



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS – UNIFAL-MG
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS
Rodovia José Aurélio Vilela, 11.999, Km 533
Cidade Universitária – Campus Avançado de Poços de Caldas
Fone (35)3697-4617



EDITAL 015/2016

A **Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)**, por meio de sua **Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação**, faz saber que estarão abertas as inscrições para a seleção de alunos para o **Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Nível de Mestrado**, na área de concentração: **Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais**.

1 – DAS VAGAS

O número de vagas a serem oferecidas foi estabelecido pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em **07 vagas**, de acordo com a disponibilidade de orientação.

2 – DAS INSCRIÇÕES

2.1 Para se inscrever, o candidato deverá ser portador de diploma, certificado ou declaração de conclusão de curso superior ou caso não possua diploma ou documento equivalente de conclusão de curso de nível superior poderá se inscrever condicionalmente, desde que apresente documento de conclusão na data fixada para a matrícula, em ambos os casos o curso superior deverá ser em: **Engenharia, Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Ciências Exatas e da Terra**, conforme Tabela de Áreas de Conhecimento da CAPES – Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

2.2 **Período de inscrição:** 20/05/2016 a 20/06/2016.

2.3 **Local de Inscrição:** exclusivamente pela Internet, no endereço eletrônico: <http://www.unifal-mg.edu.br/app/posgrad/inscricoes/>

2.4. Para se inscrever, o candidato deverá:

2.4.1. Acessar o endereço eletrônico <http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcemateriais/node/11>, conforme link, para conhecimento prévio das linhas de pesquisa que terão vagas disponíveis.

2.4.2 Preencher a ficha de inscrição disponível no site.

2.4.3 Imprimir o comprovante de inscrição.

2.5 O candidato portador de deficiência deverá, no ato da inscrição, informar se necessita de condições especiais para a realização das provas, no próprio formulário de inscrição - item 2 deste edital.

2.6 A relação dos alunos inscritos será afixada na secretaria do PPGCEM, assim como disponibilizada na página da UNIFAL-MG (<http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcemateriais/>) a partir do dia 21/06/2016.

2.7 O candidato deverá apresentar os seguintes documentos no dia (**25/06/2016**) e no horário de 8h00min

- a) comprovante de inscrição;
- b) cédula de identidade, RG (original), documento com foto;
- c) histórico completo da graduação (original e cópia);
- d) diploma de graduação, certificado ou declaração de conclusão de curso superior ou caso não possua diploma ou documento equivalente de conclusão de curso de nível superior poderá se inscrever condicionalmente, desde que apresente documento de conclusão na data fixada para a matrícula, em ambos os casos o curso superior deverá ser em: **Engenharia, Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Ciências Exatas e da Terra** (original e cópia);
- e) currículo do sistema de currículos Lattes, ou *curriculum vitae* exclusivamente para estrangeiros, documentado. (Anexar cópia da documentação da comprovação das atividades inseridas no Lattes).

2.7.1 Os candidatos que não apresentarem todos os documentos listados nas letras de “a” à “e” do item 2.7 deste edital serão desclassificados.

Obs.: Os documentos originais não ficarão retidos, servirão apenas para conferência de autenticidade.

3 – SELEÇÃO

3.1 O processo de seleção será composto pelas etapas abaixo descritas e serão realizadas no dia **25/06/2016**, constando de:

a) Apresentação pela Comissão de Exame e Seleção do Programa dos projetos de pesquisa desenvolvidos pelos docentes orientadores. Esta etapa é **eliminatória** e ocorrerá na sala E105 às 08h30, na UNIFAL-MG, campus de Poços de Caldas.

b) Prova escrita de conhecimentos específicos, com nível de graduação, em **Ciência e Engenharia de Materiais**, será realizada na sala E105 no campus Poços de Caldas. A prova escrita será composta de questões específicas dos capítulos listados no item 4- Programa da Prova Escrita e deverá ser realizada sem consulta. O início da prova se dará às 08h45 na sala E105 no campus de Poços de Caldas. O candidato terá 2 (duas) horas para desenvolvê-la. Será considerado aprovado o aluno que obtiver pontuação mínima de 5,0 pontos, de acordo com a avaliação estabelecida no **Anexo I**. Esta etapa é **eliminatória e classificatória**.

c) Análise do currículo Lattes (ou *curriculum vitae* para estrangeiros) **documentado**, de acordo com pontuação estabelecida no **Anexo II**. Esta etapa será **classificatória**.

d) Exame de proficiência na língua inglesa, será realizado das 11h00min às 12h00min na sala E2015, na UNIFAL-MG, campus de Poços de Caldas. A prova de proficiência constará de questões (em inglês) sobre a interpretação de um texto científico na língua inglesa. Será permitido o uso de dicionário e as respostas deverão ser em português. A prova terá duração máxima de 60 minutos. Esta etapa é **classificatória**.

