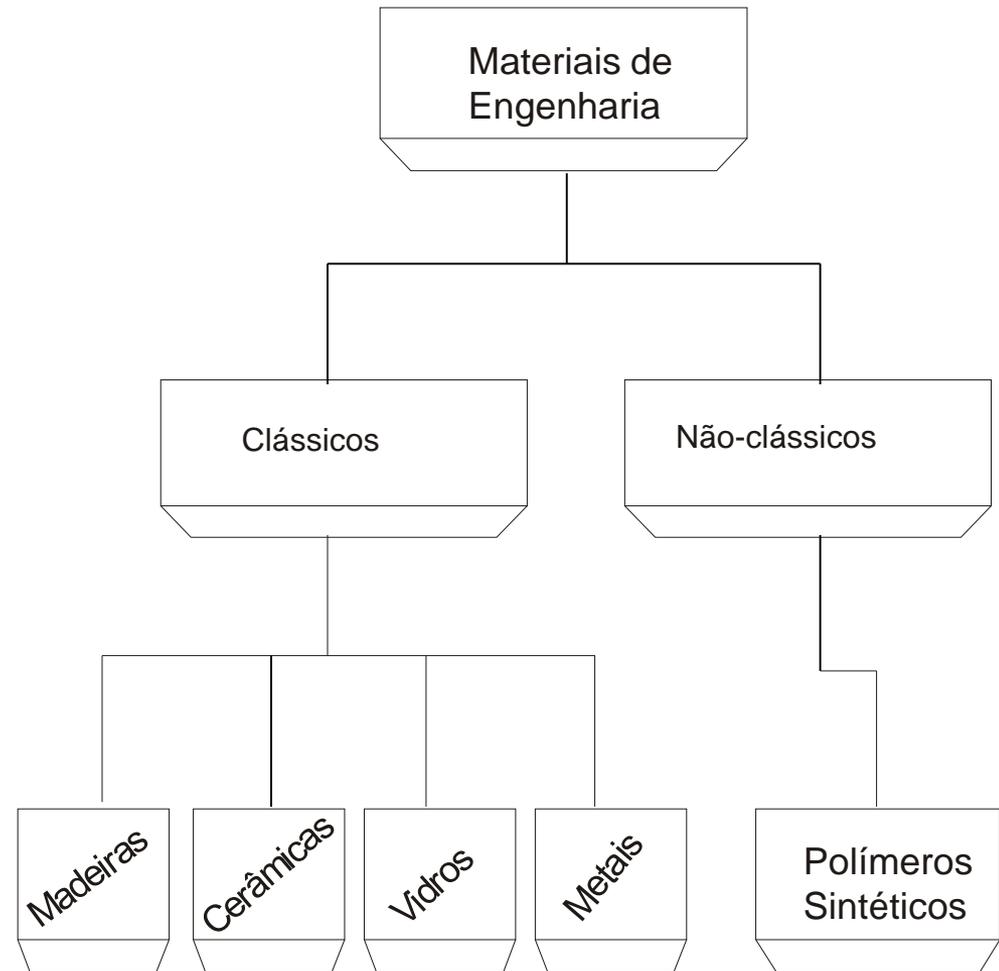


MATERIAIS

Desde o início dos Tempos, vem o homem executando trabalhos de engenharia mais complexos, com a finalidade de suprir abrigo e propiciar conforto para si e seus dependentes, protegendo-se dos perigos e das intempéries.

O primeiro elemento estrutural, isto é, o primeiro material de engenharia usado pelo homem, foi a madeira, seguindo-se a pedra, depois os metais, a cerâmica, o vidro e, finalmente os polímeros.

Hoje o número de materiais disponíveis para o Engenheiro é vasto, algo em torno de 40.000 a 80.000. Sua seleção não pode ser feita independentemente da escolha do processo pelo qual o material será conformado, unido, acabado ou tratado posteriormente.



Informações na web:

<http://www.matweb.com>

<http://www.webelements.com>

De modo geral os Materiais

METÁLICOS

São tenazes, resistentes, pesados e, de modo geral insuficientemente rígidos

POLÍMEROS

São leves, de fácil processamento, mas não são resistentes nem estáveis com a temperatura.

