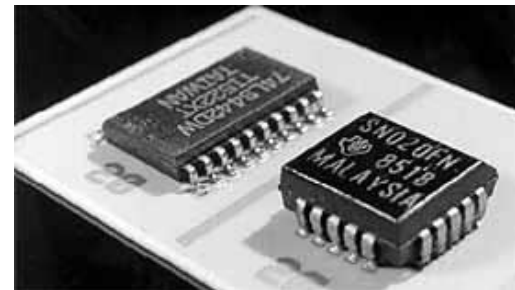
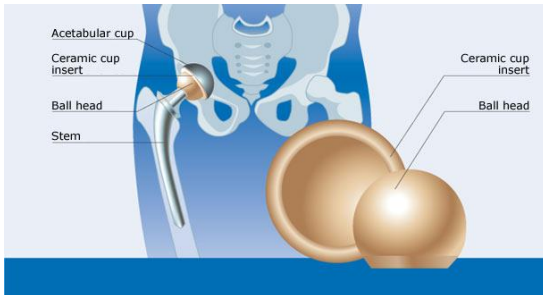


Materiais Cerâmicos

Introdução/Revisão



Programa

- Propriedades de materiais cerâmicos
 1. Propriedades Mecânicas
 2. Propriedades Térmicas
 3. Propriedades Termomecânicas
 4. Propriedades Ópticas
 5. Propriedades Elétricas e Dielétricas
 6. Propriedades Magnéticas
 7. Biocerâmicas

Avaliações

datas e conteúdo

- **P1 – 28/04/2016**
 1. Propriedades Mecânicas
 2. Propriedades Térmicas
 3. Propriedades Termomecânicas
- **P2 – 23/06/2016**
 4. Propriedades Ópticas
 5. Propriedades Elétricas e Dielétricas
 6. Propriedades Magnéticas
 7. Biocerâmicas

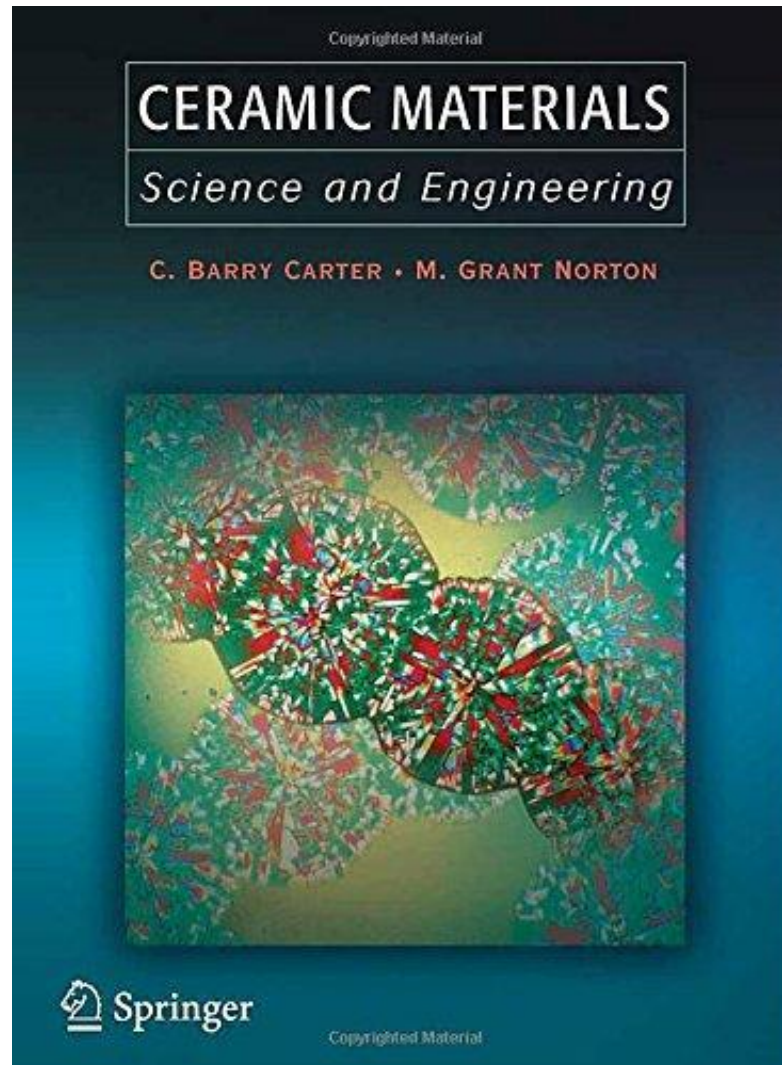
Avaliação

- Nota final (NF)
- $NF = \left(\frac{P1+P2}{2} \right) * 0,8 + (\text{média exercícios}) * 0,2$
- P1 = nota da Prova 1
- P2 = nota da Prova 2
- *Média exercícios* corresponde às notas dos exercícios dados semanalmente para serem feitos em casa para entregar, em geral, na semana seguinte.

