

**Luiz Paulo Cadioli**

*Faculdade Anhanguera de Matão*

luiz.cadioli@unianhanguera.edu.br

**Luis Gustavo Baitelo**

*Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga*

gubaitelo@yahoo.com.br

## MATERIAIS CERÂMICOS: UM ESTUDO SOBRE VITROCERÂMICO

---

### RESUMO

A necessidade por parte do mercado de novos produtos que apresentem propriedades cada vez melhores, tem estimulado extraordinariamente a investigação focada na aplicação de materiais com propriedades interessantes e de baixo custo. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho consistiu em mostrar os tipos de materiais cerâmicos, dando maior importância as vitrocerâmicas. Metodologicamente foi realizada uma pesquisa exploratória para maior embasamento do tema pesquisado. Conclui-se que os vitrocerâmicos encontram grande aplicação, desde distintas áreas da engenharia como em alguns usos domésticos. Esses materiais são interessantes não somente por suas excelentes propriedades, mas também porque o processo de produção envolve o consumo de matérias-primas de baixo custo, com possibilidade de reaproveitamento de rejeitos, como por exemplo, resíduos industriais, tais como escórias siderúrgicas e resíduos de vidros.

**Palavras-Chave:** materiais cerâmicos; vitrocerâmicas; propriedades.

---

### ABSTRACT

The market necessity for new products which present better and better properties, has stimulated remarkably the investigation focused on the application of new materials with interesting properties at a low cost. This way, the aim of this term consists in showing the several kinds of ceramic materials, giving more evidence to the glasses and the glass-ceramics. Methodologically, it was achieved an exploratory survey for better basis on the researched theme. It was concluded that glass-ceramics have found great application in engineering as well as in home devices. There materials are interesting not only for their excellent properties, but also for the production process that involves the consumerism of raw-material at a low cost, with possibility of reusing the waste ones, for instance, waste products such as: steelmaking slag and glass waste.

**Keywords:** ceramic materials; glass-ceramics; properties.

Anhanguera Educacional

Correspondência/Contato

Alameda Maria Tereza, 2000

Valinhos, São Paulo

CEP 13.278-181

rc.ipade@unianhanguera.edu.br

Coordenação

Instituto de Pesquisas Aplicadas e

Desenvolvimento Educacional - IPADE

Informe Técnico

Recebido em: 30/10/2009

Avaliado em: 29/06/2010

Publicação: 21 de dezembro de 2010

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos são empregados em muitos campos de produção e projeto. Exemplos dos tipos mais comuns de materiais cerâmicos incluem vidros, materiais dielétricos de alta frequência, alguns dos mais recentes materiais magnéticos, abrasivos, cimentos, refratários, produtos argilosos pesados, esmaltes e cerâmica branca. Para examinar os componentes desses materiais, devemos lembrar que os elementos da tabela periódica podem ser divididos em três categorias gerais: metálicos, não-metálicos e intermediários. Os átomos metálicos perdem com facilidade os seus elétrons de valência, tornando-se íons positivos. Os átomos dos não-metálicos, pelo contrário, retêm seus elétrons de valência mais firmemente do que os metálicos o fazem e, de fato, compartilharão elétrons adicionais. Numa terminologia vulgar, os materiais cerâmicos são considerados as substâncias usualmente formadas por elementos metálicos e não-metálicos. Assim,  $MgO$ ,  $BaTiO_3$ ,  $SiO_2$  e  $SiC$  são compostos cerâmicos relativamente simples. As argilas, os espinélios magnéticos, a mulita e os vidros amorfos, para citar alguns, são compostos mais complexos (VAN VLACK, 1973).

De acordo com Callister (2006), a maioria dos vidros inorgânicos pode ser transformada de um estado não-cristalino em um estado cristalino mediante um tratamento térmico apropriado a altas temperaturas. Esse processo é conhecido como devitrificação, e o seu produto consiste em um material policristalino com grãos finos chamado frequentemente de vitrocerâmica. Para se obter esse produto, um agente de nucleação deve ser adicionado para induzir o processo de cristalização ou devitrificação. Uma característica desejável para esse material é o baixo coeficiente de expansão térmica, tal que os materiais vitrocerâmicos não venham a experimentar choques térmicos; adicionalmente, são obtidas resistências mecânicas relativamente elevadas. O atributo mais atraente dessa classe de materiais é a facilidade com o qual eles podem ser fabricados. As técnicas convencionais de conformação dos vidros podem ser usadas de maneira conveniente na produção em massa de peças praticamente isentas de poros.

