

Reciclagem de Resíduos

Pós-Graduação em Ciências Ambientais

6 - Reciclagem de Cerâmicas

Prof. Sandro Donnini Mancini

Abril, 2023.

Definição : *Keramos = coisa queimada. Normalmente óxidos covalentes ou iônicos. Materiais inorgânicos, não metálicos, processados ou consolidados a altas temperaturas (pelo menos > 800°C). Podem apresentar-se em óxidos ou não.*

Tipos

Cerâmicas Eletro-eletrônicas

Louça Doméstica e Sanitária

Refratárias

Estruturais

Biocerâmicas

Vidros, etc.

Compositions* of Some Silicate Ceramics						
Ceramic	Composition (wt %)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Others
Silica refractory	96					4
Fireclay refractory	50-70	45-25				5
Mullite refractory	28	72				—
Electrical porcelain	61	32	6			1
Stoneware porcelain	64	5		30		1
Portland cement	25	9			64	2

*These are approximate compositions, indicating primary components. Impurity levels can vary significantly from product to product.

Some Nonoxide Ceramics	
Primary Composition*	Common Product Names
SiC	Silicon carbide
Si ₃ N ₄	Silicon nitride
TiC	Titanium carbide
TaC	Tantalum carbide
WC	Tungsten carbide
B ₄ C	Boron carbide
BN	Boron nitride
C	Graphite

*Some products may have several weight percent additions or impurities.

Some Nonsilicate Oxide Ceramics	
Primary Composition*	Common Product Names
Al ₂ O ₃	Alumina, alumina refractory
MgO	Magnesia, magnesia refractory, magnesite refractory, periclase refractory
MgAl ₂ O ₄ (= MgO · Al ₂ O ₃)	Spinel
BeO	Beryllia
ThO ₂	Thoria
UO ₂	Uranium dioxide
ZrO ₂ (stabilized* with CaO)	Stabilized (or partially stabilized) zirconia
BaTiO ₃	Barium titanate
NiFe ₂ O ₄	Nickel ferrite

*Some products, such as the industrial refractories, may have several weight percent oxide additions and impurities.

*Pure ZrO₂ has a phase transformation at 1000°C in which the crystal structure change produces a catastrophic volume change. The material is literally reduced to a powder. A 10 wt % CaO addition produces a cubic crystal structure stable to the melting point (~2500°C) making "stabilized" zirconia a highly useful refractory. Figure 5.5-17 illustrated this point with the CaO-ZrO₂ phase diagram. Lesser CaO additions can produce a two-phase microstructure, with cubic zirconia being one of the phases. This "partially stabilized" zirconia has even superior mechanical properties, as discussed.

Shackelford, J.F. *Introduction to Materials Science for Engineers* - 3rd Ed. McMillan Publishing Company, Nova Iorque, 1992. 793p.

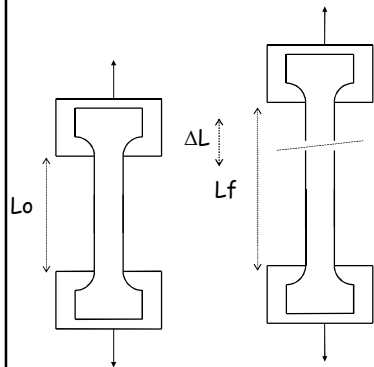
Propriedades Típicas

- Resistência mecânica - depende de como é aplicada a força; geralmente alta a compressão e baixa ao cisalhamento, mas mantida em altas T.
- Alta fragilidade (trincam facilmente);
 - Alta Rigidez;
 - Alta temperatura de uso;
- Baixa condução térmica e elétrica (utilização em isolantes);
 - Inércia química;
- Baixa Densidade (em comparação com metais);

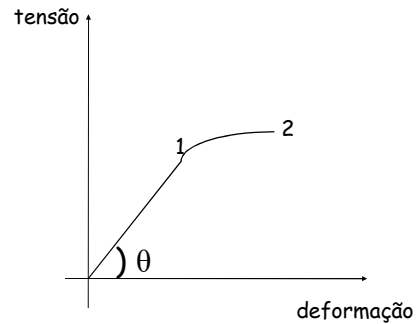
Propriedades Mecânicas

Tração - puxando um corpo de prova

Tensão de tração (σ) = Força / Área inicial
Deformação (ϵ) = $\Delta L / L_0$



Área inicial = Largura x espessura medida antes do ensaio



$\text{tg } \theta \equiv$ Módulo de Elasticidade = E

Na região elástica (reta) $\rightarrow \sigma = E \cdot \epsilon$

1 = limite de elasticidade

2 = ponto de tensão e deformação máximos nesse caso: ruptura

Comportamento Mecânico típico de cerâmicas

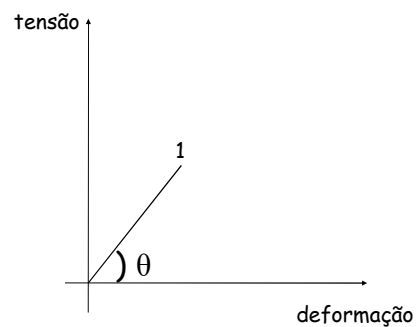
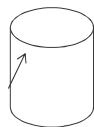
Compressão - empurrando um corpo de prova

Tensão de compressão = Força / Área inicial
Deformação (ϵ) = $\Delta L / L_0$

<https://www.portaldococoncreto.com.br/control-e-tecnologico>

(C)