Bibliografia

- CERAMIC MATERIALS: SCIENCE AND ENGINEERING, C. Barry Carter, M. Grant Norton, Springer, 2007 (Principal)
- INTRODUCTION TO CERAMICS, W. David Kingery, H. K. Bowen, Donald R. Uhlmann, 2a. Edição, Wiley-Interscience, 1976 (Principal)
- FUNDAMENTALS OF CERAMICS, M. W. Barsoum, Taylor & Francis, Series in Material Science and Engineering, 2002 (complementar)
- MODERN CERAMIC ENGINEERING: PROPERTIES, PROCESSING, AND USE IN DESIGN, David Richerson, 3a. Edição, Materials Engineering v. 29, CRC Press, 2005 (complementar)
- PHYSICAL CERAMICS, Y. M. Chiang, D. P. Birnie III, W. D. Kingery, John Wiley & Sons, New York, 1997. (complementar)
- Ciência Engenharia de Materiais - Uma Introdução, William D. Callister Jr., 8ª. Edição (e antecessoras), LTC, 2012 (complementar)
- E. D. Zanotto, A. R. Migliore Jr., Propriedades mecânicas dos materiais cerâmicos. Uma introdução, CERÂMICA 37 [247] (1991) 7-16 (artigo em português, complementar)

Seguiremos o livro:



Classificação dos materiais

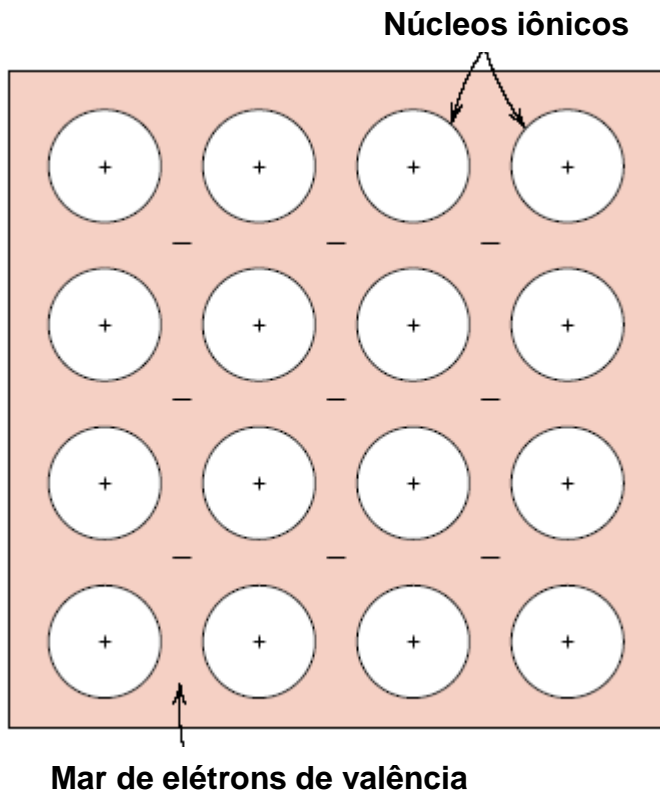
- Natureza da ligação química
 - Metais
 - Polímeros
 - **Cerâmicas**
- Dependendo da condutividade elétrica
 - Semicondutores
- Dependendo da estrutura do material (matriz + fase dispersa ou de reforço)
 - Compósitos