3.2 O candidato que não comparecer pontualmente a qualquer uma das etapas de seleção será considerado desistente.

3.3 A relação dos alunos classificados será afixada na secretaria do programa, assim como disponibilizada na página da UNIFAL-MG (<http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcmateriais/>) a partir do dia 30/06/2016.

4 - PROGRAMA PARA A PROVA ESCRITA

4.1 Para a prova escrita o candidato deverá ter conhecimento sobre:

- os capítulos 1, 2, 3, 6, 13, 14 e 15, do livro texto CALLISTER Jr., W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução, LTC, 8ª ed., Rio de Janeiro, 2012.

- As páginas 1 a 23 do artigo apresentado no **Anexo III**.

5 – DA FORMA DE AVALIAÇÃO E APROVAÇÃO

5.1 A avaliação será feita por uma Comissão de Seleção, homologada pela Câmara de Pós-Graduação – CPG considerando os critérios estabelecidos neste Edital.

5.2 A todas as etapas do exame de seleção, exceto a prevista no item 3.1 letra “a”, será atribuída uma nota de 0 (zero) a 10 (dez).

5.3 Aplicação da prova escrita:

5.3.1 O candidato deverá comparecer ao local do processo seletivo com até às 8h00 para checagem e assinatura da lista de presença;

5.3.2 O candidato deverá rubricar todas as folhas da prova;

5.3.3 Não será permitida a entrada na sala após o horário de início da prova;

5.3.4 A prova deverá ser respondida a tinta azul ou preta;

5.3.5 As questões respondidas a lápis serão consideradas erradas.

5.4 A prova escrita de conhecimentos específicos em **Ciência e Engenharia de Materiais** deverá ser mantida em envelope lacrado e rubricado, pelos membros da Banca Examinadora, até o momento da correção. Os critérios de avaliação da prova escrita encontram-se no **Anexo I** deste edital. **Esta etapa é eliminatória.**

5.4.1 Será desclassificado o candidato que não obtiver rendimento mínimo de 50 % na prova escrita de conhecimentos específicos em **Ciência e Engenharia de Materiais**.

5.4.2 A nota final será obtida pela soma das notas da **prova escrita, análise do *curriculum vitae* e exame de proficiência**, sendo que cada uma dessas **três** etapas vale 10 pontos, totalizando o máximo de **30 pontos**.

5.5 Na análise do *curriculum vitae*, a nota máxima será 10 (dez), atribuída ao candidato com melhor desempenho, isto é, maior pontuação no currículo. Para os demais candidatos a nota será proporcional em relação à pontuação do primeiro colocado. **Esta etapa é classificatória. Ver Anexo II.**

5.6 A análise do *curriculum vitae* será realizada, conforme os critérios de avaliação do currículo no Anexo II.

5.7 O aluno que não atingir pontuação 5,0 na prova de proficiência na língua inglesa poderá refazê-la posteriormente, no decorrer do curso em data designada pelo colegiado. É vedado ao aluno efetuar a defesa da dissertação sem a aprovação no exame de proficiência em língua inglesa. Esta etapa é **classificatória**.

5.8 Para a classificação geral no PPG-CEM UNIFAL- MG será utilizado como critério a ordem decrescente da nota final obtida; essa classificação será utilizada na distribuição de bolsas do programa (quando houver), segundo Normas vigentes de distribuição de bolsas do PPG-CEM. Será também divulgada a lista dos 7 (sete) candidatos selecionados para matrícula.

Caso haja desistência, a vaga poderá ser preenchida pelo candidato aprovado, subsequente da lista. Em caso de empate, será escolhido o candidato que tiver obtido a maior nota na **prova escrita** e diante de novo empate, será considerada a maior nota obtida na **análise de currículo**.

5.9 O candidato terá o prazo de 5 dias corridos para interpor recurso junto à Câmara de Pós-graduação (CPG) a partir da publicação dos resultados.

5.10 Os casos omissos serão julgados pelo Colegiado do PPG-CEM.

6 - MATRÍCULA

6.1 Realizada a seleção, o candidato classificado deverá efetuar a matrícula geral e a matrícula nas disciplinas do 2º semestre de 2016 na Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais da UNIFAL-MG, em data a ser divulgada no site da UNIFAL-MG, no endereço eletrônico <http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcemateriais/>.

