Quando apresentam estrutura amorfa são vítreos (transparentes).

Pode-se considerar duas famílias principais:

a) Cerâmicas tradicionais:

São compostos sílico-aluminosos de baixo custo provenientes de matérias primas naturais (argila, feldspato, caulim, quartzo). Ex.: materiais para a construção civil.

b) Cerâmicas técnicas ou avançadas:

São compostos binários do tipo metal-metalóide de maior custo geralmente obtidas por compressão e sinterização de pós de alta pureza com um fim específico.

Exemplo:

O alumínio é um exemplo comum de metal, mas o seu óxido  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é típico da família de dos cerâmicos óxidos.

Comparando o Al com o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pode-se verificar:

Ponto de fusão do  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2020^\circ\text{C}$

Ponto de fusão do Al =  $660^\circ\text{C}$

O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é mais estável e resistente ao calor

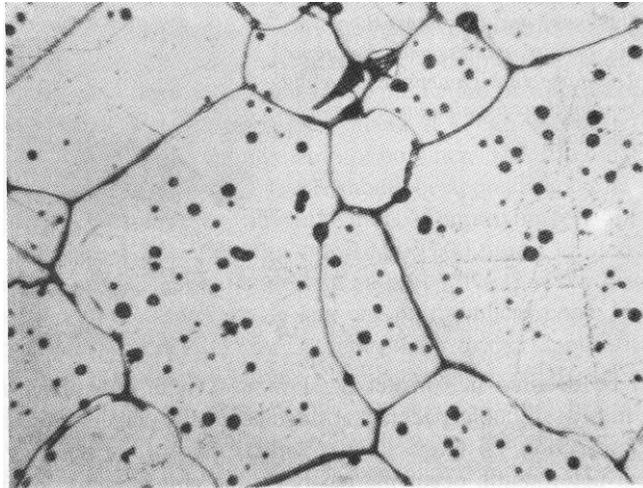
Exemplo de aplicação:

- fabricação de tijolos refratários para aplicação em fornos industriais.

Outros cerâmicos:

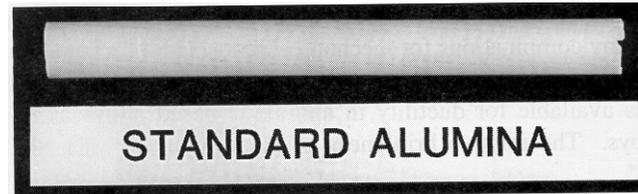
MgO

$\text{SiO}_2$  (base da família de silicatos).



(a)

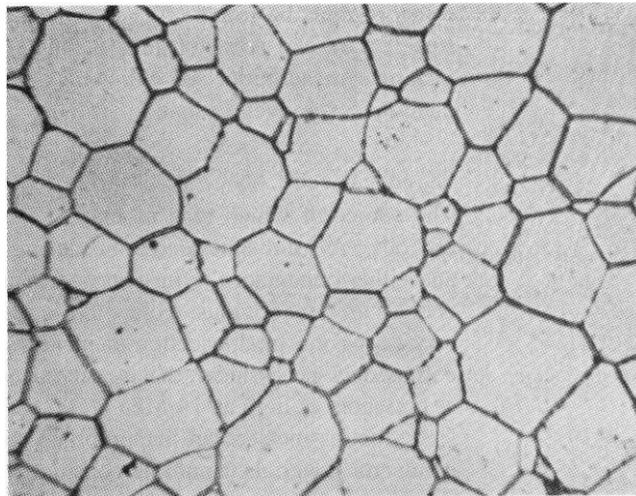
50  $\mu\text{m}$



**STANDARD ALUMINA**

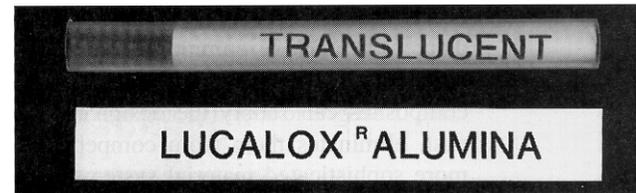
(b)

FIGURE 1-21 Porous microstructure in polycrystalline  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (a) leads to an opaque material (b). (Courtesy of C. E. Scott, General Electric Company)