Valores de eletronegatividade

IA												0						
1 H 2.1		IIA																2 He -
3 Li 1.0	4 Be 1.5											5 B 2.0	6 C 2.5	7 N 3.0	8 O 3.5	9 F 4.0	10 Ne -	
11 Na 0.9	12 Mg 1.2						VIII					13 Al 1.5	14 Si 1.8	15 P 2.1	16 S 2.5	17 Cl 3.0	18 Ar -	
19 K 0.8	20 Ca 1.0	21 Sc 1.3	22 Ti 1.5	23 V 1.6	24 Cr 1.6	25 Mn 1.5	26 Fe 1.8	27 Co 1.8	28 Ni 1.8	29 Cu 1.9	30 Zn 1.6	31 Ga 1.6	32 Ge 1.8	33 As 2.0	34 Se 2.4	35 Br 2.8	36 Kr -	
37 Rb 0.8	38 Sr 1.0	39 Y 1.2	40 Zr 1.4	41 Nb 1.6	42 Mo 1.8	43 Tc 1.9	44 Ru 2.2	45 Rh 2.2	46 Pd 2.2	47 Ag 1.9	48 Cd 1.7	49 In 1.7	50 Sn 1.8	51 Sb 1.9	52 Te 2.1	53 I 2.5	54 Xe -	
55 Cs 0.7	56 Ba 0.9	57-71 La-Lu 1.1-1.2	72 Hf 1.3	73 Ta 1.5	74 W 1.7	75 Re 1.9	76 Os 2.2	77 Ir 2.2	78 Pt 2.2	79 Au 2.4	80 Hg 1.9	81 Tl 1.8	82 Pb 1.8	83 Bi 1.9	84 Po 2.0	85 At 2.2	86 Rn -	
87 Fr 0.7	88 Ra 0.9	89-102 Ac-No 1.1-1.7																

FIGURE 2.7 The electronegativity values for the elements. (Adapted from Linus Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, 3rd edition. Copyright 1939 and 1940, 3rd edition copyright © 1960, by Cornell University. Used by permission of the publisher, Cornell University Press.)

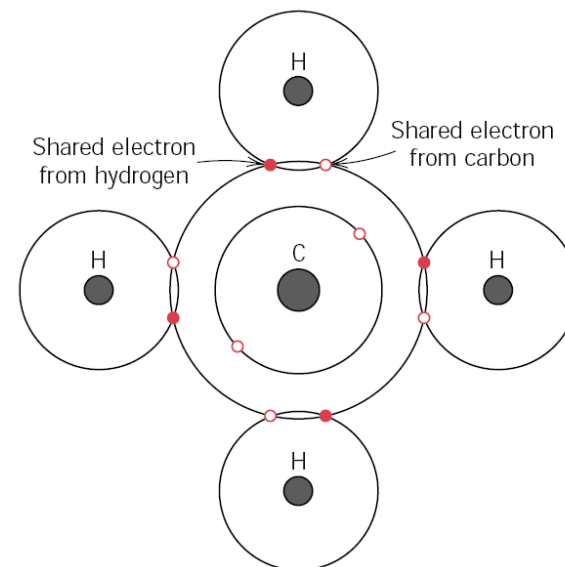
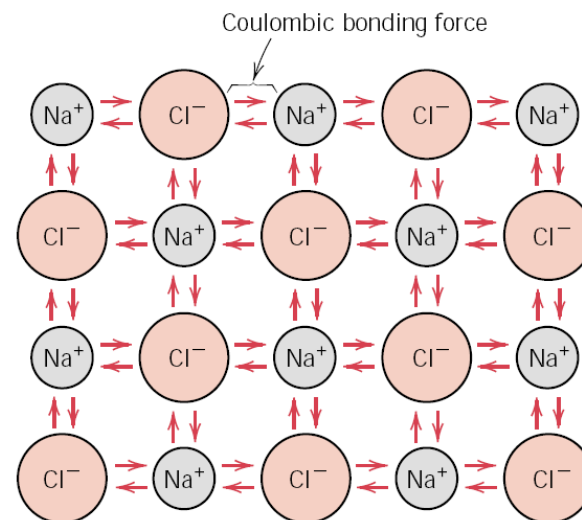
Ligação metálica



- Ligação primária (como as ligações iônica e covalente), onde os elementos metálicos, com 1, 2 ou 3 elétrons de valência, compartilham tais elétrons entre si.
- Esses elétrons não se encontram fortemente ligados a um átomo em particular no sólido, mas estão mais ou menos livres para se movimentar por todo o metal (“mar ou nuvem de elétrons”).
- Os elétrons das camadas mais internas junto com os núcleos atômicos formam *núcleos iônicos*, com carga líquida positiva de magnitude igual à carga total dos elétrons de valência.
- Possui caráter não direcional e os elétrons não estão localizados, o que resulta em boa condutividade de calor e eletricidades, grande ductilidade.