6.2 Para a efetivação da matrícula será exigido:

I- Cédula de Identidade, RG (original e cópia);

II- Cadastro de pessoa física, CPF (original e cópia);

III- Histórico da graduação (original e cópia);

IV- diploma de graduação ou certificado de conclusão do curso (original e cópia);

V- Uma (01) foto 3 x 4 (recente);

VI- Certificado militar, em casos de ingressantes do sexo masculino (original e cópia);

VII- Carta de aceite do orientador. O ingressante que não apresentar essa carta não será matriculado;

VIII - Formulário de cadastro de aluno regular - disponível em <http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcemateriais/>;

IX - Formulário de matrícula de aluno regular - disponível em <http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcemateriais/>;

X – Certidão de nascimento ou casamento (original e cópia);

XI – Título de leitor (original e cópia).

6.3 Será considerado desistente o candidato classificado que não comparecer para efetuar sua matrícula no período estabelecido.

7 - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

7.1 Maiores informações sobre o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais poderão ser obtidas no endereço eletrônico: <http://www.unifal-mg.edu.br/ppgcmateriais/> ou pelo telefone (35) 3697-4617.

7.2 A aprovação do candidato no exame de seleção do curso não implica na concessão automática de bolsa.

7.3 O candidato eliminado no processo seletivo terá o prazo máximo de 30 dias, contados a partir do resultado final do processo seletivo, para retirar sua documentação na secretaria do programa; após esse prazo não haverá devolução da documentação.

7.4- Todas as etapas deste processo de seleção serão realizadas no campus avançado de Poços de Caldas, da UNIFAL-MG, situado na Rodovia José Aurélio Vilela, 11.999, Km 533, Cidade Universitária, Campus Avançado de Poços de Caldas, Minas Gerais.

Poços de Caldas, 02 de maio de 2016.

Profa. Dra. Eva Burguer
Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-graduação da Unifal-MG

ANEXO I – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA PROVA ESCRITA

Na Prova Escrita, serão avaliados os seguintes aspectos:

- 1- Conhecimento e abrangência do assunto abordado: 60%;
- 2- Clareza e objetividade na descrição dos itens abordados: 30%;
- 3- Uso correto da Língua Portuguesa e elaboração de texto: 10%.

ANEXO II – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO CURRÍCULO LATTES (OU CURRICULUM VITAE PARA ESTRANGEIROS)

Na avaliação do *curriculum* serão atribuídos os seguintes pontos para as atividades abaixo:

Atividade	Pontuação
<p>1. Artigos científicos publicados na íntegra, ou aceitos para publicação, em periódicos especializados pertencentes à Engenharia II, segundo Qualis da CAPES nos últimos cinco (05) anos:</p> <p>Qualis A1 Qualis A2 Qualis B1 Qualis B2 Qualis B3 Qualis B4 Qualis B5</p>	<p>4,0 pontos/artigo 3,4 pontos/artigo 2,8 pontos/artigo 2,0 pontos/artigo 1,2 pontos/artigo 0,6 ponto/artigo 0,2 ponto/artigo (Max. de 20 pontos)</p>
<p>2- Aulas ministradas, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.</p> <p>Ensino Fundamental e Médio</p> <p>Ensino Técnico</p> <p>Ensino Superior</p>	<p>0,1 pontos/hora aula (Max. de 4 pontos) 0,5 pontos/hora aula (Max. de 6 pontos) 1,0 ponto/hora aula (Max. de 10 pontos)</p>
<p>3. Resumo publicado em anais de evento científico, dentro da área de concentração “Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais”, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.</p> <p>Internacional</p> <p>Nacional</p> <p>Regional</p>	<p>0,5 ponto/resumo (Max. de 5 pontos) 0,2 ponto/resumo (Max. de 5 pontos) 0,1 ponto/resumo (Max. de 5 pontos)</p>
<p>4. Artigo publicado na íntegra em anais de evento científico, da área de concentração “Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais”, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.</p> <p>Internacional</p> <p>Nacional</p>	<p>1,0 pontos/artigo (Max. de 10 pontos) 0,5 ponto/artigo (Max. de 10 pontos)</p>
<p>5. Participação em comissão organizadora de evento científico, da área de concentração “Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais”, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.</p> <p>Internacional</p> <p>Nacional</p>	<p>1,0 ponto/evento 0,5 ponto/evento</p>