(a)

50  $\mu\text{m}$



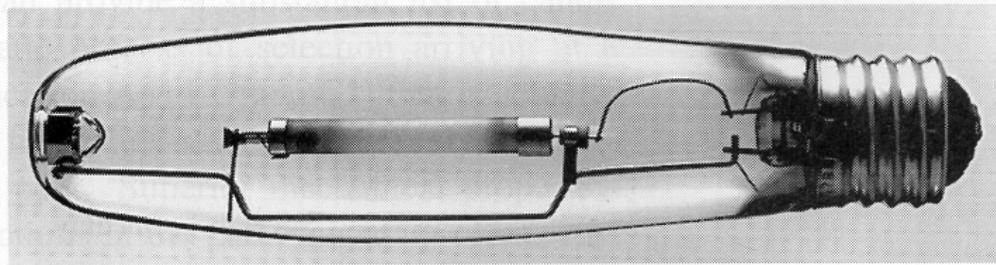
**TRANSLUCENT**

**LUCALOX<sup>®</sup> ALUMINA**

(b)

FIGURE 1-22 Nearly pore-free microstructure in polycrystalline  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (a) leads to a translucent material (b). (Courtesy of C. E. Scott, General Electric Company)

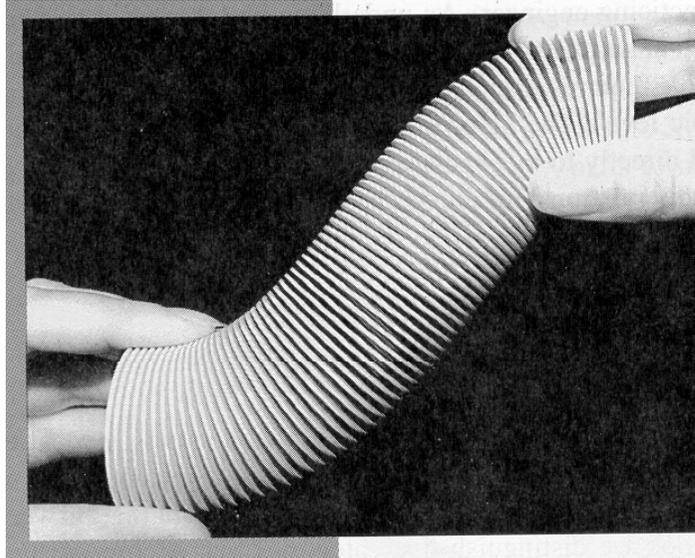
**FIGURE 1-23** *High-temperature sodium vapor lamp made possible by use of a translucent  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cylinder for containing the sodium vapor. (Note that the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cylinder is inside the exterior glass envelope.) (Courtesy of General Electric Company)*



A fragilidade inerente dos cerâmicos é a principal limitação na sua aplicação para componentes estruturais.

A fragilidade é causada pela presença e microtrincas internas e/ou externas (resultantes do processamento o que normalmente é da ordem de 20% em volume) aliadas a baixa capacidade de deformação permanente.

O aperfeiçoamento dos processo de fabricação tem permitido obter materiais com baixíssimo índice de defeitos, porém com custo ainda bastante elevado.