Relembrando *ligações*

- **Ligação iônica** – elétrons são transferidos do elemento mais *eletropositivo* para o mais *eletronegativo*, formando íons (carregados eletricamente), que se atraem – os elétrons são localizados, mas a ligação é não-direcional, ou seja, tem a mesma intensidade em qualquer direção.
- **Ligação covalente** – os elementos apresentam eletronegatividades semelhantes; elétrons são compartilhados – os elétrons são localizados e a ligação é direcional, ou seja, ocorre em direções preferenciais.



Caráter iônico ou covalente da ligação

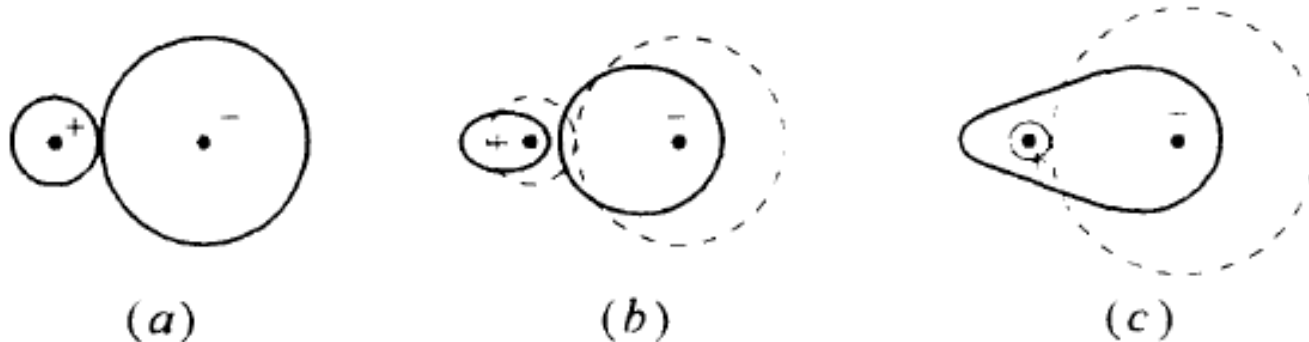


Figure 4.2 Polarization effects: (a) idealized ion pair with no polarization; (b) polarized ion pair; (c) polarization sufficient to form covalent bond.

$$\% \text{ caráter iônico} = \{1 - \exp[-0,25(X_A - X_B)^2]\} \times 100$$

Onde X_A e X_B são as eletronegatividades dos respectivos elementos.

Percentual de Caráter Iônico de várias cerâmicas

<i>Material</i>	<i>Percent Ionic Character</i>
CaF ₂	89
MgO	73
NaCl	67
Al ₂ O ₃	63
SiO ₂	51
Si ₃ N ₄	30
ZnS	18
SiC	12

Estruturas Cerâmicas

- As cerâmicas são compostas por pelo menos dois elementos, freqüentemente mais que dois.
- Algumas exceções: Si e C (grafite ou diamante).
- As estruturas cristalinas são em geral mais complexas que as dos metais.
- A ligação atômica varia desde puramente iônica até totalmente covalente, bem como combinações desses dois tipos de ligações
- O grau da natureza iônica ou covalente depende da diferença de eletronegatividade dos átomos.
- São formadas por arranjos interconectados de átomos, contínuos, e não por moléculas isoladas. Isso distingue as cerâmicas de sólidos moleculares, como I₂.

Cerâmicas

- Materiais sólidos inorgânicos não-metálicos fabricados pelo homem.
- “Cerâmica” vem do grego “*keramikos*”, que significa “feito de argila queimada” – cerâmicas são geralmente obtidas após tratamentos em altas temperaturas. Existem métodos alternativos: via química, cimentos.
- “arte e ciência de fabricar e utilizar artigos sólidos, que possuem como componente essencial e são compostos em grande parte por substâncias inorgânicas não-metálicas.”
(Kingery, Bowen & Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2ª. ed., Ed. Wiley, New York, 1976)
- “Cerâmicas são sólidos inorgânicos, não metálicos” (Kingery, 1976)
- Richerson (2000): “a maioria dos materiais sólidos que não são metais ou polímeros (plásticos orgânicos), ou não são derivados de plantas ou animais, são cerâmicas.