As vitrocerâmicas têm grande importância científica e tecnológica, uma vez que os processos de preparação estão diretamente relacionados aos estudos de devitrificação de vidros. Além disso, a grande variedade de composições que podem ser obtidas no estado vítreo é particularmente interessante, pois permitem investigar as transformações de fases em diferentes ambientes químicos. O desenvolvimento dos cristais, incluindo fases estáveis, metaestáveis e a formação de soluções sólidas podem, portanto, ser investigados sob condições controladas. Sendo o vidro fundido um bom solvente para muitos óxidos, alguns metais e haletos, torna-se possível investigar seus efeitos sobre os

processos de nucleação e crescimento dos cristais. Tais estudos, além de sua importância básica, têm grande interesse no desenvolvimento de microestruturas nas vitrocerâmicas potencialmente utilizadas (GIMENEZ; MAZALI; ALVES, 2008).

A importância tecnológica das vitrocerâmicas deve-se a vários aspectos, sendo que o principal, talvez, esteja na possibilidade de obtenção do vidro com composição química uniforme e moldada na forma desejada. Materiais cerâmicos funcionais avançados preparados via devitrificação controlada de um vidro precursor oferece uma grande vantagem sobre os métodos convencionais de sinterização de pós, pois, permite o desenvolvimento controlado dos cristais, com estrutura de grãos uniforme e livre de porosidade, além de evitar todas as variáveis intrínsecas do processo de sinterização. Outra característica importante do processo é que as composições químicas podem ser variadas em uma grande faixa de concentrações, juntamente com as variações nas condições de tratamento térmico. Como resultado, as características das vitrocerâmicas podem ser variadas de maneira controlada, implicando na versatilidade das suas aplicações (GIMENEZ; MAZALI; ALVES, 2008).

## 2. HISTÓRICO

De acordo com Zanotto (1986) por volta de 1930, um pesquisador francês por esquecimento deixou algumas garrafas de vidro em um forno, quando realizava determinado estudo sobre os vidros, e no dia seguinte descobriu que estas garrafas estavam opacas. O que ocorreu com essas garrafas, foi um processo de cristalização descontrolada. A partir das impurezas que se encontravam na superfície do vidro, nasceram ou se nuclearam cristais que cresceram em direção ao interior das garrafas, tornando-as opacas. Esse processo é chamado de devitrificação ou cristalização.

Segundo Braun (2008) no final dos anos 50, o norte-americano Donald Stookey, pesquisador da empresa Corning Glass, conduzia pesquisas com vidros fotocromáticos, que escurecem com a luz, pois têm minúsculos cristais de prata dispersos em seu interior. Numa dada altura de sua pesquisa, Stookey também por esquecimento, deixou um artigo de vidro fotocromático durante toda a noite em um forno aquecido. Esse artigo ficou opaco, completamente cristalizado, pois havia se transformado em um outro material, com alta resistência mecânica e um baixo coeficiente de expansão térmica, que ele acabou chamando de vitrocerâmica (glass-ceramics).

Em contraste com as garrafas que se cristalizaram descontroladamente, esse artigo de vidro foi obtido por cristalização controlada. Para Zanotto (1986), o que

diferencia esses dois tipos de cristalização, é que a descontrolada se processa através de certos centros na superfície e a controlada ocorre a partir do interior para o volume todo.

Esses produtos têm pouco mais de 50 anos, pois a primeira patente sobre vitrocerâmica é de 1956. Nesta patente já são mostradas diversas formulações diferentes de vitrocerâmicas. De lá para cá, dezenas de empresas e laboratórios espalhados pelo planeta vêm estudando novas composições e formas de produção desses materiais, que se mostram úteis em diversas aplicações (ZANOTTO, 1986).

### 3. TRANSFORMAÇÃO DE FASES EM VIDRO

A relação entre o estado vítreo e o estado de equilíbrio de um sólido cristalino e uma substância líquida, pode ser encontrada considerando-se a dependência da energia livre do sistema ( $G$ ) com a temperatura ( $T$ ) durante o resfriamento do sólido amorfo, como apresentado no diagrama esquemático da Figura 1 (GIMENEZ; MAZALI; ALVES, 2008).