Regional Local	0,2 ponto/evento 0,1 ponto/evento (Max. de 5 pontos)
6. Participação em evento científico (congresso, simpósio e outros), da área de concentração “Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais”, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes. Internacional Nacional Regional Local	1,0 ponto/evento 0,5 ponto/evento 0,2 ponto/evento 0,1 ponto/evento (Max. de 5 pontos)
7. Iniciação científica concluída, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes. Com bolsa Sem bolsa	1,0 ponto/semestre (Max. de 10 pontos) 0,5 ponto/semestre (Max. de 5 pontos)
8. Monitoria concluída nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes. Com bolsa Sem bolsa	0,4 ponto/semestre 0,2 ponto/semestre (Max. de 5 pontos)
9- Atividades desenvolvidas na indústria e ou outro setor (exceto no ensino), nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.	0,5 ponto/semestre (Max. de 5 pontos)
10- Curso de Pós-Graduação Lato Sensu, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.	1,0 ponto/semestre (Max. de 5 pontos)
11- Cursos diversos realizados, dentro da área de concentração “Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais”, nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.	1,0 ponto/curso (Max. de 5 pontos)
12- Atividades de extensão, empresa Junior e outros. Nos últimos cinco (05) anos. Comprovação fornecida por órgãos competentes.	0,5 ponto/semestre (Max. de 5 pontos)

ANEXO III – MATERIAL COMPLEMENTAR PARA ESTUDO



CETEV - CENTRO TÉCNICO DE ELABORAÇÃO DO VIDRO

Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro

Autor: Mauro Akerman

ÍNDICE

ASSUNTO	PÁGINA
Introdução	3
Histórico	5
Características do estado vítreo	7
Transição vítrea	8
Importância da velocidade de resfriamento	11
Estrutura	13
Tipos de vidros	15
Devitrificação	18
Propriedades	20
Viscosidade	22
Resistência mecânica	24
Resistência ao choque térmico	27
Durabilidade química	29
Cor do vidro	31
Propriedades óticas	32
Literatura recomendada	35
Bibliografia	35

INTRODUÇÃO

Apreendeu-se mais a respeito do vidro e de seu processamento nos últimos 30 anos que durante toda a história precedente da tecnologia. Os vidros são hoje utilizados em quase todos os aspectos das atividades humanas; em casa, na ciência, na indústria e mesmo em arte, pois eles podem ser ajustados às suas finalidades.

Algumas embalagens são relativamente seguras. Muitas podem ser recicladas. Outras são reutilizadas. Pureza, versatilidade e impermeabilidade são outras características encontradas isoladamente nas embalagens. Entretanto, especialistas e designers vêm reiteradamente reconhecendo que o vidro é o único material que sintetiza todas essas qualidades. A tecnologia desenvolvida e aplicada ao vidro permitiu que ele adquirisse novas vantagens em relação a outros materiais. Seu peso foi sensivelmente reduzido, ao mesmo tempo em que se tornou mais resistente. E como embalagem, o vidro é o único material que corresponde plenamente a duas características essenciais das embalagens modernas: protege a natureza, pois o vidro é completamente reciclável, sendo que um quilo de vidro usado dá origem a um quilo de vidro novo, e protege o consumidor, não contaminando o produto embalado, não exigindo aditivos para proteção da embalagem e deixando visível o seu interior.

Alguns vidros podem ser utilizados em temperaturas extremas, enquanto outros só têm utilidade porque se fundem a baixas temperaturas. Algumas peças conservam suas formas mesmo submetidas a mudanças extremas de temperatura como entre o fogo e o gelo, outras podem conduzir ou bloquear a luz. Os vidros podem ter diversos graus de resistência mecânica, ser densos ou leves, impermeáveis ou porosos. Em suas muitas finalidades, eles podem filtrar, conter, transmitir ou resistir às radiações eletromagnéticas pertencentes a quase todas as faixas do espectro.

As propriedades dos materiais são ditadas pelo tipo de ligações interatômicas, pela microestrutura e pelos defeitos. Devido à vastíssima, quase infinita, faixa de composição química dos vidros, onde a maioria dos elementos da tabela periódica pode ser incorporada, estes apresentam uma ampla variação de propriedades mecânicas, óticas, térmicas, elétricas e químicas. As cerâmicas (materiais cristalinos) também englobam uma vasta faixa de propriedades, e até nossa intuição pode falhar em distinguir um vidro de uma cerâmica. Várias cerâmicas são transparentes e vários vidros são opacos! Somente técnicas experimentais avançadas, como a difração de raios-X, podem realmente diferenciar vidros de cerâmicas.

O vidro que era invariavelmente considerado de pouca resistência mecânica pode hoje ser usado em novas aplicações, nunca imaginadas poucas décadas atrás. As técnicas de têmpera térmica e química são responsáveis pela alta resistência de pára-brisas de automóveis, vidros a prova de bala e lentes de óculos. Por outro lado, vidros de "quebra sob comando" são especificados para fazerem exatamente isto; quebram-se da forma que os usuários desejam.