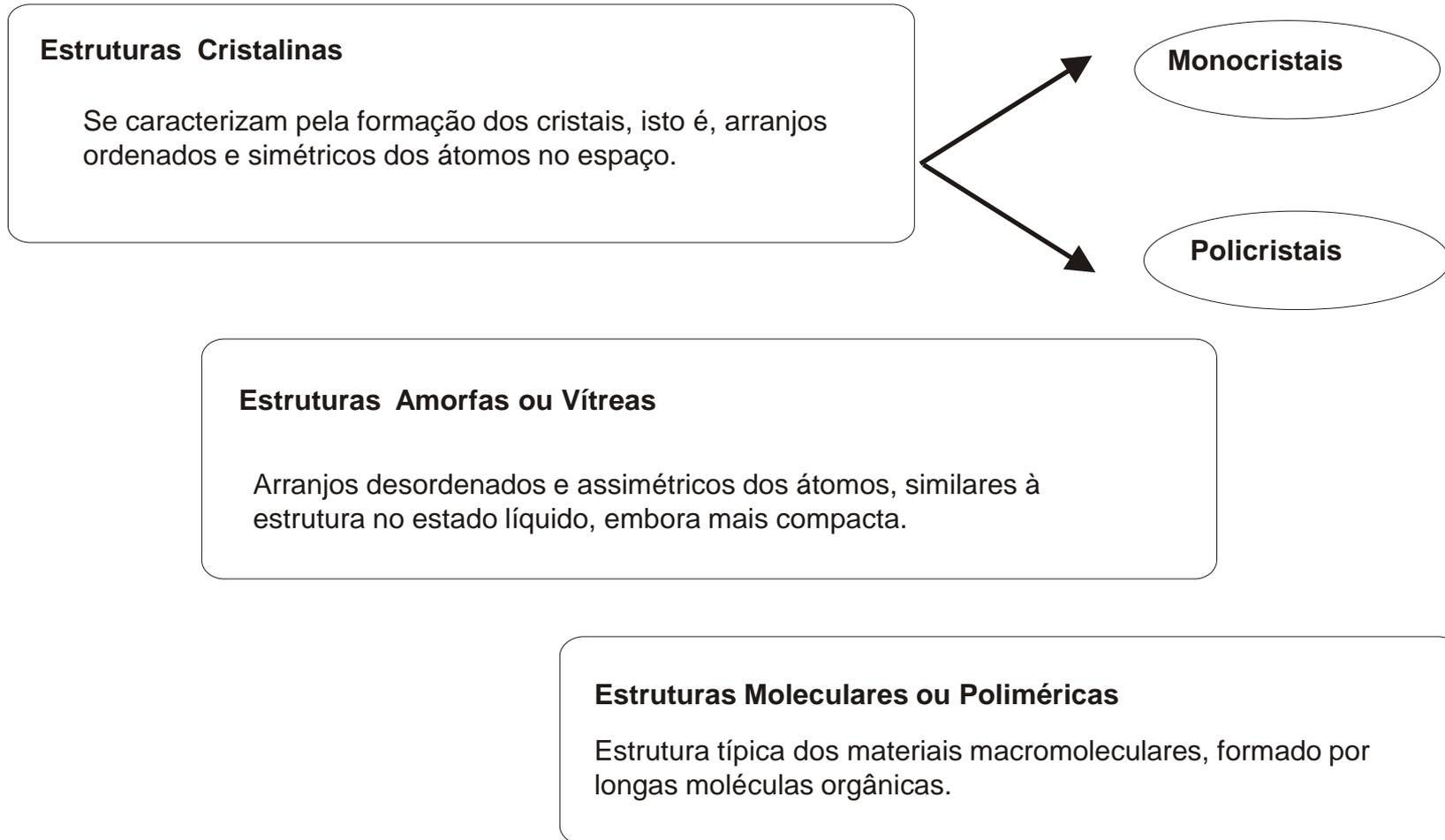
CERÂMICAS

Incluindo os vidros são duros, rígidos mas também frágeis

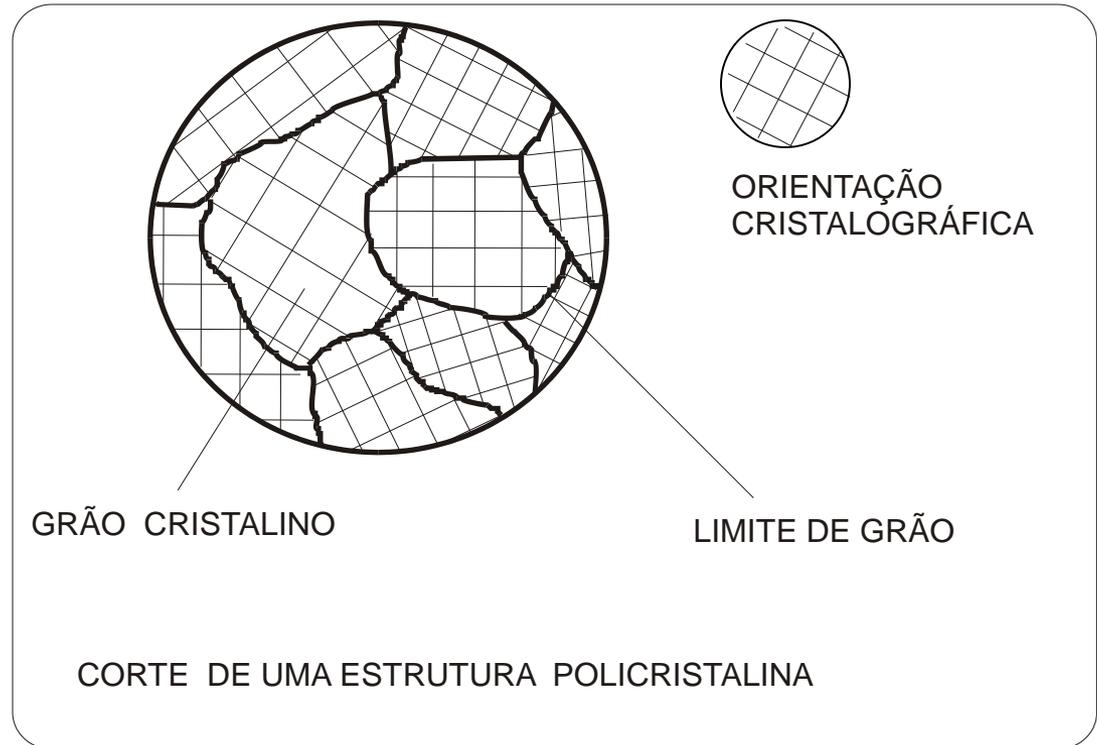
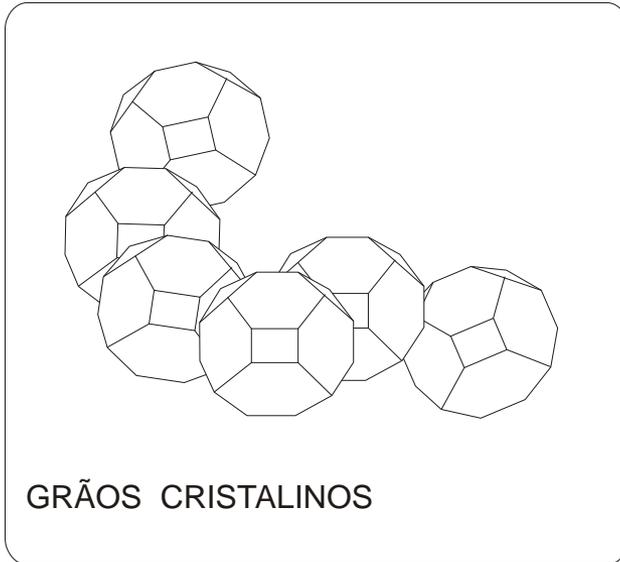
COMPÓSITOS

São materiais que consistem de pelo menos, dois componentes: a matriz e o agente de reforço. O principal objetivo é o de melhorar determinadas propriedades da matriz com características complementares.