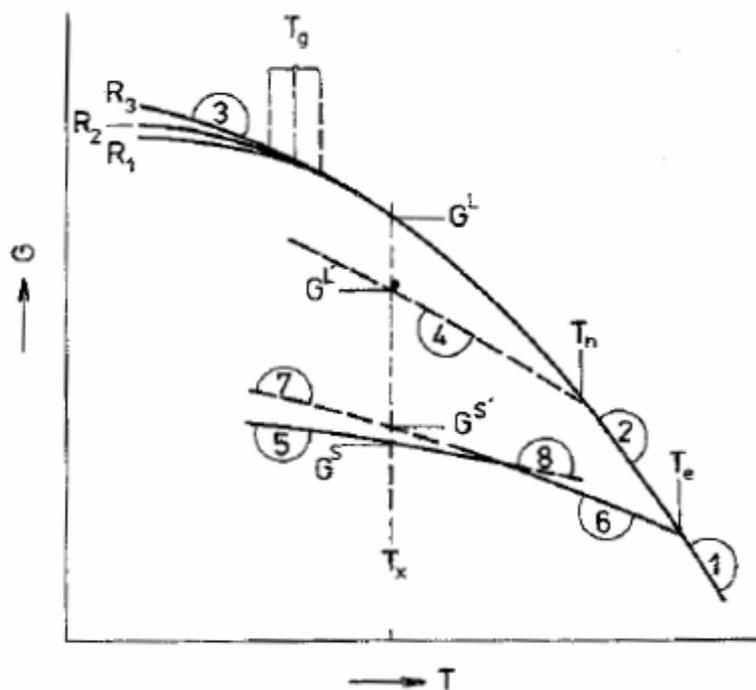


Figura 1 – Diagrama esquemático da dependência da energia livre do sistema com a temperatura, descrevendo a relação entre o estado vítreo e o equilíbrio de um líquido e uma fase cristalina.  $R$  = taxa de resfriamento ( $R_1 < R_2 < R_3$ ); (1) Líquido estável; (2) Líquido super-resfriado; (3) Estado vítreo; (4) Metaestável, separada do vidro; (5, 6) Fases cristalinas estáveis; (7, 8) Fases cristalinas metaestáveis;  $T_0$  = temperatura de equilíbrio da transição de fase;  $T_n$  = temperatura de imiscibilidade;  $T_g$  = temperatura de transição vítrea;  $T_x$  = temperatura de tratamento térmico.

Fonte: Strnad *apud* Gimenez, Mazali e Alves (2008).

Segundo os autores citados anteriormente, quando um material fundido é resfriado abaixo do ponto de fusão, de maneira que uma fase cristalina não é formada, tem-se um estado super-resfriado de um líquido em equilíbrio metaestável. A altas temperaturas, na qual o vidro é mantido fundido, o estado de equilíbrio é estabelecido

rapidamente devido à baixa viscosidade. Se o material é resfriado a uma taxa constante ( $R$ ) muito maior que a taxa de estabelecimento do equilíbrio metaestável, então este equilíbrio pode ser estabelecido em uma determinada temperatura, denominada temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). Nesta temperatura, o fundido super-resfriado é convertido em vidro e a viscosidade atinge usualmente valores da ordem de  $10^{13}$  dPa-s. Deste modo, as propriedades dos vidros em uma certa faixa de temperatura dependerá da sua história térmica; esta região é denominada intervalo de temperatura de transformação. Um segundo caminho limite para o resfriamento do fundido é a cristalização com formação de fases cristalinas estáveis, em equilíbrio, de maneira que a energia livre do sistema exibirá um mínimo e mudará dependendo da temperatura, de acordo com as curvas 5 e 6 apresentadas na Figura 1.

O tratamento isotérmico de fundidos super-resfriados em uma temperatura  $T_x$  (Figura 1), descreve a energia livre do sistema, isto é, um estado mais estável pode ser atingido por separação de duas fases líquidas, por formação de uma fase cristalina metaestável ou ainda um estado de equilíbrio estável pode ser atingido. Fases cristalinas metaestáveis aparecem muito frequentemente em vitrocerâmicas, não somente como fases de transição que podem ter um efeito considerável no curso da cristalização, isto é, fases metaestáveis separando-se em fases líquidas, mas também como fase cristalina final responsável pelas propriedades da vitrocerâmica. Desta maneira, os fatores que determinam a habilidade do fundido em formar vidro durante o resfriamento vem como a estabilidade do vidro fundido após reaquecimento entre as temperaturas  $T_g$  e  $T_x$  são decisivos na escolha e no design da composição inicial para a produção de materiais vitrocerâmicos (GIMENEZ; MAZALI; ALVES, 2008).

Para os mesmos autores, na preparação de vitrocerâmicas, o mecanismo de transformação do vidro em vitrocerâmica é muito importante. Os diferentes processos que podem ocorrer na obtenção de vitrocerâmicas são apresentados no fluxograma da Figura 2.