Os vidros óticos são nossos conhecidos nos microscópios, binóculos e máquinas fotográficas. Outras espécies de vidros óticos são sensíveis à luz ultravioleta e podem ser usados para tomadas fotográficas, desenvolvendo a imagem por tratamento térmico.

Dessa forma, são feitos objetos de vidro das formas mais intrincadas, através da dissolução ácida das partes expostas à luz. Uma das magias do vidro é revelada pelas

composições fotocromáticas que escurecem sob luz ultravioleta e retomam a cor clara quando a fonte de luz é removida.

Outra maravilha tecnológica dos nossos dias é a fibra ótica utilizada para telecomunicações e endoscopia. Nesse caso aparentemente paradoxal a luz pode seguir as mais tortuosas curvas levando imagens e informações.

Certas composições como sílica vítrea e outras, tem coeficiente de expansão térmica próximo a zero, podendo sofrer variações bruscas de temperatura sem alterações dimensionais ou trincas. Os vidros são normalmente isolantes elétricos, entretanto, vidros porosos têm sido impregnados com metais para a formação de fibras que são supercondutores de eletricidade. Novos vidros de óxidos e não-óxidos são semicondutores de eletricidade. Alguns são condutores iônicos e têm aplicação como eletrólitos sólidos.

A fibra de vidro é utilizada na produção de lã extremamente isolante, térmica e acústica, utilizada em imóveis, geladeiras, fogões e também como reforço de plásticos utilizados na confecção de automóveis, piscinas, etc. Também se presta como reforço de cimento utilizado em caixas de água e telhas.

Alguns tipos de vidro são sensíveis a íons específicos e têm larga utilização em análises químicas e clínicas. Enzimas podem ser ligadas a vidros microporosos e a técnica promete uma utilização mais eficiente destas em catálise industrial. Recentemente, foram desenvolvidos os vidros de dissolução controlada ou vidros biodegradáveis. Tais vidros podem liberar quantidades constantes e predeterminadas, de minutos a anos, de certos elementos químicos na terra, água, corrente sanguínea ou sistema digestivo. Sua utilização em agricultura, biologia e medicina apresenta um potencial vastíssimo. Uma das mais impressionantes aplicações biológicas dos vidros são implantes ortopédicos, dentes artificiais e pequenas partes ósseas dos chamados "bio-vidros", isto é, vidros compatíveis com tecidos vivos.

Uma das propriedades tecnologicamente mais importantes dos vidros é a alta durabilidade química de certas composições. Vidros milenares são conhecidos sem apresentarem sinais de deterioração. Seu uso como recipientes de reagentes químicos e produtos farmacêuticos, em vidraria de laboratórios e tubulações de indústrias químicas está diretamente relacionado a essa característica. Seu emprego para a imobilização de resíduos radioativos, provenientes das usinas nucleares, é devido basicamente a sua alta durabilidade química por longos períodos.

Um dos materiais mais espetaculares dos nossos tempos são os vitro-cerâmicos, i.e., materiais policristalinos obtidos da cristalização controlada de vidros, tendo, ao contrário das cerâmicas, ausência de poros e grãos muito pequenos (400-10.000 ângstrom). Esses materiais, em geral, apresentam propriedades inusitadas, dificilmente alcançadas por outros materiais. Podemos listar aplicações de vitro-cerâmicos nas indústrias química, mecânica, eletrônica, de equipamentos médicos e científicos e até na indústria bélica: cones de mísseis, por exemplo, são feitos de vitro-cerâmicos.

Numa lista das 10 maiores inovações tecnológicas no Japão em 1983, onde convivem desenvolvimentos fantásticos como biotecnologia e supercomputadores, três são diretamente relacionados a vidros e cerâmicas (fibras óticas, cerâmicas especiais e novos materiais). Para nos situarmos, vale a pena lembrar que o preço médio de venda de recipientes de vidro é US\$ 0.30/Kg, enquanto que fibras óticas para telecomunicações podem custar US\$ 100,00/Kg.

HISTÓRICO

Os povos que disputam a primazia da invenção do vidro são os fenícios e os egípcios. Os fenícios contam que, ao voltarem à pátria, do Egito, pararam em Sidom. Chegados às margens do rio Belus, pousaram os sacos que traziam às costas, que estavam cheios de trona. A trona é carbonato de sódio natural, que eles usavam para tingir lã. Acenderam o fogo com lenha, e empregaram os pedaços mais grossos de trona para neles apoiar os vasos onde deveriam cozer os animais caçados. Depois comeram e deitaram-se; adormeceram e deixaram o fogo aceso. Quando despertaram, ao amanhecer, em lugar das pedras de trona encontraram blocos brilhantes e transparentes, que pareciam enormes pedras preciosas.