Cerâmicas são...

- Frágeis, não apresentam deformação plástica
 - Linhas de discordância existem, mas em geral não se movem
 - Existem cerâmicas superplásticas!

Linhas de discordância em cerâmicas

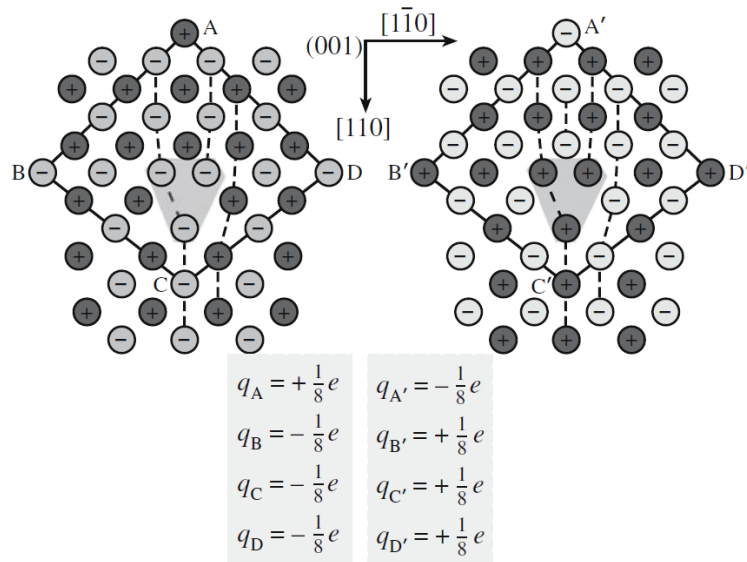


FIGURE 12.10 The core of a dislocation in NaCl.

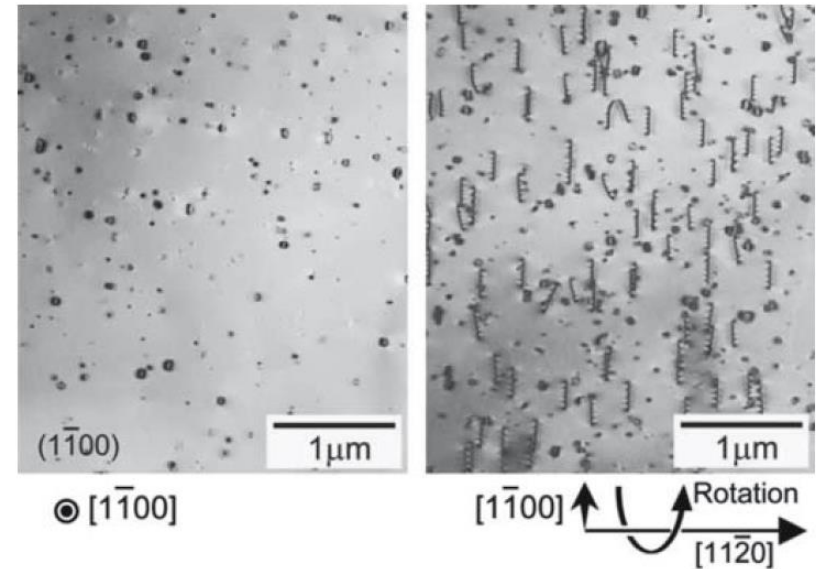
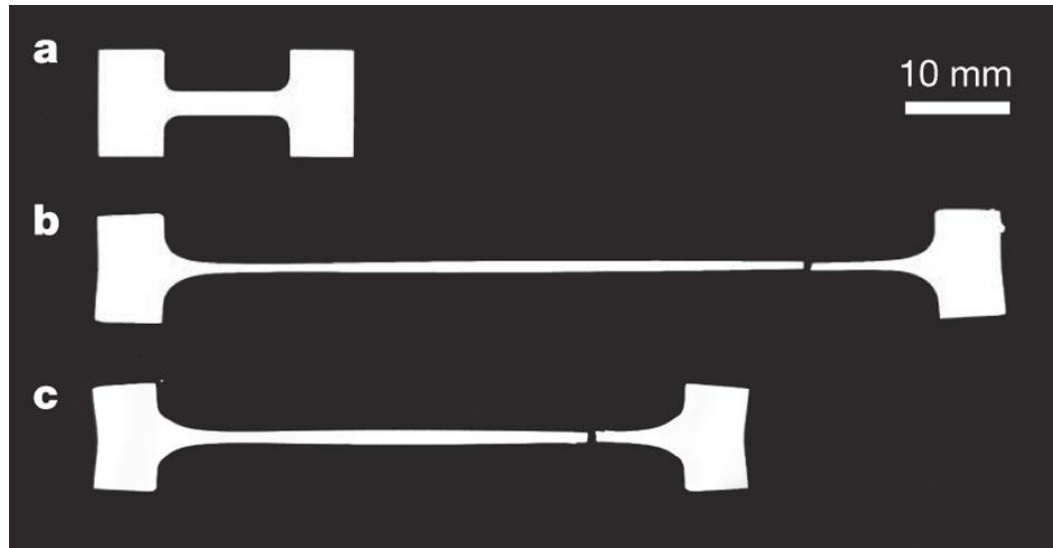


