

Ciência dos Materiais II

Materiais Cerâmicos

Prof. Vera Lúcia Arantes

# Propriedades de produtos cerâmicos

- **Propriedades mecânicas**
- Propriedades térmicas
- Propriedades termo-mecânicas

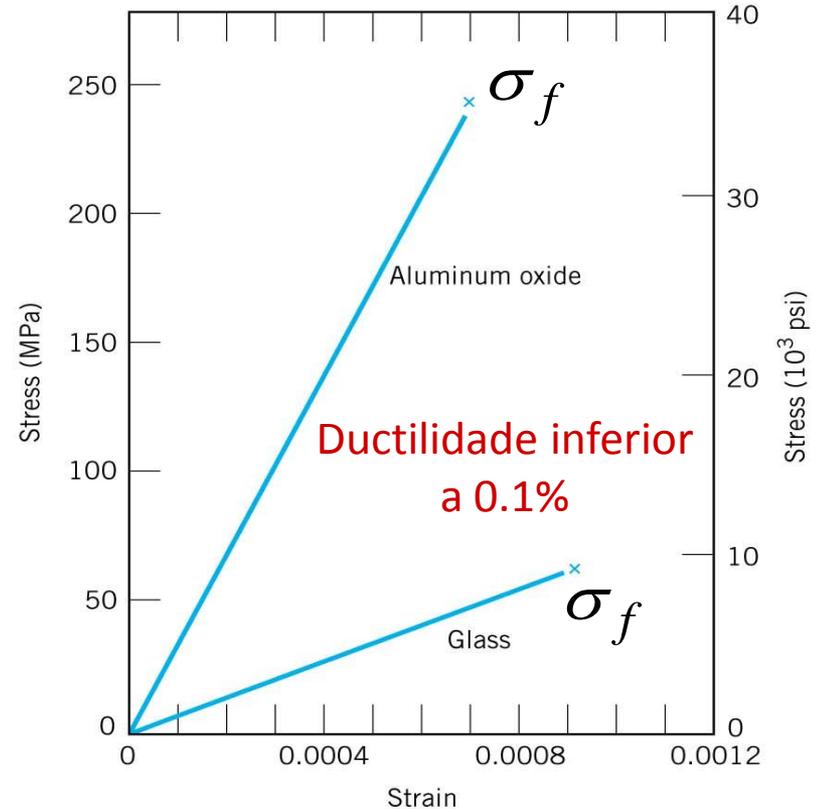
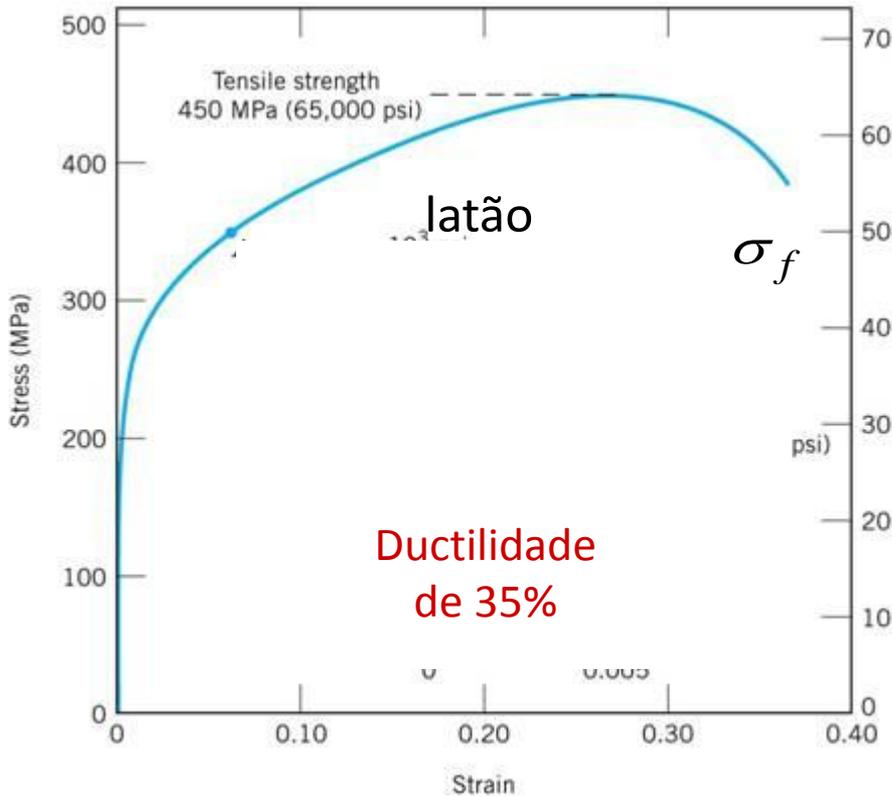
# Materiais Cerâmicos e Vidros

Comparação de propriedades com os materiais metálicos

- São mais duros e resistentes ao desgaste
- São materiais, que quando isentos de defeitos, apresentam altos valores de  $\sigma_f$
- Em lâminas de corte requerem afiamento depois de tempos em serviço 1 a duas ordens de grandeza superiores aos metais.
- São mais resistentes a temperaturas elevadas sofrendo de menores problemas de fluência.
- As temperaturas máximas de serviço são consideravelmente mais elevadas: Zircônia – 2077 °C, Alumina – 1949 °C, Carbetto de silício – 1649 °C.
- Não se deformam plasticamente e tem baixa tenacidade a fratura
- Em geral, são isolantes térmicos e elétricos.