Área inicial = da seção transversal $\pi \cdot r^2$ medida antes do ensaio



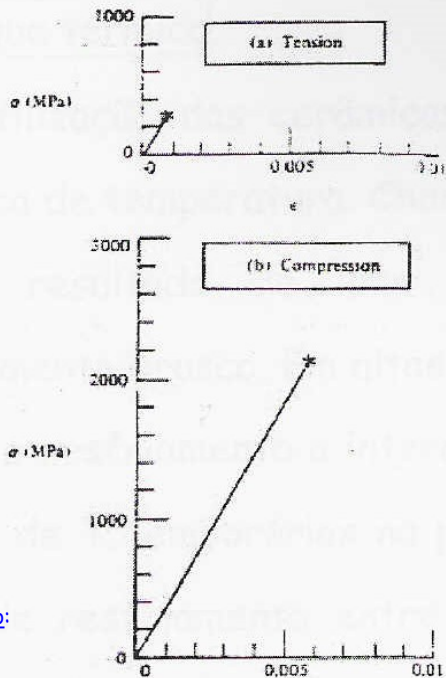
$\text{tg } \theta \equiv$ Módulo de Elasticidade = E

Tensão = E · ε

1 = ponto de tensão e deformação máximos nesse caso: ruptura

The brittle nature of fracture in ceramics is illustrated by these stress-strain curves, which show only linear, elastic behavior. In (a), fracture occurs at a *tensile* stress of 280 MPa. In (b) a *compressive* strength of 2100 MPa is observed. The sample in both tests is a dense, polycrystalline Al_2O_3 .

Shackelford, J.F. Introduction to Materials Science for Engineers - 3rd Ed. McMillan Publishing Company, Nova Iorque, 1992. 793p.

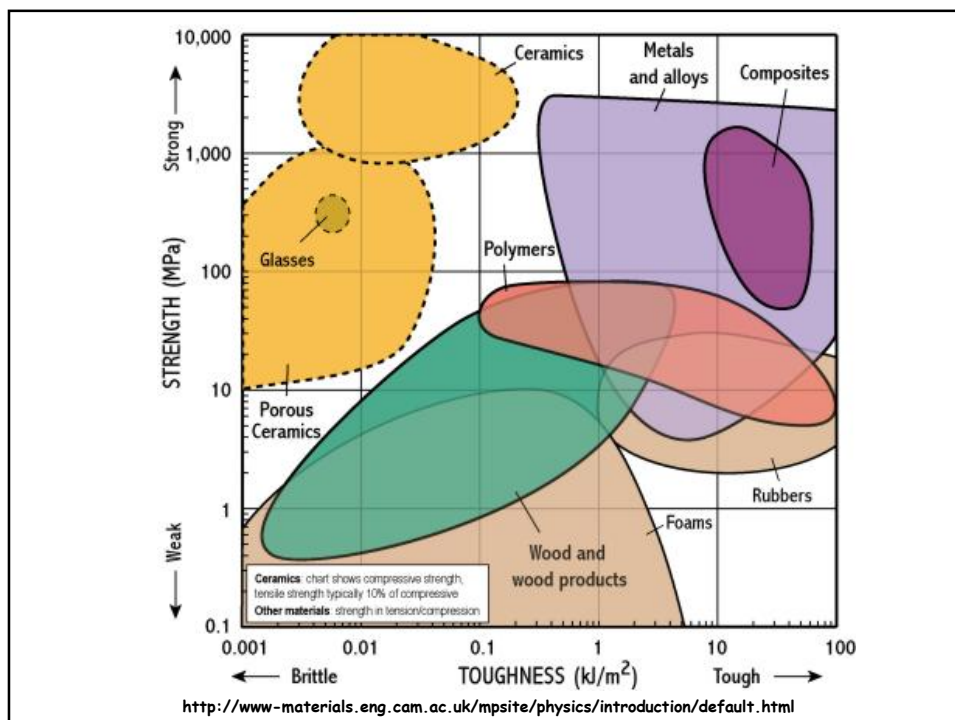
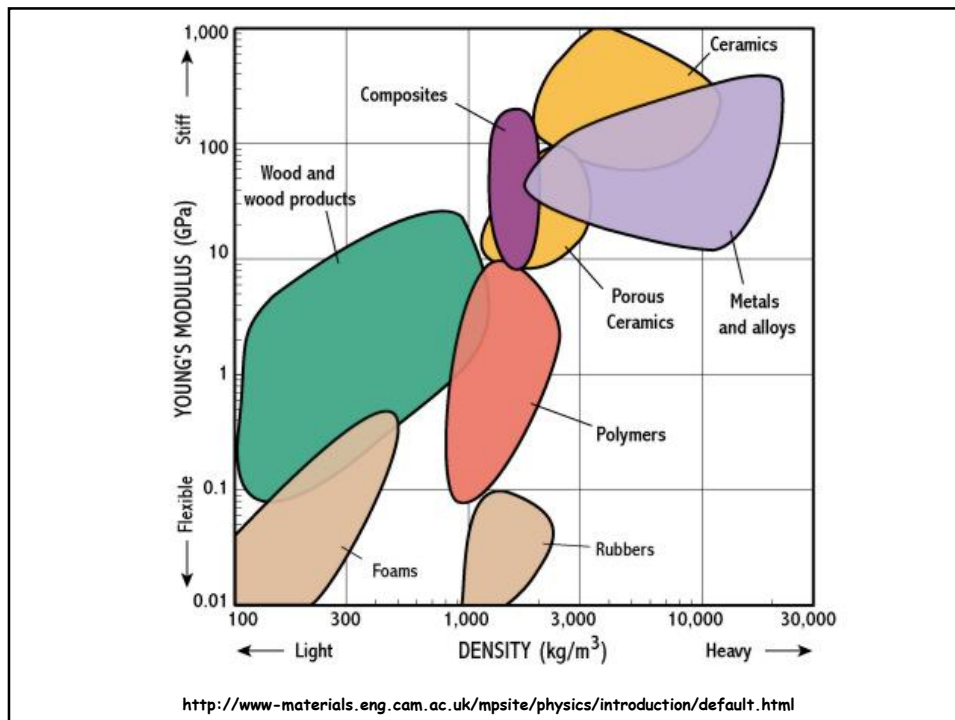