FIGURE 12.13 Images of dislocations in Al_2O_3 from two directions.

Algumas cerâmicas apresentam **superplasticidade** em altas temperaturas.

Amostras antes e depois de ensaios de tração pura, em altas temperaturas.



a, Starting sample of Fo+Per. **b**, Fo+Per sample after 515% elongation ($v = 1.2 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$ and $T = 1,450 \text{ }^\circ\text{C}$). **c**, Fo+En+Di sample after 315% elongation ($v = 1.2 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$ and $T = 1,350 \text{ }^\circ\text{C}$).

Fo+Per = 90 vol.% forsterite (Mg_2SiO_4) and 10 vol.% periclase (MgO)

Fo+En+Di = 70 vol.% forsterite (Mg_2SiO_4), 25 vol.% enstatite (MgSiO_3)
and 5 vol.% diopside ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$)

Cerâmicas são...

- Duras
- A escala Mohs é de 1 a 10 (ou 15) composta por cristais inorgânicos não metálicos!

TABLE 16.4 Mohs' Hardness

<i>Hardness number</i>	<i>Mohs' scale</i>	<i>Ridgeway's extension of Mohs' scale</i>	<i>Knoop hardness expanded scale</i>
1	Talc	Talc	
2	Gypsum	Gypsum	32
3	Calcite	Calcite	135
4	Fluorite	Fluorite	163
5	Apatite	Apatite	430
6	Orthoclase	Orthoclase	560
7	Quartz	Vitreous silica	—
8	Topaz	Quartz or stellite	820
9	Corundum	Topaz	1340
10	Diamond	Garnet	1360
11		Fused zirconia	—
12		Fused alumina	2100
13		Silicon carbide	2480
14		Boron carbide	2750
15		Diamond	7000

Cerâmicas são...

- **Frágeis**, não apresentam deformação plástica
 - Linhas de discordância existem, mas em geral não se movem
 - Existem cerâmicas superplásticas!
- **Duras**
 - A escala Mohs é de 1 a 10 composta por cristais inorgânicos não metálicos!
- **Isolantes elétricas**
 - A menos que exista uma indicação clara do gap de energia para condução
 - Existem cerâmicas supercondutoras!
 - ReO_3 , tem condutividade elétrica igual a do Cu à temperatura ambiente
 - $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ é supercondutor à 92 K, temperatura relativamente alta ($\gg 0$ K)
- **Isolantes térmicas**
 - Diamante é o melhor condutor de calor conhecido!
- **Resistentes à compressão**
- **Resistentes quimicamente, mesmo em altas temperaturas**
- **Transparentes**

- Essas são impressões tradicionais, mas nem sempre corretas. No entanto, materiais cerâmicos são muito frequentemente selecionados para alguma aplicação com base nas características acima, em que são diferentes de metais e polímeros.

Exercícios para a próxima aula (Carter-Norton):

- 1 Ler o capítulo 1.
- 2 Responder por escrito os seguintes exercícios do fim do capítulo:
 - 1.6 Ceramic tile accounts for about 15% of the floor tile market. (a) What alternatives are available? (b) What advantages/disadvantages do ceramics have over the alternatives? (c) What factors do you think influence the total amount of ceramic floor tiles used?
 - 1.7 Gerber, the baby food manufacturer, is replacing most of its glass baby food jars with plastic. Miller Brewing Co. now sells some of its popular beers in plastic containers. Compare glass and plastics in terms of their application for packaging food and beverages.