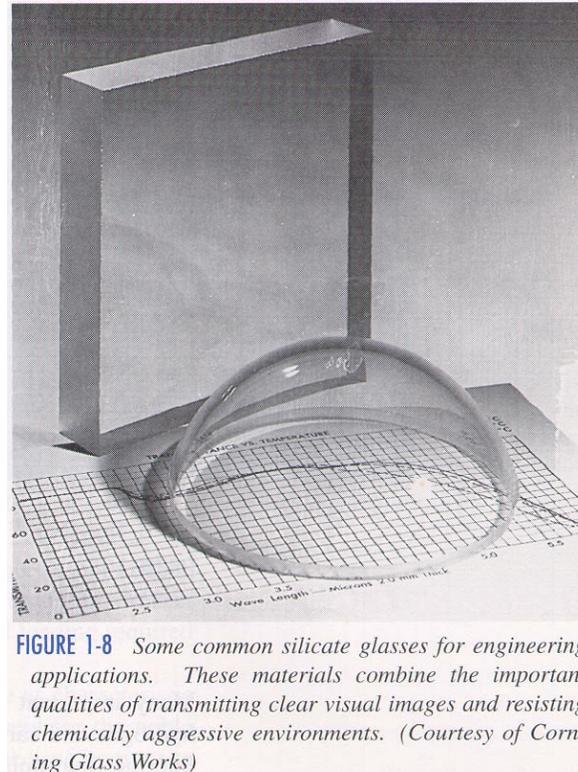


*Symbolic of radically new trends in materials engineering is this ceramic spring. Advanced ceramic materials, such as this zirconium dioxide, have sufficiently improved mechanical properties, as compared to traditional ceramics, to permit structural applications once reserved for metallic materials. This ceramic spring was formed by a precision machining operation involving diamond tools. (Courtesy of Machined Ceramics)*

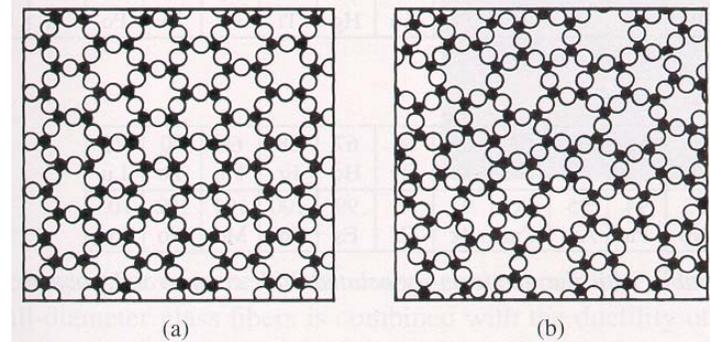
## Alguns Exemplos Cerâmicas Técnicas ou Avançadas



**FIGURE 1-9** Cookware made of a glass-ceramic provides good mechanical and thermal properties. The casserole dish can withstand the thermal shock of simultaneous high temperature (the torch flame) and low temperature (the block of ice). (Courtesy of Corning Glass Works)



**FIGURE 1-8** Some common silicate glasses for engineering applications. These materials combine the important qualities of transmitting clear visual images and resisting chemically aggressive environments. (Courtesy of Corning Glass Works)



**FIGURE 1-7** Schematic comparison of the atomic-scale structure of (a) a ceramic (crystalline) and (b) a glass (noncrystalline). The open circles represent a nonmetallic atom, and the solid black circles represent a metal atom.

### c) Polímeros

São os materiais de maior impacto na engenharia desenvolvidos a partir da manipulação de macro moléculas através da química orgânica.

Genericamente denominados de plásticos são atualmente chamados de “plásticos de engenharia”

Definição: Polímeros são longas cadeias de moléculas compostas por muitos pedaços (“meros”).

Exemplo: O polímero comercial mais comum é o polietileno, que tem como base a molécula do etileno  $(C_2H_4)_n$ , onde  $n$  representa o número elementos que compõem a molécula sendo  $100 \leq n \leq 1000$ .

A formação da macromolécula ocorre por um processo denominado de polimerização.

A maioria dos polímeros são compostos simples de C e H que combinados com outros elementos produzem tipos específicos de polímeros.

- com oxigênio  $\Rightarrow$  acrílicos
- com nitrogênio  $\Rightarrow$  nylons
- com flúor  $\Rightarrow$  fluoroplastos ou fluoelastômeros (viton)
- com silício  $\Rightarrow$  silicones

Características:

- são materiais de grande ductilidade
- baixo peso
- baixo custo com alternativa para aplicações estruturais
- baixa resistência quando comparado aos metais
- baixo ponto de fusão e alta reatividade (plásticos comuns)

Alguns polímeros de engenharia:

- Ex.: PET (polietileno tereftalato)
- EPDM (etileno propeno diamino monômero)
- PP (polipropileno)
- PE (polietileno)
- PVC (policloreto de vinila)

Ligas poliméricas: combinação de dois ou mais tipos.