Resistência média à tração do concreto:
2 a 5 MPa

Resistência média à compressão do concreto:
20 a 50 MPa

Fonte: ChatGPT

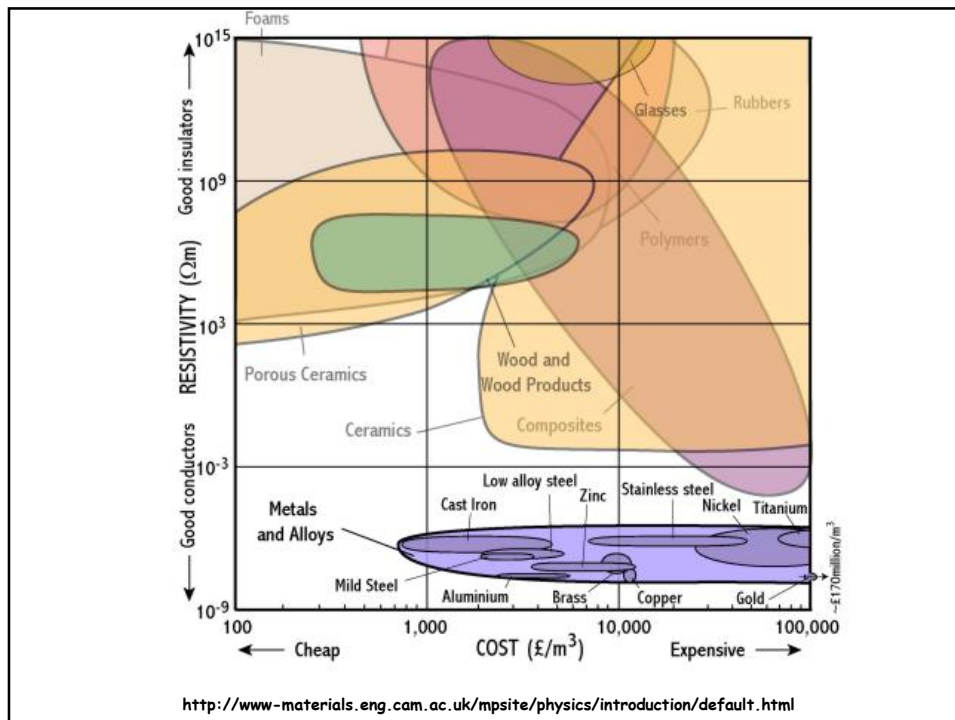
	Módulo de Rigidez Típico Médio (GPa)
Porcelana de alumínio-silicato	69
Alumina	270-370
Magnesia	170-270
Espinélio (aluminato de Mg)	230
Zircônia	250
Berília	380
Carbeto de Silício	470
Carbeto de Boro	290
Nitreto de Boro	83
Vidro de Sílica	72
Vidro de Borossilicato (Pyrex®)	69
Carbeto de Tungstênio (metal duro)	450-650
Diamante	1.000
Osso Humano	17-35
Papel	1-3
Aço para concreto Armado	220
Alumínio	75
Latão e Bronze	103-124
Cobre	118
Liga Nb-Zr-Ti	79-90
Garrafa de PET Reciclada	1,3-1,8



Material	Temperatura Máxima de Uso (°C) (aproximadamente)
Ligas de Al	400
Cobre	500
Ferro Fundido	800
Si ₃ N ₄	1200
SiC	1400
Alumina	1600
Acrílico	90
PVC	70
Kevlar	200
LCPs	200
PET	70

Material	Resistividade Elétrica à Temperatura Ambiente (Ω.cm)
Prata	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Ferro	$10 \cdot 10^{-8}$
Si	$6,4 \cdot 10^4$
SiC	10
B ₄ C	0,5
Ge	40
SiO ₂	$> 10^{14}$
Porcelana	$10^{12} \text{ - } 10^{14}$
Borracha, Nylon	$> 10^{14}$
PET, PS, Teflon	$> 10^{16}$

Gregório Filho, R. e
Rodrigues, J.A.
Introdução às
Propriedades
Eletrônicas dos
Materiais (notas de
aula). UFSCar, 1988.



Matérias-primas

Naturais, composta de materiais inorgânicos e formadas por processos geológicos complexos.

As propriedades da matéria-prima são determinadas pela:

- estrutura cristalina;
- composição química;
- tipo e quantidade de minerais acessórios presentes.

São constituídas principalmente de O, Al e Si, que representam cerca de 90% da crosta terrestre.

Os elementos mais abundantes da crosta terrestre	Componentes	Símbolo	Porcentagem (em massa)
	Oxigênio	O	49,20
	Silício	Si	25,67
	Alumínio	Al	7,50
	Ferro	Fe	4,71
	Cálcio	Ca	3,39
	Sódio	Na	2,63
	Potássio	K	2,40
	Magnésio	Mg	1,93
	Hidrogênio	H	0,87
	Titânio	Ti	0,58
	Cloro	Cl	0,19
	Fósforo	P	0,11
	Manganês	Mn	0,09
	Carbono	C	0,08
	Enxofre	S	0,06
	Demais elementos		http://www.profpc.com.br/Qu%C3%ADmica_descritiva.htm

Argilas - qualquer material do solo constituído por partículas de diâmetro inferior a $2\mu\text{m}$, isto é, mais finas que a areia. Torna-se moldável quando umedecida. É constituída principalmente de argilo-minerais.

Argilominerais

➤Caulinita - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(caulim: rocha com, ppalmente, caulinita)

➤Montmorilonita - $\text{Al}_{1,67}\text{Mg}_{0,33}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, encontrado em rochas derivadas de cinzas vulcânicas.

➤Mica - $[\text{Al}_4\text{K}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$

Outros minerais encontrados nas argilas comuns:

Talco - $\text{Mg}_3(\text{SiO}_5)(\text{OH})_2$, Quartzo - SiO_2 ,

Feldspato - silicato de Al contendo Na, K ou Cu (fundente)

Fabricação de Produtos Cerâmicos

Problema: possuem temperaturas de fusão altíssimas

Al_2O_3 : 2220°C

ZrO_2 : 2400°C

MgO : 2800°C

E para fundir?

E misturar dois materiais cerâmicos?

Em que molde?