2.1- Arranjos atômicos

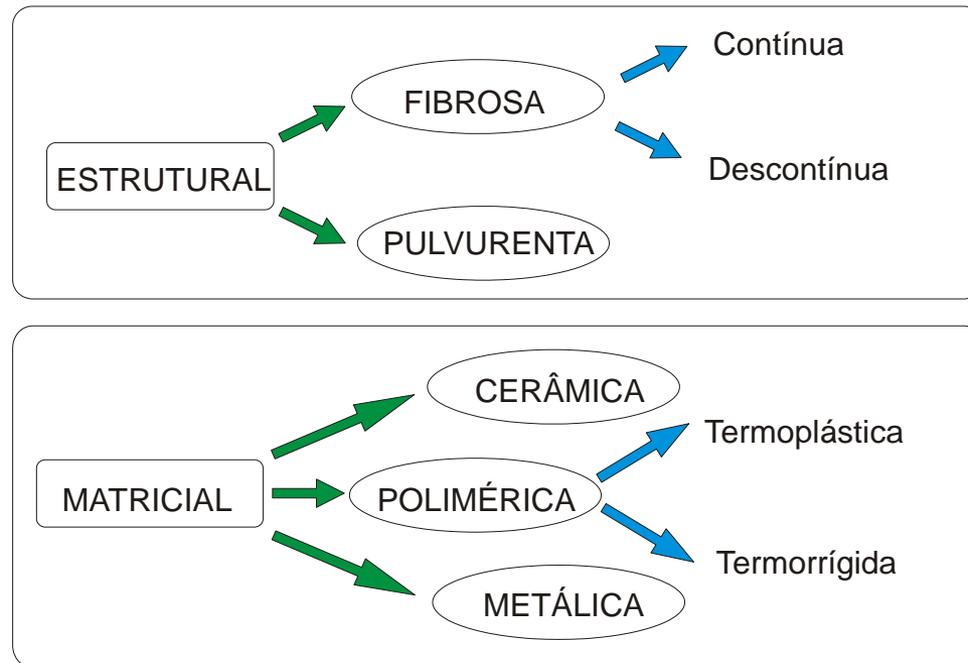


2.2- Estruturas Policristalinas

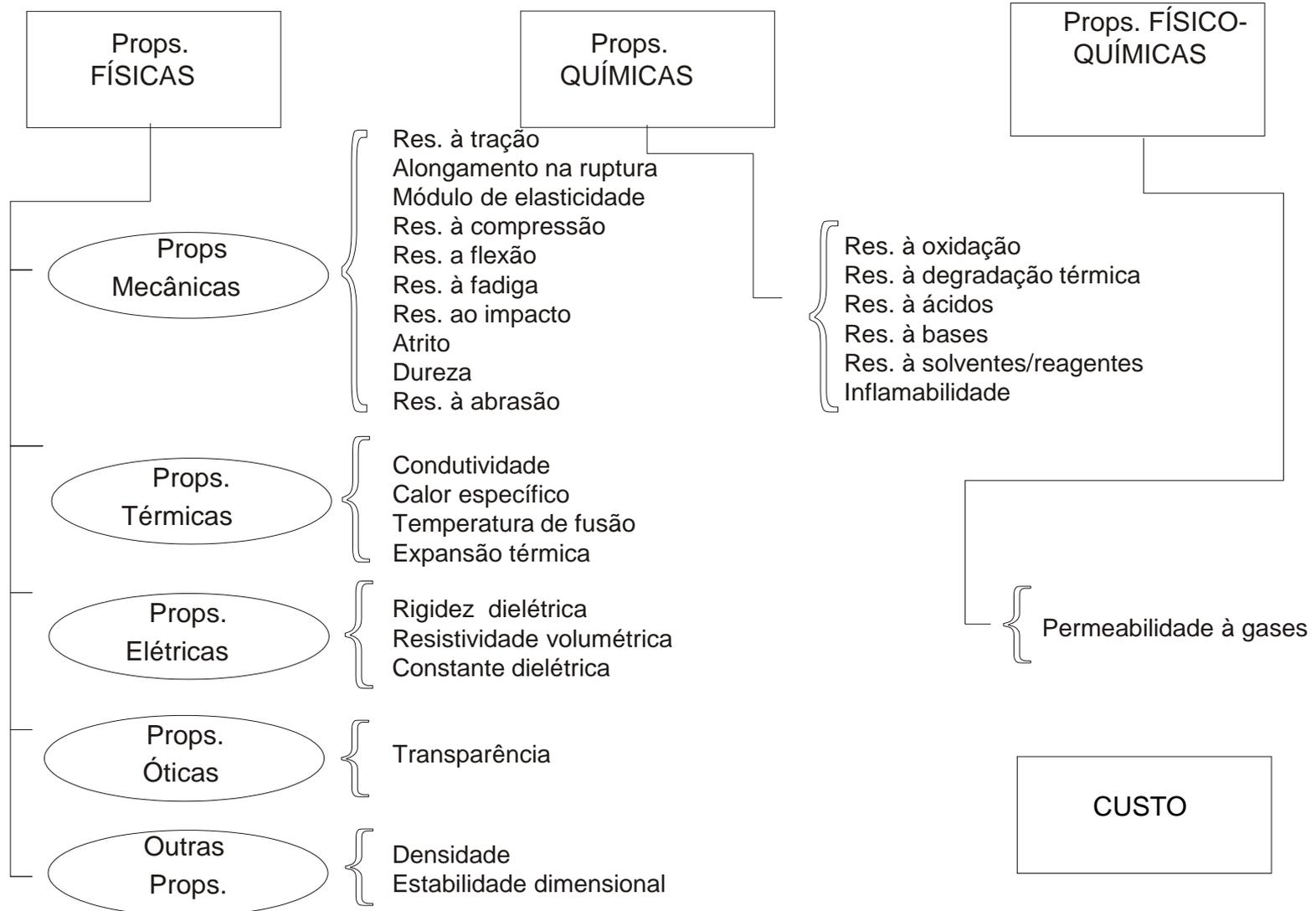


2.3- Compósitos

Constituem de uma classe de materiais heterogêneos multifásicos. Neles um dos componentes descontínuos, fornece a principal resistência ao esforço (**componente estrutural**), e o outro contínuo é o meio de transferência deste esforço (**componente matricial**).



2.4- Propriedades dos materiais

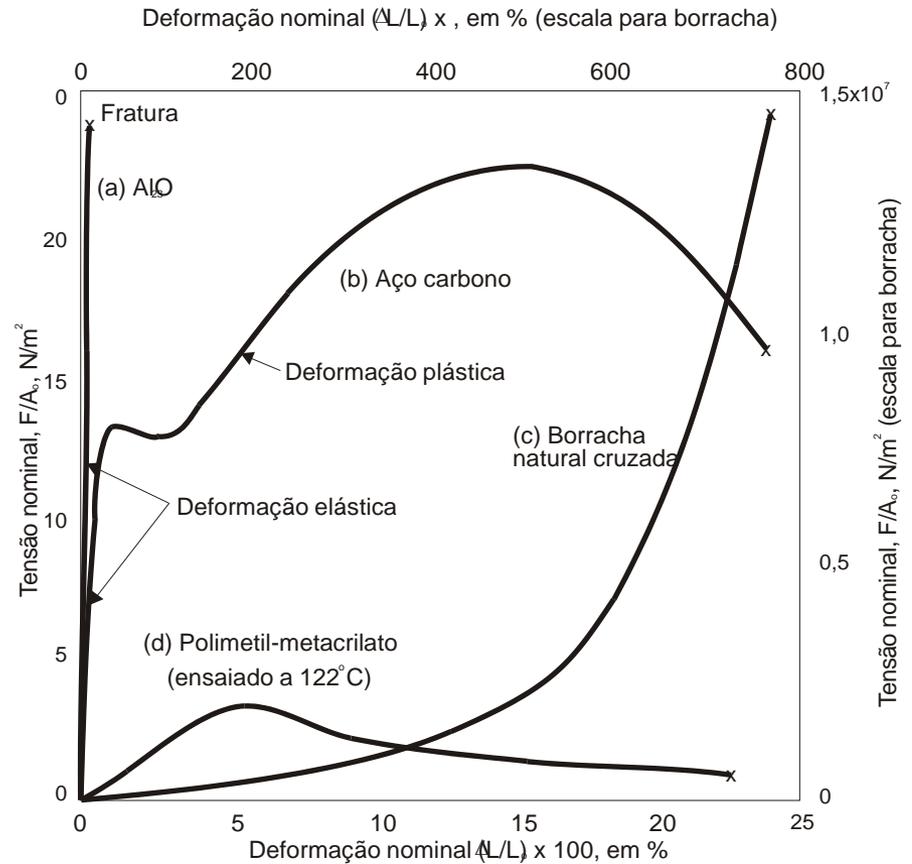


2.4.1- Ensaio de Tração



Aplicada uma tensão no material, há uma deformação que é relativa à uma pequena variação que ocorre nos espaçamentos atômicos. A quantidade e do