# Materiais Cerâmicos e Vidros

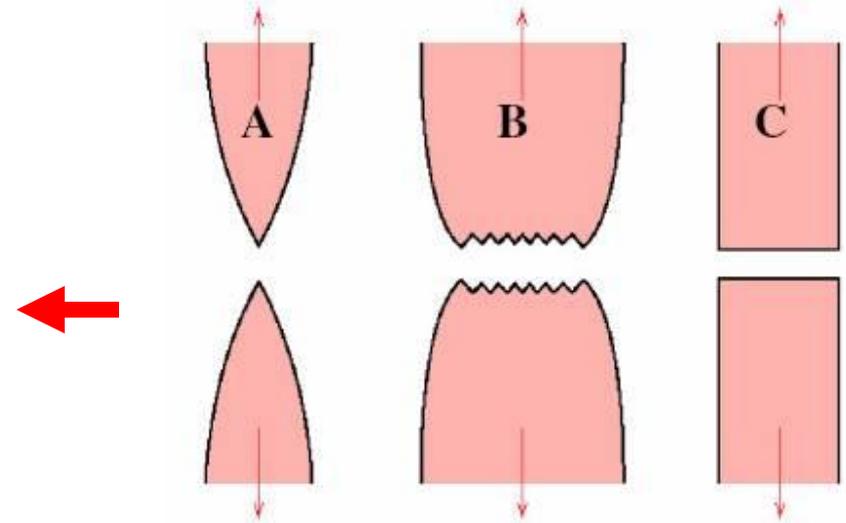
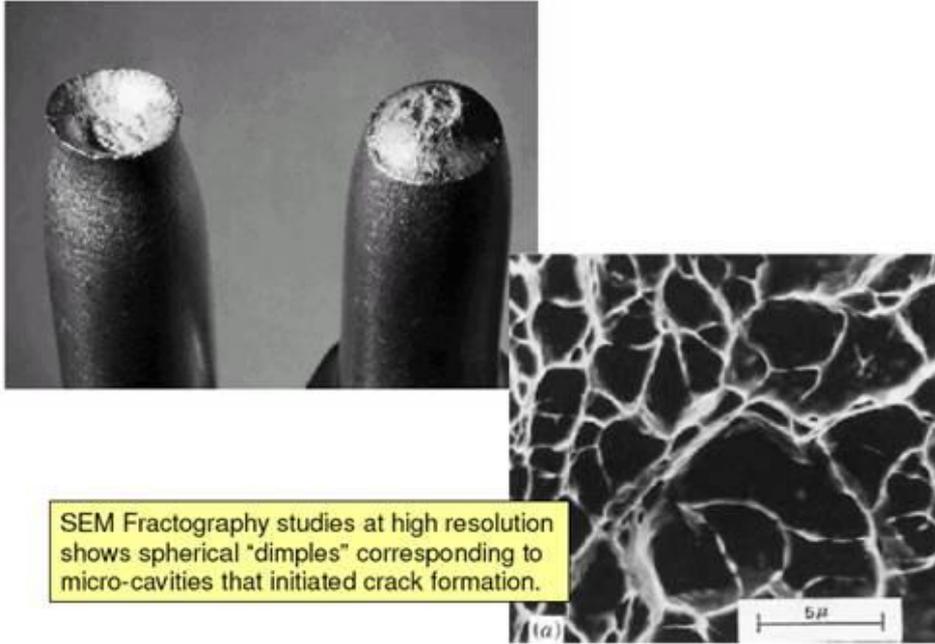
## Curvas de ensaios de tração



$\sigma_f$  = Tensão na ruptura antes de ser atingida a tensão máxima

# Ruptura – superfícies de fratura

Ductile Fracture



**A – Fratura dútil – metais macios tais como Au, Cu, polímeros e vidros a alta temperatura**

**B – Fratura moderadamente dútil – a maior parte dos metais**

**C – Fratura frágil**

# Propriedades Mecânicas de cerâmicas

- **Tenacidade a fratura (fratura frágil)**

Apresentam pouca ou nenhuma absorção de energia durante a fratura (ausência de deformação plástica)

- Os valores de LTR (resistência a fratura) são bastante inferiores aos estimados pela teoria a partir das forças de ligação interatômicas. Isso se deve à presença de defeitos críticos, que atuam como “**amplificadores de tensão**”.