Na base da fusão, como os metais, fica muito caro, quando não impossível. Por isso, são normalmente convertidos a forma de pó (↓ tamanho de partícula, ↑ energia superficial/kg)

Seqüência de processamento para a fabricação de produtos de vidro, argamassa e de outros materiais cerâmicos (cerâmica)

Tipos	Seqüência de processamento		
Argilosos	pó	→ forma	→ calor
Vidro	pó	→ calor	→ forma
Cimentícios	calor	→ pó	→ forma

Adaptado dos slides do prof. Dachamir Hotza em <http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EQA5745/>

Fabricação de Produtos Cerâmicos Argilosos (etapas mais comuns)

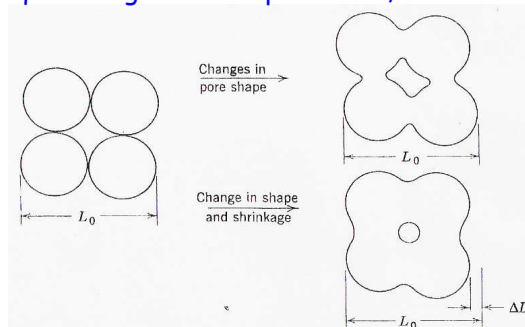
1) Preparação do pó (moagem, peneiramento da argila...)

2) Conformação do pó

Partículas + líquido ligante (geralmente água), formam uma "pasta" com propriedades reológicas (de fluxo) suficientes para a conformação.

3) Sinterização

Aquecimento seca o líquido e aglomera as partículas, formando um produto utilizável.



Mineração e Tratamento das Matérias-Primas

Exemplo - Mineração e Tratamento do U_3O_8

Brasil - 6ª maior reserva de Urânio do mundo.

Processo:

Britagem + lixiviação com H_2SO_4

Extração do U_3O_8 por solventes orgânicos e posterior precipitação.

Finalizando: secagem
acondicionamento

↓
Bolo Amarelo

(mínimo de 65% de U_3O_8)



Fonte: www.inb.gov.br

3ª Etapa - Conversão do Bolo Amarelo em UF₆

Bolo amarelo é enviado ao exterior. Urânio é dissolvido e purificado, obtendo-se o urânio em nível nuclear. O tratamento deste com HF gera o UF₆.



4ª Etapa - Enriquecimento do UF₆ - também no exterior

O urânio natural contém apenas 0,7% de ²³⁵U, que é físsil. O restante, 99,3% é ²³⁸U. A idéia do enriquecimento é obter até 3% de ²³⁵U em meio a ²³⁸U por ultracentrifugação do gás UF₆.

5ª Etapa - Reconversão: de UF₆ a UO₂

O UF₆ enriquecido será aquecido a 100°C para tornar-se gás e ser misturado com CO₂ e NH₃ num tanque com água. Forma-se então o TCAU (tricarbonato de amônio e uranila) sólido amarelo insolúvel em água: precipita. Por filtração rotativa à vácuo obtém-se o pó de TCAU que é posteriormente seco e direcionado a um forno de leito fluidizado a 600°C onde reage com H₂ e vapor d'água, formando UO₂ em pó depois estabilizado com N₂ e ar. Em homogeneizadores (caixas giratórias) o UO₂ é misturado com o U₃O₈, também em pó. Essa mistura é prensada na forma de pastilhas e sinterizada a 1750°C.

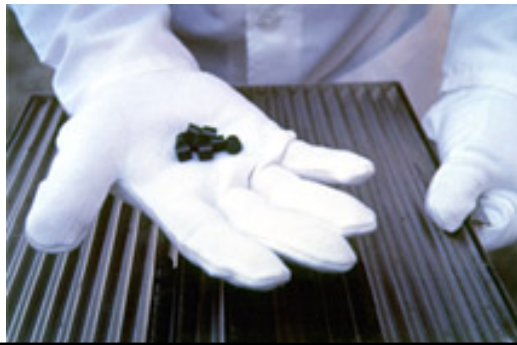
5ª Etapa - Reconversão: de UF_6 a UO_2 (fotos)



Pó de UO_2

Fábrica de Combustíveis Nucleares
INB - Resende-RJ

Pastilhas prontas para serem
colocadas nas varetas



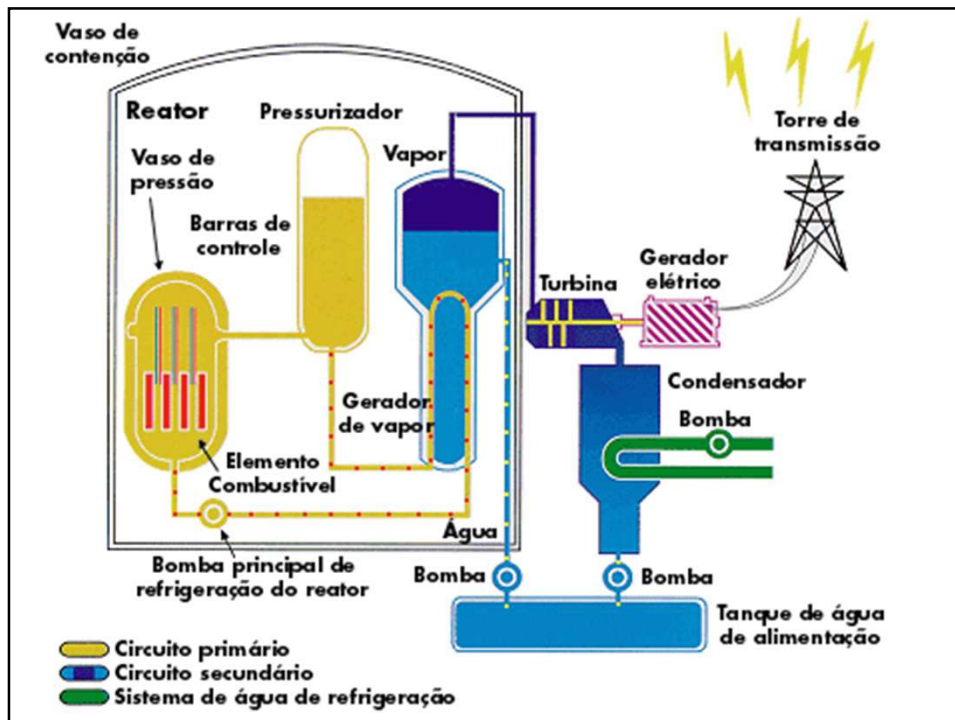
Fonte: www.inb.gov.br

6ª Etapa - Montagem do Elemento Combustível



INB - Resende-RJ





Seqüência de processamento para a fabricação de produtos de vidro, argamassa e de outros materiais cerâmicos (cerâmica)