Os fenícios caíram de joelhos, acreditando que, durante a noite, algum gênio desconhecido realizara aquele milagre, mas o sábio Zelu, chefe da caravana, percebeu que, sob os blocos de trona também a areia desaparecera. Os fogos foram então reacesos e, durante a tarde, uma esteira de líquido rubro e fumegante escorreu das cinzas. Antes que a areia incandescente se solidificasse, Zelu tocou, com uma faca, aquele líquido e lhe conferiu uma forma que embora aleatória era maravilhosa, arrancando gritos de espanto dos mercadores fenícios. O vidro estava descoberto.

Esta é a versão, um tanto lendária, que nos transmitiram as narrativas de Plínio, um historiador latino que viveu de 23 a 79 d.C.. Mas, notícias mais verossímeis sobre o conhecimento do vidro remontam ao ano 4000 a.C., após descobertas feitas em túmulos daquela época.

A evolução da indústria do vidro é marcada por fatos que, embora analisados sob os conhecimentos de hoje pareçam simples, são na verdade repletos de criatividade e inventividade.

Até 1500 a.C., o vidro tinha pouca utilidade prática e era empregado principalmente como adorno. A partir desta época no Egito iniciou-se a produção de recipientes da seguinte maneira: a partir do vidro fundido faziam-se filetes que eram enrolados em forma de espiral em moldes de argila. Quando o vidro se esfriava tirava-se a argila do interior e se obtinha um frasco, que pela dificuldade de obtenção era somente acessível aos muito ricos.

Por volta de 300 a.C., uma grande descoberta revolucionou o vidro: o sopro, que consiste em colher uma pequena porção do material em fusão com a ponta de um tubo (o vidro fundido é viscoso como o mel) e soprar pela outra extremidade, de maneira a se produzir uma bolha no interior da massa que passará a ser a parte interna do embalagem. A partir daí ficou mais fácil a obtenção de frascos e recipientes em geral. E para termos noção da importância desta descoberta, basta dizer que ainda hoje, mais de 2000 anos depois, se utiliza o princípio do sopro para moldar embalagens mesmo nos mais modernos equipamentos.

Também a partir de gotas, colhidas na ponta de tubos e sopradas, passou-se a produzir vidro plano. Depois que a bolha estava grande se cortava o fundo deixando a parte que estava presa no tubo e com a rotação deste se produzia um disco de vidro plano, que era utilizado para fazer vidraças e vitrais.

Durante a idade média, os vitrais eram muito utilizados nas catedrais para contar as histórias pois, naquela época pouca gente sabia ler.

Por volta do ano de 1200 da nossa era, os vidreiros foram confinados na ilha de Murano ao lado de Veneza na Itália, para que não se espalhassem os conhecimentos vidreiros que eram passados de pai para filho. Lá uma nova descoberta: a produção de um vidro muito claro e transparente que foi denominado de “cristallo” por ter a transparência de um cristal. Ainda hoje se chamam “cristais” os vidros mais finos de mesa.

A partir deste vidro claro e límpido puderam ser criadas lentes e com elas serem inventados os binóculos(1590) e os telescópios(1611), com os quais pode-se começar a desvendar os segredos do universo. Também nesta época, graças a produção dos recipientes especiais e termômetros de laboratório, houve um grande desenvolvimento da Química.

Em 1665, durante o reinado de Luís XIV, foi fundada na França a companhia que viria a ser a Saint Gobain, com a finalidade de produzir vidros para espelhos, evitando assim a dependência sobre Veneza. No início foi utilizada a tecnologia veneziana de sopro, mas a partir de 1685, através de um método novo, que consistia na deposição da massa líquida de vidro sobre uma grande mesa metálica sendo passado por cima um rolo, da mesma maneira como se faz massa de pastel. O vidro assim obtido devia ser polido para a produção de espelhos pois, suas superfícies eram muito irregulares.

No século passado, devido a demanda de novos vidros no campo da ótica muitos desenvolvimentos foram realizados nesta área principalmente pelos alemães. Com as guerras mundiais sendo os alemães inimigos, isto obrigou o desenvolvimento da tecnologia de vidros empregados em ótica e sinalização pelos países aliados.

Em 1880, se inicia a produção mecânica de garrafas e em 1900, tem início a produção de vidro plano contínuo, através de estiramento da folha na vertical e em 1952, é inventado o processo float, utilizado até hoje, em que o vidro fundido é escorrido sobre um banho de estanho líquido e sobre ele se solidifica.

Muitas outras aplicações surgiram para o vidro: as fibras que tanto servem para isolamento térmico e acústico, como para reforço de outros materiais. As fibras óticas que substituem com enormes vantagens os tradicionais cabos de cobre e alumínio utilizados em comunicações, lâmpadas, isoladores, etc..