**FIGURE 1-10** *Miscellaneous internal parts of a contemporary parking meter are made of an acetal polymer. Engineered polymers are typically inexpensive and characterized by ease of formation and adequate structural properties. (Courtesy of the Du Pont Company, Engineering Polymers Division)*

#### d) Compósitos

O compósito é um material formado pela combinação de dois ou mais componentes, podendo ser considerado um material multifase. Esta combinação tem por objetivo uma otimização das propriedades.

Um compósito pode resultar portanto, de uma combinação das três categorias anteriores (metais, cerâmicos e polímeros).

O termo tem uma conotação moderna, porém materiais compósitos são mais antigos do que a roda.

Exemplo de uso:

-palha e pelos de cavalo para reforçar tijolos de barro foram usados na antiga babilônia à 5000 anos atrás.

Exemplos de compósitos: papel e concreto

Exemplos de compósitos naturais: osso, músculo, madeira. (suportam carga).

Aplicações diversas:

- Variam desde amortecedores pneumáticos até embalagens e espumas.

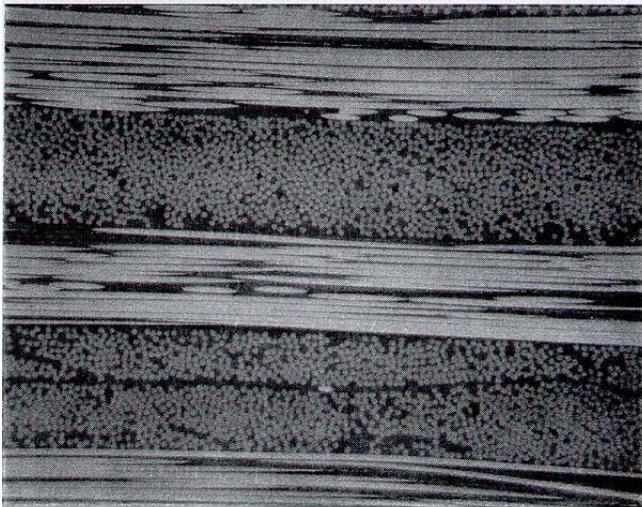
A modernidade está na indústria do compósito.

Desenvolvimento de tecnologia de fabricação para aplicação em: embarcações, aeronaves, estruturas diversas e sistemas de transporte em geral.

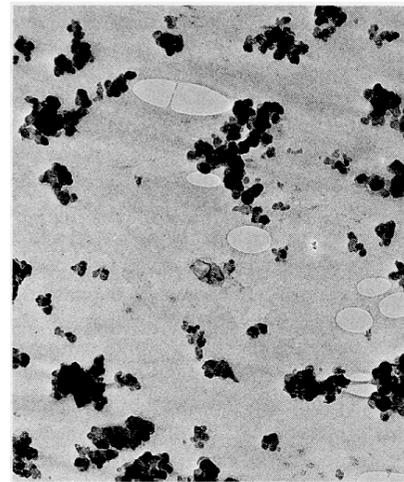
- Obtenção por meios artificiais, ou seja, feitos pelo homem.
- Objetivo: Produzir materiais de alta resistência com baixo peso e menor custo. A combinação de dois ou mais materiais pode resultar em propriedades superiores àquela que os componentes apresentam isoladamente. Princípio da ação combinada.

## Exemplo: Fibra de vidro

Consiste em finos fios de vidro embebidos em uma matriz de polímero. A mistura resulta em um material com propriedades superiores a de cada componente isoladamente.



Fibra de vidro em matriz de poliéster.



**Figure 17.5** Electron micrograph showing the spherical reinforcing carbon black particles in a synthetic rubber tire tread compound. The areas resembling water marks are tiny air pockets in the rubber. 80,000 $\times$ . (Courtesy of Goodyear Tire & Rubber Company.)

Partículas de “negro de fumo” (carbon black) em borracha sintética. Fabricação de pneus.