tipo de deformação é dependente da resistência das ligações atômicas do material, da tensão e da temperatura.

Metais puros apresentam elevado grau de ductilidade. Adição de elementos de liga podem reduzir a ductilidade até o ponto de se tornarem frágeis.



Tensão e Deformação

$$\sigma = \frac{P}{S_0}$$

P é força aplicada

S₀ = área inicial da seção transversal

Deformação específica, ou simplesmente deformação é a mudança de comprimento por unidade de comprimento.

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

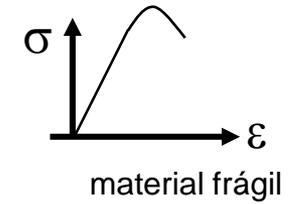
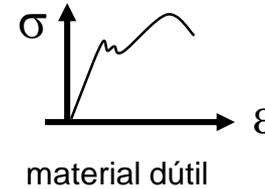
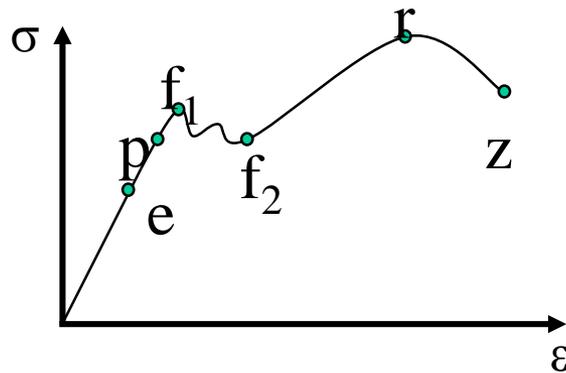
l₀ = comprimento inicial

