

Estrutura e Propriedades dos Materiais

MATERIAIS CERÂMICOS

Professor Ramón S. C. Paredes, Dr. Eng^o.
Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagem Especiais
LABATS/DEMEC/UFPR

**CERÂMICA COMPREENDE TODOS OS
MATERIAIS INORGÂNICOS, NÃO METÁLICOS,
OBTIDOS GERALMENTE APÓS TRATAMENTOS EM
TEMPERATURAS ELEVADAS**



MATERIAIS DE CERÂMICOS

CERÂMICAS SURGIRAM DO PRIMEIRO EXERCÍCIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DO HOMEM, HÁ MAIS DE 9.000 ANOS

A PALAVRA "CERÂMICA" SE ORIGINA DA PALAVRA GREGA "KERAMIKOS": MATERIAL QUEIMADO



MATERIAIS DE CERÂMICOS

MATERIAIS CERÂMICOS: COMPOSTOS QUÍMICOS E SOLUÇÕES ENVOLVENDO ELEMENTOS METÁLICOS E NÃO-METÁLICOS

VARIEDADE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS PERMITE APLICAÇÕES EM CAMPOS DISTINTOS: TIJOLOS, LOUÇAS, REFRATÁRIOS, MATERIAIS MAGNÉTICOS, DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS, FIBRAS, ABRASIVOS, COMPONENTES AEROESPACIAIS

- ▶ A fabricação cerâmica data do período neolítico, onde o homem pré-histórico já fazia cestas de vime com barro. Verificou-se mais tarde que poderia usar somente o barro.
- ▶ Posteriormente constatou que o calor fazia endurecer o barro, surgindo a cerâmica.
- ▶ No ano de 4.0 a.C. os assírios já obtinham cerâmica vidrada.
- ▶ No século VII os chineses fabricavam a porcelana, e no século XVIII surgiu a louça branca, na Inglaterra.
- ▶ A partir daí surgiram tipos especiais de fornos, a possibilidade de cerâmica de dimensões exatas, a moldagem a seco, porcelanas de alta resistência, etc.

- ▶ É um material obtido por moldagem, secagem e cozimento (ou queima) de argilas. **Chama-se argila ao material formado de minerais, como silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, com certa porcentagem de álcalis e de alcalinos terrosos.**
- ▶ **Juntos a esses elementos encontram-se a sílica, a alumina, a mica, o ferro, o cálcio, o magnésio, matéria orgânica, etc., as quais tem a propriedade de formarem com a água, uma pasta que pode ser moldada, secada e endurecida sob a ação do calor. Essas misturas são resultantes da desagregação do feldspato.**

- A característica comum a estes materiais é serem constituídos de elementos metálicos e elementos não metálicos, ligados por ligações de caráter misto, iônico-covalente .
- Os materiais cerâmicos apresentam alto ponto de fusão.
- São geralmente isolantes elétricos, embora possam existir materiais cerâmicos semicondutores, condutores e até mesmo supercondutores (estes dois últimos, em faixas específicas de temperatura).
- São comumente quimicamente estáveis sob condições ambientais severas.
- Os materiais cerâmicos são geralmente duros e frágeis.

- ▶ No Brasil o setor cerâmico é amplo e heterogêneo o que induz a dividi-lo em sub-setores ou segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização.
- ▶ **Classificação:**
 - ▶ Cerâmica Vermelha
 - ▶ Materiais de Revestimento (Placas Cerâmicas)
 - ▶ Cerâmica Branca
 - ▶ Materiais Refratários
 - ▶ Isolantes Térmicos
 - ▶ Refratários isolantes,
 - ▶ Isolantes térmicos não refratários até 1100 °C,
 - ▶ Fibras ou lãs cerâmicas até 2000° C ou mais,
 - ▶ Fritas e Corantes:
 - ▶ Abrasivos:
 - ▶ Vidro, Cimento e Cal: Cerâmica de Alta Tecnologia/Cerâmica Avançada.

NATUREZA DAS CERÂMICAS

MATERIAIS CERÂMICOS SÃO SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS, NÃO-METÁLICAS CONSTITUÍDAS DE ELEMENTOS METÁLICOS E NÃO-METÁLICOS

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CERÂMICOS VARIAM EM FUNÇÃO DE SUAS LIGAÇÕES QUÍMICAS

EM GERAL, MATERIAIS CERÂMICOS USADOS INDUSTRIALMENTE SE DIVIDEM EM DOIS GRUPOS:

CERÂMICAS TRADICIONAIS

CERÂMICAS AVANÇADAS

Os principais materiais cerâmicos são:

Materiais Cerâmicos Tradicionais: cerâmicas estruturais, louças, refratários (provenientes principalmente de matérias-primas argilosas e de outros tipos de silicatos).

Vidros e Vitro-Cerâmicas.

Abrasivos.

Cimentos.

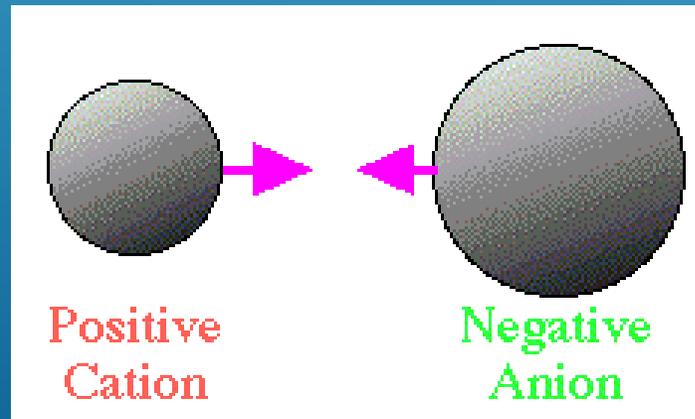
Cerâmicas “Avançadas”: aplicações eletro-eletrônicas, térmicas, mecânicas, ópticas, químicas, bio-médicas.

A LIGAÇÃO IÔNICA E AS ESTRUTURAS CRISTALINAS DAS CERÂMICAS

- **Forma-se com átomos de diferentes eletronegatividades (um alta e outro baixa)**
- **Os elétrons de valência são “*transferidos*” entre átomos produzindo íons**
- **A ligação iônica não é direcional, a atração é mútua**
- **A ligação é forte, por isso o PF dos materiais com esse tipo de ligação é geralmente alto**

LIGAÇÃO IÔNICA

- As forças atrativas eletrostáticas entre os átomos é não-direcional os átomos num material iônico arranjam-se de forma que todos os íons positivos têm como vizinho mais próximo íons negativos, sendo as forças atrativas igual em todas as direções.
- A magnitude da força obedece a Lei de Coulomb



FORÇAS DE ATRAÇÃO E REPUSÃO ENVOLVIDAS EM SÓLIDOS IÔNICOS

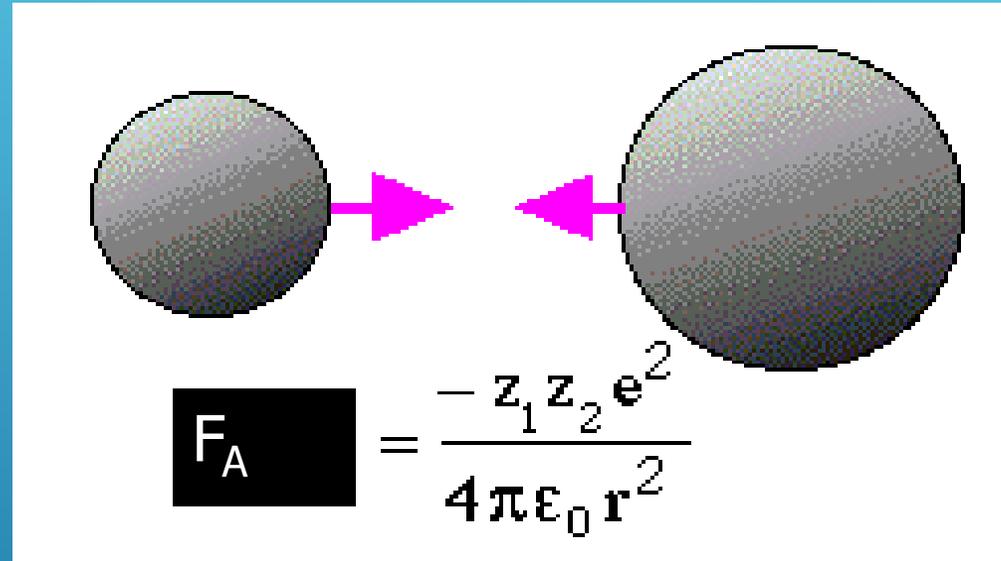
- ☀ $F_A = -A/r^2$

- ☀ $F_R = B/r^n$

- ☀ A, B e n são valores que dependem do sistema iônico em questão

LEI DE COULOMB

- Forças atrativas $\Rightarrow F_A = -A/r^2$



- r é a distância interatômica
- z_1 e z_2 são as **valências** dos 2 tipos de íons
- e é a carga do elétron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
- ϵ_0 é a permissividade do vácuo ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)

Percentual de Caráter Iônico das Ligações Interatômicas para Vários Materiais Cerâmicos

<i>Material</i>	<i>Percentual de Caráter Iônico</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

CARACTERÍSTICAS DOS ÍONS QUE AFETAM A ESTRUTURA CRISTALINA

- CARGA
 - TAMANHO (RAIO IÔNICO)
- 
- A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted upwards from left to right, located in the bottom right corner of the slide.

CONSIDERAÇÕES SOBRE CARGA

- Como o cristal deve ser eletronicamente neutro todas as cargas positivas devem ser contrabalançadas com um número igual de cargas negativas

Ex: CaF_2 A relação deve ser de um átomo de Ca para dois de F pois:

- Carga do Ca: +2
- Carga do F = -1

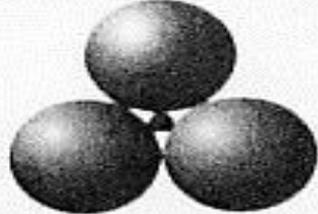
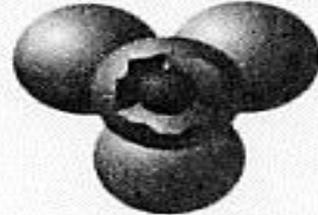
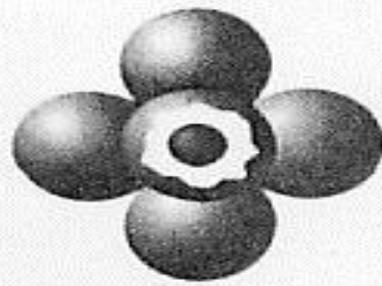
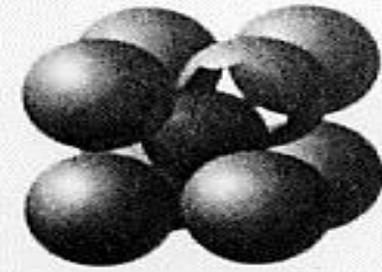
CONSIDERAÇÕES SOBRE RAIOS IÔNICOS (R_C e R_A)

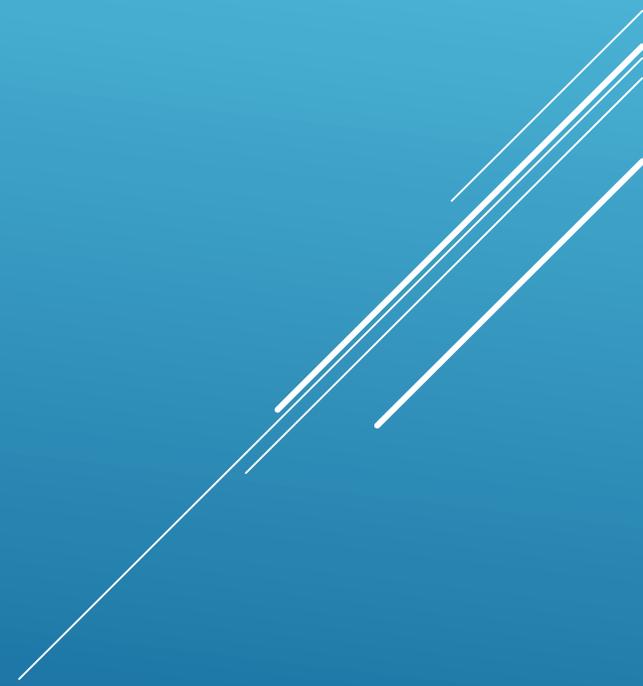
- R_C : em geral são menores porque cedem elétrons
- R_A : em geral são maiores porque recebem elétrons

- Então: **$R_C / R_A < 1$**

Número de coordenação (número de vizinhos)

- Depende da razão: R_C / R_A

<i>Número de Coordenação</i>	<i>Razão entre Raios Cátion-Ânion</i>	<i>Geometria de Coordenação</i>
2	$<0,155$	
3	$0,155-0,225$	
4	$0,225-0,414$	
6	$0,414-0,732$	
8	$0,732-1,0$	

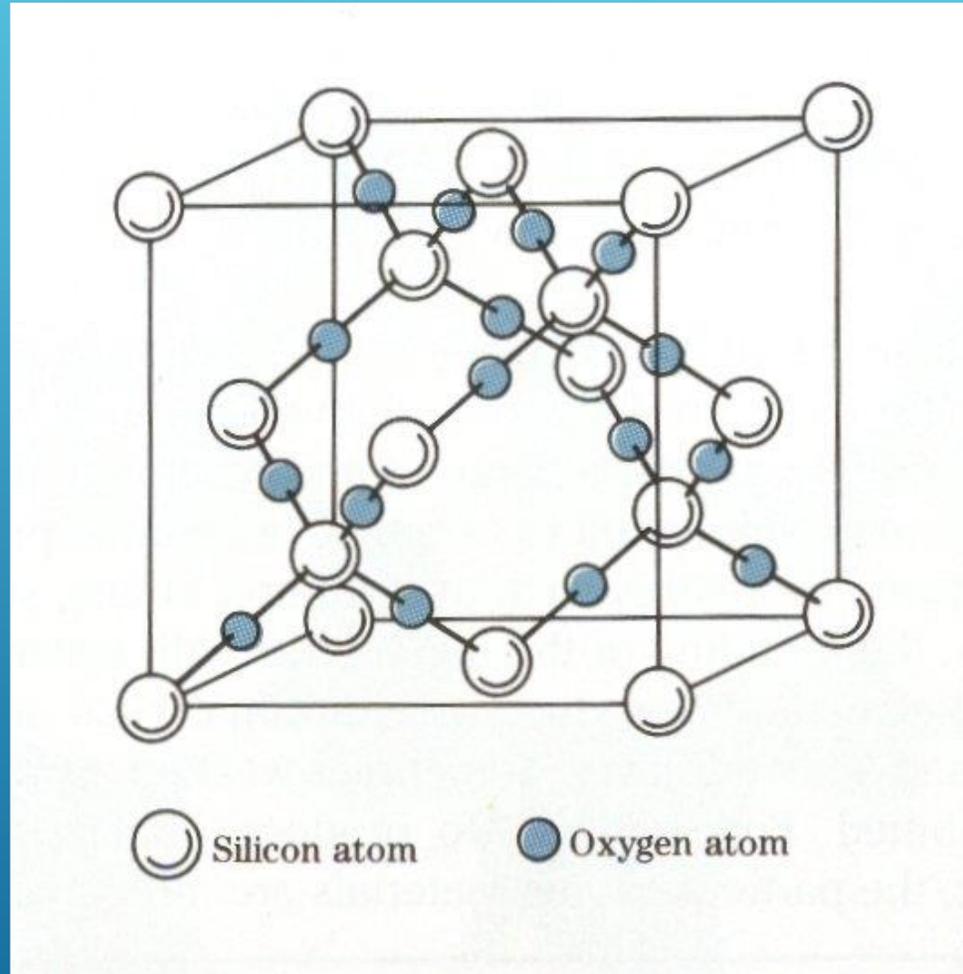


ESTRUTURAS CRISTALINAS DAS CERÂMICAS

A extrema fragilidade e dureza dos cerâmicos vem da natureza das suas ligações atômicas iônicas ou covalentes

As estruturas cristalinas, quando presentes, são extremamente complexas

Exemplo: O óxido de Silício (SiO_2) pode ter três formas cristalinas distintas: quartzo, cristobalite e tridimite



■ PROPRIEDADES TÉRMICAS E FÍSICAS

- Densidade: $2-3 \text{ g/cm}^3$
 - Embora os materiais cerâmicos sejam em geral isolantes de calor e eletricidade, há uma classe de materiais cerâmicos que são supercondutores
 - A dilatação térmica é baixa comparada com metais e polímeros
- 

PROPRIEDADES MECÂNICAS

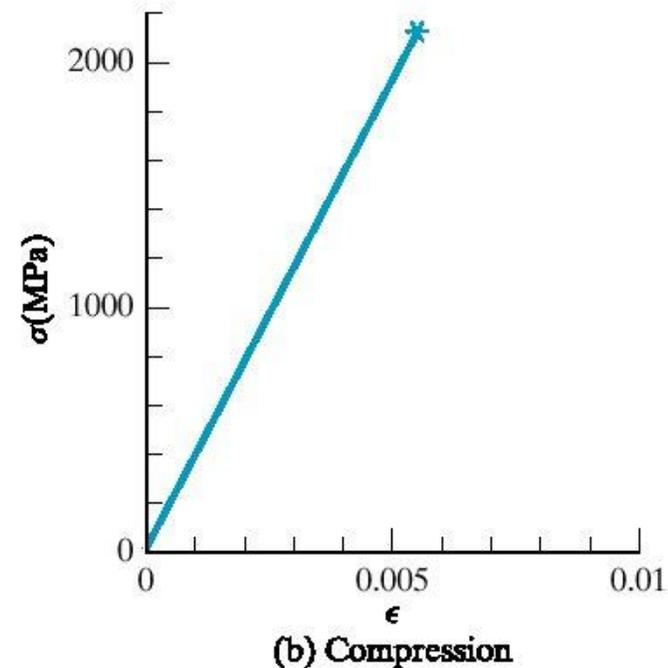
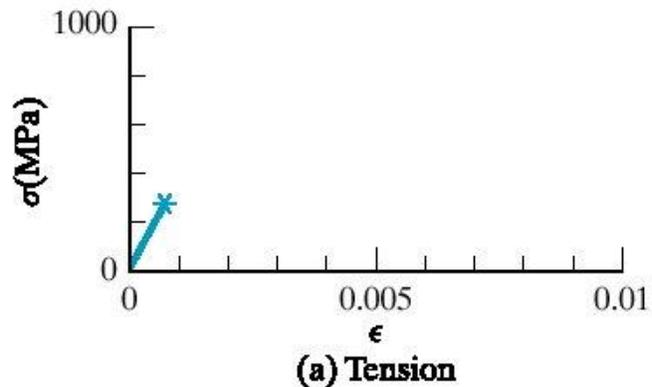
- Apresentam baixa resistência ao choque
- São duros e frágeis em relação à tração ($\sim 17 \text{ kgf/mm}^2$)
- São resistentes em relação à compressão
- O módulo de elasticidade é alto: $\sim 45.500 \text{ kgf/mm}^2$ (aço: 20.000 kgf/mm^2)
- Têm alta dureza e alta resistência ao desgaste

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CERÂMICOS E VIDROS

COMPORTAMENTO FRÁGIL

- Característica típica dos cerâmicos: melhor resistência em compressão que em tracção.
- Comportamento partilhado por ferros fundidos

- Ensaio de tracção é difícil de fazer e dá dispersão de resultados muito grande
- Fazem-se ensaios de flexão!



CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

CRISTALINOS

Incluem os cerâmicos à base de **Silicatos, Óxidos, Carbonetos e Nitretos**

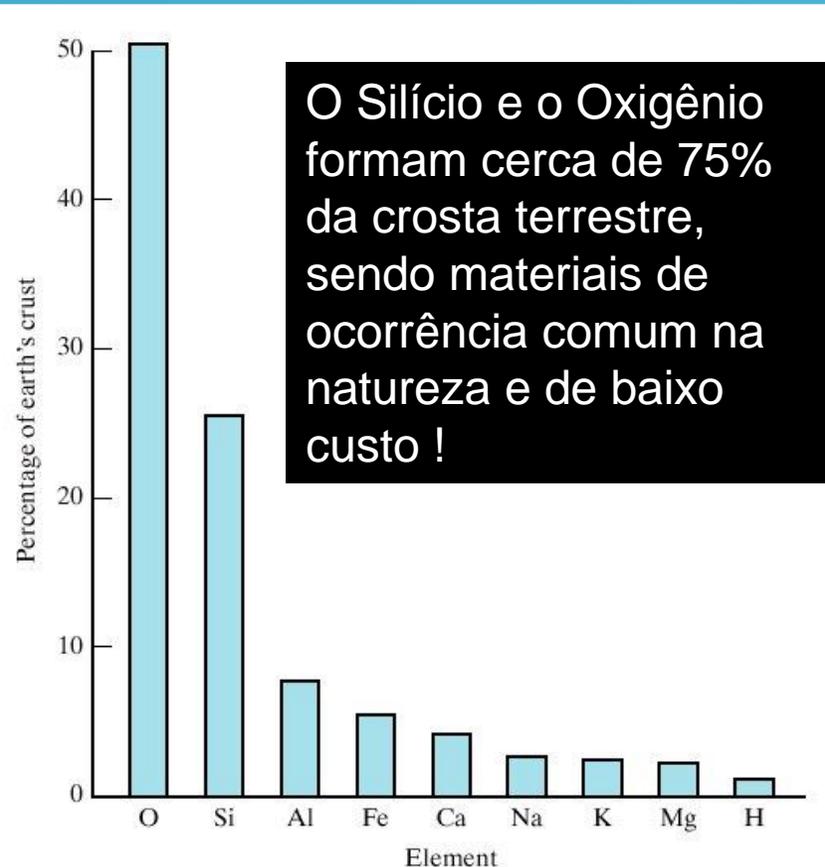
AMORFOS (VIDROS)

Em geral com a mesma composição dos cristalinos, **diferindo no processamento**

VIDRO-CERÂMICOS

Formados inicialmente como **amorfos e tratados termicamente**

Os cerâmicos avançados são baseados em óxidos, carbonetos e nitretos com elevados graus de pureza



CERÂMICOS CRISTALINOS DE SILICATOS

	Composição (% em peso)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Outros
Sílica refractária	96					4
Tijolo refractário						5
Mulita refractária	28	72				----
Porcelana eléctrica	61	32	6			1
Porcelana steatite	64	5		30		1
Cimento Portland	25	9			64	2

Os cerâmicos cristalinos à base de Silicatos não são usados como materiais estruturais (não são considerados cerâmicos avançados)

CERÂMICOS CRISTALINOS SEM SILICATOS

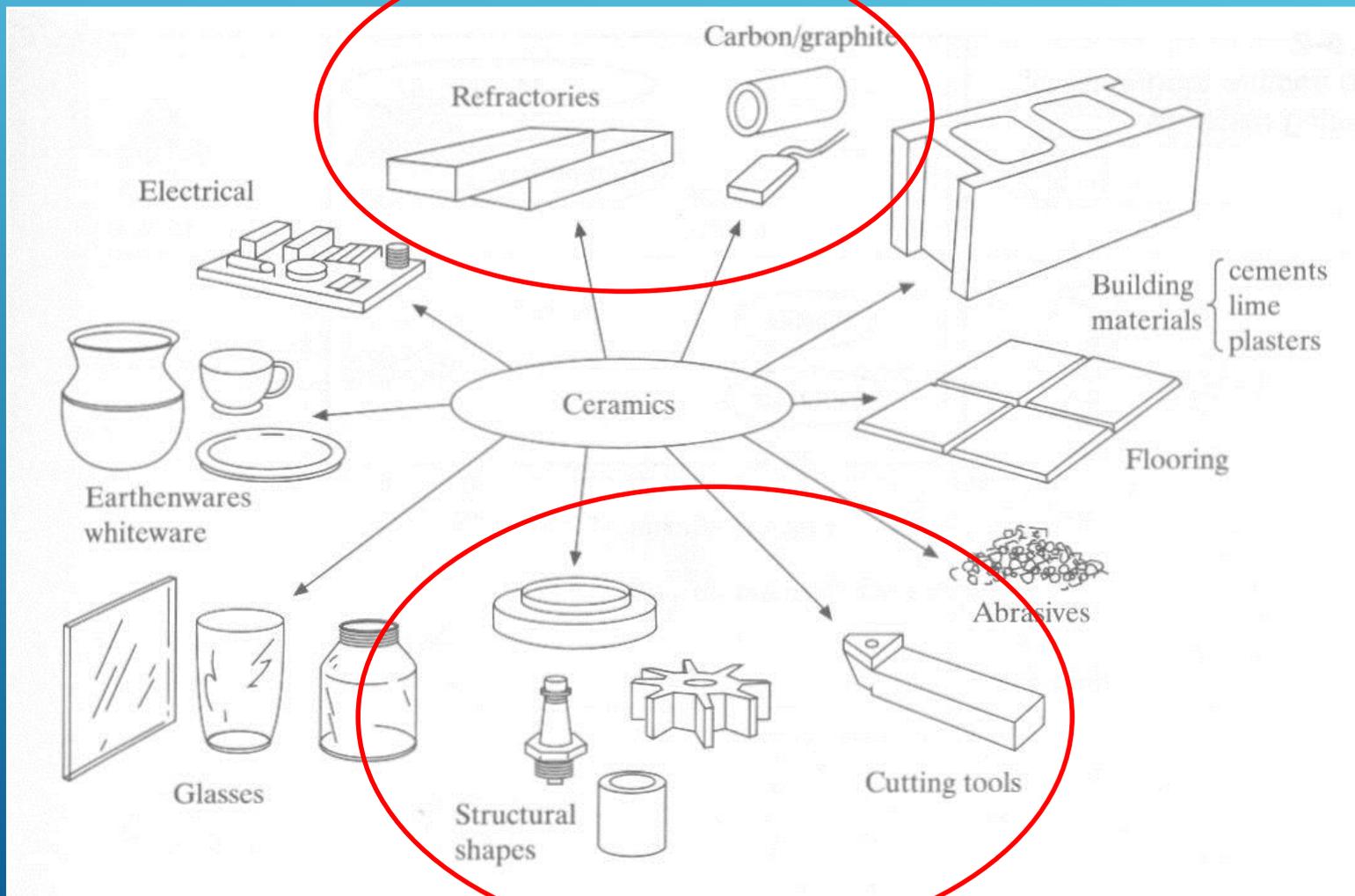
Nome comum	Comp.	Utilização
Alumina, alumina refractária	Al_2O_3	Isolamento térmico e eléctrico
Magnésia, magnésia refractária	MgO	Resistência ao desgaste
Spinel	$\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	Idem
Óxido de Crómio	Cr_2O_3	Revestimentos para resist. ao desgaste
Dióxido de urânio	UO_2	Combustível em reactores nucleares
Zircónia (parcial.) estabilizada	ZrO_2	Isolamento térmico (estab. com 10%CaO)
Titanato de Bário	BaTiO_3	Componentes electrónicos
Ferrite de Níquel	NiFe_2O_4	Componentes "magnéticos"

Nome comum	Comp	Utilização
Carboneto de Silício	SiC	Abrasivos
Nitreto de Silício	Si_3N_4	Resistência ao desgaste
Carboneto de Titânio	TiC	Resistência ao desgaste
Carboneto de Tântalo	TaC	Resistência ao desgaste
Carboneto de Tungsténio	WC	Ferramentas de corte
Carboneto de Boro	B_4C	Abrasivos
Nitreto de Boro	BN	Isolamento

VIDROS (CERÂMICOS AMORFOS)

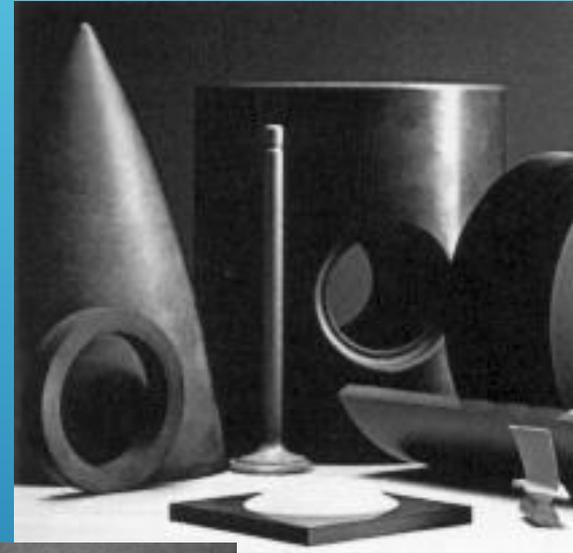
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	ZnO	PbO	Utilização
Sílica vítrea	100									Vidro alta pureza(*)
Borosilicato	76	13	4	5	1					Vidro p/ química
Vidro (janelas)	72		1	14	8	4				
Vidro (conten.)	73		2	14	10					
Fibra vidro E	54	8	15		22					Fibras p/ compósitos
Verniz	60		16		7		11	6		
Enamel	34	3	4				17		42	Revestimento p/ metais

MATERIAIS CERÂMICOS: PRINCIPAIS APLICAÇÕES



MATERIAIS CERÂMICOS: PRINCIPAIS APLICAÇÕES

- Ind. Mecânica, elétrica e química





Ceramic Cutting Tools



Ceramic Pump and Valve Components



BIOCERAM Dental and Orthopedic Implants (marketed in Japan)



Ceramic rotors under commercial production
Materials: Sintered silicon nitride

Materials cerâmicos são extremamente duros
podendo atingir 9,5 na escala Mohs

ÓXIDOS: PODEM SER SIMPLES OU MISTOS

- EXEMPLOS DE ÓXIDO SIMPLES:

- Alumina (Al_2O_3),
- Berília (óxido de berilo),
- Magnésia (óxido de Mg),
- Zirconia (óxido de zircônio),
- Tória (óxido de tório)
- Sílica (SiO_2)

■ **ÓXIDO MISTOS:** são misturas de alumina, magnésia e sílica

ALUMINA



- CARACTERÍSTICAS:
 - Baixo custo
 - Boas propriedades mecânicas
 - Excelente resistividade elétrica e dielétrica
 - Resistente à ação química
 - Aplicações: isoladores elétricos, aplicações aeroespaciais, componentes resistentes à abrasão,....

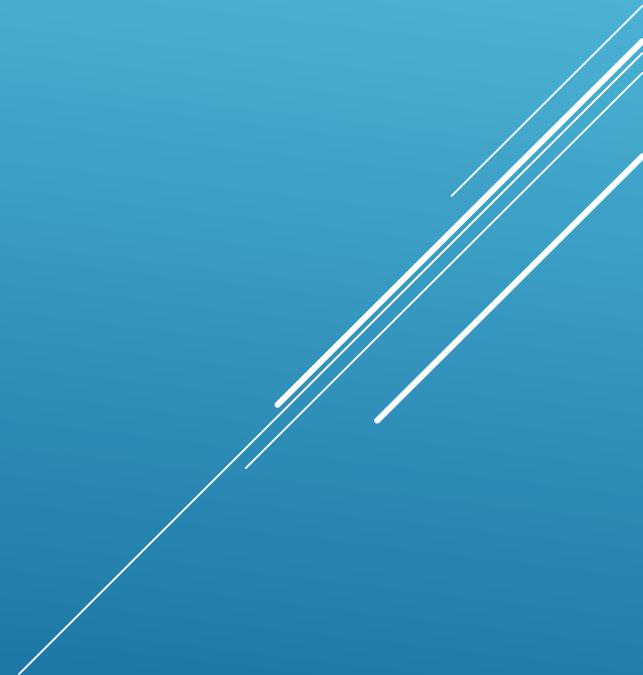


BERÍLIA

- CARACTERÍSTICAS:
 - Apresenta boa condutividade térmica
 - Alta resistência Mecânica
 - Boas propriedades dielétricas
 - É cara e difícil de trabalhar
 - A poeira é tóxica
 - Aplicações: giroscópios, transistores, resistores, ...

MAGNÉSIA

- CARACTERÍSTICAS:
 - Têm aplicações limitadas porque não é suficientemente resistente e é susceptível ao choque térmico, devido sua elevada dilatação térmica.



ZIRCÔNIA

- CARACTERÍSTICAS:
 - Apresenta-se em várias formas (monoclínica, cúbica estabilizada,..)
 - A zircônica estabilizada apresenta:
 - Alta temperatura de fusão (2.760°C)
 - Baixa condutividade térmica
 - Alta resistência à ação química



TÓRIA

- CARACTERÍSTICAS:
 - É o material cerâmico mais estável e o de mais alto ponto de fusão (3315°C)
 - Aplicado em reatores nucleares
- 
- A decorative graphic consisting of several parallel white lines of varying lengths, slanted upwards from left to right, located in the bottom right corner of the slide.

PROPRIEDADES TÍPICAS DE ÓXIDOS CERÂMICOS

PROPRIEDADES TÍPICAS DE ÓXIDOS CERÂMICOS

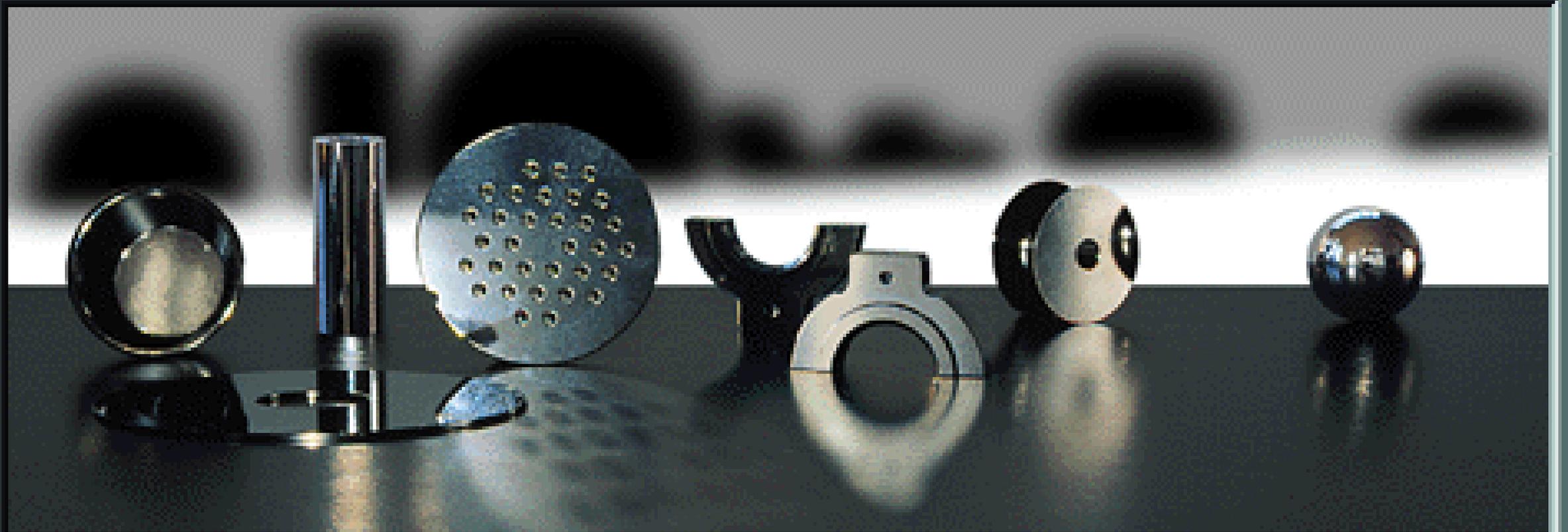
Propriedade	Alumina	Berila	Magnésia	Zircônia	Tória
Ponto de fusão °C	2037,7	2549	2799	2615	3315
Módulo de elasticidade sob tração, kgf/mm ²	45.500	24.500	28.000	21.000	14.000
Resistência à tração, kgf/mm ²	26,6	9,8	14	14,7	5,25
Resistência à compressão, kgf/mm ²	224	210	84	210	140
Microdureza Knoop	3.000	1.300	700	1.100	700
Máxima temperatura de serviço (em atmosfera oxidante), °C	1949	2399	2399	2499	2699

OUTROS TIPOS DE MATERIAIS CERÂMICOS

- CARBONETOS:
 - Carboneto de Tungstênio, carboneto de silício (conhecido como *carborundum*), carboneto de titânio.
- BORETOS:
 - Boretos de hafnio, tântalo, tório, titânio, zircônio
- NITRETOS DE BORO E SILÍCIO:
 - Os nitretos de boro tem dureza equivalente ao diamante e resiste sem oxidação até 1.926°C



Peça recobertas com TiC



CARBONETO DE SILÍCIO

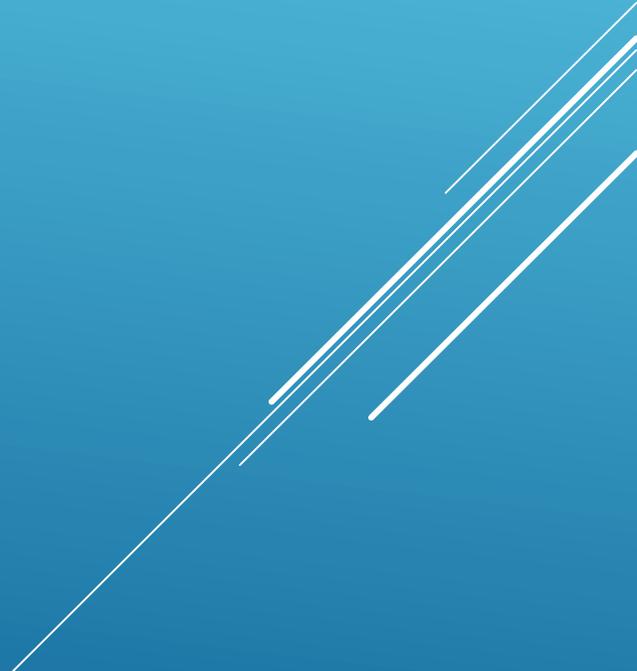
- Apresenta elevada condutividade térmica
- Baixa dilatação térmica (baixo choque térmico)
- É um dos melhores materiais sob o ponto de vista de resistência ao desgaste e à abrasão



BORETOS

- Apresentam alta dureza
 - Elevada relação resistência/rigidez
 - Resistência à elevadas temperaturas
- 

VIDROS DA FAMÍLIA SODA-CAL

- São os mais antigos, mais baratos e mais utilizados
 - São de fácil conformação
 - Podem ser usados até temperaturas de 460°C no estado recozido e até 250°C no estado temperado
 - Aplicações:
 - Janelas, garrafas, copos,...
- 

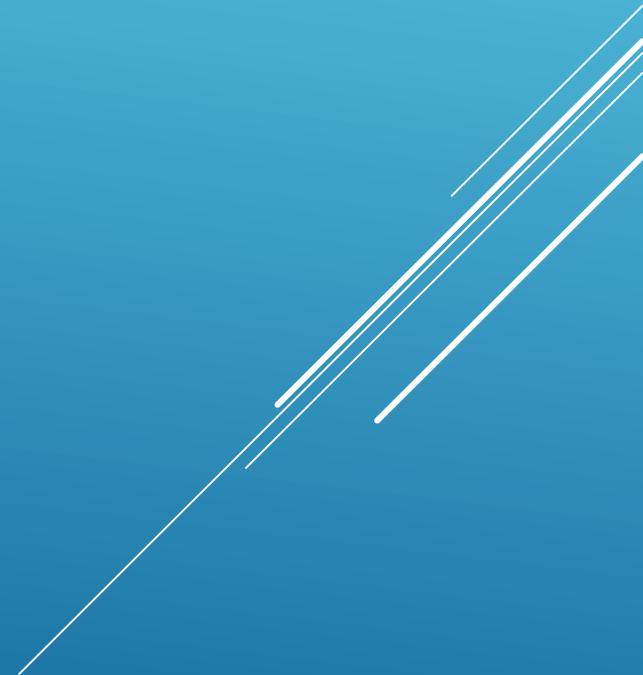
VIDROS AO CHUMBO

- Têm alta resistividade elétrica
 - Custo relativamente baixo
 - Aplicações:
 - Tubulações de sinalização de neônio, diversos componentes ópticos, ...
- 

VIDROS AO SILICATO DE BORO

- Têm excelente durabilidade química
- Excelente resistência ao calor e ao choque térmico
- O tipo mais + comum é o pyrex e o kovar

- Aplicações:
- Vedações, visores, medidores, tubulações, espelhos de telescópios, vidros de laboratórios, vidros de fornos,...



VIDROS AO SILICATO ALUMINOSO

- São de custo elevado.
- Apresentam boa resistência a temperaturas relativamente elevadas e boa resistência ao choque térmico.
- Boa resistência `a produtos químicos.
- Aplicações:
 - Termômetros para altas temperaturas, tubos de combustão, utensílios para empregos em fornos de cozinhar,...