## e) Semi-condutores

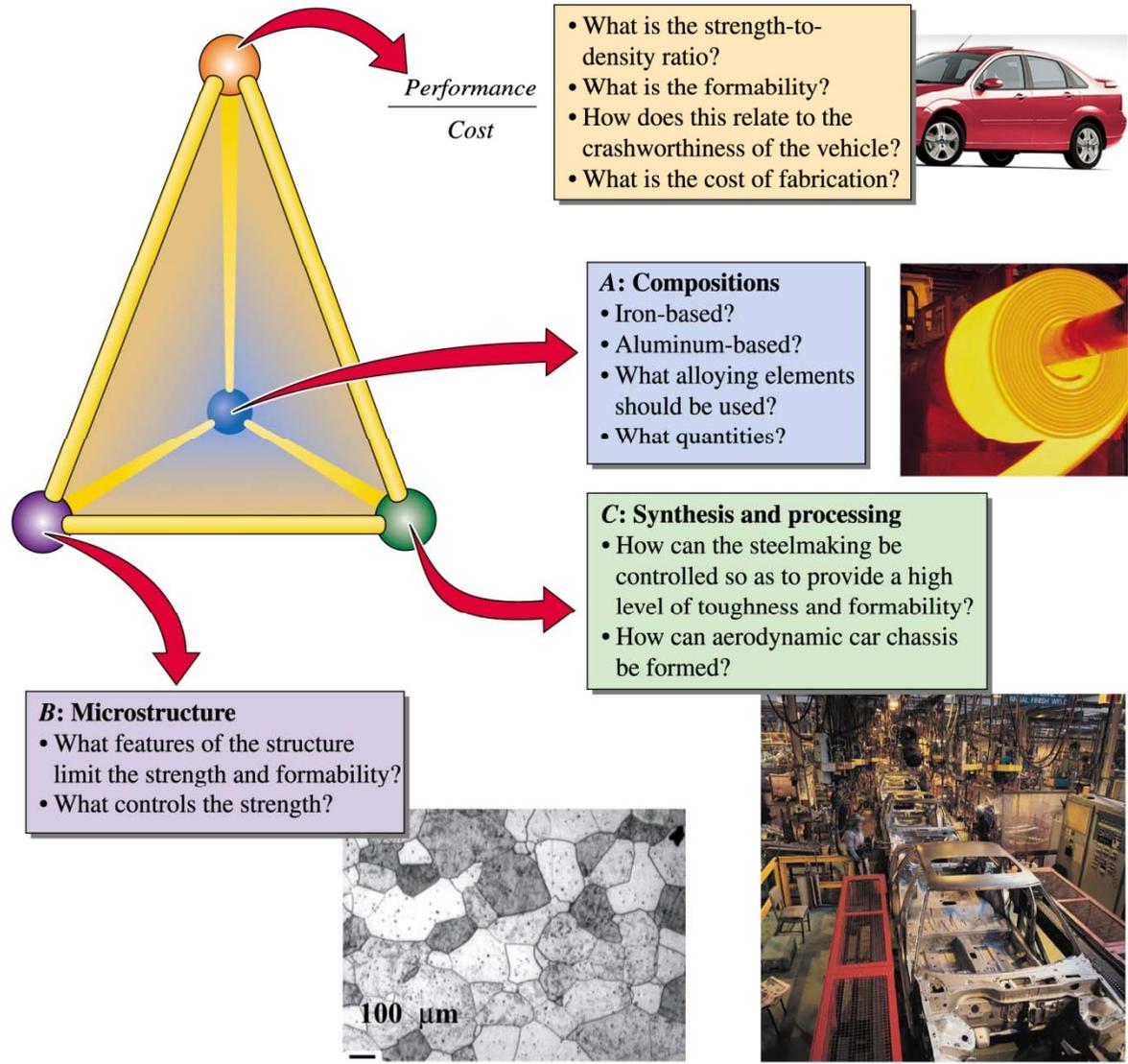
Possuem habilidade intermediária de conduzir a corrente elétrica.  
Com base na natureza das ligações químicas não é possível classificá-los nas 4 categorias anteriores.

Podem ser identificados na tabela periódica onde Si, Ge e Sn fazem a separação entre os condutores e não condutores.