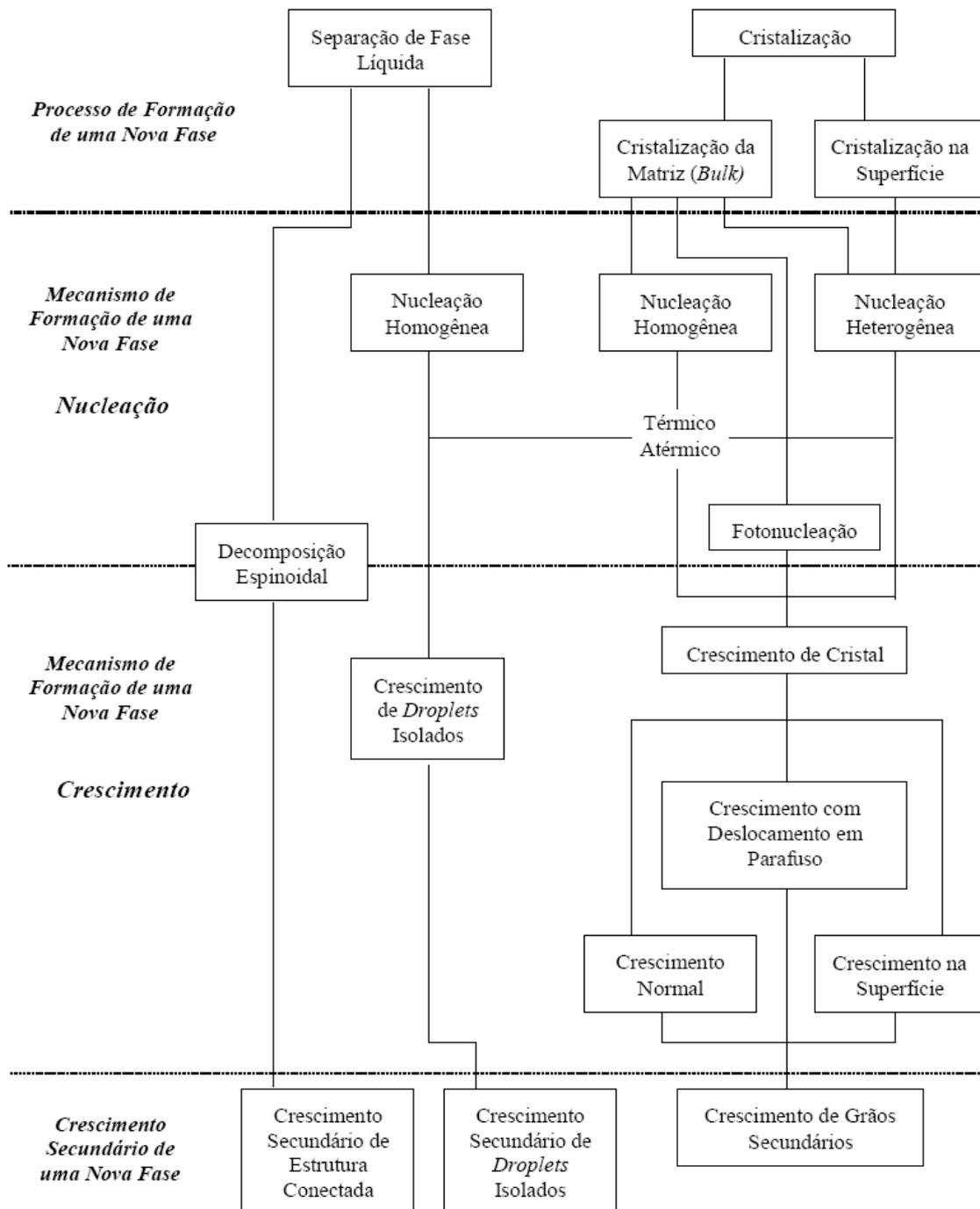


Figura 2 – Mecanismo de formação de uma vitrocerâmica a partir do vidro.  
 Fonte: Strnad *apud* Gimenez, Mazali e Alves (2008).

Para GIMENEZ; MAZALI; ALVES (2008) os processos de transformação de fase podem ser divididos em dois grupos. Sendo eles: separação de fases líquido-líquido e devitrificação ou cristalização.

### 3.1. Separação de fases líquido-líquido

Neste processo, uma fase simples homogênea pode separar-se em duas ou mais fases de composições diferentes, se a energia livre do sistema com duas ou mais fases distintas é

menor do que àquela do sistema com uma fase simples homogênea. Na nucleação homogênea, a composição da segunda fase permanece inalterada com o tempo (equilíbrio de composição), a interface entre as fases é sempre formada durante o crescimento, apresentando uma tendência de distribuição aleatória na posição dos cristalitos na matriz. Apresenta, ainda, uma tendência de a segunda fase separarem-se como cristalitos esféricos com pequena conectividade. Por outro lado, na decomposição espinoidal uma mudança contínua da composição ocorre enquanto a situação de equilíbrio é atingida. A interface é inicialmente muito difusa, mas defini-se gradualmente e a segunda fase é distribuída regularmente havendo uma tendência de separar-se com uma estrutura não esférica com grande conectividade (GIMENEZ; MAZALI; ALVES, 2008).