# FATOR DE INTENSIDADE DE TENSÃO E TENACIDADE À FRATURA

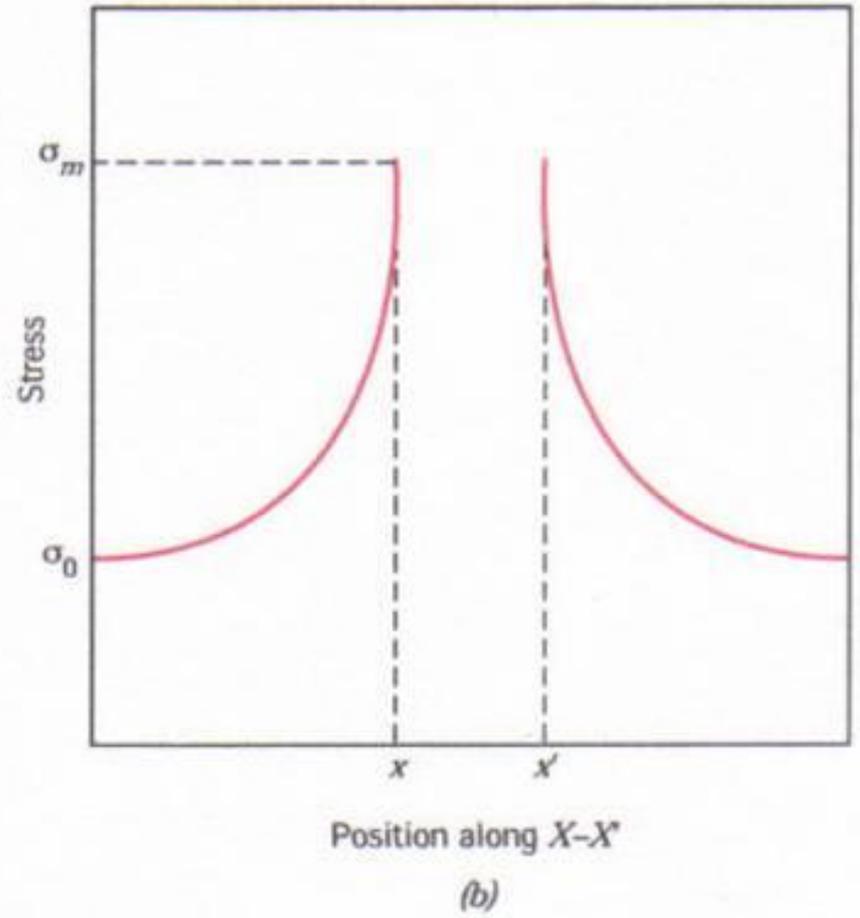
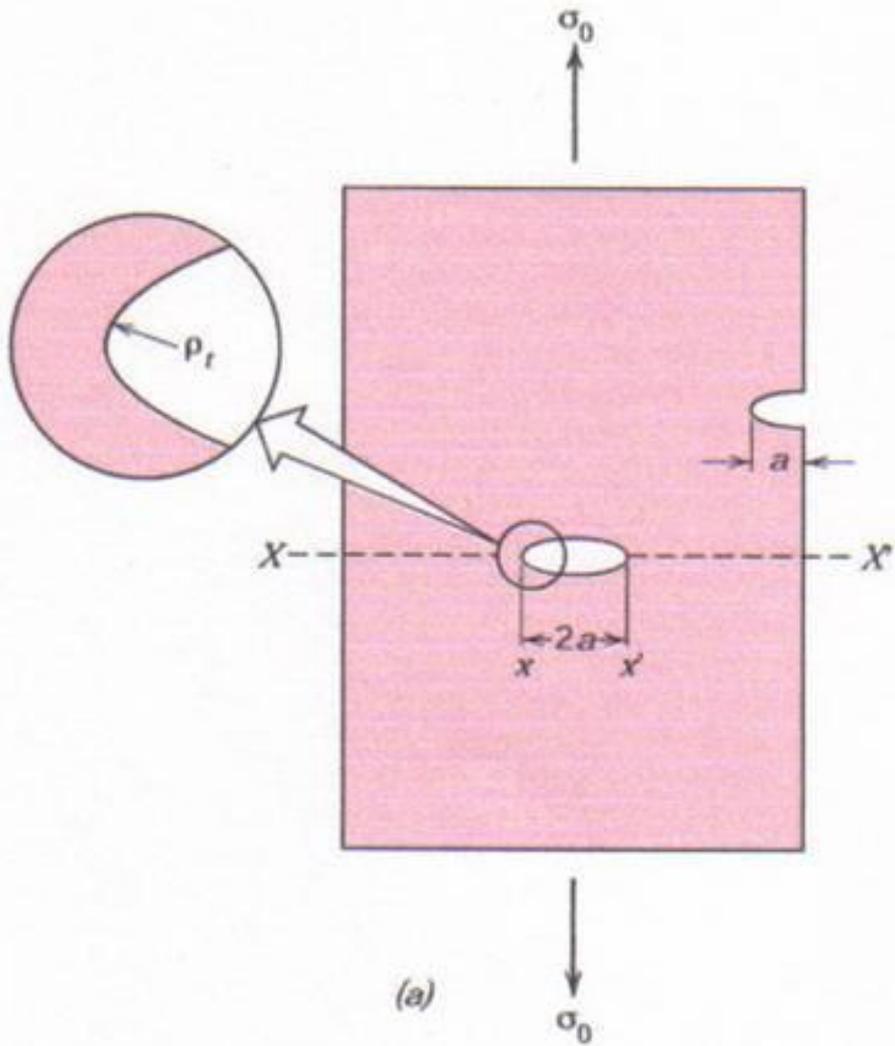
Para ocorrência da fratura:

- 1) **necessidade de tensão**: em algum ponto no sólido, a **tensão local deve ser alta o suficiente para superar a força de coesão do sólido**; isso pode ser alcançado pela concentração de tensão devido à presença de defeitos tais como microtrincas pré-existentes.
- 2) **necessidade de energia**: deve ser fornecida **energia potencial suficiente para superar a resistência ao aumento do comprimento da trinca** (isto é, conversão de energia elástica armazenada em energia de superfície); isto pode ser alcançado pelo **trabalho realizado pelas forças externas**.

$$\sigma_f = \left( \frac{2E\gamma}{\pi a} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Por esse critério, a tensão de ruptura depende de:

- a) **Módulo de Young**, propriedade intrínseca do material
- b) **Energia de superfície**, propriedade intrínseca
- c) **Comprimento do maior defeito**

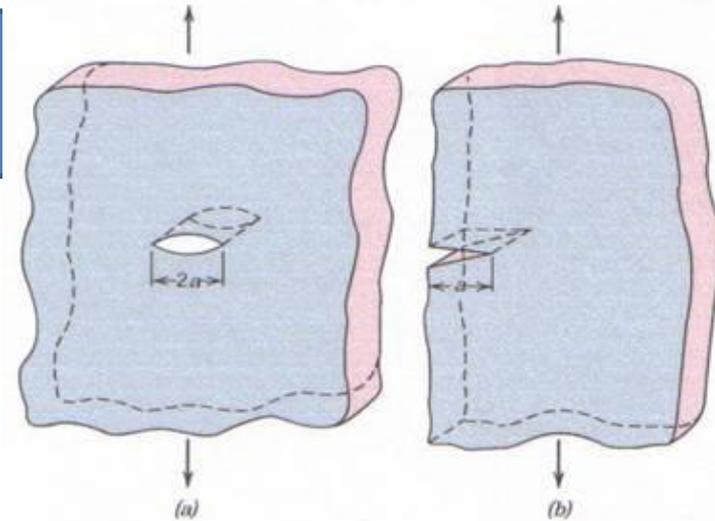
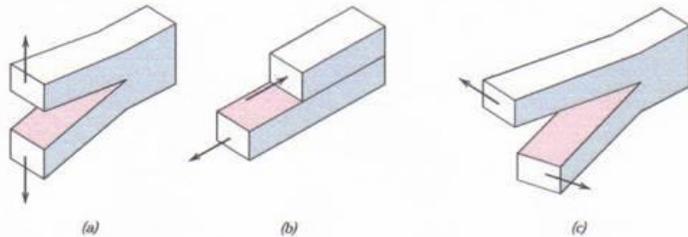


- O grau de amplificação depende do **comprimento da trinca**, assim como do **raio de curvatura da “ponta da trinca”**.
- São fatores microestruturais “amplificadores de tensão”: trincas de superfície, microtrincas internas, poros e arestas de grão.