Apesar de todos estes avanços, ainda hoje é forte o apelo artístico do vidro e em Murano continua a tradição da produção de vidros manuais, decorativos e utilitários, nas mais diversas cores, apreciados em todo mundo. A Saint Gobain mantém uma fábrica na França que produz vidros em infinitas cores, de forma manual, como há muitos séculos, para a produção de vitrais. Aqui no Brasil a nossa “Murano” é Poços de Caldas em Minas Gerais, onde se concentram diversos artistas vidreiros.

CARACTERÍSTICAS DO ESTADO VÍTREO

Sob a ampla denominação genérica de vidros ou de corpos vítreos, esta compreendida uma grande variedade de substâncias que, embora à temperatura ambiente tenham a aparência de corpos sólidos proporcionada por sua rigidez mecânica, não podem se considerar como tais, já que carecem da estrutura cristalina que caracteriza e define o estado sólido. Se pela estabilidade de sua forma os vidros podem assimilar-se a sólidos, do ponto de vista estrutural suas semelhanças são muito menos evidentes. Este fato que constitui uma limitação para incluir os vidros entre os sólidos, por outro lado resulta insuficiente para autorizar a aceitá-los como líquidos, ainda que possa justificar a designação de líquidos de viscosidade infinita, que em muitas vezes é aplicado.

A dificuldade para se enquadrar adequadamente os corpos vítreos dentro de um dos três estados de agregação da matéria, deu lugar a se pensar em integrá-los em um quarto estado de agregação: *o estado vítreo*. Esta sugestão entretanto, nunca chegou a ter uma aceitação generalizada.

Outros consideram o vidro um sólido não cristalino, ou um sólido amorfo. Um material é amorfo quando ele não apresenta ordem a longas distâncias, isto é, quando não há regularidade dos seus constituintes moleculares em uma escala superior a algumas vezes o tamanho destes grupos. Por exemplo, a distância média entre átomos de silício em sílica vítrea (SiO_2) é cerca de 3,6 Å, e não há ordem entre estes átomos a distâncias superiores a cerca de 10 Å.

Muitos tecnólogos em vidro objetam estas definições. Estes trabalhadores preparam vidro esfriando um banho líquido de maneira que este não cristalize, e acham que este processo uma característica essencial de um vidro. Muitos pioneiros escritores insistem neste critério como é definido o vidro pela ASTM (sociedade americana de padronização): “Vidro um produto inorgânico de fusão que foi esfriado até uma condição rígida sem cristalização”. A dificuldade desta definição é que ela se presta para a maioria dos vidros que conhecemos, como os planos, de embalagem, fibras, etc., porém existem muitos vidros de origem inorgânica, ou formados sem a prévia fusão, sem nenhuma diferença de estrutura ou propriedades dos vidros obtidos a partir de fusão.

Para nós a melhor definição, inclusive por que nos auxilia a compreender uma série de características e propriedades que o vidro apresenta é:

Vidro é um sólido, não cristalino, que apresenta o fenômeno de transição vítrea.

E a transição vítrea passa a ser explicada no próximo tópico.

TRANSIÇÃO VÍTREA

A figura 1, a seguir, representa a variação de volume de uma massa fixa de um determinado material em função da temperatura.