Tipos	Seqüência de processamento
Argila	pó → forma → calor
Vidro	pó → calor → forma
Argamassa	calor → pó → forma

Adaptado dos slides do prof. Dachamir Hotza em <http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EQA5745/>

Exemplos de Conformação

Torneamento - baseada na rotação da massa e na moldagem manual ou automatizada de vasos, cerâmica artística, pratos, xícaras, etc.

<https://www.youtube.com/watch?v=SvaezbLgrws> (📺)

Extrusão - massa é forçada através de um molde para formar uma coluna contínua, a qual pode ser cortada em comprimentos apropriados. A operação é feita em marombas. Utilizado para fabricação de tijolos e manilhas.

<https://www.youtube.com/watch?v=JW0iE90xX3o> (📺)

Colagem - Moldes geralmente de gesso "chupam" o excesso de água, permitindo a obtenção de peças grandes.

<https://www.youtube.com/watch?v=ilXsThRJTAo> (📺)

Secagem e Queima

A secagem (realizada em secadores) consiste na retirada de água em excesso e a queima (em fornos) produz a sinterização dos materiais cerâmicos.

A queima se divide em três estágios:

- Reações preliminares;
- Sinterização;
- Resfriamento.



➤ Temperatura típica de secagem: 100-200°C

➤ Temperaturas típicas de queima:

900-1100°C - cerâmicas vermelhas (tijolos, telhas, manilhas, etc.)

1000-1200°C - pisos, azulejos

1200-1300°C - cerâmica branca (louças de mesa e sanitária)

1200 - 1400°C - porcelana

1300-1800°C - refratários (sílico-aluminosos, aluminosos e especiais)

Fonte: Chat GPT

IMPACTOS AMBIENTAIS DAS CERÂMICAS

➤ Doenças ocupacionais - silicose;

➤ Acidentes - cortes;

➤ Extração de Recursos Naturais utilizados como matéria-prima e na obtenção de energia para a fabricação;

➤ Efeito estufa - 5% do CO₂ mundial provém da indústria do cimento.

PRINCIPAIS PRODUTOS - 2018 ^p		PRODUÇÃO	EXPORTAÇÃO		SALDO
		P	Qtde	10 ⁶ US\$	10 ⁶ US\$
Metais e Ligas					
Aço [9°; 2,1%]		34,9 Mt	13,9 Mt	8.873	6.263
Aço Inox [n.d.; 11%]		332,9 kt	76 kt	172	- 135
Ferro-gusa [5°; 4%]		32,5 Mt	1,9 Mt	750	749
Fundidos [7°; 3,4%]		2,3 Mt	377,5 kt	840	-
Ferroligas					
Fe-Nb [1°; 95%]	n.d.		98,5 kt	2.011	2.011
Fe-Si [5°; 3%]	n.d.		110 kt	188	166
Fe-Mn [3°; 13%]	(Vale) 168 kt		56,4 kt	63,0	-31
Fe-Ni	62 kt		197 kt	640,0	640
Fe-Cr [6°; 3%]	175 kt		9,8 kt	19	-20
Fe-V	n.d.		1.000 t*	71,0	-70,0
Fe-W	n.d.		84 t	2,0	-0,8
Alumínio - metal primário [6°; 5%]	659 kt		116 kt	249	-335
Cobre (refinado) -	132 kt		43,9 kt	288,0	-1.034
Níquel [7°; 2,4%]	62,2 kt		10 t	333	-75,0
Silício (metálico) [5°; 3%]	190 kt		192 kt	477	475
Zinco [12°; 3%] (contido/prod.)	258,5 kt		81,1 kt	243	127,9
Estanho (Sn cont. prod.) [4°; 7%]	n.d.		9,1 kt	187	173
Chumbo	n.d.		69,8 kt*	170	-135

(*) Importação.
p=preliminar - Dados sujeitos a revisão
Fontes: IABR; FERBAS; ABIFA; VALE S.A.; ILGSZ; ANM; VOTORANTIM; Mineral Commodity Summ
International Cooper Study Group.

Produção de Plásticos em 2019 no Brasil

7,1.10⁶ toneladas

http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2020/09/Perfil_2019_web_a_biplast.pdf

PRINCIPAIS PRODUTOS - 2018 ^p		PRODUÇÃO	EXPORTAÇÃO		SALDO
		P	Qtde	10 ⁶ US\$	10 ⁶ US\$
Não Metálicos					
Cimento [12°; 1,7%]		53,4 Mt	119 kt	9,0	-28
Cal [5°; 5,1%]		8,4 Mt	13 kt	1,2	-13
Gesso [n.d.; 1,4%]		n.d.	34,3 kt	3,0	-11
Cerâmica Revestimento ¹ [2°; 7,6%]		793,2 Mm ²	Mm ²	448	393,0
Cerâmica Vermelha ² (10 ⁶ peças)		n.d.	47,1 kt	4,0	3,6
Vidro		n.d.	212 kt	258,0	-259
Refratários		n.d.	71,7 kt	107	-40
Louças Sanitárias ³		n.d.	23,3 kt	38,0	28,6
Louças de Mesa (10 ⁶ peças)		n.d.	4,6 kt	9,4	-34
Compostos Químicos fosfatados		n.d.	371 kt	159,0	-2.584

(1) piso= 59,7%; parede= 20,7%; porcelanato= 17%; fachada= 2,7%; 1 m²= ± 15 kg
CÂMBIO (R\$/US\$): 2016=3,4901; 2017=3,1920; 2018=3,6542 (IPEADATA).
p=preliminar - Dados sujeitos a revisão

Reciclagem de Materiais é Oportunidade de Negócio quando:

- Há Abundância de Matéria-Prima;
- A Sucata é valorizada (geralmente comercializada por peso);
- O Mercado demanda;
- Há Legislações que auxiliam.