# Tenacidade à fratura:

- $K_{IC}$  = tenacidade à fratura em deformação plana

$$K_{IC} = Y \cdot \sigma \cdot (\pi a)^{1/2},$$

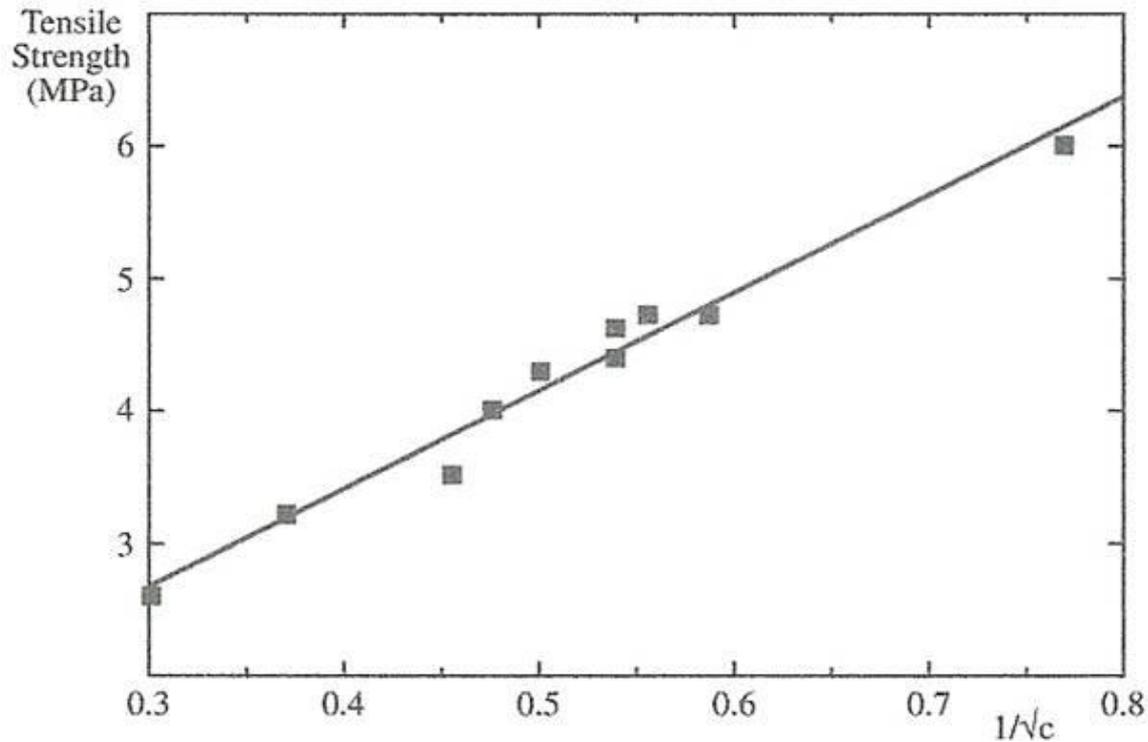


onde  $Y$  é um fator adimensional, que depende da amostra e geometria da trinca;

$\sigma$  = tensão aplicada;

$a$  = comprimento de uma trinca na superfície ou metade do comprimento de uma trinca interna

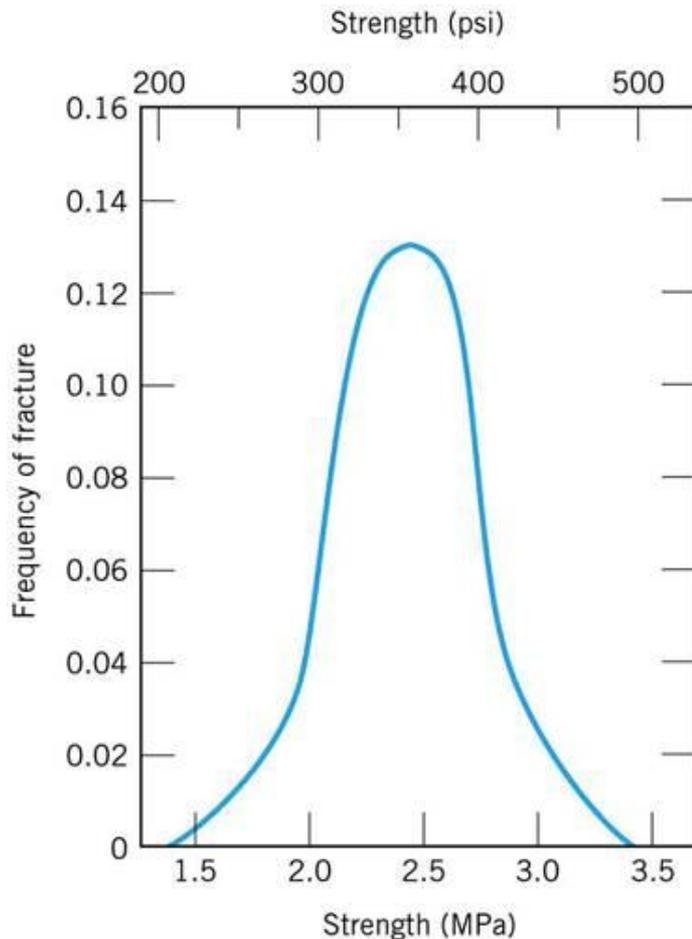
# Tensão de ruptura X tamanho da trinca para vidros



**FIGURE 18.6** Verification of Eq. 18.12. The tensile strength of glass as a function of crack length.

# Tratamento Estatístico da Fratura Frágil

## Variabilidade de valores de LRT



$P(s) = 1 - \exp(-[s/s_0]^m)$ , onde  $m$  é o módulo de Weibull.

**Distribuição de Weibull:**

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-P} \right) \right] = m \ln (\sigma_f),$$

- A grande variação de valores de tensão de ruptura apresentado pelos materiais cerâmicos está relacionada com a probabilidade da amostra apresentar um defeito crítico (que, por sua vez, é influenciado pelo processo de fabricação)



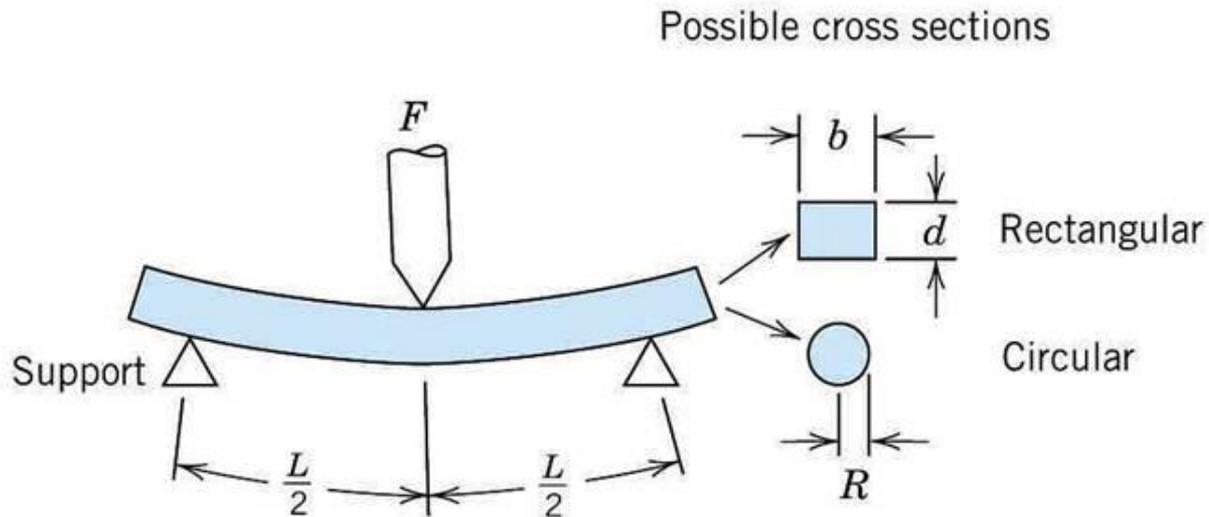
**Influência do volume da amostra:** quanto maior o volume da amostra, maior a probabilidade de se encontrar um defeito crítico