VIDROS DE SÍLICA FUNDIDA

- São constituídos 100% de sílica
 - São muito puros e um dos mais transparentes
 - São os mais resistentes à temperatura (resistem até 1260°)
 - Possuem excelente resistência ao choque térmico e à ação de agentes químicos
 - São de custo elevado e de conformação difícil

 - Aplicações:

 - Especiais como sistemas ópticos de laboratório, instrumentos para laboratório de pesquisa
- 

CARACTERÍSTICAS DAS CERÂMICAS

**RESISTÊNCIA MECÂNICA AUMENTA QUANDO O
PRODUTO É AQUECIDO EM ALTAS TEMPERATURAS:
REAÇÕES TERMOQUÍMICAS**

ALTA DUREZA

ALTA FRAGILIDADE

ESTRUTURA CRISTALINA COMPLEXA

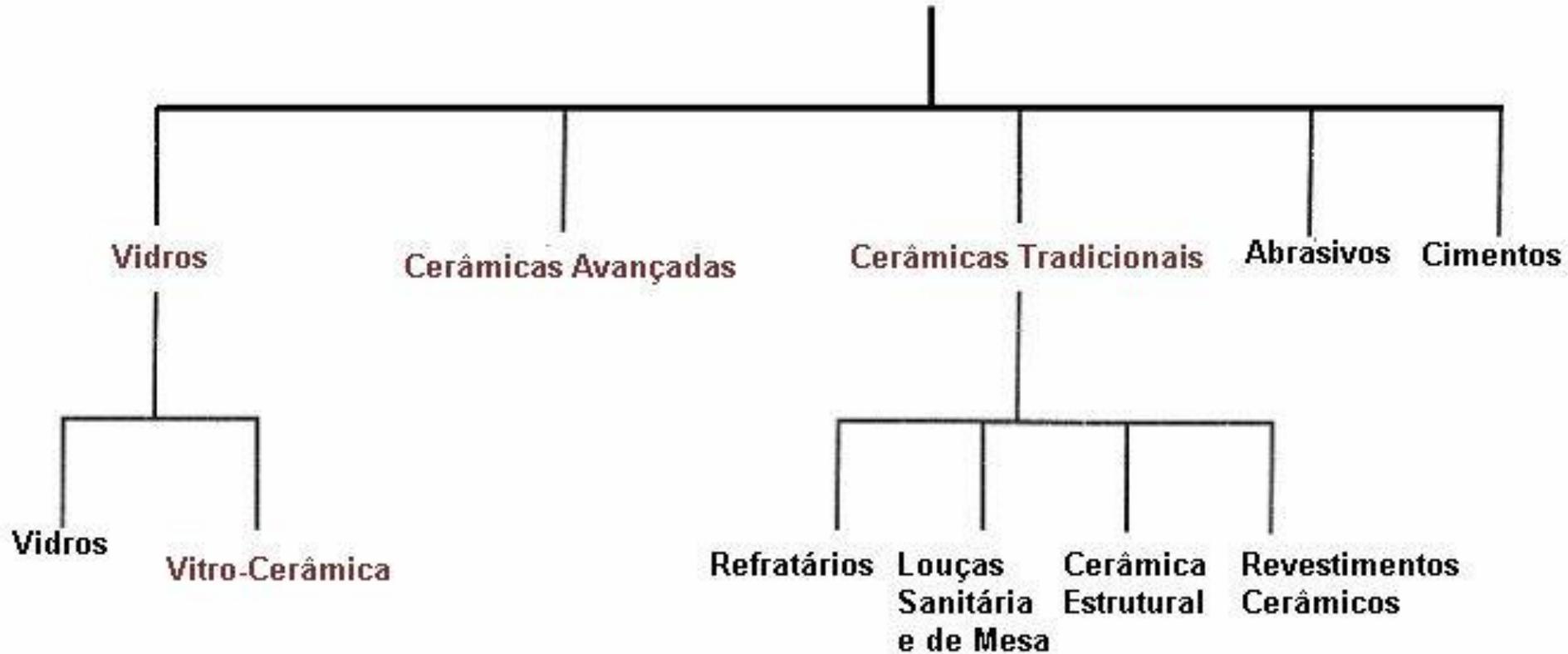
ELEVADO PONTO DE FUSÃO

BOM ISOLANTE TÉRMICO E ELÉTRICO

MATÉRIA PRIMA DE CUSTO RELATIVAMENTE BAIXO

- ▶ Classificação dos Materiais Cerâmicos
 - ▶ Baseada na Aplicação

Materiais cerâmicos



VIDROS

- ▶ Principal tipo de vidro : vidro de sílica
 - ▶ Sólido não cristalino
 - ▶ que apresenta apenas ordenação atômica de curto alcance.
- ▶ **Composição Química**
 - ▶ Principal óxido: SiO_2 ; outros óxidos: CaO , Na_2O , K_2O e Al_2O_3 .
- ▶ Material muito comum na vida cotidiana
 - ▶ Exemplos: embalagens, janelas, lentes, fibra de vidro.
- ▶ Os produtos de vidro são conformados (moldados) a quente, quando o material está “fundido” (apresentando-se como um material de elevada viscosidade, que pode ser deformado plasticamente sem se romper).

TIPOS DE VIDROS

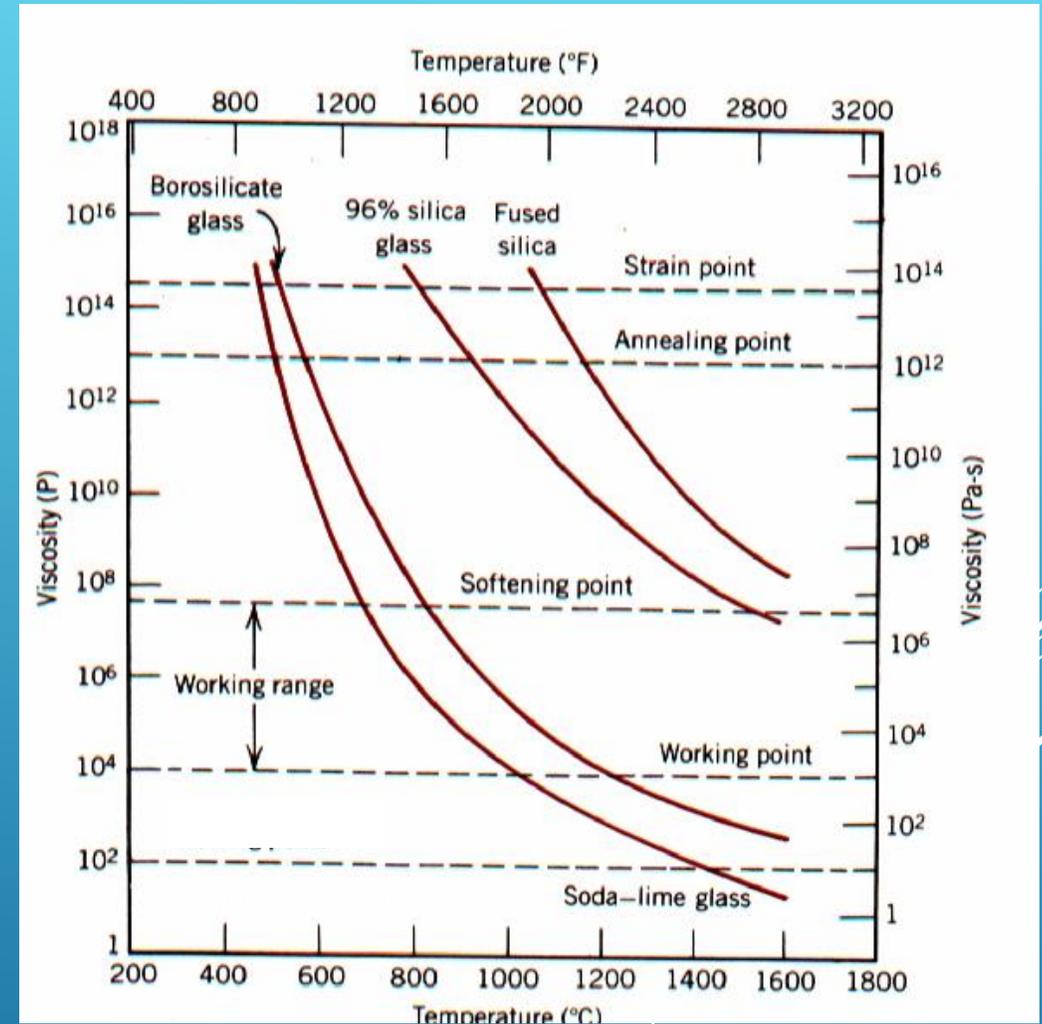
tipo de vidro	composição (% em massa)						características e aplicações
	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	outros	
sílica fundida	> 99,5						alta temperatura de fusão, baixo coeficiente de expansão térmica (resistente ao choque térmico)
96% de sílica (Vycor)	96				4		resistente ao choque térmico e ao ataque químico - material de laboratório
borossilicatos (Pyrex)	81	3,5		2,5	13,0		resistente ao choque térmico e ao ataque químico - artigos de cozinha
embalagem (cal de soda)	74	16	5	1		4 MgO	baixo ponto de fusão, facilmente moldado, durável
fibra de vidro	55		16	15	14	4 MgO	facilmente transformado em fibras- compostos polímeros - fibras de vidro
vidro óptico (flint)	54	1				37PbO 8 K ₂ O	alta densidade e alto índice de refração - lentes ópticas
Vitro-cerâmica	43,5	14		30	5,5	6,5TiO ₂ , 0,5As ₂ O ₃	facilmente fabricado; resistente; resiste a choques térmicos - usados em vidrarias para fornos

PROPRIEDADES DOS VIDROS

- ▶ Não ocorre cristalização (ordenação dos íons em uma estrutura cristalina) durante o resfriamento.
- ▶ Quando o líquido é resfriado, aumenta a sua viscosidade (e diminui o seu volume) até que a viscosidade aumente tanto que o material começa a apresentar o comportamento mecânico de um sólido.
- ▶ Não existe uma temperatura de fusão cristalina, mas uma temperatura de transição vítrea (T_g).

CONFORMAÇÃO DE PRODUTOS DE VIDRO

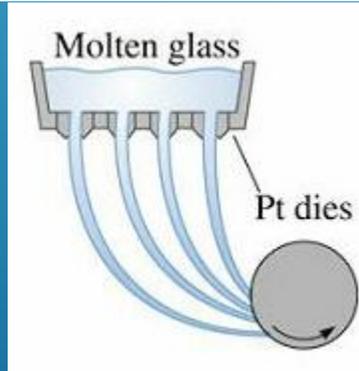
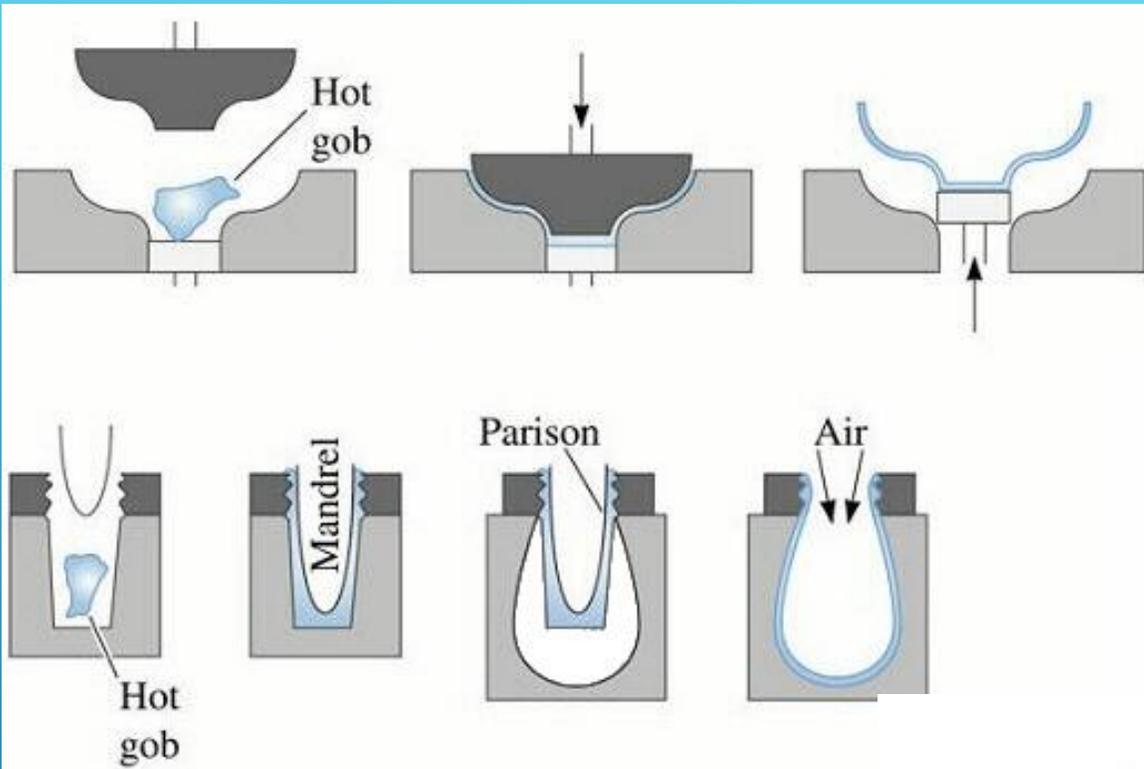
- ▶ Ponto de deformação (Strain Point)
 - ▶ abaixo desta temperatura o vidro fica frágil: viscosidade $\approx 3 \times 10^{14}$ P.
- ▶ Ponto de recozimento (Annealing Point)
 - ▶ as tensões residuais podem ser eliminadas em até 15 min: viscosidade $\approx 10^{13}$ P.
- ▶ Ponto de amolecimento (Softening Point)
 - ▶ Máxima temperatura para evitar alterações dimensionais significativas: viscosidade $\approx 4 \times 10^7$ P.
- ▶ Ponto de trabalho (Working Point)
 - ▶ O vidro pode ser facilmente deformado: viscosidade $\approx 10^4$ P.
- ▶ Abaixo de uma viscosidade de ≈ 100 P
 - ▶ O vidro pode ser considerado um líquido



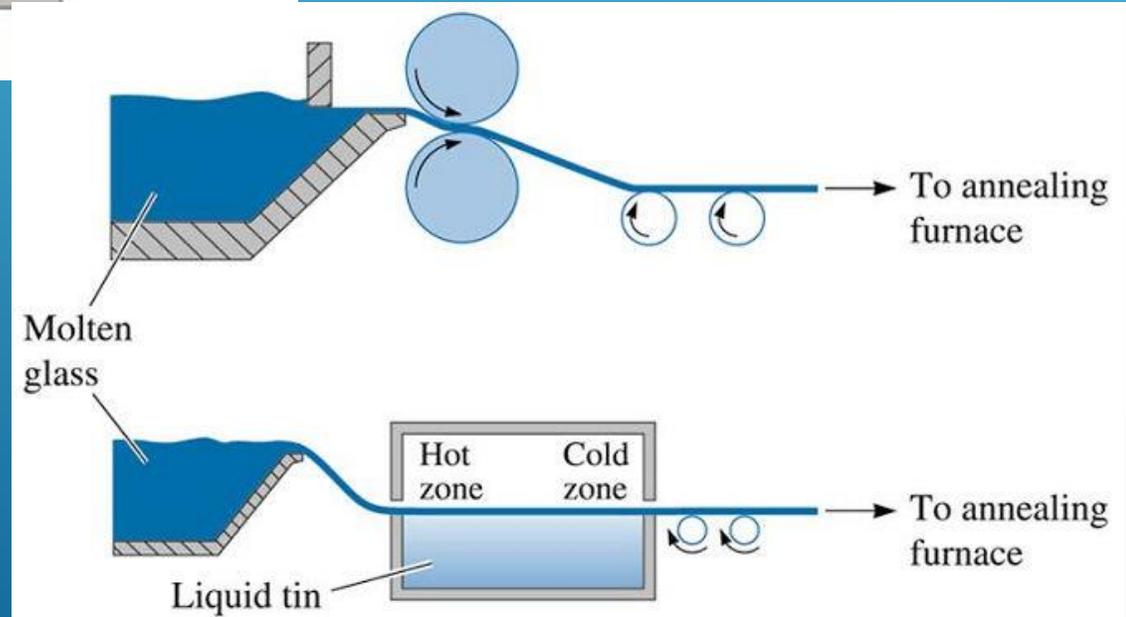
Viscosidade em função da temperatura para diferentes tipos de vidro.

CONFORMAÇÃO DE PRODUTOS DE VIDRO

Prensagem + Sopros

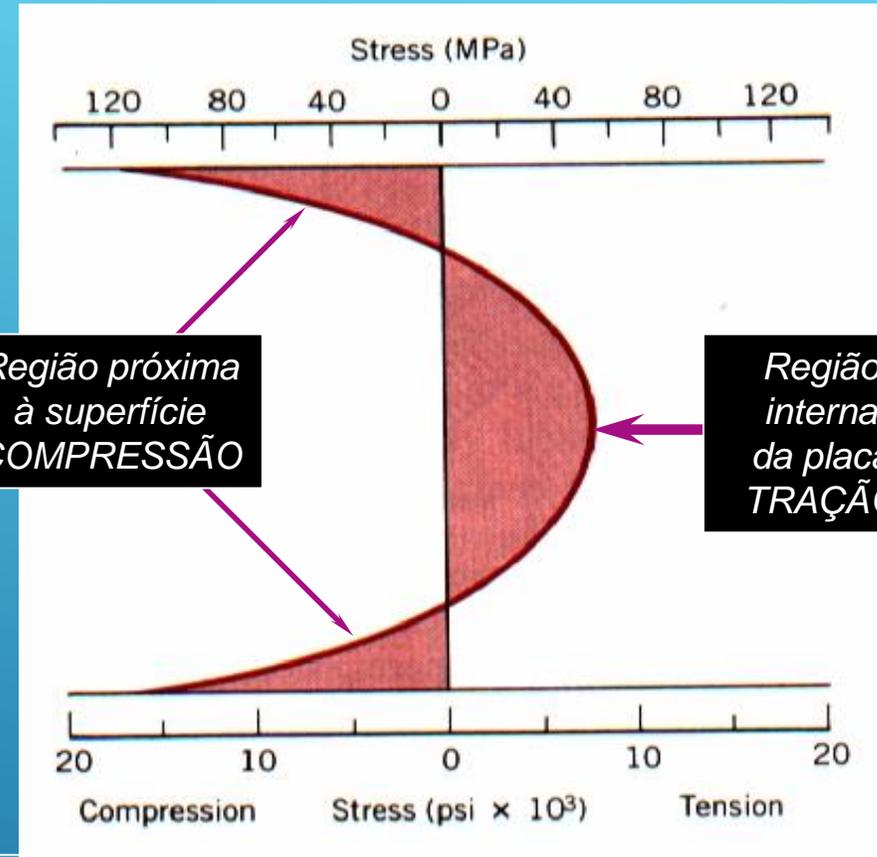
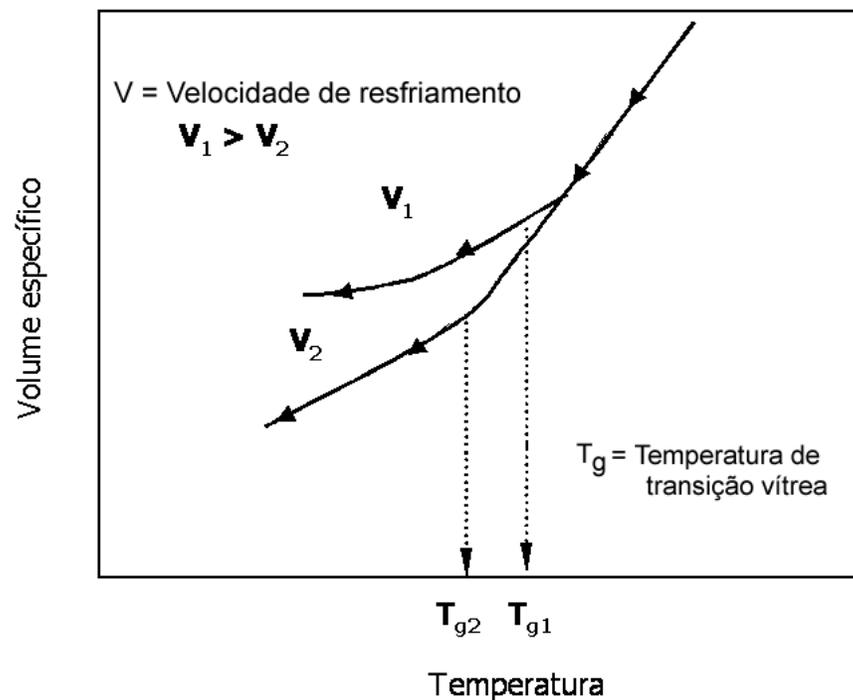
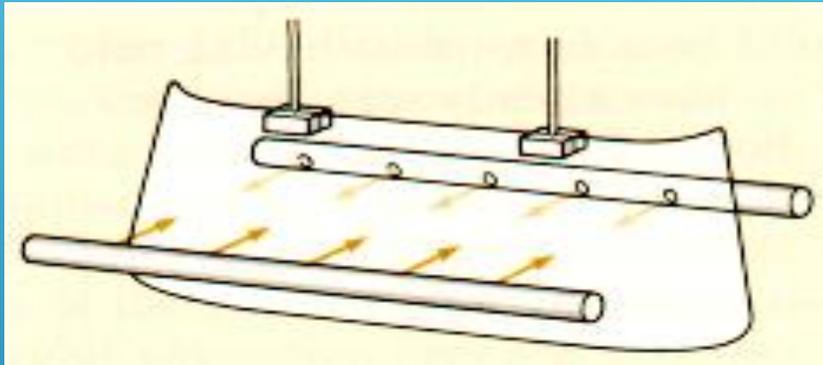


Fibras de Vidro



Tratamento térmico dos vidros - Têmpera

Exemplo de têmpera de um pára-brisas de automóvel.