### 3.2. Cristalização

A cristalização de vidros é controlada basicamente por dois fatores. O primeiro é a taxa de nucleação, que segundo Ziemath (1990) para cada temperatura, a taxa de nucleação,  $I$ , é definida como sendo o número de núcleos  $N$ , que são formados no vidro por unidades de tempo  $t$ , e por unidades de volume  $V$ . A taxa de nucleação é dada pela Equação (1). O segundo é a taxa de crescimento de cristais. Se a cristalização ocorre por núcleos dispersos por toda a matriz do vidro, esta é denominada cristalização de volume. Dois tipos básicos de nucleação podem ocorrer durante a cristalização de volume: nucleação homogênea e nucleação heterogênea (GIMENEZ; MAZALI; ALVES, 2008).

$$I = \frac{N}{tV} \quad (1)$$

### 3.3. Nucleação homogênea

De acordo com Navarro *apud* Bertan (2006) a aproximação dos átomos promovida pela diminuição da temperatura conduz à formação de “embriões” em um fundido. Para a formação desses embriões é necessária uma acumulação local de componentes que se agrupem de acordo com o princípio de ordenação correspondente a um determinado agrupamento cristalino. Estas condições podem acontecer por efeito de flutuações da composição e temperatura que coincidem, em um dado momento e num certo elemento de volume, com um número suficiente de moléculas. Ao formar-se a fase cristalina, tem lugar uma variação de energia livre do sistema, que vem dada dois termos, um negativo que corresponde à energia de cristalização liberada por unidade de volume ao produzir-

se a cristalização, de sinal contrário, que representa o trabalho necessário para a criação de uma nova superfície.

### 3.4. Nucleação heterogênea

A nucleação heterogênea ocorre quando superfícies estranhas presentes nos vidros têm grande probabilidade de desenvolver um núcleo com raio acima do tamanho crítico. As superfícies estranhas podem ser: contornos de grãos, discordâncias, bolhas ou partículas de impurezas presentes nos vidros. As superfícies estranhas também podem ser chamadas de agentes nucleantes. Os agentes nucleantes reduzem a barreira termodinâmica crítica de energia livre para formar o núcleo, ocorre decréscimo da energia de superfície do núcleo formado, e a taxa de nucleação é maior (BRAUN, 2008).

## 4. DEVITRIFICAÇÃO CONTROLADA

Segundo Navarro *apud* Bertan (2006) quando se conhece os fatores que interferem na cristalização, consegue-se converter um defeito temido em uma vantagem desejável. Sendo assim, o desenvolvimento controlado de fases microcristalinas nos vidros deu lugar a um novo tipo de material vitrocrystalino, que adquire um grande interesse do ponto de vista científico, tecnológico e comercial.

De acordo com Zanotto (1986) existem vitrocerâmicas com tamanho de grãos que variam geralmente entre 10 e 100 nm, como mostrado na Figura 3. O estudo de vitrocerâmicas levou a várias relações entre propriedades e microestruturas. Isto é, como variam as propriedades em função de parâmetros micro-estruturais. Além disso, permitiu o estudo do papel da fase vítrea nas propriedades dos materiais cerâmicos. Mesmo no estado policristalino fica uma porcentagem residual da fase vítrea nos contornos de grãos, assim como na maioria das cerâmicas obtidas por sinterização.

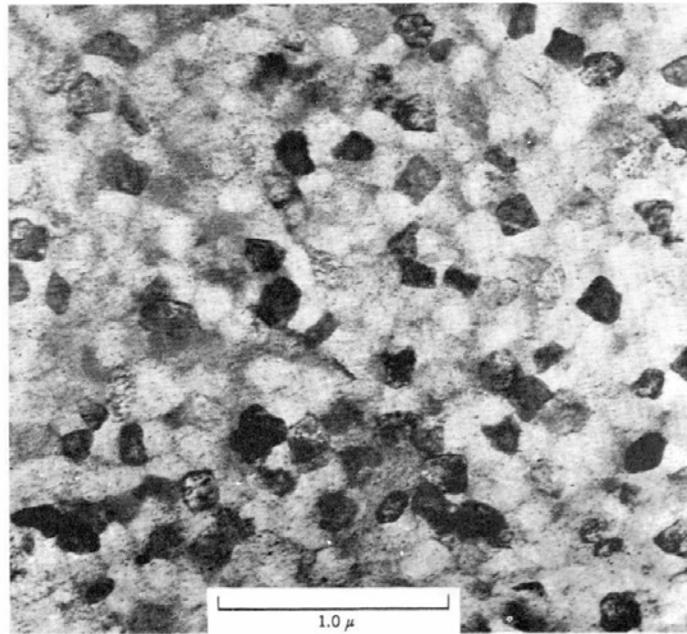


Figura 3 – Micrografia de vidrocerâmica do sistema  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .

Fonte: Mcmillan *apud* Rollett (2002).

As qualidades desses materiais unem os produtos vidrocerâmicos a considerável vantagem de serem elaborados por fusão utilizando os procedimentos convencionais empregados pela indústria vidreira. Uma vez conformadas, as peças são submetidas a um tratamento térmico adequado para conseguir primeiro a formação de núcleos e, ulteriormente, o crescimento dos microcristais. O aspecto mais delicado de todo o processo é o controle desta devitrificação e o desenvolvimento dos cristais entre os limites desejados. O tratamento térmico compreende uma etapa de resfriamento até uma primeira temperatura de estabilização, a qual tem lugar a formação dos núcleos, seguida de um novo aquecimento até uma segunda temperatura para crescimento dos cristais até o tamanho desejado, como mostrado na Figura 4 (BERTAN, 2006).

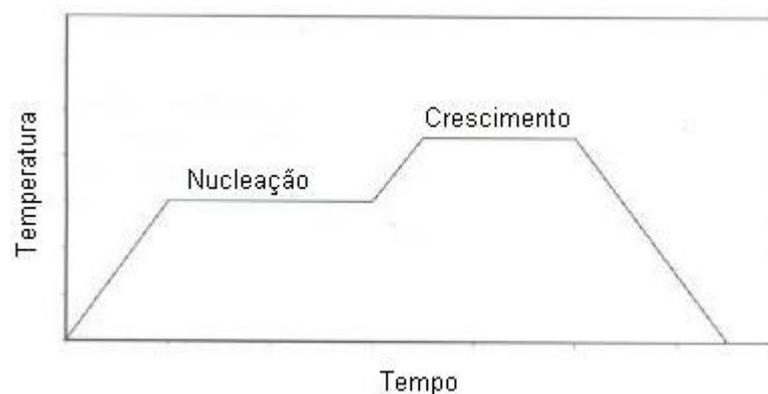


Figura 4 – Velocidade de nucleação e velocidade de crescimento dos cristais.

Fonte: Adaptado de Davis (2008).

Para Bertan (2006) a idéia que serviu de base para o desenvolvimento dos materiais vitrocerâmicos consiste em introduzir na composição do vidro uma pequena concentração de uma substância que se segue por um processo de nucleação homogênea durante o tratamento térmico, formando uma fase nucleadora heterogênea que induzia à precipitação e ao crescimento da fase cristalina majoritária.

## 5. IMPORTÂNCIA DAS VITROCERÂMICAS

Os materiais vitrocerâmicos têm grande importância científica, pois o estudo e desenvolvimento desse material levou a vários desenvolvimentos na área de cinética de transformações de fase. Vários tipos de novos cristais foram desenvolvidos, como cristais sintéticos cuja obtenção só é possível por meio da cristalização de vidros, pois não existem na natureza (ZANOTTO, 1986).

### 5.1. Estudos de estabilidade de vidros

O grande problema em se trabalhar com artigos de vidro, é evitar a cristalização do mesmo durante sua fabricação. Quando se deseja obter um artigo de vidro e ele se cristaliza durante a fabricação de maneira descontrolada, o artigo está danificado. Quando se consegue controlar a cristalização, também se consegue evitá-la. Isso levou a estudos sobre a estabilidade de vidros ou como evitar a cristalização controlada. Outro detalhe importante é como controlar as microestruturas do vidro. Variando a quantidade de agentes nucleantes e o tratamento térmico, pode-se variar os tamanhos dos cristais, ou seja, o tamanho do grão, a quantidade desses grãos, sua feometria e número de fases (ZANOTTO, 1986).

A importância tecnológica reside no fato que as vitrocerâmicas são bastante homogêneas, em geral mais homogêneas que as cerâmicas obtidas por sinterização, a microestrutura pode ser finíssima e tem ausência de poros. Às vezes, se consegue eliminar os poros abertos, que tem contato com a superfície, mas não se consegue eliminar os poros fechados. Uma micrografia de vitrocerâmicos com poros fechados é apresentada na Figura 5 (ZANOTTO, 1986).