E A RECICLAGEM DE MATERIAIS CERÂMICOS ?

- Reciclabilidade difícil;
- Diversidade de composições;
- Maioria dos produtos são duráveis;
- Mercado ruim - Sucata pouco valorizada;
- Reaproveitamento energético inviável, assim como os metais.

Apesar dos problemas, a reciclagem de materiais cerâmicos é interessante em casos onde há excesso de matéria-prima.

Onde há isso?

➤ Resíduos Industriais;

➤ Embalagens de Vidros;

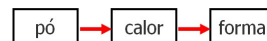
➤ Resíduos da Construção Civil.

**MUITA
MATÉRIA-
PRIMA!**

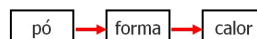
Lei ajuda.

Mesmo com matéria prima abundando, reciclar cerâmicas continua difícil.

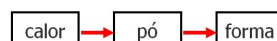
➤ Vidros: diversidade de composições, matéria-prima barata, formato da sucata (cacos) complica separação;



➤ Argilosos: sinterização é irreversível. Mesmo se moer, nova adição de água não permite moldagem de nova sinterização;



➤ Cimentícios: hidratação realizada na obra é irreversível. Mesmo se moer, nova adição de água não permite moldagem e nova cura.



Como reciclar produtos cerâmicos descartados ?

➤ Vidros: fusão;

➤ Argilosos: se resíduo for gerado antes da sinterização:
moagem e mistura com matéria-prima virgem;

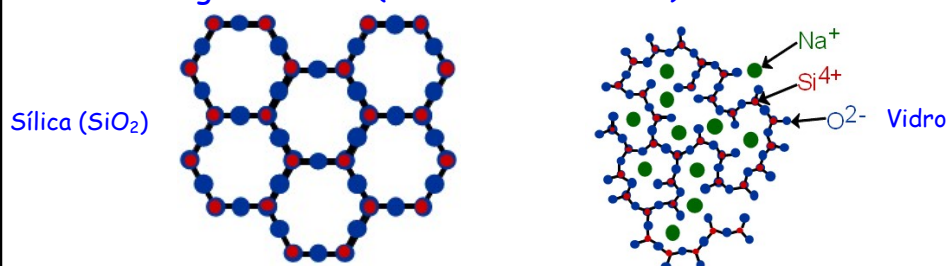
➤ Argilosos: se resíduo for gerado após a sinterização: moagem
e utilização como carga, agregados etc;

➤ Cimentícios: se resíduo for gerado antes da hidratação:
moagem e mistura com matéria-prima virgem;

➤ Cimentícios: se resíduo for gerado após a sinterização:
moagem e utilização como carga, agregados etc.

Vidros

Definição (ASTM) - produto inorgânico obtido por fusão, que adquire rigidez durante o resfriamento controlado e não tem ordem de longo alcance (não se cristaliza.).



Geralmente, os vidros são misturas de vários óxidos, sendo que alguns estão presentes nas matérias primas (geralmente de Si, Al e Na) e outros são adicionados intencionalmente. Exemplos:
B - formam os boro-silicatos, de caráter refratário (Pyrex)
Pb - facilitam a solda a baixas T - microeletrônica

Glass	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	F ₂	ZnO	PbO	B ₂ O ₃	Se	CdO	CuO
Container flint	72.7	2.0	0.06	10.4		0.5	13.6	0.4	0.3	0.2						
Container amber	72.5	2.0	0.1	10.2		0.6	14.4	0.2	S-0.02	0.2						
Container flint	71.2	2.1	0.05	6.3	3.9	0.5	15.1	0.4	0.3	0.1						
Container flint	70.4	1.4	0.06	10.8	2.7	0.7	13.1	0.6	0.2	0.1						
Window green	71.7	0.2	0.1	9.6	4.4		13.1		0.4							
Window	72.0	1.3		8.2	3.5		14.3	0.3	0.3							
Plate	71.6	1.0		9.8	4.3		13.3		0.2							
Opal jar	71.2	7.3		4.8			12.2	2.0		4.2						
Opal illumination	59.0	8.9		4.6	2.0		7.5			5.0	12.0	3.0				
Ruby selenium	67.2	1.8	0.03	1.9	0.4		14.6	1.2	S-0.1	0.4	11.2		0.7	0.3	0.4	
Ruby	72.0	2.0	0.04	9.0			16.6	0.2		Tr.*						0.05
Borosilicate	76.2	3.7		0.8			5.4	0.4					13.5			
Borosilicate	74.3	5.6		0.9		2.2	6.6	0.4					10.0			
Borosilicate	81.0	2.5					4.5						12.0			
Fiber glass	54.5	14.5	0.4	15.9	4.4		0.5			0.3			10.0			
Lead tableware	66.0	0.9		0.7		0.5	6.0	9.5				15.5	0.6			
Lead technical	56.3	1.3					4.7	7.2				29.5	0.6			
Lamp bulb	72.9	2.2		4.7	3.6		16.3	0.2	0.2				0.2			
Heat absorbing	70.7	4.3	0.8	9.4	3.7	0.9	9.8	0.7		Tr.*			0.5			

Source: F. V. Tooley, *Handbook of Glass Manufacture*, Ogden Publishing Co., New York, N.Y.

*Trace.

Kingery, W.D., Bowen, H.K. e Uhlmann, D.R. *Introduction to Ceramics*. Nova Torque: John Wiley & Sons, 1976.