l = comprimento sob a ação da força

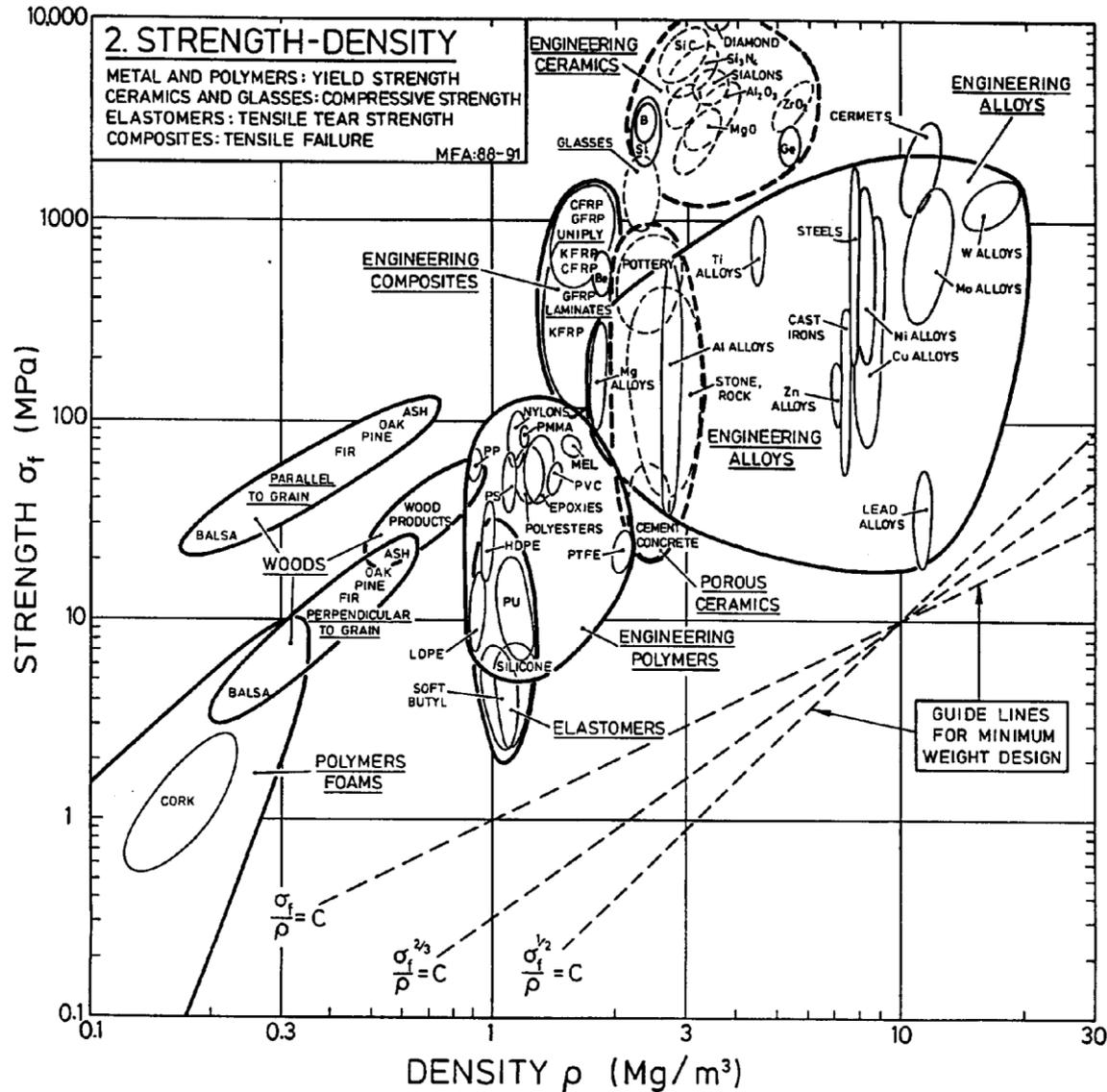
Ensaio de Ruptura à Tração

σ : tensão de engenharia = P/A_0

ε : deformação de engenharia = Δ/l_0



e	-	fim da região linear
p	-	fim da região elástica
f_1, f_2	-	região de escoamento
r	-	ponto de máxima tensão (instabilidade plástica)
z	-	ruptura
σ_E	-	tensão limite de elasticidade ($\varepsilon_E \cong 0,03\%$)
σ_p	-	tensão limite de proporcionalidade
σ_e	-	tensão de escoamento (f_1 ou $\varepsilon_e \cong 0,2\%$)
σ_R	-	tensão de ruptura . NB . Se $\sigma_{adm} = \sigma_R$ material pode entrar no regime plástico.



Fonte: ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992

Resistência à tração

ou tração na ruptura é a carga aplicada no material por unidade de área, no momento da ruptura

Ferro fundido nodular,	480 a 930 MPa	Polímeros	28 - 152 MPa
Ferro fundido cinzento, classe 20	138 MPa	Titânio	930 MPa
Aço fundido,	450 a 1380 MPa	Al ₂ O ₃ policristalina	400 MPa
Aço carbono comum,	414 a 1034 MPa		