Distribuição de tensões residuais na seção transversal de uma chapa de vidro temperada em decorrência das diferentes velocidades de resfriamento da superfície e o núcleo

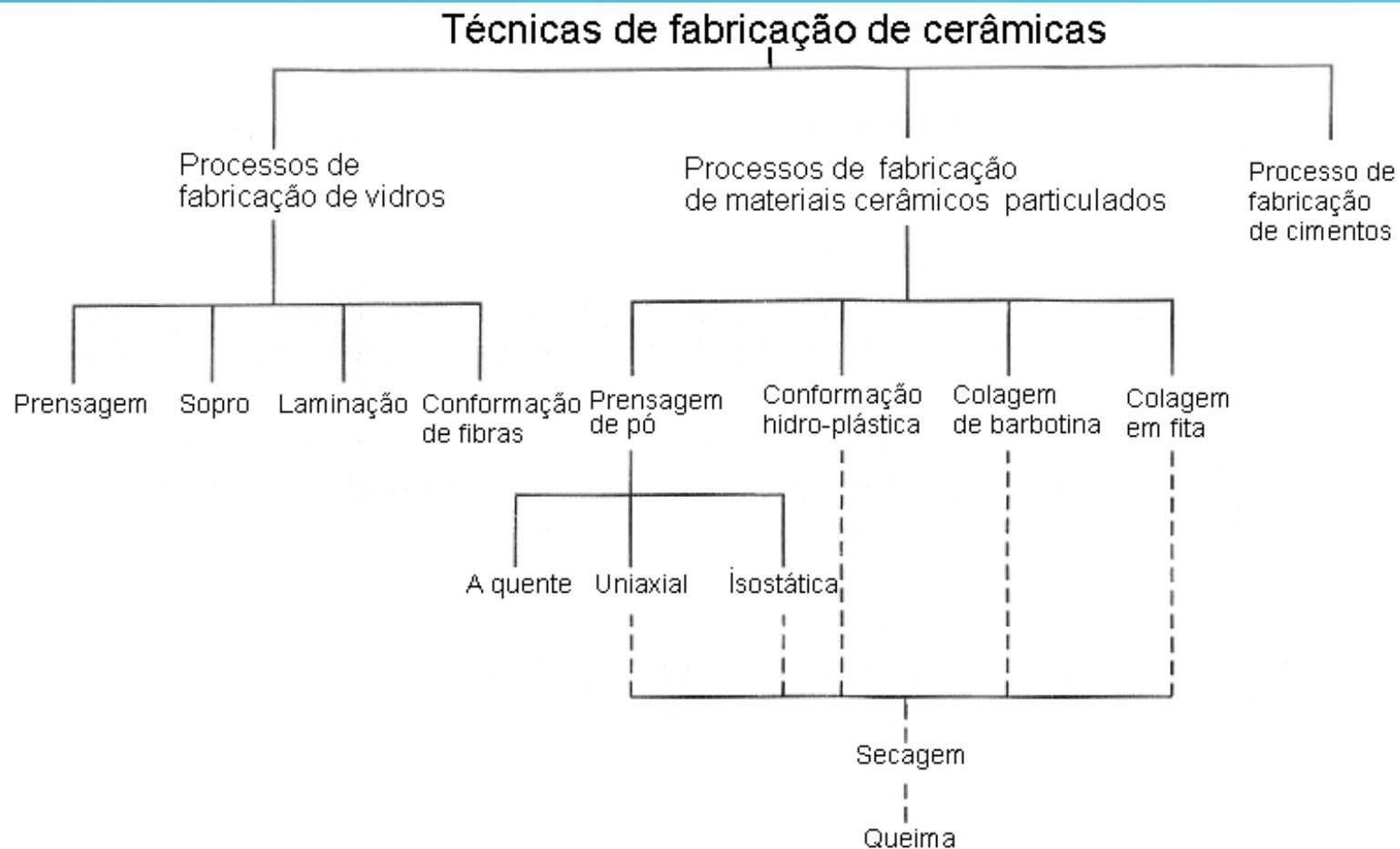
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS CRISTALINOS

Muitos materiais cerâmicos têm elevado ponto de fusão e apresentam dificuldade de conformação passando pelo estado líquido. A plasticidade necessária para sua moldagem é conseguida antes da queima, por meio de mistura das matérias primas em pó com um líquido.

PROCESSAMENTO

- ▶ **Preparação da matéria-prima em pó.**
- ▶ **Mistura do pó com um líquido (geralmente água) para formar um material conformável : suspensão de alta fluidez (“barbotina”) ou massa plástica.**
- ▶ **Conformação da mistura (existem diferentes processos).**
- ▶ **Secagem das peças conformadas.**
- ▶ **Queima das peças após secagem.**
- ▶ **Acabamento final (quando necessário).**

Técnicas de Fabricação dos Materiais Cerâmicos

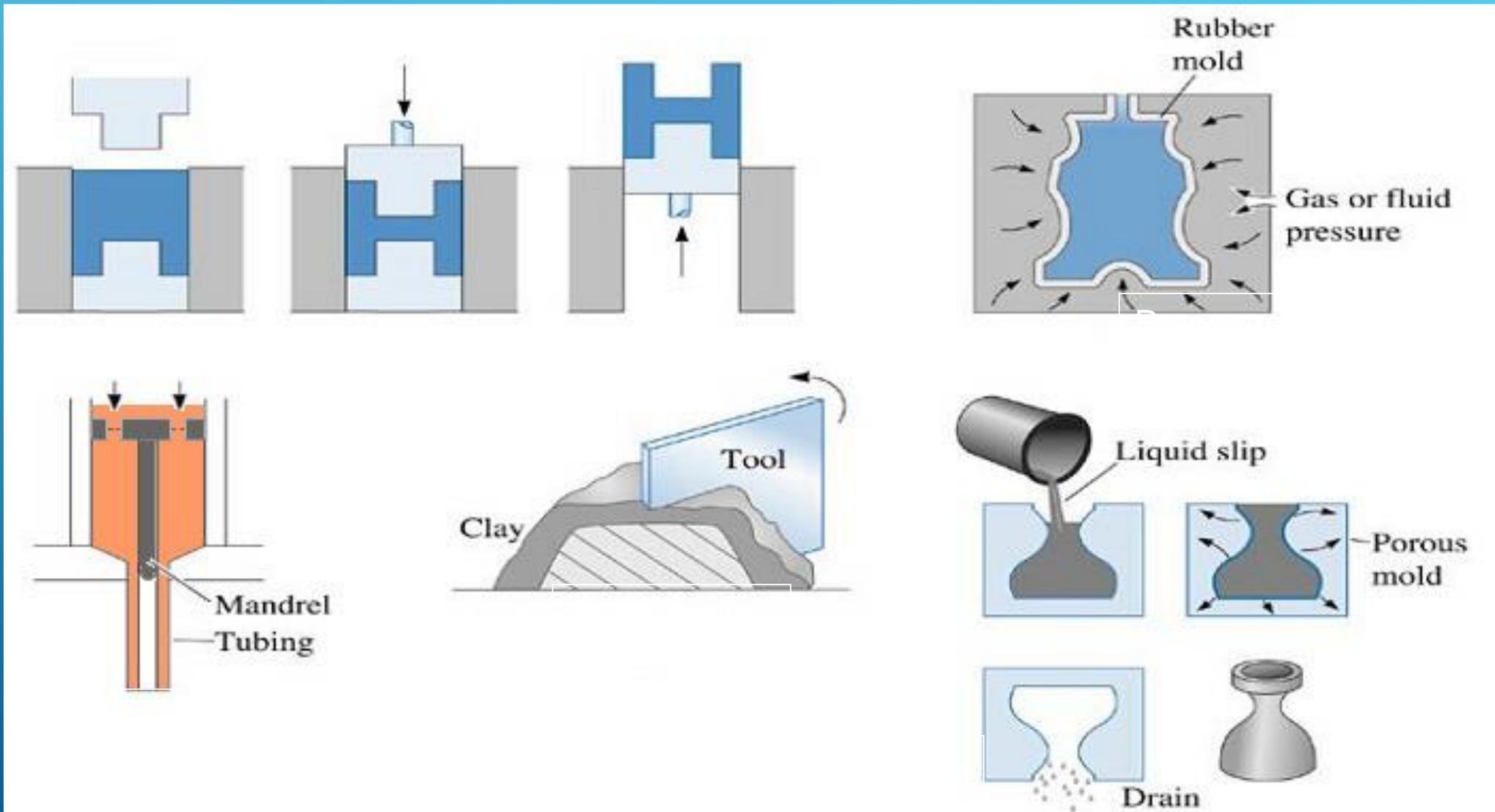


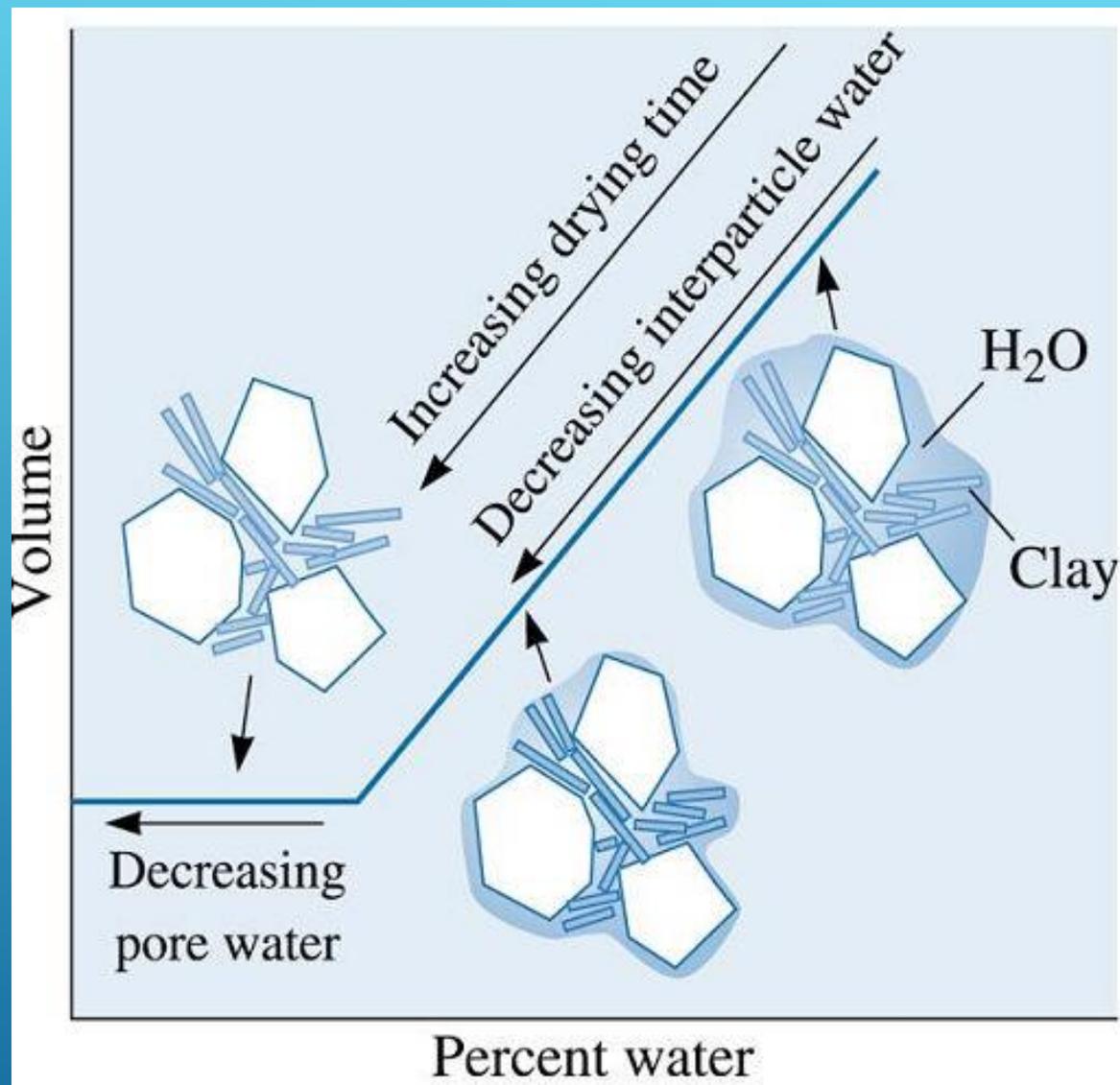
FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS: MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO

- ▶ **Prensagem simples: pisos e azulejos**
- ▶ **Prensagem isostática: vela do carro**
- ▶ **Extrusão: tubos e capilares, tijolos baianos**
- ▶ **Injeção: pequenas peças com formas complexas e rotor de turbinas**
- ▶ **Colagem de barbotina: sanitários, pias, vasos, artesanato**
- ▶ **Torneamento: xícaras e pratos**

FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS: MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO

Prensagem Uniaxial





- ▶ Na secagem ocorre perda de massa e retração pela remoção gradativa de umidade.
- ▶ A peça seca pode passar por uma etapa de acabamento:
 - ▶ acabamento superficial e montagem das peças (por exemplo, asas das xícaras).
 - ▶ aplicação de esmaltes ou vidrados.

FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS
SECAGEM DAS PEÇAS CONFORMADAS

FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS PARTICULADOS

QUEIMA DAS PEÇAS APÓS SECAGEM

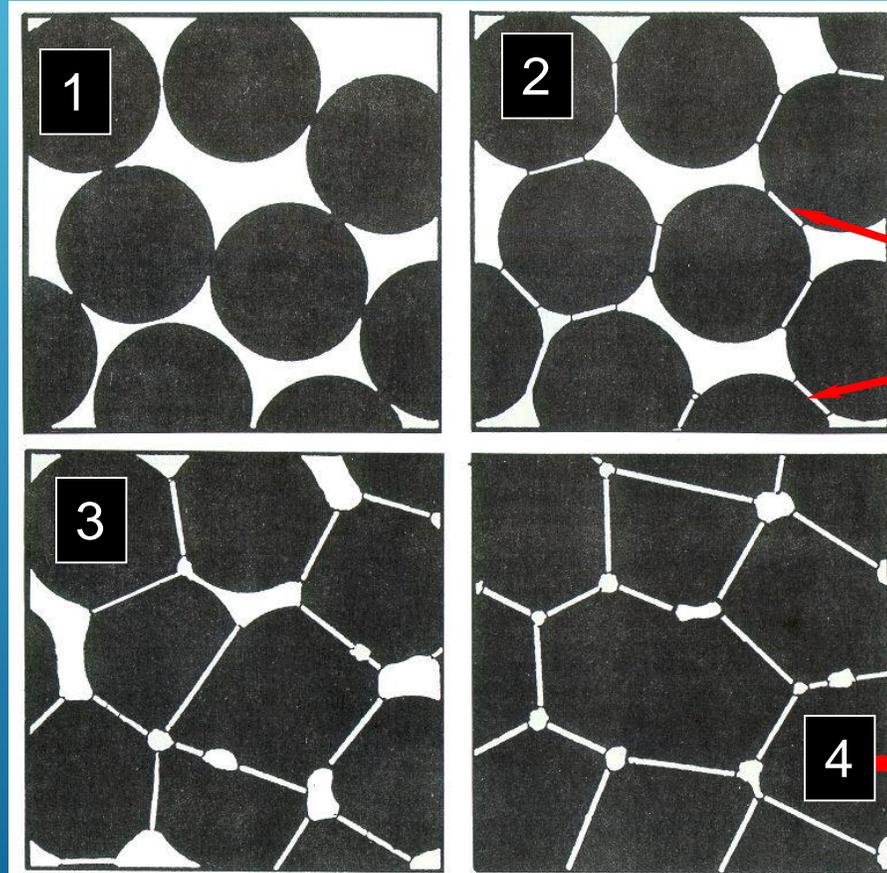
As peças são queimadas geralmente entre 900°C e 1400°C. Esta temperatura depende da composição da peça e das propriedades desejadas. Durante a queima ocorre um aumento da densidade e da resistência mecânica devido à combinação de diversos fatores, mencionados abaixo.

Na queima ocorrem os seguintes fenômenos:

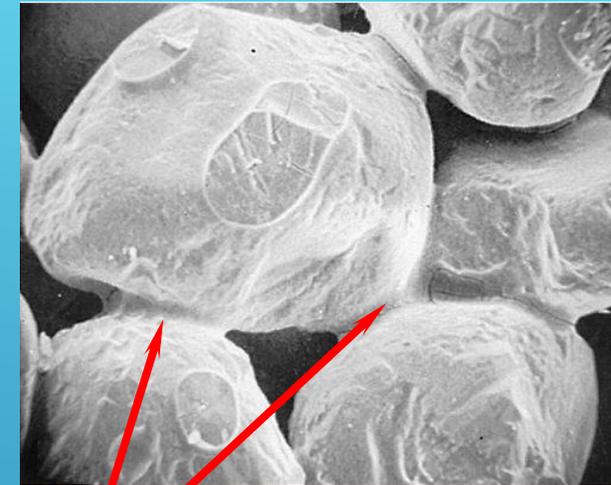
- ▶ **Eliminação do material orgânico (dispersantes, ligantes, material orgânico nas argilas)**
- ▶ **decomposição e formação de novas fases de acordo com o diagrama de fases (formação de alumina, mulita e vidro a partir das argilas)**
- ▶ **Sinterização (eliminação da porosidade e densificação)**

SINTERIZAÇÃO DURANTE A QUEIMA

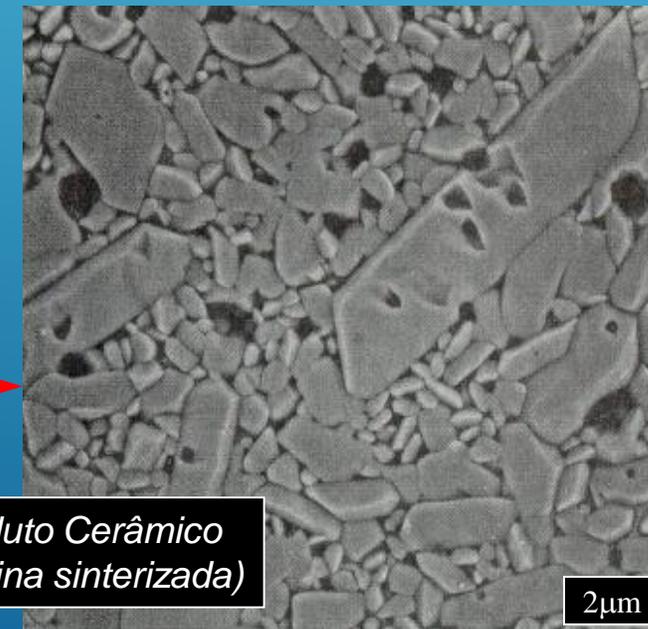
- ▶ O potencial para a sinterização é a diminuição da quantidade de superfície por unidade de volume.
- ▶ O transporte de massa ocorre por difusão.