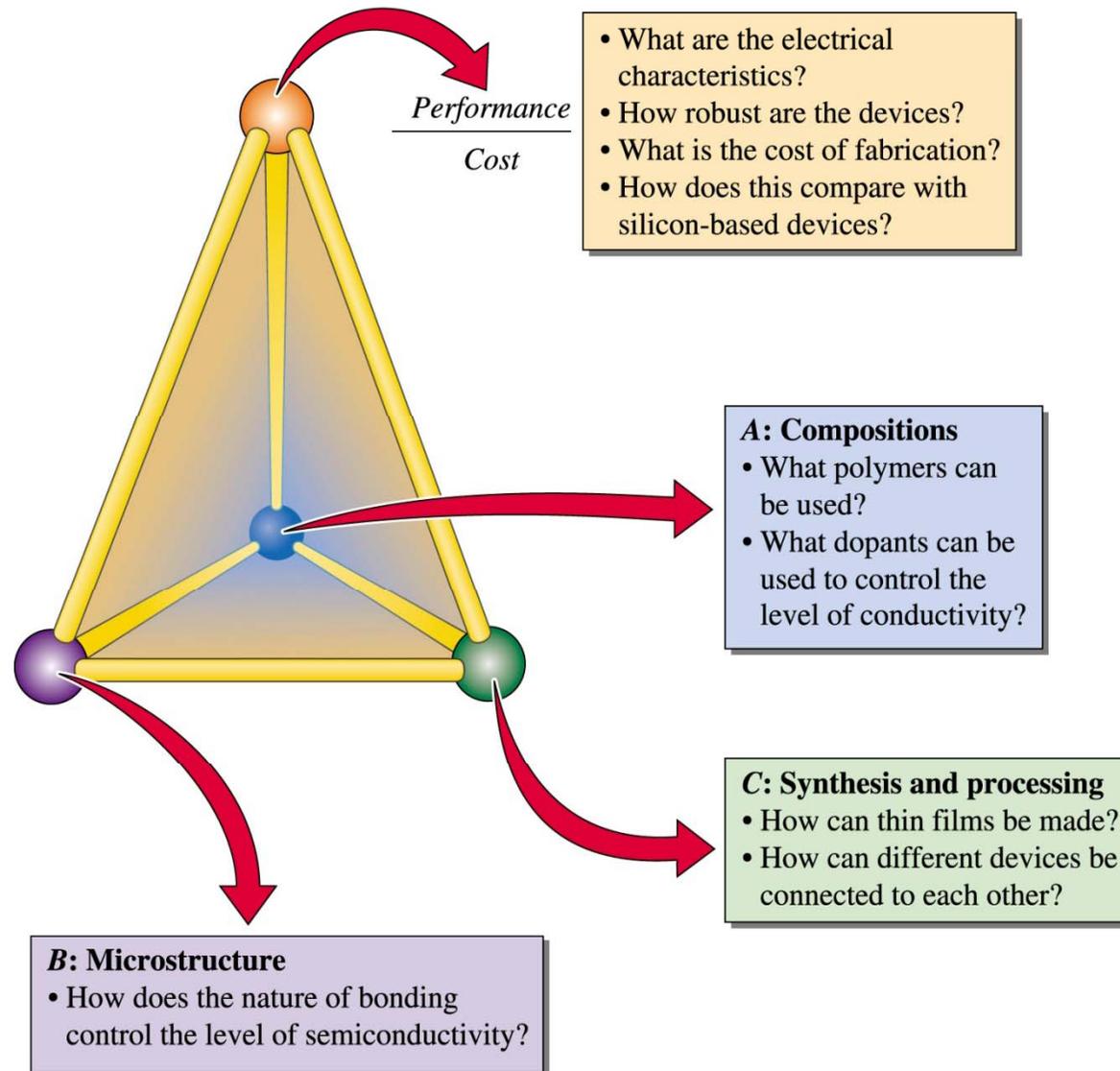
A base para os semi condutores são os elementos Si e Ge.  
O controle preciso da pureza química garante efeitos particulares com relação as propriedades eletrônicas.

### Aplicações:

- retificadores para unidades de LASER (GeAs)
- células solares (CdS)
- retificadores de corrente elétrica (diodos de Si ou Ge).



**Figure 1-1** Application of the tetrahedron of materials science and engineering to sheet steels for automotive chassis. Note that the microstructure-synthesis and processing-composition are all interconnected and affect the performance-to-cost ratio.



**Figure 1-2** Application of the tetrahedron of materials science and engineering to semiconducting polymers for microelectronics.