# Comportamento em tração X Compressão

- Para tensões de compressão, não há amplificação de tensões com a presença de defeitos. Assim, **as cerâmicas apresentam valores de tensão máxima em ensaios de compressão superiores aos mesmo valores obtidos em ensaios de tração.**

# Comportamento tensão-deformação

- Por razões práticas e racionais, o ensaio empregado para se estudar o comportamento  $\sigma$  X  $\varepsilon$  de materiais cerâmicos é o de flexão em 3 ou 4 pontos.



- Para uma seção transversal reta:

$$\sigma_{rf} = 3.F_f L / 2.b.d^2, \text{ onde :}$$

F é a força no momento da fratura,  
L é a distância entre os apoios.

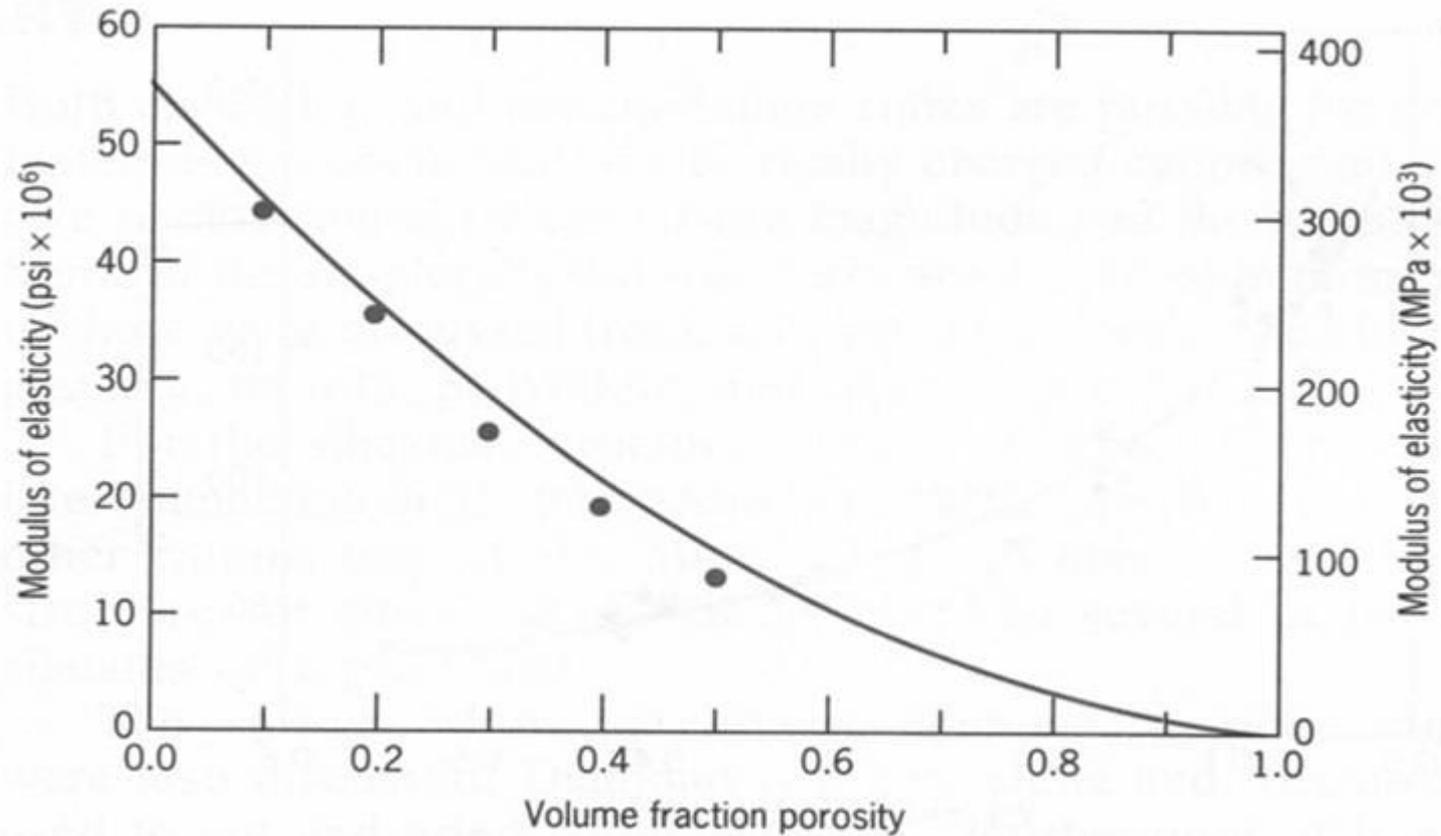
- Se o corpo de prova for circular:

$$\sigma_{rf} = F_f L / \pi R^3$$

<i>Material</i>	<i>Modulus of Rupture</i>		<i>Modulus of Elasticity</i>	
	<i>psi</i> × 10 <sup>3</sup>	<i>MPa</i>	<i>psi</i> × 10 <sup>6</sup>	<i>MPa</i> × 10 <sup>4</sup>
Titanium carbide <sup>a</sup> (TiC)	160	1100	45	31
Aluminum oxide <sup>a</sup> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	30–50	200–345	53	37
Beryllium oxide <sup>a</sup> (BeO)	20–40	140–275	45	31
Silicon carbide <sup>a</sup> (SiC)	25	170	68	47
Magnesium oxide <sup>a</sup> (MgO)	15	105	30	21
Spinel <sup>a</sup> (MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	13	90	35	24
Fused silica	16	110	11	7.5
Glass	10	70	10	7

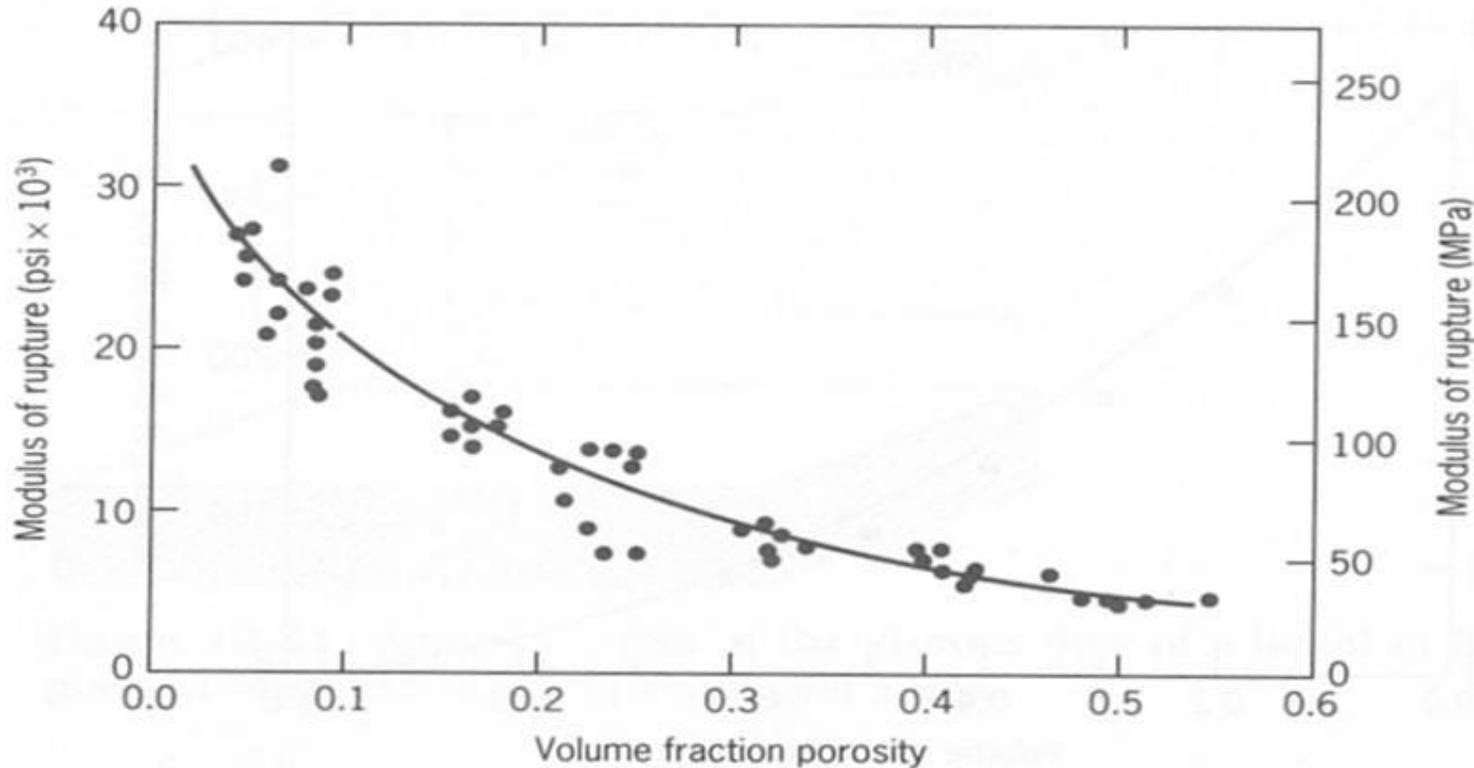
# Efeito da porosidade

## Módulo de Young



$$E = E_0 (1 - 1.9P + 0.9P^2)$$

# Efeito da porosidade na resistência a flexão



$$\sigma_{mr} = \sigma_o e^{-nP}$$

# Durezza

<i>Material</i>	<i>Approximate Knoop Hardness</i>
Diamond (carbon)	7000
Boron carbide ( $B_4C$ )	2800
Silicon carbide (SiC)	2500
Tungsten carbide (WC)	2100
Aluminum oxide ( $Al_2O_3$ )	2100
Quartz ( $SiO_2$ )	800
Glass	550