Representação esquemática de etapas do processo de sinterização



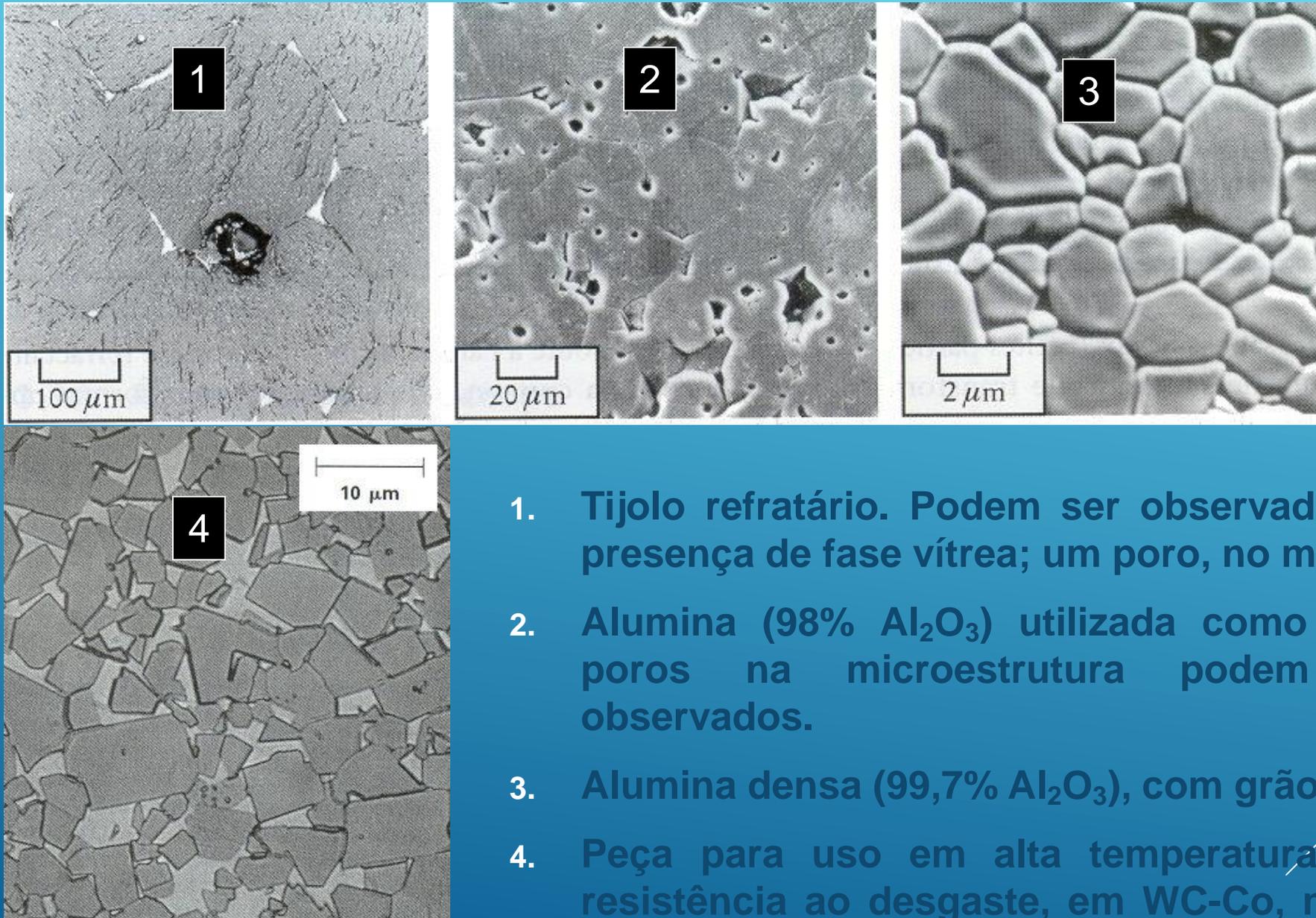
Formação do "pescoço"



Produto Cerâmico (alumina sinterizada)

2µm

MICROESTRUTURAS DE PRODUTOS CERÂMICOS



1. Tijolo refratário. Podem ser observados: entre os grãos, a presença de fase vítrea; um poro, no meio da foto.
2. Alumina (98% Al₂O₃) utilizada como isolante elétrico. Os poros na microestrutura podem ser perfeitamente observados.
3. Alumina densa (99,7% Al₂O₃), com grãos finos.
4. Peça para uso em alta temperatura e condição de alta resistência ao desgaste, em WC-Co, mostrando a presença de fase líquida entre os grãos.

EVOLUÇÃO DAS CERÂMICAS

ATÉ A METADE DO SÉCULO XX, OS MATERIAIS CERÂMICOS ENVOLVIAM APENAS PRODUTOS TRADICIONAIS, COMO TIJOLOS, AZULEJOS, LOUÇA, VIDROS E REFRATÁRIOS

COMPREENSÃO DA NATUREZA INTERNA DESSES MATERIAIS, ALIADA A NOVOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO PERMITIU APLICAÇÕES EM INDÚSTRIAS AVANÇADAS: AEROESPACIAL, DE COMUNICAÇÕES, ELETRÔNICA, MÉDICA

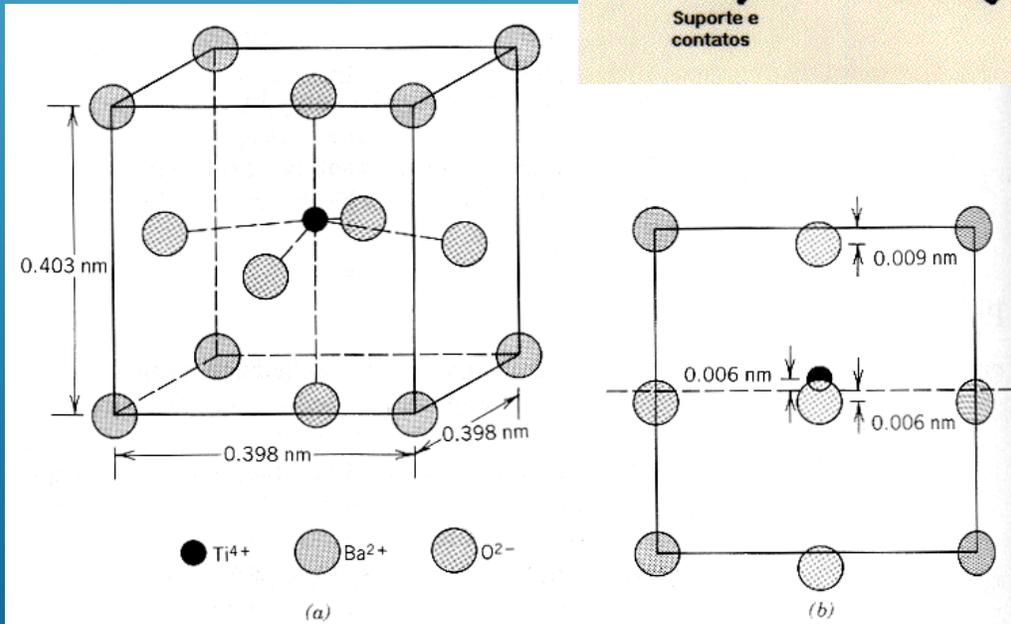
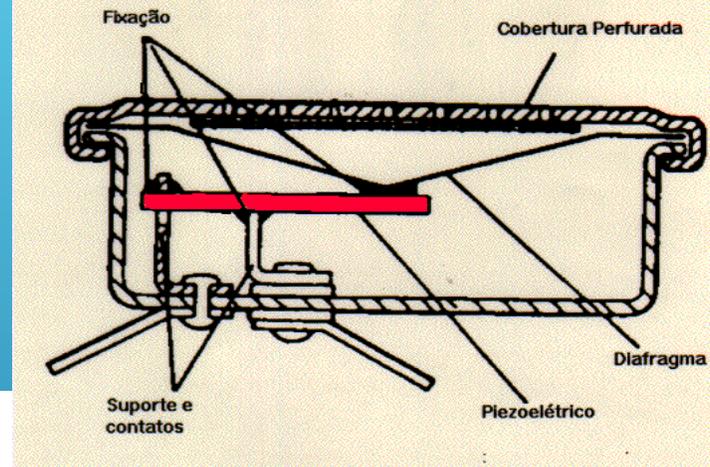
CERÂMICAS DE ALTA TECNOLOGIA

- ▶ Os processos de fabricação desses materiais podem diferir muito daqueles das cerâmicas tradicionais.
- ▶ As matérias-primas são muito mais caras, porque tem qualidade muito melhor controlada (controle do nível de impurezas é crítico).
- ▶ As aplicações são baseadas em propriedades mais específicas:
 - ▶ elétricas
 - ▶ sensores de temperatura (NTC, PTC)
 - ▶ ferroelétricos (capacitores, piezoelétricos)
 - ▶ varistores (resistores não lineares)
 - ▶ dielétricos (isolantes)
 - ▶ térmicas
 - ▶ químicas
 - ▶ sensores de gases e vapores
 - ▶ magnéticas
 - ▶ ópticas
 - ▶ biológicas

MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS

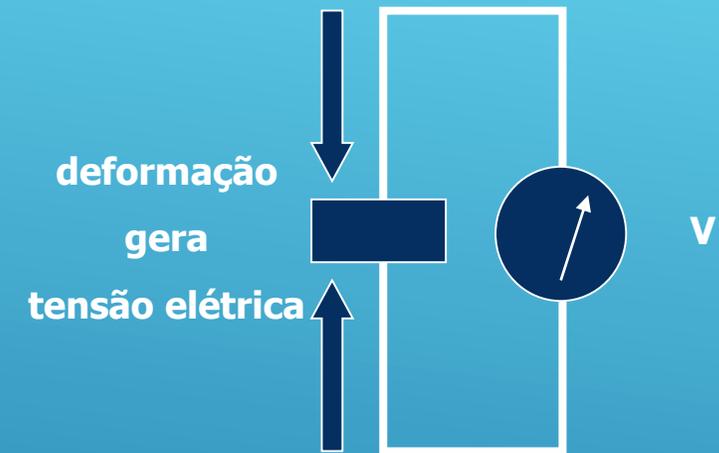
capacidade de alguns cristais gerarem tensão elétrica por resposta a uma pressão mecânica

Exemplo de Aplicação: Microfone



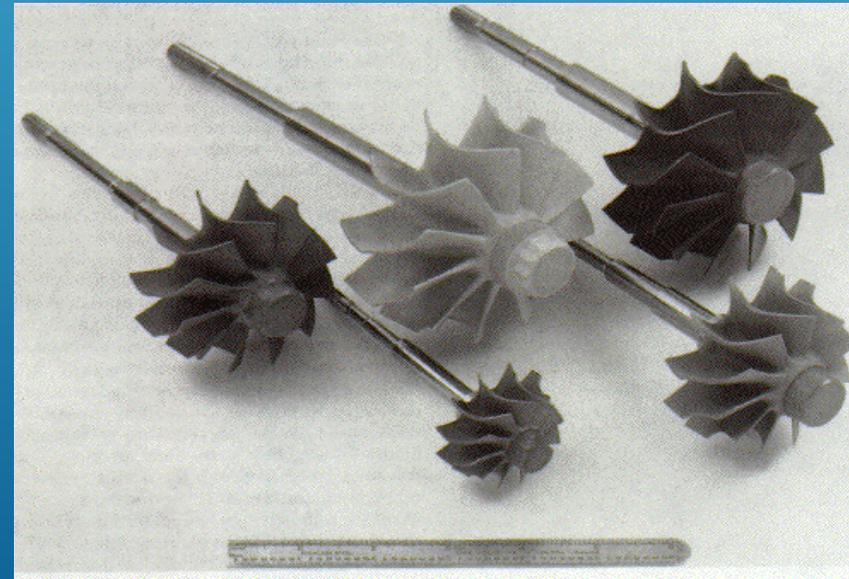
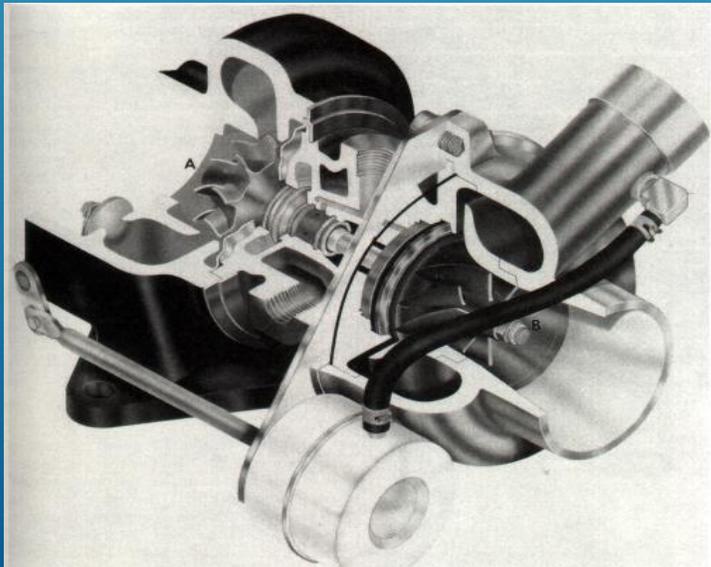
Estrutura Cristalina do titanato de bário ($BaTiO_3$)

Princípio de Funcionamento



APLICAÇÕES E FUNÇÕES MECÂNICAS E TÉRMICAS

- ▶ ferramentas de corte
 - ▶ principais materiais: Al_2O_3 , TiC, TiN
- ▶ materiais resistentes em temperaturas elevadas
 - ▶ principais materiais: SiC, Al_2O_3 , Si_3N_4
 - ▶ turbinas, turbo-compressores e trocadores de calor



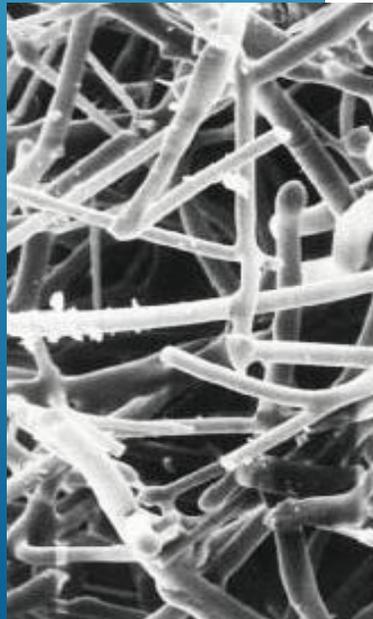
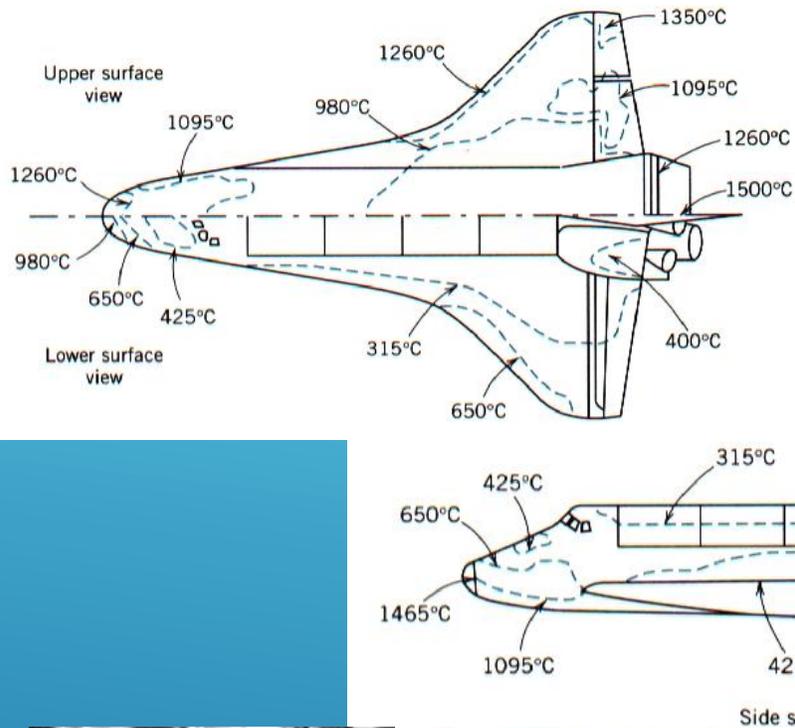
ALUMINA



SiC



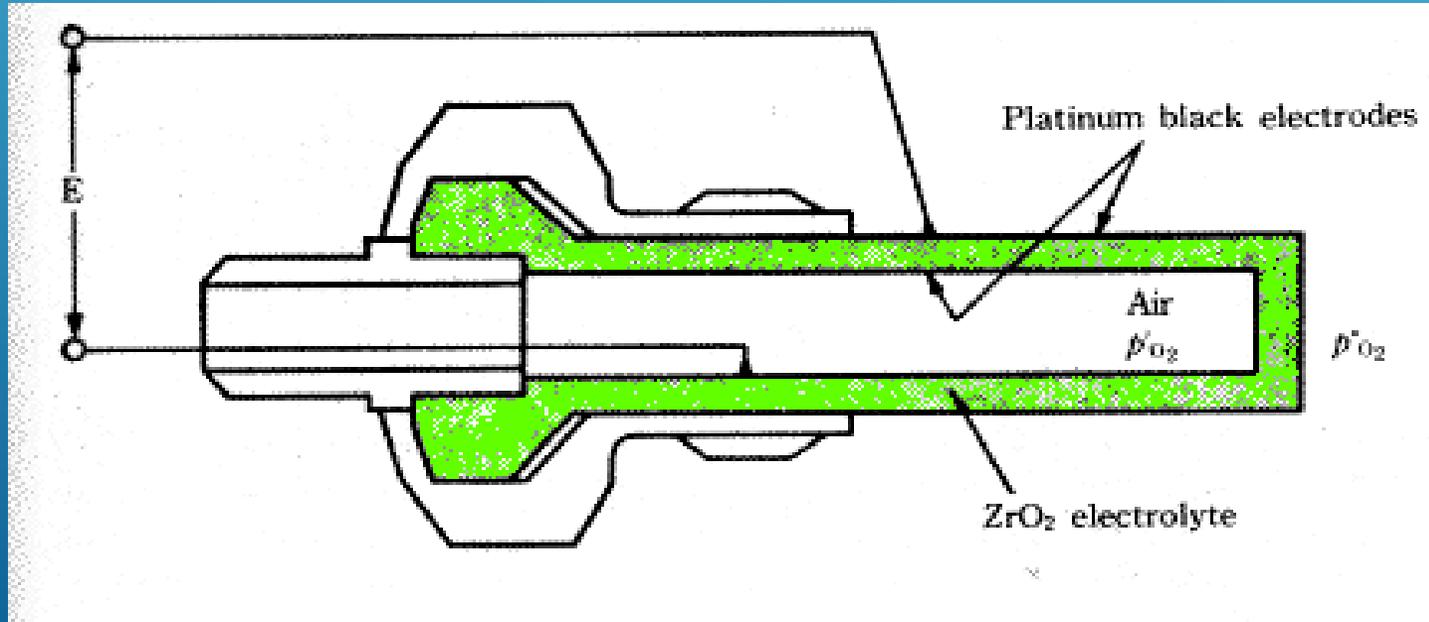
Ônibus Espacial



<i>Material Generic Name</i>	<i>Temperature Capability [°C (°F)]</i>	<i>Material Composition</i>	<i>Orbiter Locations</i>
Felt reusable surface insulation (FRSI)	To 400 (750)	Nylon felt, silicone rubber coating	Wing upper surface, upper sides, cargo bay doors
Low-temperature reusable surface insulation (LRSI) and high-temperature reusable insulation (HRSI)	LRSI—400–650 (750–1200) HRSI—650–1260 (1200–2300)	LRSI—Silica tiles, borosilicate glass coating HRSI—Silica tiles, borosilicate glass coating with SiB ₄ added	LRSI—Upper wing surfaces, tail surfaces, upper vehicle sides HRSI—Lower surfaces and sides, tail leading and trailing edges
Reinforced carbon-carbon (RCC)	To 1650 (3000)	Pyrolized carbon-carbon, coated with SiC	Nose cap and wing leading edges

APLICAÇÕES QUÍMICAS

- ▶ sensores de gases
 - ▶ principais materiais: $ZrO_2(O_2)$, ZnO , SnO_2 , $Fe_2O_3 (H_2O)$
 - ▶ alarme de vazamento de gases venenosos e hidrocarbonetos
 - ▶ sensor de oxigênio em veículos automotores
 - ▶ sensor de oxigênio na fabricação do aço



APLICAÇÕES BIOLÓGICAS

▶ Próteses e implantes

- ▶ principais materiais: Al_2O_3 (bio-inerte) e hidroxiapatita (bio-ativa)
- ▶ ossos artificiais, dentes e juntas



<http://www.rydesky.com/Veneers.html>

Esthetic Adhesive Dentistry

Porcelain Veneers "Empress"



BEFORE



AFTER

(More Examples Found Below Text)

A porcelain veneer is a thin strong shell of porcelain that covers the front part of a tooth enhancing the appearance. Veneers are versatile and can change the size, shape, and color of teeth, or close spaces between teeth. The first visit takes about 30 minutes to 2 hours depending on the number of teeth being prepared. During this time the teeth are prepared taking about 1mm of enamel off the front and sides of the teeth. Molds are taken and sent to a lab where they will make the custom veneers to fit your teeth. At the next appointment, about 2-3 weeks later, the new veneers will be bonded in place. Porcelain veneers will last 15-20 years.