Fusão

~1400°C (virgem)

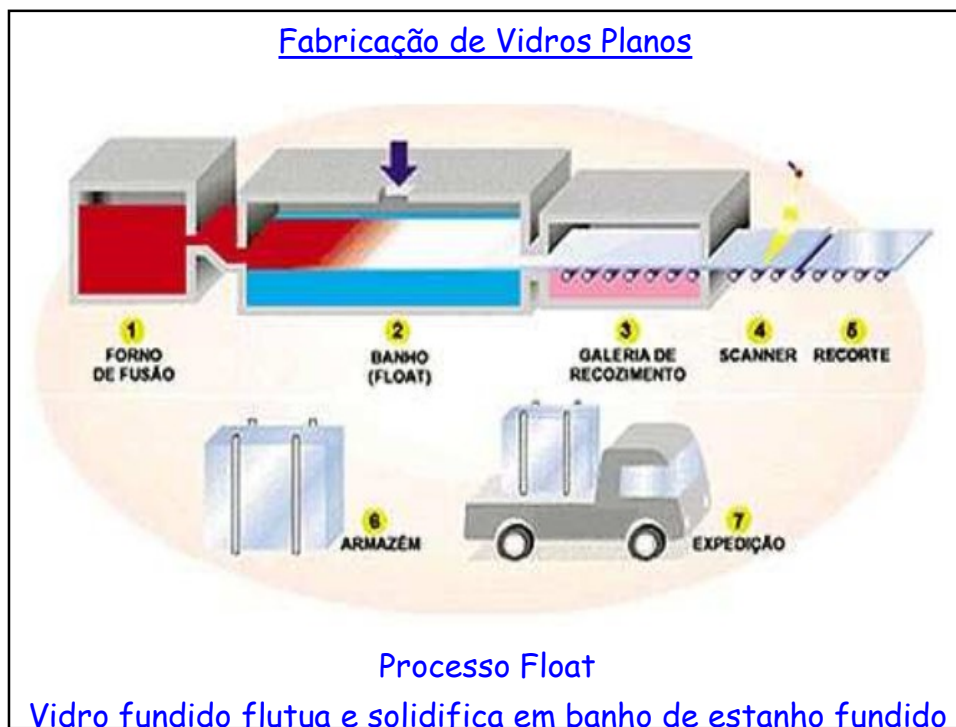
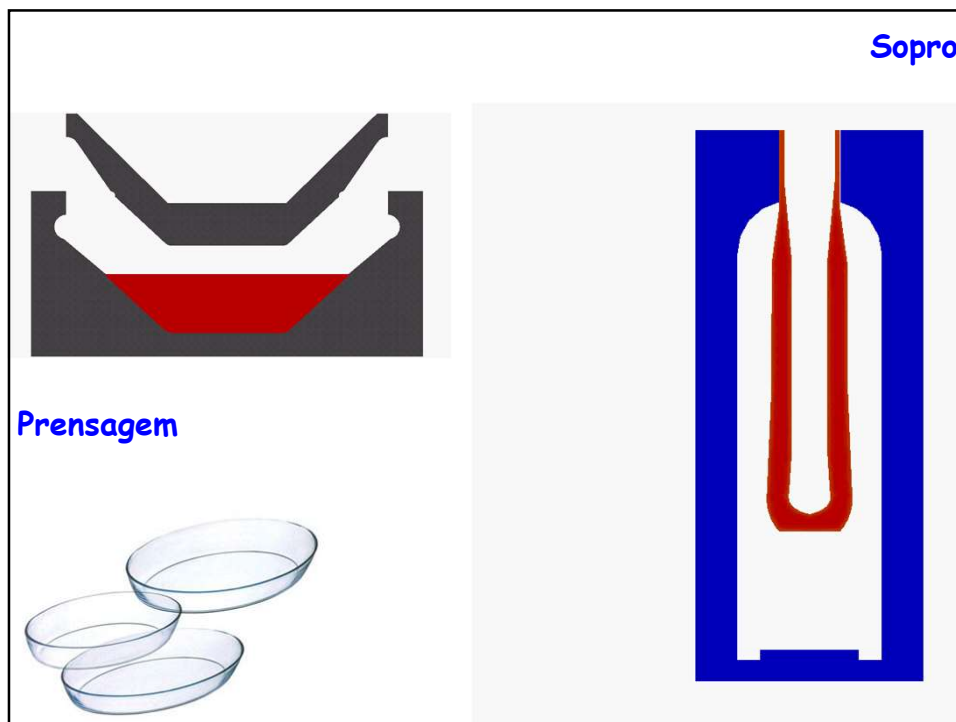
~1200°C (cacos)



Vantagem !!!

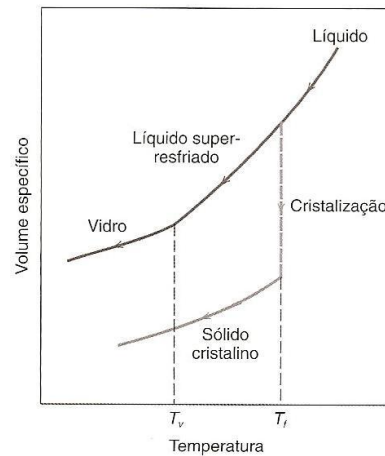


Norton, F.H. *Introdução à Tecnologia Cerâmica*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo-SP, 1973, 347p.



Têmpera de Vidros

Aquecimento acima da Temperatura de transição vítrea (T_v) e posterior resfriamento brusco (geralmente jatos de ar na superfície) faz com que a superfície esfrie imediatamente e o centro demore mais.



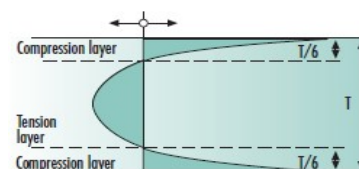
Van Wazer, L.H. *Princípios de Ciência dos Materiais*. Trad. L.P.C. Ferrão. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1985. 470p.

Essa diferença no resfriamento gera diferenças de tensões entre centro e superfície, fazendo com que o vidro ganhe resistência mecânica.