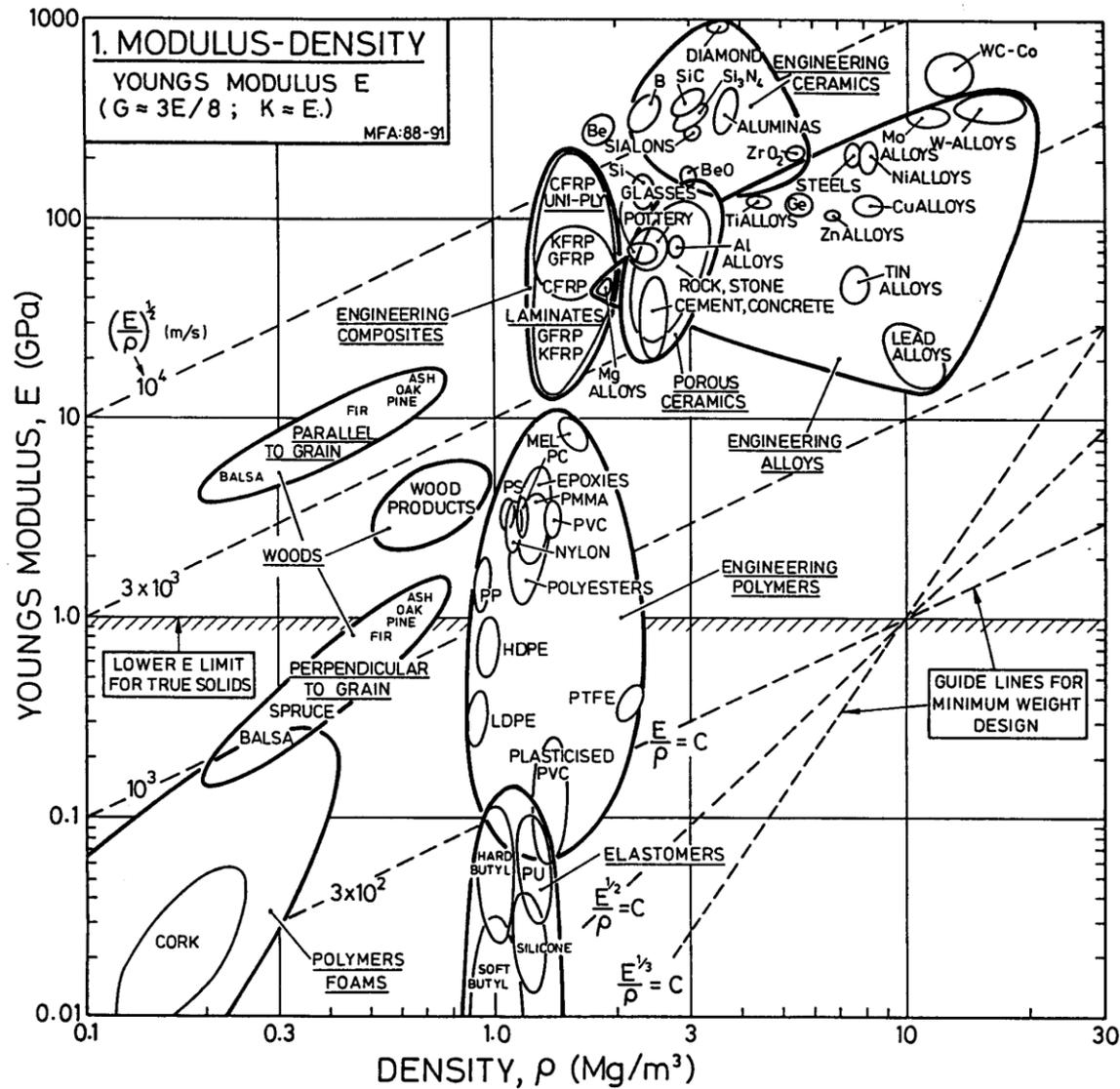
Módulo de elasticidade

Ou módulo de Young, ocorre na região elástica, sob ação de tensão de tração. Refere-se à tensão necessária para aumentar os espaçamentos atômicos. É uma medida da rigidez do material em sua região elástica e tem as mesmas unidades da tensão. Varia com a direção cristalográfica. Em materiais policristalinos apresenta valores intermediários.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Módulo Elástico Médio GPa

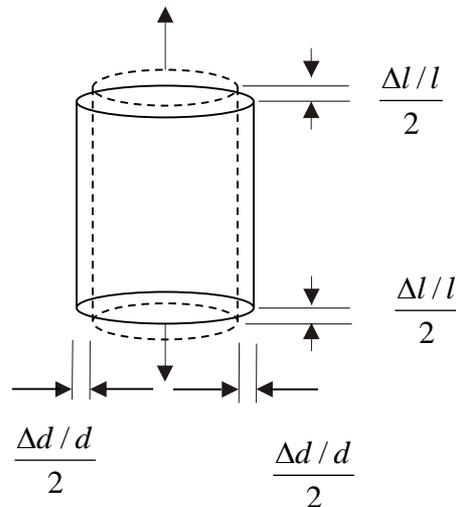
Borracha.....	0,0035-3,5	PMMA.....	3,5	Nylon.....	2,8
Ligas de alumínio....	69	Superliga a base de Ni (IN-100)...	210	Alumínio	71,8
Latão, bronze	16	Ferro fundido cinzento	104	Ferro fundido dútil	166
Aço em geral	207	Ferro.....	197	Magnésio	44,8
Titânio	114			Aço inoxidável.....	190
SiO ₂ fundida.....	69	Si ₃ N ₄			304
ZrO ₂	138	Vidros em geral.....			69
Grafite.....	6,9	Al ₂ O ₃			380
Diamante.....	1035	SiC.....			414



Fonte: ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992

Coefficiente de Poisson

Aplicada uma tensão de tração em um corpo, o comprimento aumenta e a espessura diminui. A razão do decréscimo da espessura pelo aumento do comprimento é referenciada como coeficiente de Poisson.



$$\nu = -\frac{\epsilon_d}{\epsilon_l} = -\frac{\Delta d / d}{\Delta l / l} = -\frac{\Delta d \cdot l}{d \cdot \Delta l}$$

Material	Coefficiente de Poisson aproximado
Aços	0,25 - 0,30
Metais em geral	0,33
Alumínio	0,34
Cobre	0,35
Ferro	0,28
Magnésio	0,33
Titânio	0,34
SiC	0,14
MoSi ₂	0,17
Concreto	0,20
Si ₃ Ni ₄	0,24
Al ₂ O ₃	0,26

Módulo de elasticidade transversal

Ou módulo transversal, ou módulo de rigidez, é análogo ao modo elástico é devido a ação da força de cisalhamento ou força cortante.

$$\tau = G.\gamma$$

γ = distorção ou deformação angular

Para materiais isotrópicos pode ser relacionado com o módulo elástico e com o coeficiente de Poisson.