BEFORE



AFTER



BEFORE



AFTER



BEFORE



AFTER

COMPORTAMENTO TÉRMICO

ÔNIBUS ESPACIAL: NA REENTRADAS, SUPERFÍCIE ATINGE TEMPERATURAS SUPERIORES A 1.000 °C.

PROTEÇÃO TÉRMICA É FEITA COM PLACAS CERÂMICAS E FIBRAS DE QUARTZO. EFICIÊNCIA TÉRMICA DESSAS PLACAS: 10 s APOÓS SUA RETIRADA DE UM FORNO A 1260 °C É POSSÍVEL TOCÁ-LAS COM AS MÃOS.



APLICAÇÕES DE MATERIAIS CERÂMICOS

CERÂMICAS TRADICIONAIS

TIJOLOS
TELHAS
LOUÇAS
AZULEJOS
VIDROS

JOIAS
ARTIFICIAIS
PEDRAS
SINTÉTICAS
DIAMANTE
ARTIFICIAL

MATERIAIS PARA
POLIMENTO
MATERIAIS
ABRASIVOS
MATERIAIS PARA
CORTE E
USINAGEM

OSSOS
ARTIFICIAIS
DENTES
ARTICULAÇÕES

COMPONENTES
PARA SISTEMAS
NUCLEARES
SUPERCONDUTORES

MOTORES DE
AUTOS
TURBINAS A GÁS
TURBO-
COMPRESSORES

FIBRAS ÓPTICAS
MONITORES
LÂMPADAS

SENSORES
SEMICONDUTORES
CIRCUITOS
INTEGRADOS
OSCILADORES
CAPACITORES

CERÂMICAS AVANÇADAS

APLICAÇÕES DE MATERIAIS

CERÂMICAS
TRADICIONAIS



CERÂMICAS
AVANÇADAS

PROCESSAMENTO DAS CERÂMICAS

PROCESSAMENTO DE CERÂMICAS É FEITO PELA COMPACTAÇÃO DE PÓS OU PARTÍCULAS E AQUECIDO A TEMPERATURAS APROPRIADAS

PREPARAÇÃO DO MATERIAL: MATÉRIA-PRIMA DEVE TER TAMANHO DE PARTÍCULA CONTROLADO

MOLDAGEM: PODE SER FEITA A SECO, A ÚMIDO OU PLÁSTICA

SECAGEM: PRODUTO CONFORMADO É SUBMETIDO À SECAGEM PARA ELIMINAÇÃO DE ÁGUA OU/ E LIGANTES

SINTERIZAÇÃO: PRODUTO CONFORMADO É SUBMETIDO A TRATAMENTO TÉRMICO PARA DENSIFICAÇÃO

CERÂMICAS TRADICIONAIS X AVANÇADAS

MATÉRIA PRIMA

Matéria prima natural

TRADICIONAIS

argila

quartzo



Matéria prima sintética

Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4

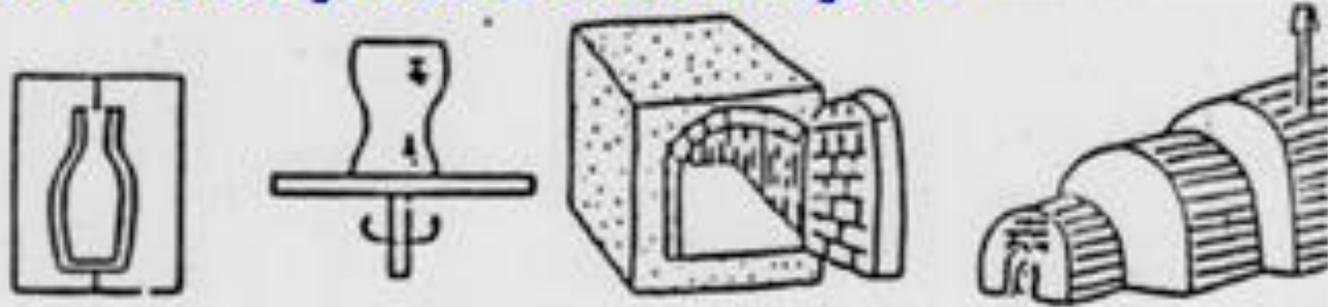
AVANÇADAS



CERÂMICAS TRADICIONAIS X AVANÇADAS

CONFORMAÇÃO/SINTERIZAÇÃO

TRADICIONAIS



AVANÇADAS



CERÂMICAS

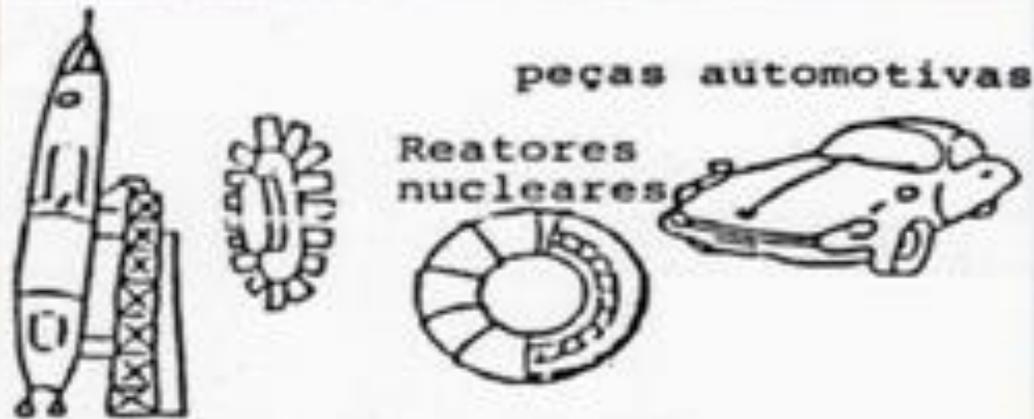
TRADICIONAIS X AVANÇADAS

PRODUTOS

TRADICIONAIS



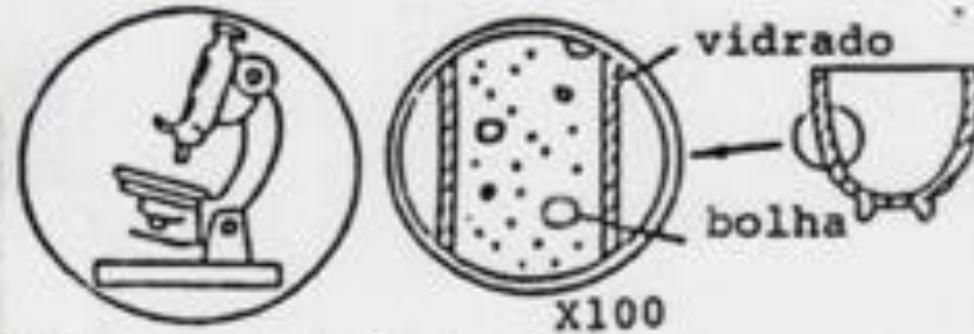
AVANÇADAS



CERÂMICAS TRADICIONAIS X AVANÇADAS

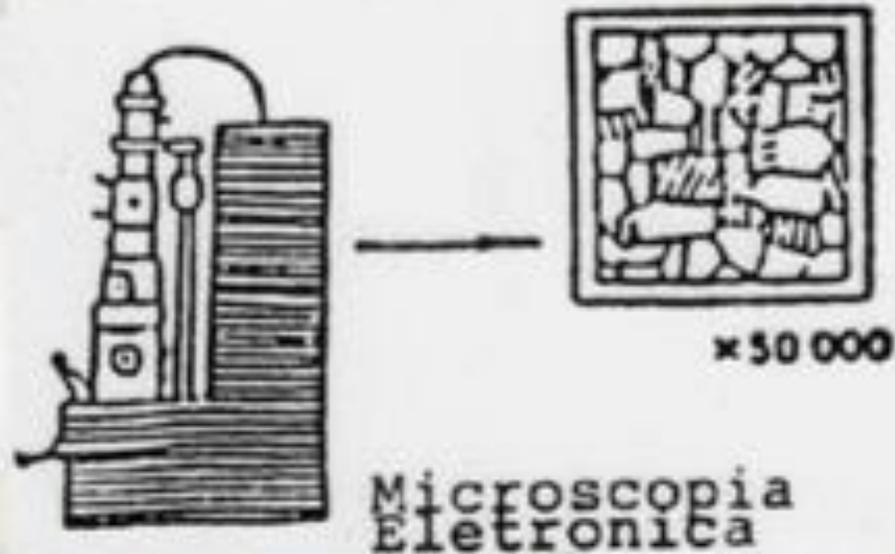
MICROESTRUTURA

TRADICIONAIS



Microscopia ótica

AVANÇADAS



Microscopia
Eletronica

CERÂMICAS TRADICIONAIS

SÃO CONSTITUÍDAS BASICAMENTE DE:

ARGILA: $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ COM OUTROS ÓXIDOS
(TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O)

SÍLICA: SiO_2

FELDSPATO: $\text{K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-6SiO}_2$

PRODUTOS ESTRUTURAIS COMO TIJOLOS E
PISOS TÊM OS TRÊS COMPONENTES

CERÂMICAS BRANCAS COMO AS PORCELANAS E
PEÇAS SANITÁRIAS TAMBÉM TÊM OS TRÊS
COMPONENTES, MAS O TEOR DE FELDSPATO É
CONTROLADO

CERÂMICAS AVANÇADAS

SÃO CONSTITUÍDAS BASICAMENTE DE:

ÓXIDOS: Al_2O_3

CARBETOS: SiC

NITRETOS: Si_3N_4

Al_2O_3 : DESENVOLVIDA COMO MATERIAL REFRAATÁRIO, ATUALMENTE TEM DIVERSOS USOS – VELAS DE IGNIÇÃO

SiC : É MUITO DURO, TEM ALTA RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO E É USADO COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS COM METAIS OU CERÂMICOS

Si_3N_4 : DENTRE OS MATERIAIS CERÂMICOS, É O QUE EXIBE MELHOR CONJUNTO DE PROPRIEDADES E É USADO EM COMPONENTES DE MOTORES

ZrO_2 : ZIRCÔNIA PURA É POLIMÓRFICA E SE TRANSFORMA DE TETRAGONAL PARA MONOCLÍNICA EM 1170 OC, CAUSANDO EXPANSÃO DE VOLUME E TRINCAS. COMBINANDO ZrO_2 COM Y_2O_3

CERÂMICAS TRADICIONAIS X AVANÇADAS

CARACTERÍSTICA	AVANÇADAS	TRADICIONAIS
MATÉRIA PRIMA	SINTÉTICA	NATURAL
PARTÍCULAS	1,0 μm	0,5 – 1.000 μm
TIPO DE PÓ	ALTAMENTE CONTROLADO	POUCO CONTROLADO
CONFORMAÇÃO	ALTAMENTE CONTROLADA	POUCO CONTROLADA
SINTERIZAÇÃO	SEM FASE VÍTREA	COM FASE VÍTREA
ANÁLISE	MICROSCOPIA ELETRÔNICA	MICROSCOPIA ÓPTICA
RESISTÊNCIA	1 – 1.000	1
CUSTO	10 – 10.000	1

LIGAÇÕES QUÍMICAS EM CERÂMICAS

ESTRUTURAS EM CERÂMICAS DEPENDEM DO TIPO DE LIGAÇÃO QUÍMICA PREDOMINANTE

ALTAS DUREZAS E ELEVADAS TEMPERATURAS DE FUSÃO RESULTAM DA NATUREZA DESSAS LIGAÇÕES

CERÂMICAS EXIBEM COMBINAÇÃO DE LIGAÇÕES COM CARÁTER IÔNICO E COVALENTE E O TIPO DE ESTRUTURA CRISTALINA DEPENDE DO QUANTIDADE DESSAS LIGAÇÕES

COMPOSTO	TFUSÃO (°C)	COMPOSTO	TFUSÃO (°C)
HfC	4.150	B4C	2.450
TiC	3.120	Al2O3	2.050
WC	2.850	SiO2	1.715
MgO	2.798	Si3N4	1.900
SiC	2.500	TiO2	1.605

CARÁTER DA LIGAÇÃO EM CERÂMICAS

FRAÇÃO DO CARÁTER IÔNICO OU COVALENTE DEPENDE DA DIFERENÇA DE ELETRONEGATIVIDADE DOS ÁTOMOS ENVOLVIDOS

CÁLCULO DO % DO CARÁTER IÔNICO É FEITO DE ACORDO COM A EQUAÇÃO DE PAULING:

$$\% \text{ CARÁTER IÔNICO} = \left[1 - e^{-\frac{1}{4}(X_A - X_B)^2} \right] \cdot 100\%$$

X_A – ELETRONEGATIVIDADE DO ÁTOMO A

X_B – ELETRONEGATIVIDADE DO ÁTOMO B

CARÁTER DA LIGAÇÃO EM CERÂMICAS

COMPOSTOS CERÂMICOS DE ALTO % DE CARÁTER IÔNICO EXIBEM ESTRUTURA QUE DEPENDE DO TAMANHO RELATIVO DOS ÍONS E DA NECESSIDADE DE BALANÇO ELETROSTÁTICO

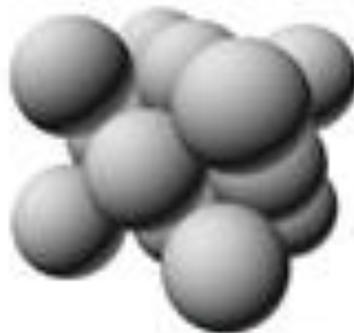
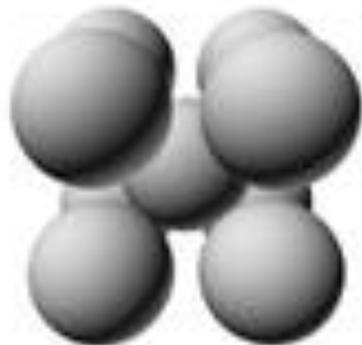
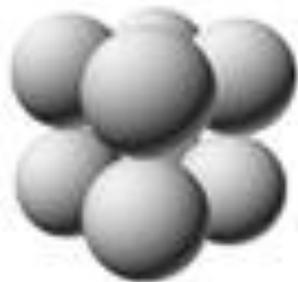
COMPOSTOS CERÂMICOS DE ALTO % DE CARÁTER COVALENTE EXIBEM ESTRUTURA QUE DEPENDE DA DIRECIONALIDADE DAS LIGAÇÕES

COMPOSTO	ÁTOMO	Δ ELETRONEG.	% IÔNICA	% COVALENTE
MgO	Mg-O	2,3	73	27
Al ₂ O ₃	Al-O	2,0	63	37
SiO ₂	Si-O	1,7	51	49
Si ₃ N ₄	Si-N	1,2	30	70
SiC	Si-C	0,7	11	89

ESTRUTURAS CRISTALINAS DE CERÂMICAS

ESTRUTURAS BASEIAM-SE NAS ESTRUTURAS CRISTALINAS PRINCIPAIS, ONDE A OCUPAÇÃO DAS CÉLULAS É PARCIAL → INTERSTÍCIOS

CS	CCC	CFC	HC
F.E.=0,52	F.E.=0,68	F.E.=0,74	F.E.=0,74

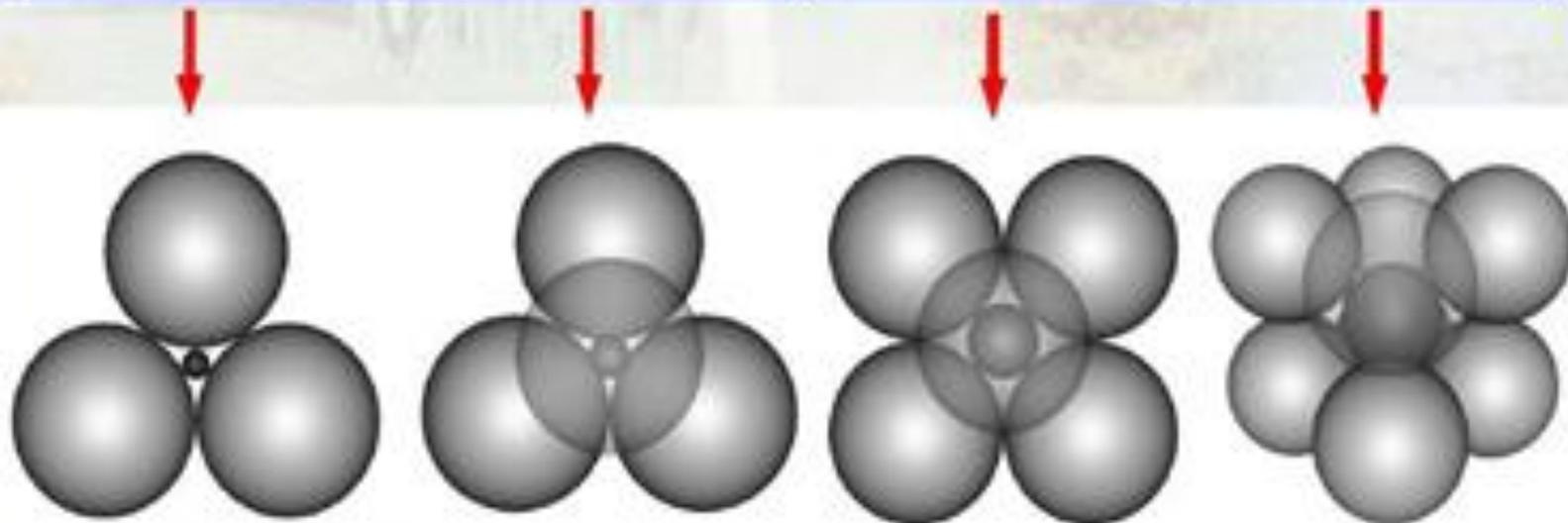


OCUPAÇÃO DE INTERSTÍCIOS

CÁTION DA LIGAÇÃO LOCALIZA-SE NOS INTERSTÍCIOS DO ARRANJO FORMADO PELOS ÂNIONS

ESTRUTURA DOS MATERIAIS CERÂMICOS É BASEADA NO NÚMERO DE COORDENAÇÃO DE ÍONS INTERSTICIAIS

N.C	3	4	6	8
r/R	$\geq 0,155$	$\geq 0,225$	$\geq 0,414$	$\geq 0,732$



RAIOS IÔNICOS

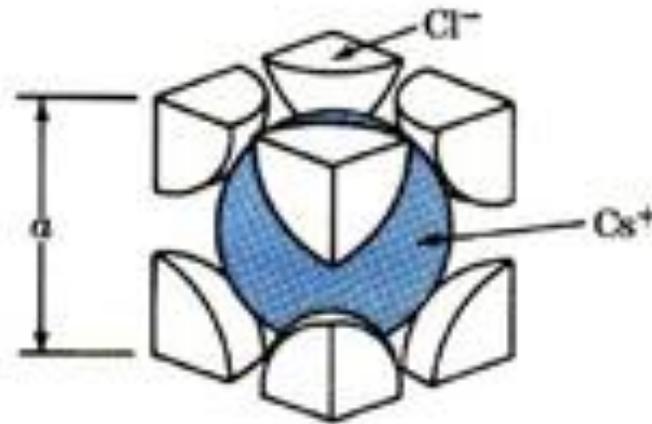
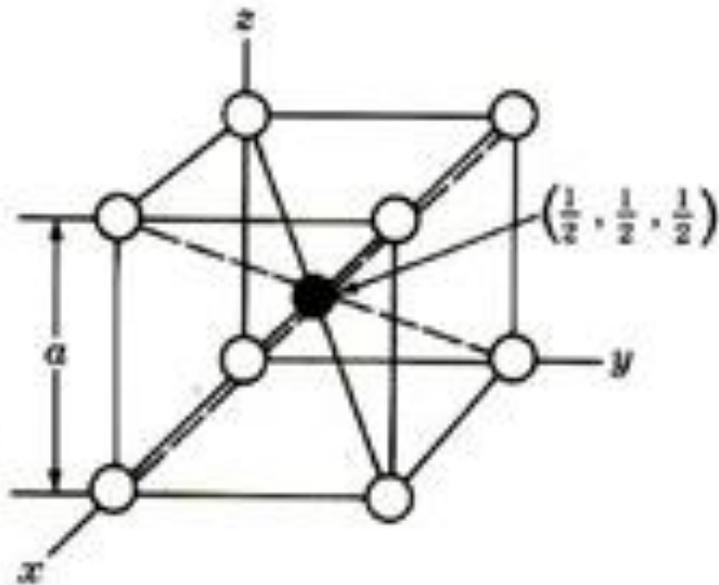
**Raios Iônicos para Vários Cátions e Ânions
(para um Número de Coordenação de 6)**