**TABLE 1-1 ■ Representative examples, applications, and properties for each category of materials**

	<b>Examples of Applications</b>	<b>Properties</b>
<b>Metals and Alloys</b>		
Copper	Electrical conductor wire	High electrical conductivity, good formability
Gray cast iron	Automobile engine blocks	Castable, machinable, vibration-damping
Alloy steels	Wrenches, automobile chassis	Significantly strengthened by heat treatment
<b>Ceramics and Glasses</b>		
SiO <sub>2</sub> –Na <sub>2</sub> O–CaO	Window glass	Optically transparent, thermally insulating
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, SiO <sub>2</sub>	Refractories (i.e., heat-resistant lining of furnaces) for containing molten metal	Thermally insulating, withstand high temperatures, relatively inert to molten metal
Barium titanate	Capacitors for microelectronics	High ability to store charge
Silica	Optical fibers for information technology	Refractive index, low optical losses
<b>Polymers</b>		
Polyethylene	Food packaging	Easily formed into thin, flexible, airtight film
Epoxy	Encapsulation of integrated circuits	Electrically insulating and moisture-resistant
Phenolics	Adhesives for joining plies in plywood	Strong, moisture resistant
<b>Semiconductors</b>		
Silicon	Transistors and integrated circuits	Unique electrical behavior
GaAs	Optoelectronic systems	Converts electrical signals to light, lasers, laser diodes, etc.
<b>Composites</b>		
Graphite-epoxy	Aircraft components	High strength-to-weight ratio
Tungsten carbide-cobalt (WC-Co)	Carbide cutting tools for machining	High hardness, yet good shock resistance
Titanium-clad steel	Reactor vessels	Low cost and high strength of steel, with the corrosion resistance of titanium



**Figure 1-6** Functional classification of materials. Notice that metals, plastics, and ceramics occur in different categories. A limited number of examples in each category are provided.

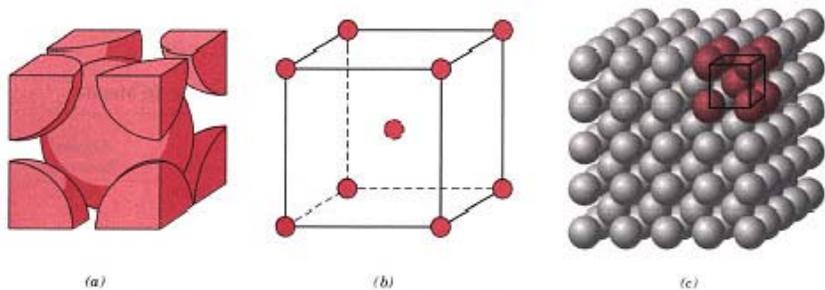
## Relação Estrutura X Propriedades

As propriedades de um material estão diretamente ligadas a sua estrutura interna em escala atômica ou microscópica (microestrutura).

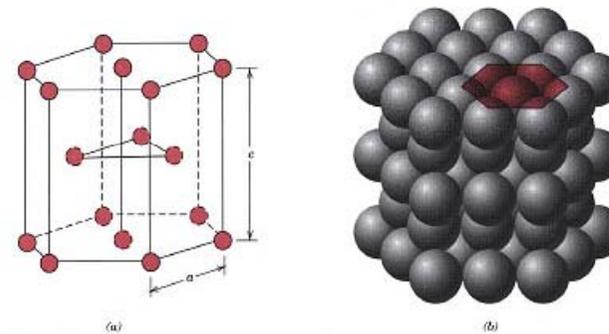
Exemplo:

- Ligas de alumínio são dúcteis (boa conformabilidade)
- Ligas de titânio são frágeis (baixa conformabilidade)

Estes metais tem arranjos cristalinos diferentes. O alumínio é CFC e o titânio é HC.



**FIGURE 3.2** For the body-centered cubic crystal structure, (a) a hard sphere unit cell representation, (b) a reduced-sphere unit cell, and (c) an aggregate of many atoms. (Figure (c) from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 51. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



**FIGURE 3.3** For the hexagonal close-packed crystal structure, (a) a reduced-sphere unit cell ( $a$  and  $c$  represent the short and long edge lengths, respectively), and (b) an aggregate of many atoms. (Figure (b) from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 51. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

## Seleção de Materiais

- 1) Qual o material mais adequado para uma aplicação (metal, cerâmico)?
- 2) Dentro da categoria escolhida qual é o melhor?