Têmpera de Vidros (continuação)

Centro - tracionado

Superfície - comprimida ("tampa" defeitos)



Residual tension in thermally tempered glass.
http://www.prelco.ca/pdf/fiches/Prel-Gard_A.pdf

A têmpera química normalmente ocorre pela substituição de íons Na^+ da superfície do vidro por íons de K^+ de um banho de sal no qual o vidro foi mergulhado. Como trata-se de um íon maior, comprime a superfície, gerando o mesmo efeito que a têmpera térmica.

Tipos de vidros tecnológicos

Fibras de Vidro - utilizadas para isolamento térmico e para reforço de plásticos, normalmente a base de SiO_2 - Al_2O_3 - CaO - MgO .

<https://www.youtube.com/watch?v=z1tq05Zu-xY>

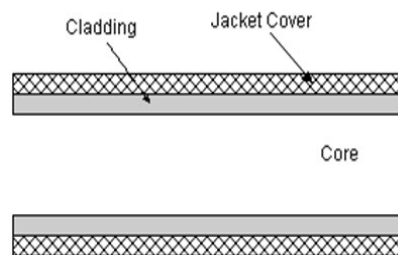
Vidro de Segurança e à Prova de Bala - podem ser fabricados a partir de lâminas de vidro (temperado ou endurecido) interligadas por filme(s) de polivinil butiral, poliuretano e policarbonato

<https://www.youtube.com/watch?v=Nm54csau-6g> ()

Fibras ópticas - geralmente 2 vidros:

transmissão (a base de sílica vítrea - Na_2O - CuO e SiO_2) e de blindagem, este último, com índice de refração menor, o que permite a reflexão na interface

<https://www.youtube.com/watch?v=AS95A8pvcIk> ()



Espelhos

<https://www.youtube.com/watch?v=FBGduYQccRY> ()

Embalagens de vidros (garrafas, principalmente)

- Embalagens possuem composição mais ou menos semelhante;
- Alto índice de quebra x reutilização;
- Reenvase clandestino;
- Demanda do mercado por descartáveis (perda de espaço para plásticos principalmente): 0,5 kg/habitante.mês;
- Teoricamente, reciclável infinitas vezes;
- Sem restrição ao uso em contato direto com alimentos;
- Problema: preço muito baixo! Mesmo assim, estima-se que 25% do vidro descartado no Brasil seja reciclado (www.cempre.org.br).

Alguns tipos de vidros, devido à composição específica, presença de revestimentos ou camadas internas de outros materiais bem como de outras características, apresentam dificuldades técnicas de reciclagem, que mesmo uma separação muito bem feita pode não ser suficiente para tornar compensatória.

Dessa forma são considerados não-recicláveis ou de reciclabilidade difícil: vidros de lâmpadas incandescentes, espelhos, vidros temperados, cristal, de janela, de automóvel etc. Não devem ser misturados aos vidros de embalagem.

➤ **Separação;**

Impurezas (tampas metálicas ou canudos, p.ex.) - podem causar bolhas e/ou inclusões → diminuem transparência e são núcleo de formação de trincas. O controle de impurezas metálicas é bem mais rigoroso (resistem a altas temperaturas).

➤ **Moagem;**

➤ **Reprocessamento (fusão).**



MATÉRIA-PRIMA

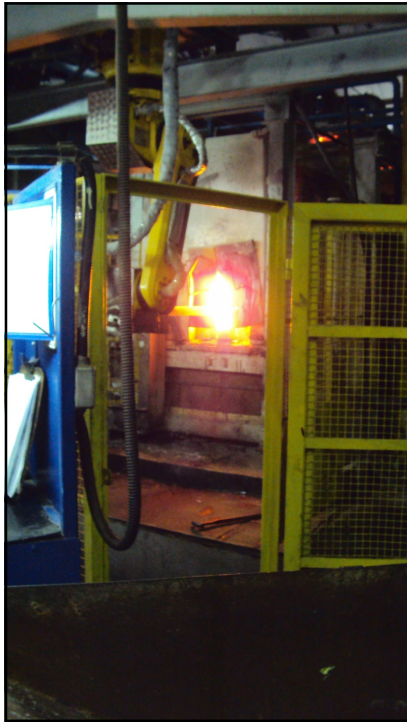


Telhas refugadas



Garrafas de Coca-Cola





Forno



Molde



Recozimento

Peça Final



Indústria da construção civil

- Durante a obra (perdas de materiais ~ 20%);
- Demolição;
- Reforma.

Resolução CONAMA 307 de 2002

Classe A - tijolos, telhas, azulejos, argamassa, concreto etc.

Classe B - Recicláveis - metais, vidros, madeiras, plásticos, papéis e gesso*

Classe C - ?*

Classe D - Perigosos, incluindo telhas com amianto**

* Resolução 431/2011 ; ** Resolução 348/2004

Resíduos Classe A - Cerâmicos

Devem ser separados e moídos e utilizados como agregados na própria indústria da construção civil. Caso não seja possível, devem ser aterrados em aterros de resíduos inertes.

Gesso (forros, molduras, acartonados)

Também é material cerâmico ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), porém não é inerte. Calcinado após extraído, é umedecido na obra.

Para reciclagem, desidratação é possível, mas improvável.

Contaminantes e preço baixo complicam possibilidades de reaproveitamento (reciclagem, agricultura, cimento, moagem com classe A...).

Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso - Vanderley M. John e Maria Alba Cincotto (🇧🇷)

Moagem de Resíduos Classe A



Reciclagem de Entulho em Belo Horizonte. Para enterrar, a Prefeitura cobra R\$ 15,00 por caçamba (2007). Se dentro da caçamba só tivesse resíduo classe A, o caçambeiro pode deixar na usina de graça. Isso estimulou a separação dos resíduos, não necessariamente na obra.







Jundiaí

<https://www.youtube.com/watch?v=1k2EKulShVE&t=76s> (🔗)

Entulho reciclado do Palestra Itália na Neoquímica Arena

<https://www.youtube.com/watch?v=SFqKhQ0NLx0> (🔗)