<i>Cátion</i>	<i>Raio Iônico (nm)</i>	<i>Ânion</i>	<i>Raio Iônico (nm)</i>
Al ³⁺	0,053	Br ⁻	0,196
Ba ²⁺	0,136	Cl ⁻	0,181
Ca ²⁺	0,100	F ⁻	0,133
Cs ⁺	0,170	I ⁻	0,220
Fe ²⁺	0,077	O ²⁻	0,140
Fe ³⁺	0,069	S ²⁻	0,184
K ⁺	0,138		
Mg ²⁺	0,072		
Mn ²⁺	0,067		
Na ⁺	0,102		
Ni ²⁺	0,069		
Si ⁴⁺	0,040		
Ti ⁴⁺	0,061		

ESTRUTURA DO CLORETO DE CÉSIO

O CLORETO DE CÉSIO CONSISTE DE ÍONS Cl^- OCUPANDO POSIÇÕES DE UMA CÉLULA CS ENQUANTO O O Cs^+ OCUPA O INTERSTICIO CENTRAL. O N.C. DESSA ESTRUTURA É 8

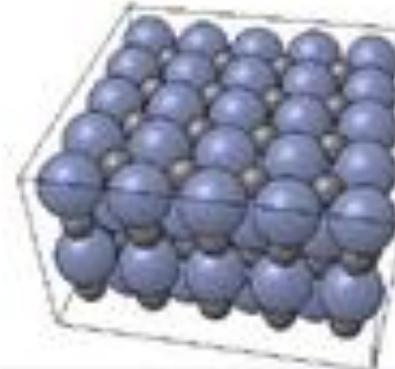
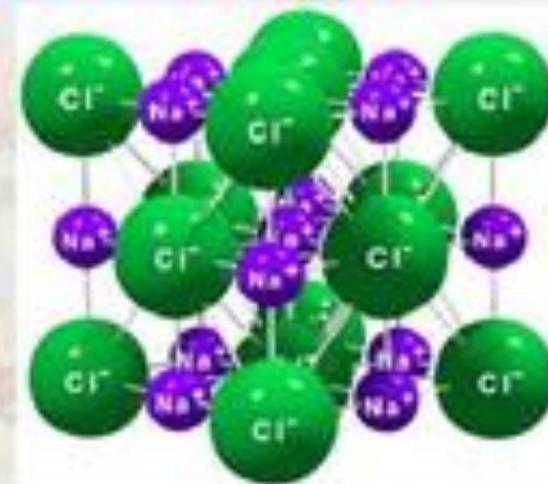
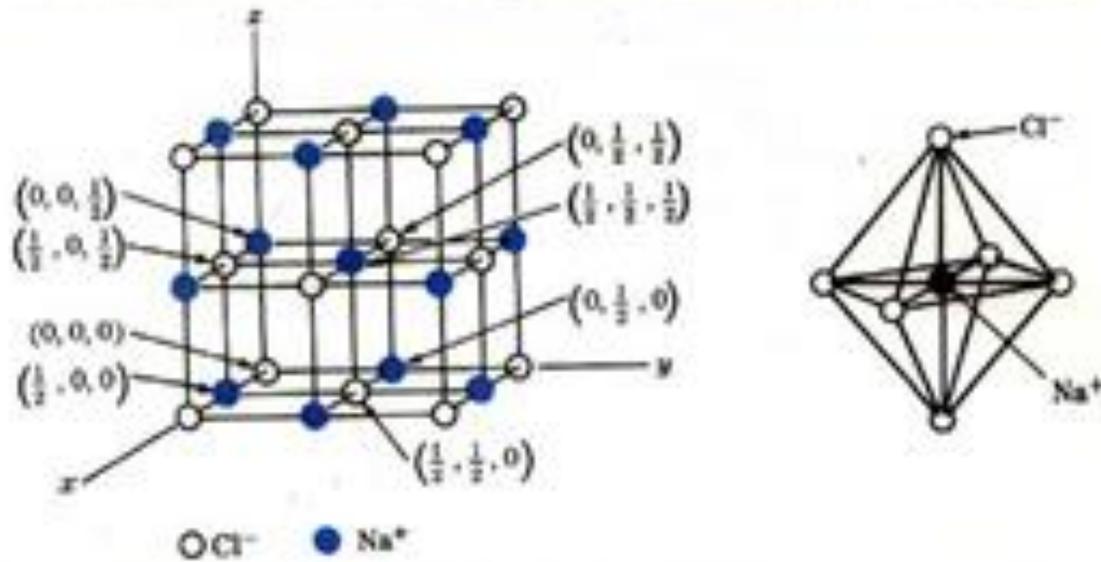
EXEMPLOS: AgMg , LiMg , AlNi



ESTRUTURA DO SAL-GEMA

SAL-GEMA OU NaCl É A ESTRUTURA MAIS COMUM NAS CERÂMICAS. ESSA ESTRUTURA TEM N.C.=6. OS ÍONS Cl^- OCUPAM POSIÇÕES DE UMA CÉLULA CFC ENQUANTO OS ÍONS Na^+ OCUPAM POSIÇÕES INTERSTICIAIS OCTAÉDRICAS

EXEMPLOS: LiF, MnS, MgO

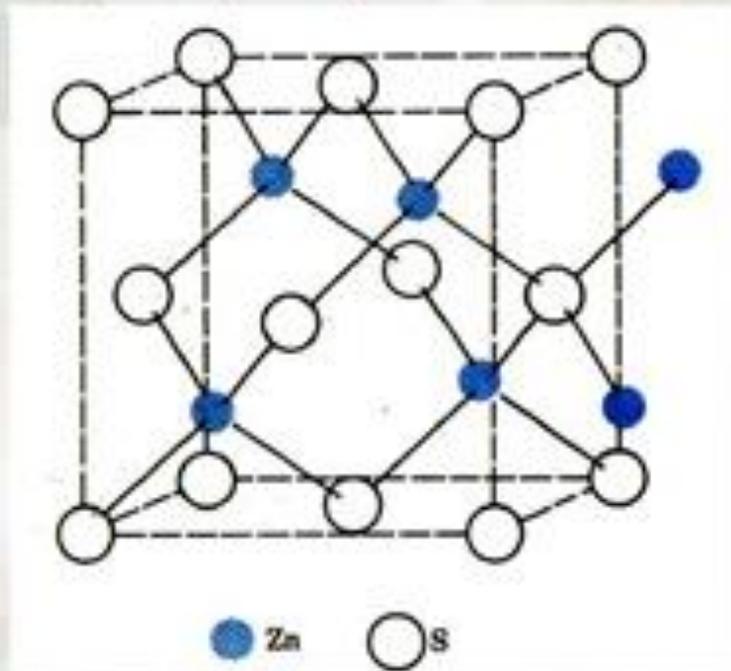


ESTRUTURA DA BLENDA DE ZINCO

A BLENDA DE ZINCO OU ESFALERITA TEM N.C.=4, ONDE O Zn OU O S OCUPAM POSIÇÕES DE UMA CÉLULA CFC ENQUANTO O S OU O Zn OCUPAM INTERSTÍCIOS TETRAÉDRICOS

DE ACORDO COM A EQUAÇÃO DE PAULING, A LIGAÇÃO Zn-S TEM 87% DE CARÁTER COVALENTE

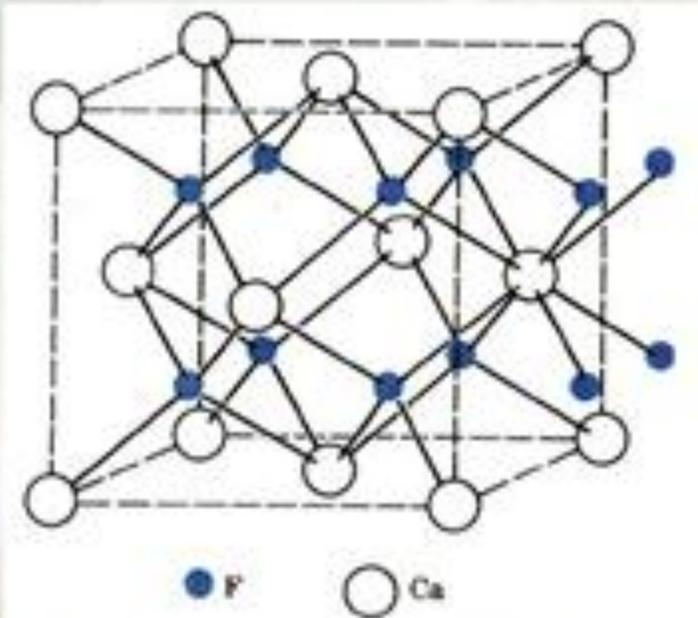
EXEMPLOS: CdS, InAs, InSb, SiC



ESTRUTURA DA FLUORITA

FLUORITA TEM FÓRMULA CaF_2 COM ESTRUTURA FORMADA PELO POSICIONAMENTO DOS ÍONS Ca^{2+} NAS POSIÇÕES DE UMA CÉLULA CFC E OS ÍONS F^- NOS 8 INTERSTÍCIOS TETRAÉDRICOS

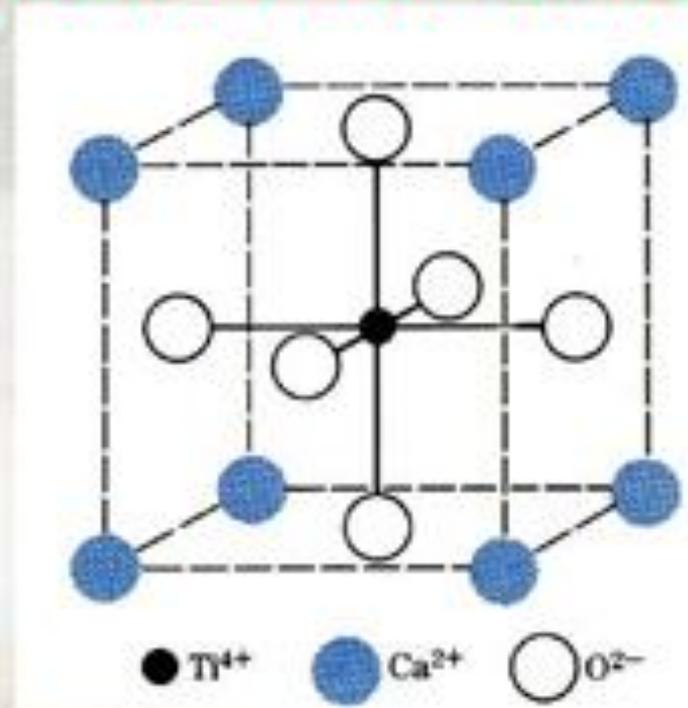
APLICAÇÃO: O UO_2 TEM ESTRUTURA DA FLUORITA E É USADO COMO COMBUSTÍVEL NUCLEAR



ESTRUTURA DA PEROVSKITA

A PEROVSKITA CONSISTE DO COMPOSTO CaTiO_3 ONDE o íon Ca^{2+} E O O^{2-} FORMAM UMA CÉLULA CFC (Ca^{2+} NOS VÉRTICES E O^{2-} NAS FACES) O ÍON Ti^{4+} SE POSICIONA NO INTERSTÍCIO OCTAÉDRICO NO CENTRO DA CÉLULA.

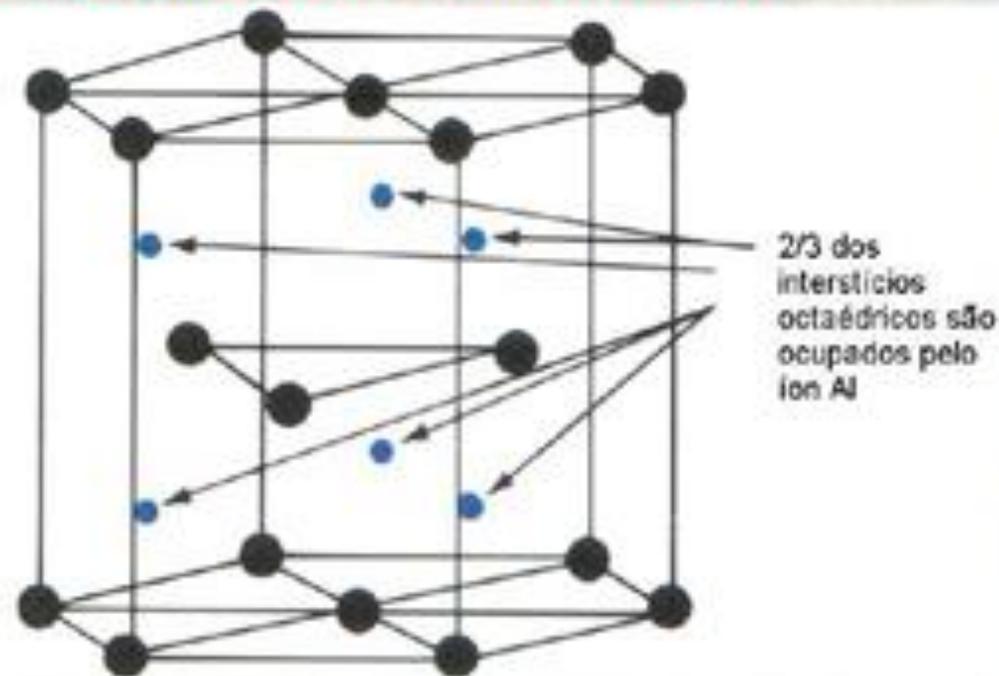
APLICAÇÃO: MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS



ESTRUTURA DO CORUNDUM

O CORUNDUM OU ALUMINA, Al_2O_3 , EXIBE ESTRUTURA ONDE O OXIGÊNIO (O^{2-}) LOCALIZA-SE NAS POSIÇÕES DE UMA CÉLULA HC. EM ALGUNS DOS INTERSTÍCIOS OCTAÉDRICOS DESSA CÉLULA SÃO OCUPADOS PELO ALUMÍNIO (Al^{3+})

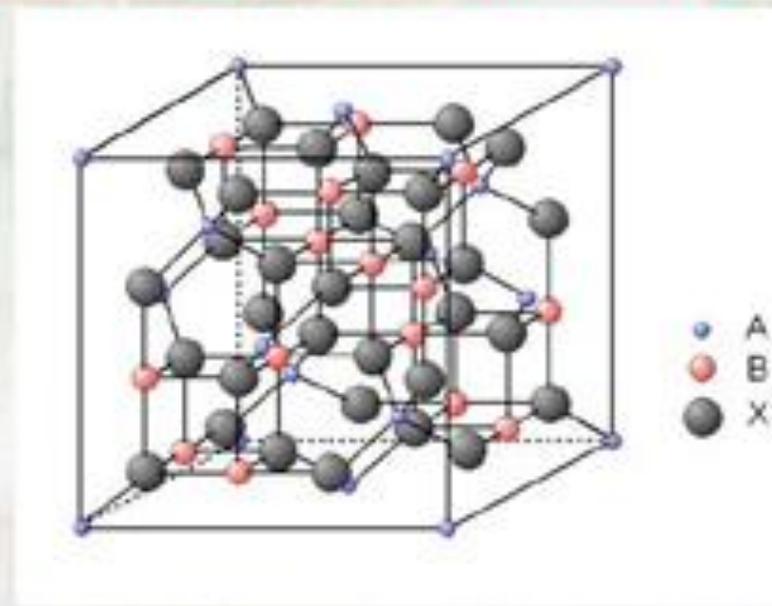
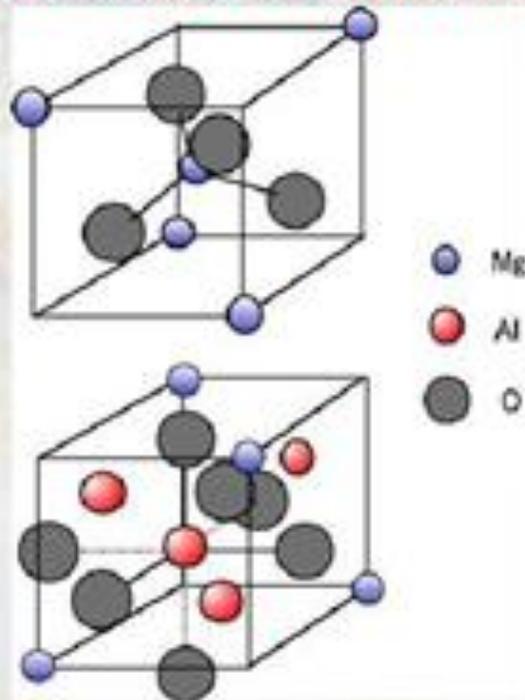
APLICAÇÃO: MATERIAL REFRAATÁRIO



ESTRUTURA DO ESPINÉLIO

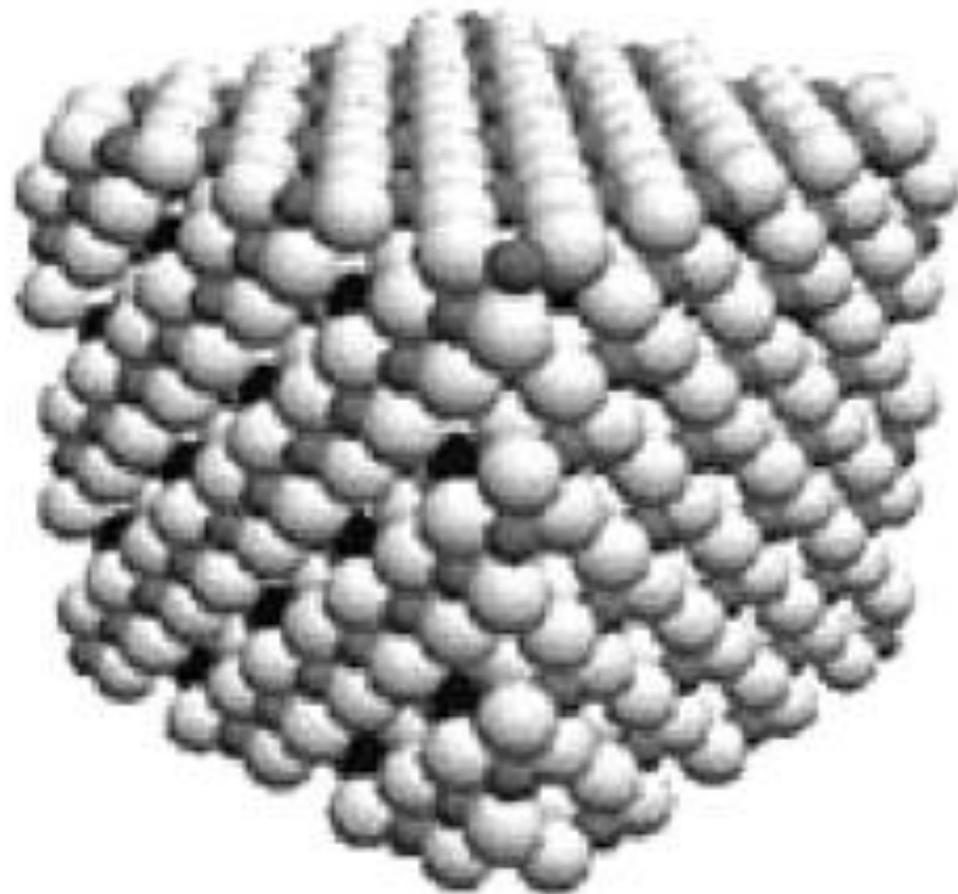
DIVERSOS ÓXIDOS EXIBEM ESTRUTURA DO ESPINÉLIO OU $MgAl_2O_4$ COM FÓRMULA GERAL AB_2O_4 , ONDE A É UM ÍON METÁLICO COM VALÊNCIA +2, B É UM ÍON METÁLICO DE VALÊNCIA +3.