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Em um ensaio de torção

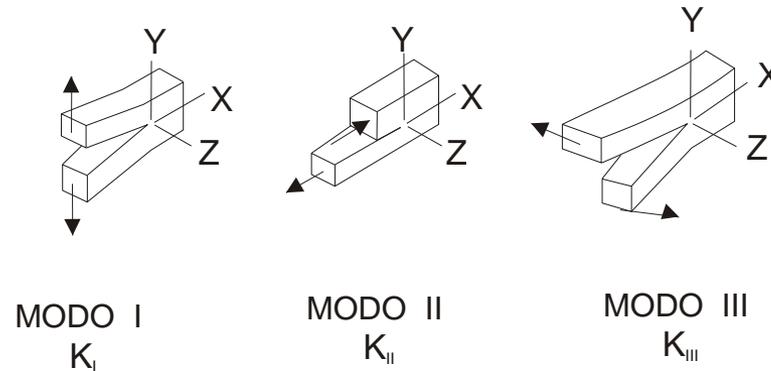
$$\tau = \frac{G.r.\theta}{l_0}$$

r = raio do corpo de prova
 θ = rotação em radianos
 l_0 = comprimento da medida

Tenacidade de fratura

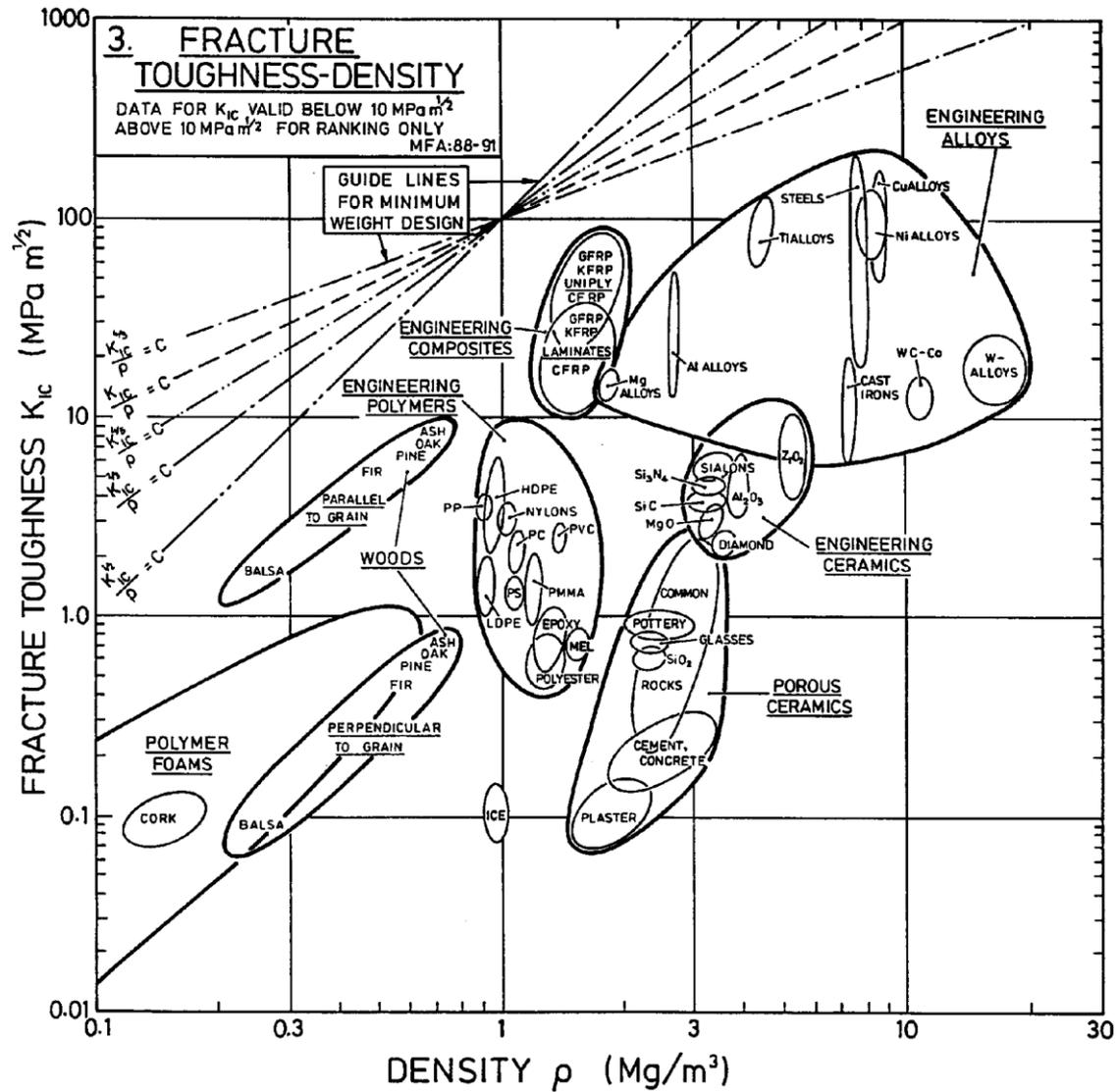
A resistência de fratura de um material é determinada pelo tamanho crítico de uma trinca. A fratura ocorre pelo deslocamento e tensão na ponta desta trinca.