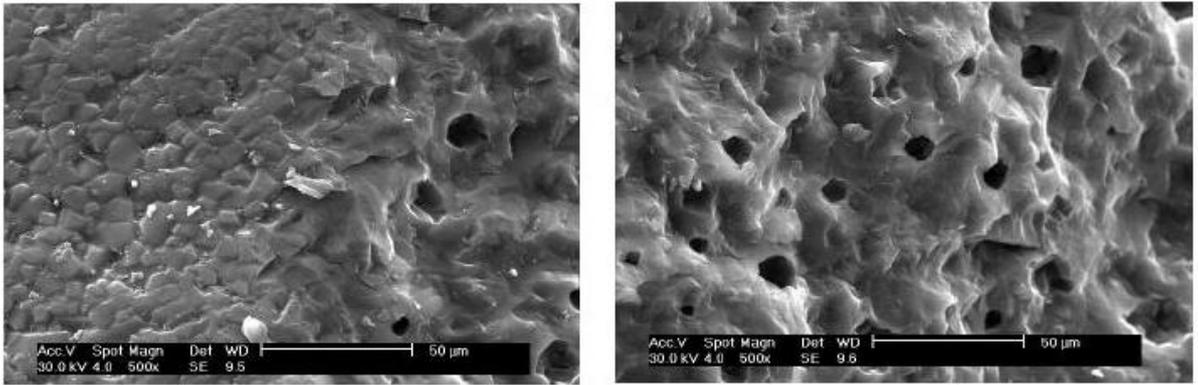


Figura 5 – Micrografia da seção transversal dos vitrocerâmicos com elevada densidade de poros.  
Fonte: Figueira et al. (2008).

De acordo com Zanotto (1986) o acabamento superficial das vitrocerâmicas geralmente é muito bom, sendo assim não é necessário um polimento e também possuem uma variação dimensional. Já os materiais cerâmicos, em um modo geral, quando são sinterizados, se retraem bastante durante esse processo. Os materiais vitrocerâmicos se retraem pouco devido a densidade dos cristais ser pouco diferente da densidade da fase vítrea. A variação dimensional das vitrocerâmicas é da ordem de 3% a 5%, enquanto que, as cerâmicas em certas situações chegam a 40% de retração durante a sinterização. Os vitrocerâmicos possuem fácil aderência a metais pelo fato de serem vítreos e ainda, há muitos tipos desse material que são selados a metais.

## 6. TIPOS E APLICAÇÕES DE VITROCERÂMICAS

Os primeiros produtos de vitrocerâmica foram preparados a partir de composições do sistema  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  nucleados por fotosensibilização. Desde então o desenvolvimento destes materiais tem sido espetacular e as composições estudadas são inúmeras. O sistema  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , sem dúvida o mais explorado, devido ao baixo coeficiente de expansão térmica e alta resistência a choque térmico. Os vidros formados por esse sistema podem ser, por exemplo, usinados quimicamente, pois o processo de cristalização ocorre em determinadas partes do material e depois estas partes podem ser dissolvidas por certos ácidos, ficando uma matriz com geometrias bastante interessantes e complexas (ZANOTTO, 1986).

Também tem sido amplamente estudada a devitrificação controlada de vidros do sistema magnésia-alumina-sílica ( $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ), tanto pelo interesse de obter materiais de baixo coeficiente de expansão térmica, baseados na formação de cordierita ( $2\text{MgO}-2\text{Al}_2\text{O}_3-5\text{SiO}_2$ ), como por suas boas propriedades dielétricas (BERTAN, 2006).

Para Zanotto (1986) as vitrocerâmicas do sistema cálcia-magnésia-alumina-sílica, podem ser obtidas a partir de matérias-primas naturais do tipo basalto. Os basaltos são ricos nesses quatro óxidos e, além disso, possuem agentes nucleantes como o ferro e o cromo. Para que possa ser obtido vitrocerâmica do basalto, é necessário alguns ajustes nas suas composições químicas.

De acordo com Ferreira; Zanotto (2002) é possível se obter vitrocerâmica de escória gerada no refino de aço. Essa é uma das mais recentes invenções desenvolvida pela equipe de pesquisadores do Laboratório de Materiais Vítreos (LaMaV) do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com patente sendo redigida. Esse tipo de vitrocerâmica se parece com o mármore e o granito, como mostra a Figura 6, e mais resistente que esses materiais. Essa vitrocerâmica poderá ser usada na fabricação de vários produtos que compõem uma casa: pisos, azulejos e lavatórios. Por enquanto, o LaMaV domina a tecnologia para a fabricação de peças pequenas, medindo 15 por 15 centímetros, mas está desenvolvendo outras maiores (VASCONCELOS, 2002).