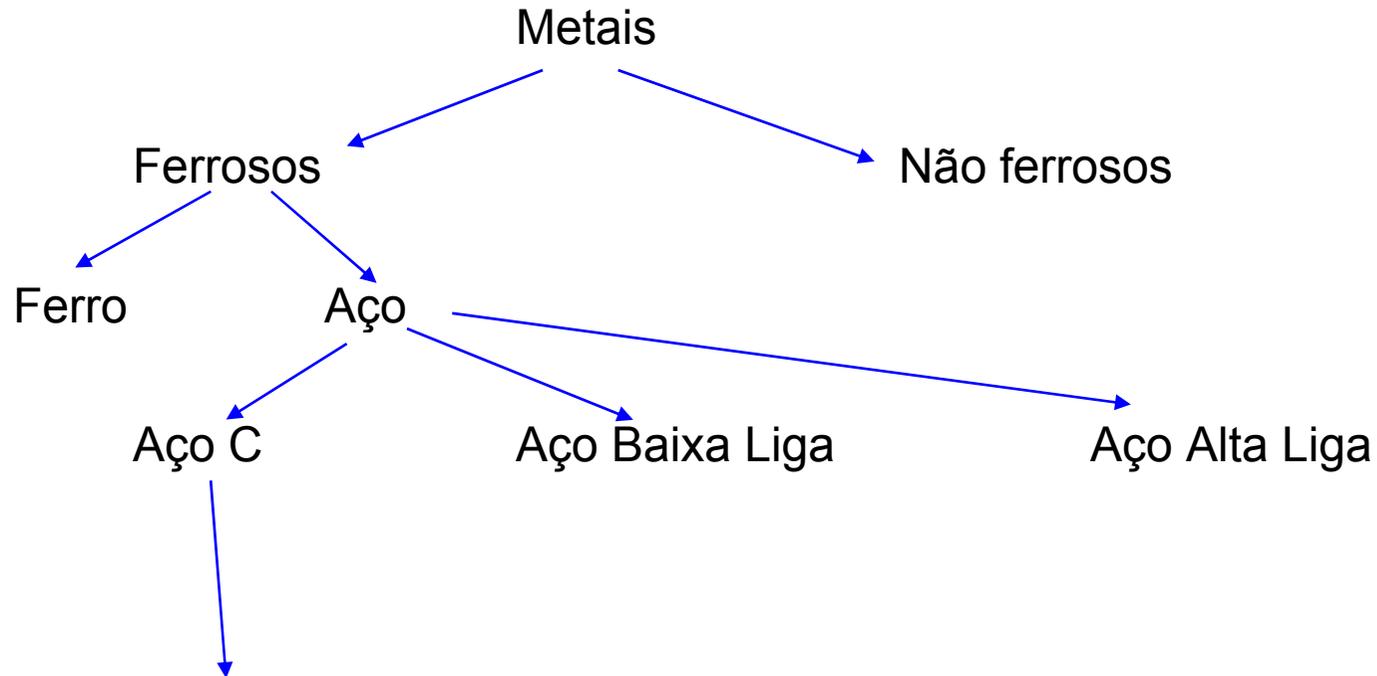
Exemplo: Selecionar um material para fabricação de um cilindro para armazenamento de gás como um cilindro de oxigênio hospitalar.

Pontos a considerar:

- Resistir a pressão de trabalho e manuseio  $\Rightarrow$  resistência
- Características adequadas a fabricação  $\Rightarrow$  conformabilidade (ductilidade)
- Custo da matéria prima

<div style="text-align: right;">Prop.</div> <div style="text-align: left;">Materiais</div>	Resistência	Ductilidade	Custo	Seleção Final
Metais	→	→	→	→
Cerâmicos	→	X		
Polímeros	X			
Semi-condutores	X			
Compósitos	→	→	X	

## Seleção do Material “Ótimo”



ASTM A 414 Grau G

Composição química: 0,31% C; 1,35%Mn; 0,035%P (máx.); 0,04%S (máx.)