# Fadiga estática

- Causada pela propagação lenta e estável de uma trinca no material até o tamanho crítico
- Em alguns materiais cerâmicos (porcelanas, vidros, cimento portland, cerâmicas com alto teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , titanato de bário, nitreto de silício), o aumento do comprimento de uma trinca pode ser causado pelas condições ambientais (temperatura e umidade!)

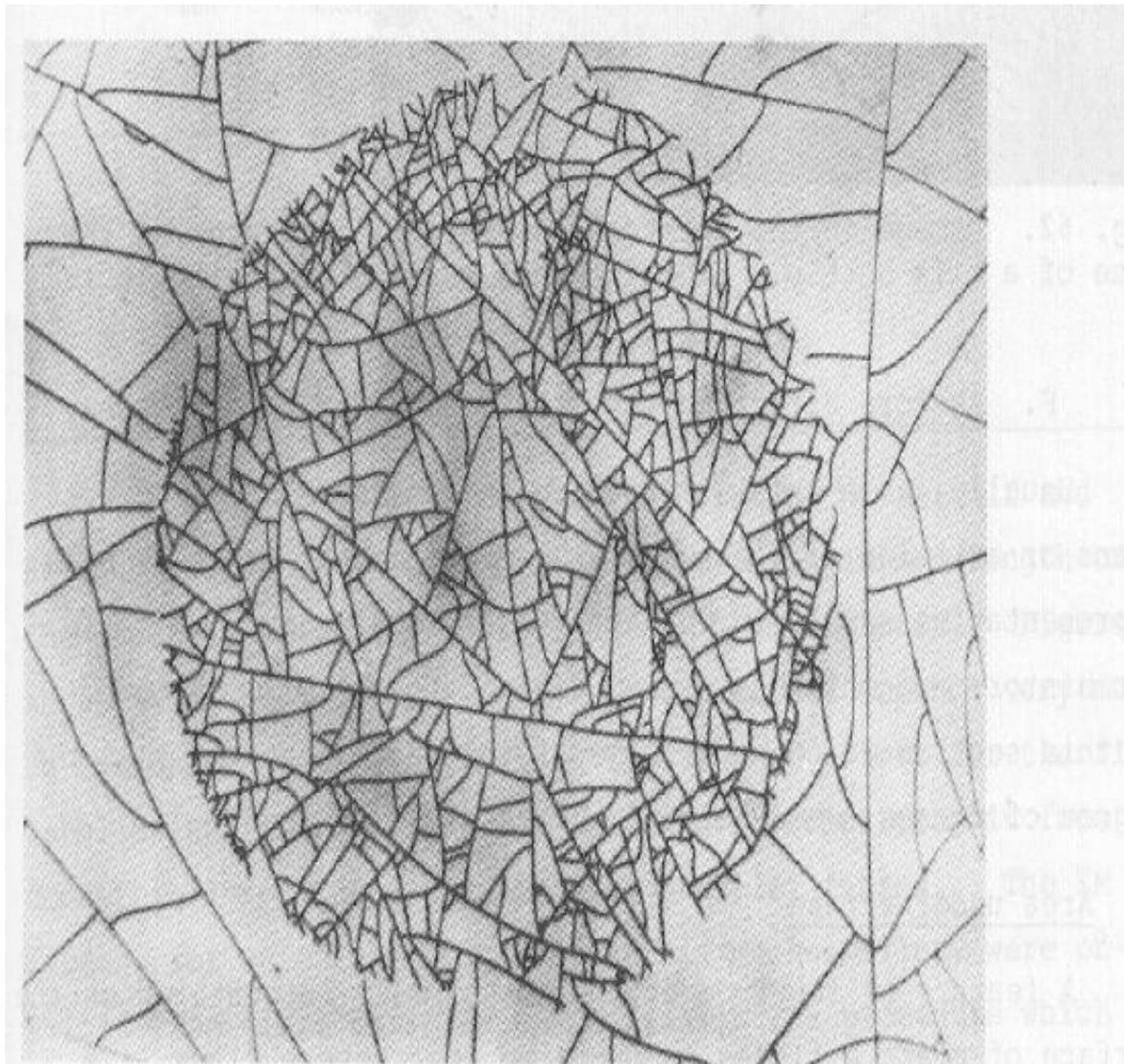


Fig. 61. A drop of tap water was allowed to evaporate on the surface, after which the glass was heated for 1 hr at  $650^{\circ}\text{C}$  (x 20).