Além da produção de vitrocerâmica que se parece com o mármore e o granito, o rejeito das siderúrgicas também é aproveitado pelos cientistas do LaMaV na produção de vidros negros e brilhantes. Segundo um dos cientistas, esse produto é de aparência muito charmosa, mas poderá, por sua cor e brilho, ter uma aplicação limitada (LEITE, 2002). Esse material é apresentado na Figura 7.



Figura 6 – Peça de vitrocerâmica que poderá concorrer no mercado com o mármore.  
Fonte: Vasconcelos (2002).



Figura 7 – Vidro negro produzido a partir de escória de alto forno.  
Fonte: Leite (2002).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que dentre a classe dos materiais, os cerâmicos se destacam dos demais por suas características únicas, com isso são realizadas inúmeras pesquisas para que cada vez mais essas características possam ser melhoradas e adaptadas para determinado meio de utilização. Quando pessoas em geral falam sobre materiais cerâmicos, usualmente referem-se a produtos tais como tijolos, telhas, azulejos, utensílios de mesa, vasos de flores e porcelanas de banheiro, porém essa classe de materiais vai muito além desses produtos, como é o caso das recentes desenvolvidas cerâmicas avançadas, que são utilizadas em sistemas de comunicação por fibras óticas e em sistemas microeletrônicos. Além disso, o vidro, em suas milhares permutações, é também um produto cerâmico, desde um simples copo até as janelas de um arranha-céu. Por último os materiais vitrocerâmicos, que são um tipo de cerâmica descoberto há pouco mais de 50 anos, mas com grande potencial de utilização. Desde sua descoberta dezenas de empresas e laboratórios espalhados pelo planeta vêm estudando novas composições e formas de produção desse material, que se mostram úteis em diversas aplicações.

## REFERÊNCIAS

- BERTAN, F.M. **Extrusão de material vitrocerâmico do sistema LZSA reforçado com partículas de  $ZrSiO_4$** . 2006. 104f. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://tede.ufsc.br/teses/PCEM0131.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2009.
- BRAUN, S.E. **Efeito do grau de cristalização nas propriedades mecânicas de vitrocerâmicas de dissilicato de lítio**. 2008. 91f. Dissertação (Mestre em ciências) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/16900>>. Acesso em: 24 abr. 2009.
- CALLISTER, W.D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- DAVIS, M.J. Practical aspects and implications of interfaces in glass-ceramics: a review. **Interntional journal of materials research**. v. 99, 2008.
- FERREIRA, E.B.; ZANOTTO, E.D. **Nano vitrocerâmica de escoria de aciaria**. *Química Nova*, v. 25, n. 5, 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422002000500005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422002000500005&script=sci_arttext)>. Acesso em: 05 jun. 2008.
- FIGUEIRA, F.C. et al. **Obtenção de placas vitrocerâmicas do sistema LSA utilizando a prensagem de pós**. 2008. Disponível em: <[http://www.metallum.com.br/53cbc/Trabalhos\\_Completos/08-008.pdf](http://www.metallum.com.br/53cbc/Trabalhos_Completos/08-008.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2009.
- GIMENEZ, I.F.; MAZALI, I.O.; ALVES, O.L. **Transformação de fase em vidros**. Laboratório de Química do Estado Sólido – Unicamp, 2008. Disponível em: <<http://lqes.iqm.unicamp.br/index.html>>. Acesso em: 10 abr. 2009.
- LEITE, S. **Rejeito do aço vira mármore**. Notícias – FIESP/CIESP, São Paulo, ano 4, n. 94, p. 4-6, out. 2002. Disponível em: <<http://www.lamav.ufscar.br/publicat.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2008.

- ROLLETT, A.D. **Microstructure-Properties: II Crystallization of Glass**, 2002. Disponível em: <<http://neon.memscmu.edu/rollett/27302/302.L4.glass.xtall.30Oct02.ppt>>. Acesso em: 25 abr. 2009.
- VAN VLACK, L.H. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1973.
- VASCONCELOS, Y. Muito além do vidro. **Pesquisa Fapesp - on-line**. São Paulo, 76. ed., p. 66-69, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?ed=106&lg=>>>. Acesso em: 26 ago. 2008.
- ZANOTTO, E.D. **Vitrocerâmica**. LaMaV - Vitreous Materials Laboratory, 1986. Disponível em: <<http://www.lamav.ufscar.br/artpdf/1enca.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2008.
- ZIEMATH, E.C. **Caracterização de vidros e vitro-cerâmicas com composição  $2\text{Na}_2\text{O}1\text{CaO}3\text{SiO}_2$** . 1990. 163f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Departamento de Física e Ciência do Materiais, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/54/54132/tde-16012008-095911/>>. Acesso em: 28 mar. 2009.