Fatores de intensidade de tensão:



Quanto maior K_{IC} , maior será o defeito crítico admissível, ou seja, \rightarrow maior será o σ_f .

	σ_f (MPa)	K_{IC} (MPa.m) ^{1/2}
Aços liga para reatores	2000	200
PMMA		1,7
Si ₃ N ₄	600	5,0
Al ₂ O ₃	500	4,0
ZrO ₂ -c	180	2,4



Fonte: ASHBY, M.F. *Materials selection in mechanical design*. Editora Pergamon Press, 311p. 1992

Resistência à Fadiga

ou resistência à flexão dinâmica, exprime a tensão máxima desenvolvida alternadamente como tração e compressão, a que um material pode resistir quando a peça é exposta à flexões e a flexões consecutivas.

Resistência ao Impacto

Representa a tenacidade ou a resistência de um material rígido à deformação a uma velocidade muito alta

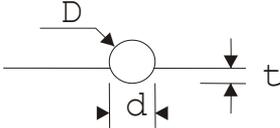
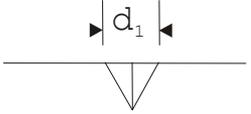
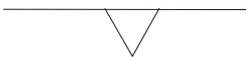
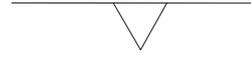
Polímeros, como o LDPE, apresentam boa resistência. Plásticos de engenharia chegam a superar o alumínio. Cerâmicas em geral tendem a ser frágeis. Metais são materiais tenazes.

Dureza

Mede a resistência à penetração, ou ao risco. Os materiais poliméricos são menos duros que os materiais cerâmicos, vítreos e metálicos.

Materiais	dureza RB	Materiais	dureza RC	Materiais	dureza Vickers kgf/mm ²
Latão	30	SAE 1040	22	Alumina	2370
UHMWPE	30	SAE 4340	52	BeO	1140
		VC 131	69	NaCl	21
				Diamante	9000
				Sílica fundida	540

Medidas de dureza

ENSAIO	IMPRESSÃO	MATERIAIS
BRINELL		Para metais em geral
VICKERS		Metais duros, cerâmica
ROCKWELL	<p>A  60 kgf</p> <p>B  100 kgf</p> <p>C  150 kgf</p>	<p>Metais dúcteis e duros</p> <p>Metais dúcteis</p> <p>Metais duros</p>
DUREZA SHORE	<p>Durômetro tipo A</p> <p>Durômetro tipo D</p>	<p>Polímeros mais flexíveis</p> <p>Polímeros mais rígidos</p>

ASTM C1327-03 Vickers indentation hardness of advanced ceramics

Resistência à abrasão

Significa a capacidade que um material tem de resistir ao desgaste produzido pelo atrito.

Coeficientes de atrito

MATERIAIS	μ
PTFE - PTFE	0,04
PTFE - AÇO	0,04
GRAFITE - GRAFITE	0,1
GRAFITE - AÇO	0,1
POLIETILENO-POLIETILENO	0,2
NYLON - NYLON	0,2
POLIETILENO - AÇO	0,2
CROMO - CROMO	0,4
AÇO - AÇO	0,8
VIDRO - AÇO	0,6
VIDRO - VIDRO	0,6
ALUMINA - ALUMINA *	0,5 - 0,7

ASTM G 99 - 90. Standard test method for wear testing with a pin-on-disc apparatus. *American Society for Testing and Materials*, 5p, 1990.

Densidade, ou densidade absoluta ou massa por unidade de volume. Para os polímeros reflete a sua estrutura química e a sua organização molecular. Assim, as regiões cristalinas são mais compactas, enquanto que as regiões amorfas são mais volumosas. A maior parte dos polímeros apresenta densidade na faixa 0,9 -1,15 g/cm³, com a maior concentração de valores em torno de 1. Para os metais, as densidades variam na faixa de 1,7 a 21 g/cm³. As cerâmicas ocupam valores intermediários.

Titânio	4,4 g/cm ³
Aço	7,8 a 8,1 g/cm ³
Al ₂ O ₃	3,8 a 3,99 g/cm ³
Magnésio	1,7 g/cm ³
Alumínio	2,7 g/cm ³

ASTM C373-88 (reapproved 1999) –Water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products

Expansão térmica, variações na temperatura provocam deformações dos materiais. Em materiais isotrópicos homogêneos uma variação de ΔT K ($^{\circ}$ C) causa a deformação expressa por:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \alpha \cdot \Delta T$$

α = coeficiente de expansão térmica

Para materiais isotrópicos a variação da temperatura não causa deformações angulares.

ABNT 1045,	20-250 $^{\circ}$ C	13,0x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 4340,	20-100 $^{\circ}$ C	11,5x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 8620,	20-100 $^{\circ}$ C	11,6x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
ABNT 304,	20-200 $^{\circ}$ C	17,1x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Ligas de alumínio – geral –	20-250 $^{\circ}$ C	25,0 x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Ligas de titânio – geral-	20-250 $^{\circ}$ C	9,2x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Al $_2$ O $_3$ 99,9%	20-400 $^{\circ}$ C	7,4x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C
Nylon 6.6	10-100 $^{\circ}$ C	100x10 $^{-6}$ m/m. $^{\circ}$ C

Exercício 02: A **barra rígida** horizontal mostrada na figura é fixada às extremidades de três barras verticais, de seção circular, feitas em Alumínio e Aço, conforme indicado. Estas barras tem comprimento de 250 mm quando nenhuma carga é aplicada à barra superior. Determine a força em cada barra circular ao aplicar-se uma carga distribuída de 150 kN/m, conforme indicado na figura.

Dados:

módulos de Elasticidade: Aço: $2,1 \cdot 10^{11}$ N/m²; Alumínio: $7,0 \cdot 10^{10}$ N/m².