APLICAÇÕES: MATERIAIS MAGNÉTICOS NÃO-METÁLICOS



ESTRUTURA DO ESPINÉLIO

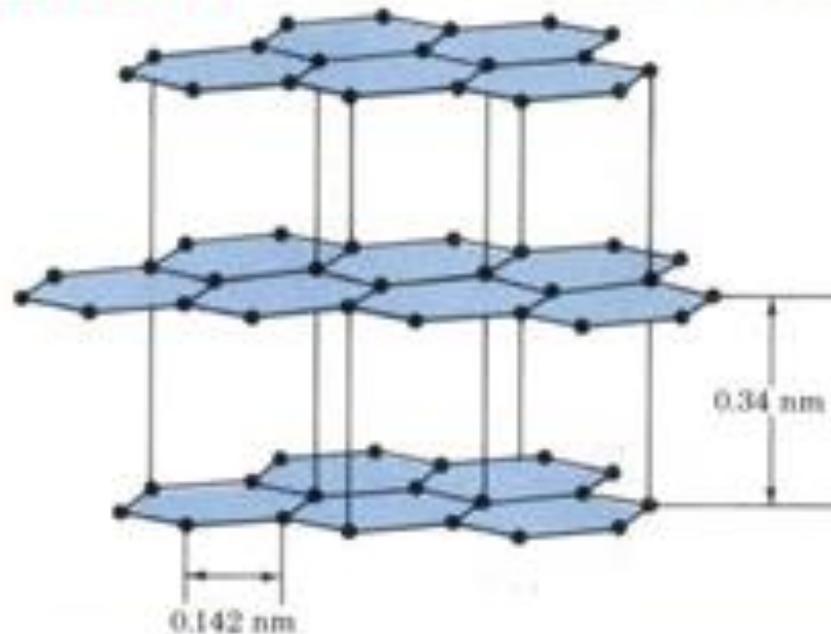
LiMn_2O_4



ESTRUTURA DO GRAFITE

O GRAFITE É UMA VARIAÇÃO POLIMÓRFICA DO CARBONO E NÃO É UM COMPOSTO DE UM METAL E UM NÃO-METAL. APESAR DISSO ESSE MATERIAL É ALGUMAS VEZES CONSIDERADO COMO UMA CERÂMICA.

APLICAÇÕES: ESTRUTURA EM CAMADAS PERMITE SEU USO COMO LUBRIFICANTE

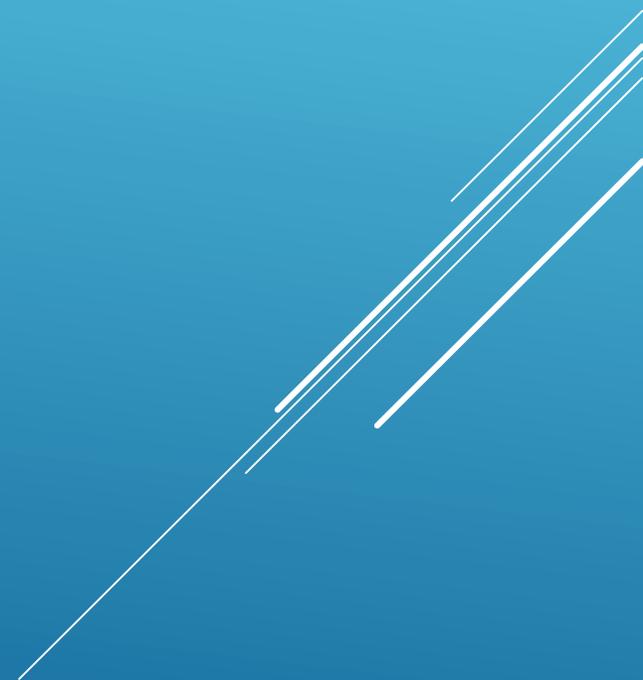


Produtos e
componentes



Cerâmica Alumina

Cerâmica MgO /
silicato de
magnésio





Cerâmica Zircônia



Cerâmica Cordierite (silicato de Alumínio Magnésio)



Cerâmica SiC



Cerâmica Steatite [SiO 2%, Al₂O 3%, MgO %]

OUTRAS APLICAÇÕES E FUNÇÕES

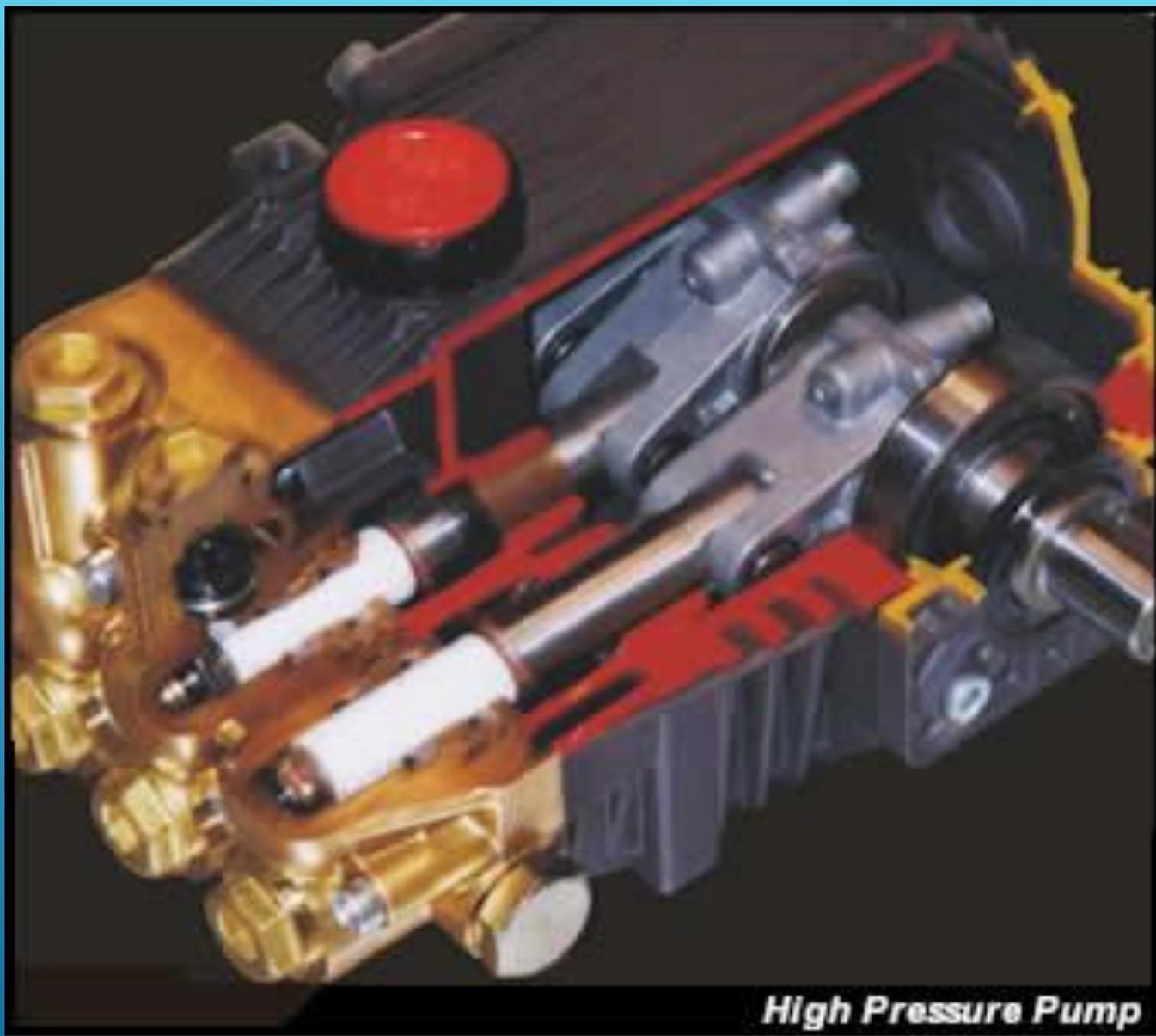




Aquecimento



Bombas



High Pressure Pump



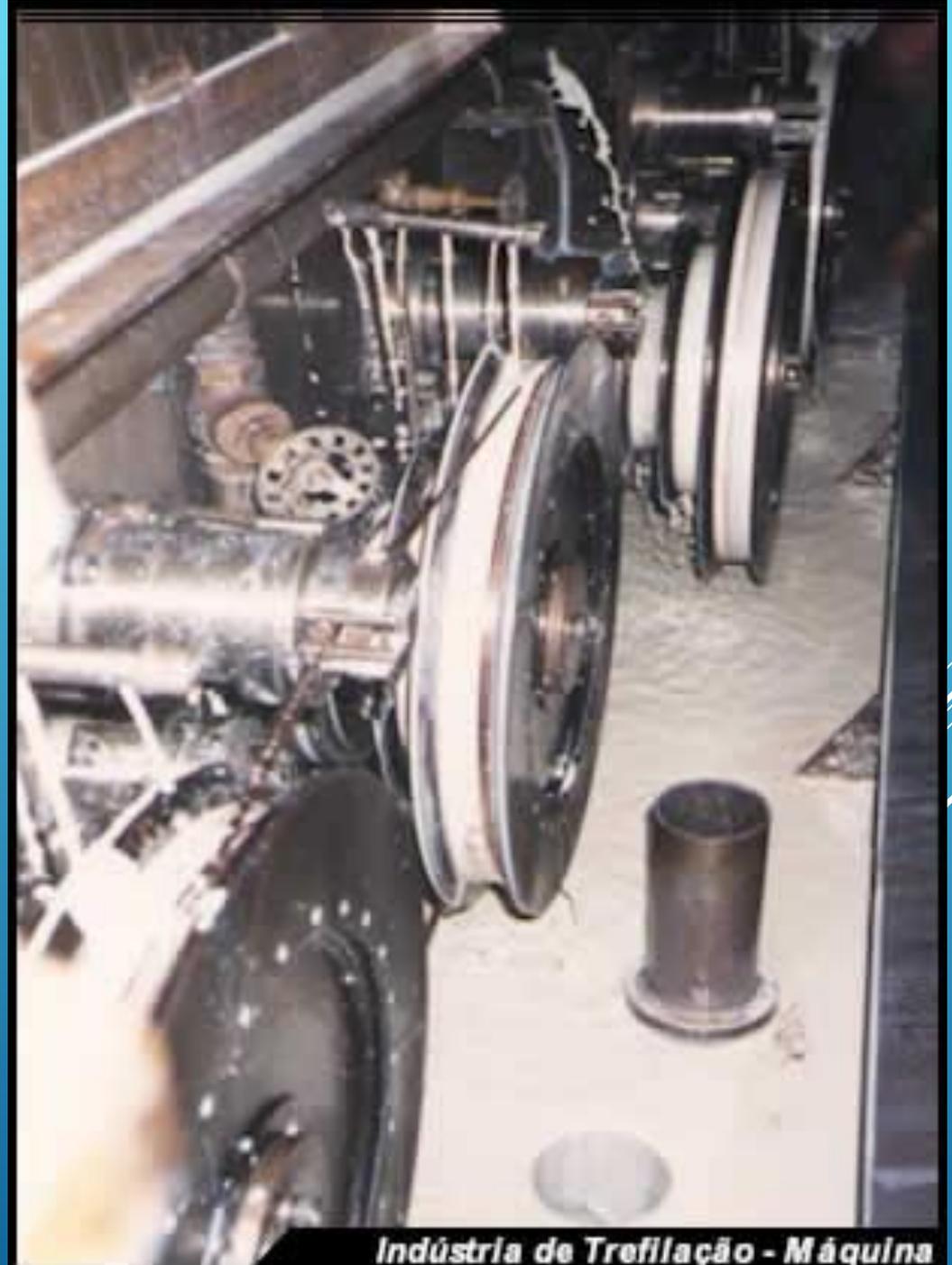
Fusíveis



Ignitores



Indústria de Trefilação



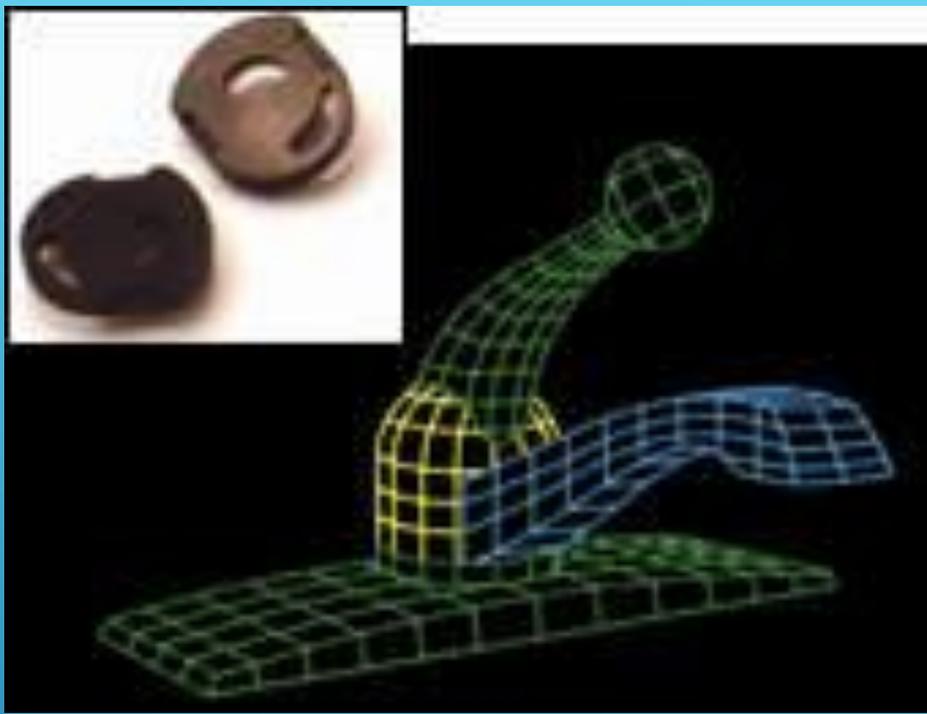
Indústria de Trefilação - Máquina



Isoladores



Mineração e Plastilhas



Processos de Produção de Revestimento cerâmico

O revestimento cerâmico é um produto constituído de um “biscoito” poroso, coberto em uma face com vidro que lhe dá o acabamento final. A outra face é a sua superfície de aderência, destinada ao assentamento, chamada de tadoz.

As principais matérias-primas que entram na composição do biscoito são: calcário, caulim, argila, filito, talco, feldspato e quartzo.

Por suas propriedades, os materiais fornecem a plasticidade, a coesão e a resistência necessárias ao produto final. Os materiais são pesados em balanças para compor a mistura ideal da fórmula pré-estabelecida.

Os processos de fabricação se classificam como: via seca e via úmida.

Via seca: as argilas e demais matérias-primas são preparadas para a conformação por prensagem com sua umidade natural, isto é, aquela com que foram extraídas da jazida. O beneficiamento destes materiais envolve somente misturas e desagregações para em seguida serem prensados, praticamente sem beneficiamento.

Via úmida: as argilas e demais matérias-primas são dosadas e com adição de água e são moídas. Esta mistura chama-se barbotina que é homogeneizada em grandes tanques e depois segue para um equipamento chamado atomizador ou spray-dryer, que a rigor é um grande e sofisticado secador. Neste equipamento a barbotina é pulverizada em forma de spray dentro de um grande ciclone (câmara) junto com ar quente. A medida que a umidade é extraída a barbotina agrega-se em pequenos grãos, com forma e umidade muito adequada para uma boa prensagem. Os grãos são prensados no formato desejado, adquirindo a compactação desejada, resultando no “biscoito” cru.





Silos



Prensagem

Obtenção das peças a verde:

- Prensagem uniaxial
 - Colagem de barbotina (*slip casting*)
 - Compressão isostática
 - Extrusão
 - Moldagem por injeção
- 



Há um aumento da resistência mecânica do compactado e o desenvolvimento da microestrutura final do material.

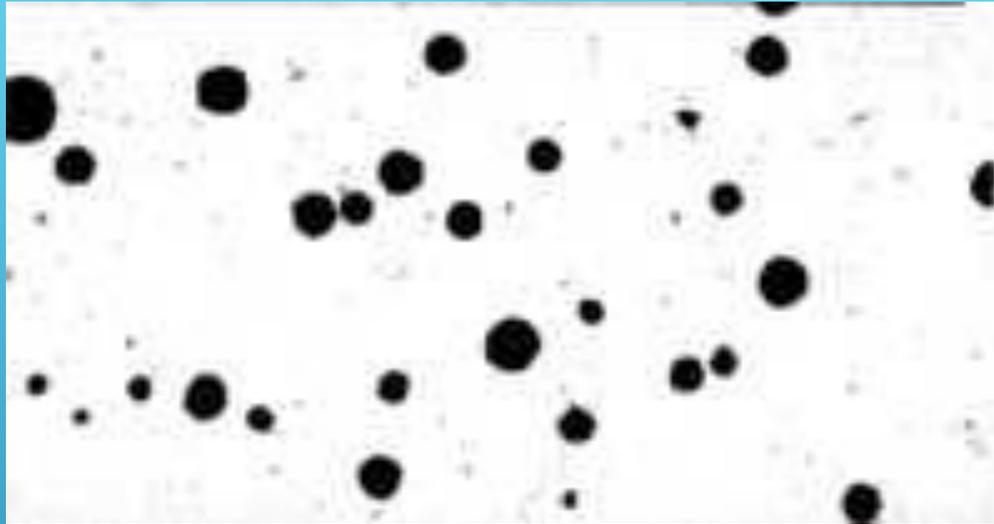
Sinterização até 1800° C



Acabamento

Aspersão de material cerâmico





Micrografia mostrando poros no SiC

A ausência praticamente total de escorregamento nos materiais cerâmicos tem como consequência:

- não são dúcteis
- resistem a tensões de compressão
- resistem pouco a tensões de tração

Deposição de materiais oxi-cerâmicos através do processo de aspersão térmica a plasma spray - PS.

Materials:

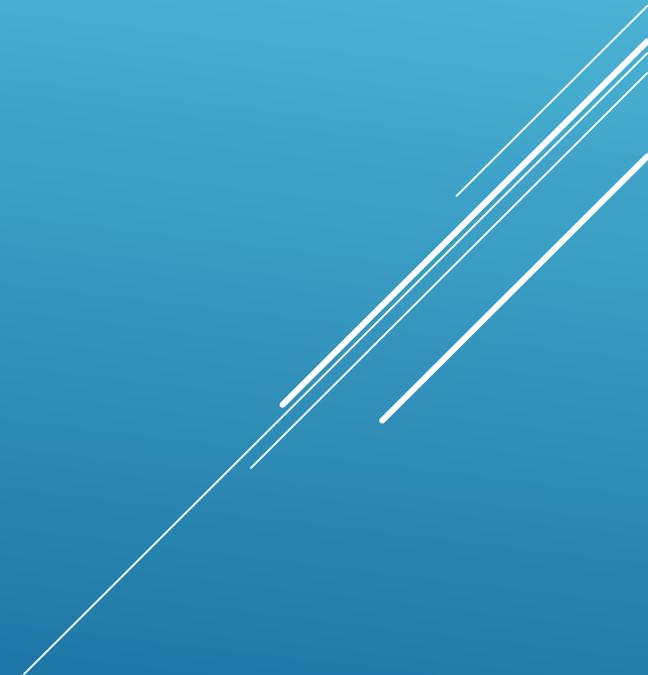
- Óxido de cromo (Cr_2O_3)
- Óxido de alumínio (Al_2O_3), alumina e materiais à base de alumina
- Dióxido de titânio (TiO_2)
- Materiais à base de óxido de zircônia (ZrO_2)

Características:

- Alta dureza
- Alta resistência ao desgaste e abrasão
- Isolamento elétrico
- Barreira térmica
- Propicia alto grau de acabamento superficial
- Alta resistência a produtos corrosivos
- Materiais específicos para resistir a choques térmicos

Aplicações

- Passa-fios (indústria têxtil/fios sintéticos), selos mecânicos, buchas de desgaste, sedes de válvulas, eixos de retífica, turbinas de aviões, proteção térmica de fuselagem de naves espaciais, pistões e válvulas de motores à explosão, entre outras.



Fábricas no Brasil

A maior concentração de fábricas localiza-se nos Estados de São Paulo e de Santa Catarina, mas há fábricas também no Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Ceará e Pará.



Endereço: Av. Profº. Almeida Prado, 532 - Prédio
36 - Sala 03 - Cidade Universitária - São
Paulo/SP CEP: 05508-901 - Telefones/Fax: (11)
3768-7101 / (11) 3767-4978 - E-Mail:
abceram@abceram.org.br

© 2011 Associação Brasileira de Cerâmica