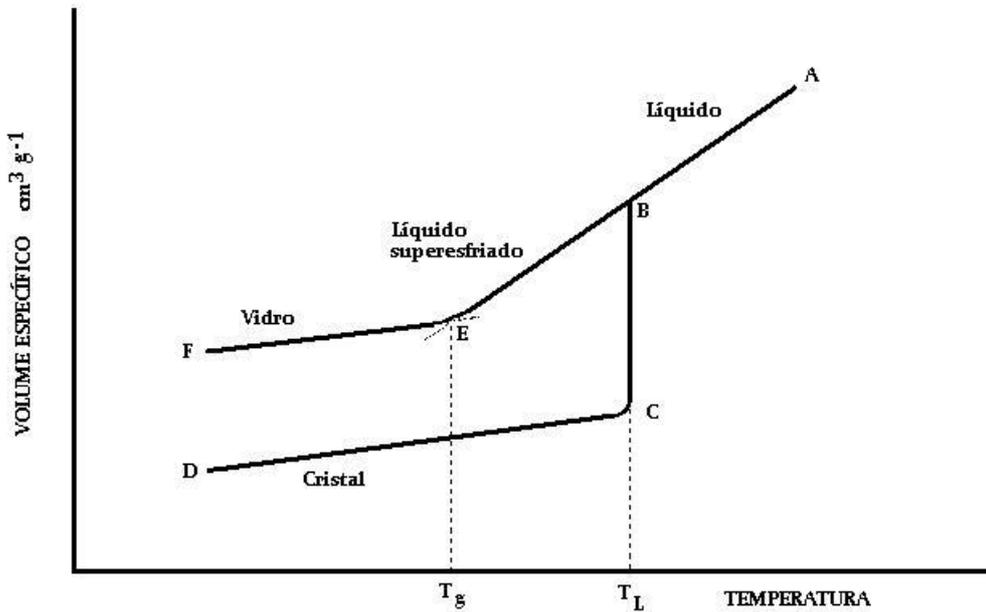


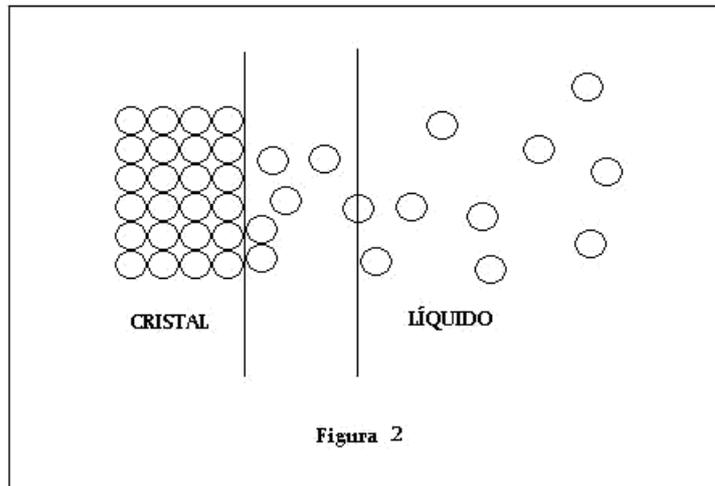
Figura 1

Todo material possui uma temperatura característica de fusão; por exemplo a da água é 0 °C, a do alumínio 660 °C, do mercúrio é -38 °C, e assim por diante. Isto significa, que acima de sua temperatura de fusão (T_f) o estado em que o material vai estar é o líquido e abaixo é o sólido.

Observando no gráfico, no ponto A o material é um líquido estável. A medida em que ele se esfria até chegar à sua temperatura de fusão (que neste caso pode ser dita de solidificação) ele se contrai, pois com menor temperatura menor é a agitação de suas moléculas, e uma mesma massa passa a ocupar um espaço menor, ou seja, aumenta sua densidade. Na temperatura de fusão há uma enorme redução de volume, pois as moléculas que antes estavam soltas, rolando umas sobre as outras, que é a característica do estado líquido, passam a se ordenar na forma de cristais.

Cristais são constituídos por arranjos ordenados de moléculas que se repetem em períodos regulares.

Na figura 2, a seguir, é representado esquematicamente as moléculas de um material passando do estado líquido, desorganizado, para o estado sólido cristalino, organizado.



Retornando à figura 1, após a completa cristalização do material, ele vai se encontrar no ponto **C** e uma continuação no resfriamento, novamente ocasiona uma redução ainda maior no agitação das suas moléculas, que se traduz em diminuição de volume ou aumento de densidade. A reta **C D** tem menor inclinação que a **A B**, pois no estado sólido os átomos arranjados na forma de cristais, tem menor liberdade de movimentação.

Voltemos ao ponto **B** e imaginemos que o resfriamento esta sendo feito muito rapidamente e não houve tempo para que as moléculas se deslocassem umas em relação às outras para constituir os cristais, desta maneira obtendo-se um líquido superresfriado, onde a redução de volume só continua devido à diminuição do agitação térmico, mas ainda não houve possibilidade de cristalização.

Imagine ainda, para piorar mais a situação, que a viscosidade deste líquido aumentasse muito com o abaixamento de temperatura, como o mel por exemplo. Chegamos a um ponto **E**, a partir do qual a viscosidade é tão alta que impossibilita qualquer movimentação de moléculas, umas em relação às outras, e portanto a cristalização. A partir deste ponto **E** o material embora continue com a característica de um líquido, isto é, suas moléculas amontoadas ao acaso sem um arranjo definido, ele passa a se comportar semelhantemente ao sólido cristalino.

A temperatura de transição vítrea é justamente este ponto **E**. Abaixo dele o comportamento do material é de um sólido e é o vidro que conhecemos. Acima dele o comportamento é de um líquido. Porém, na passagem por este ponto não houve uma transformação como a cristalização que ocorre na temperatura de fusão.

Teoricamente então poderíamos dizer que é possível existir vidros de qualquer material, bastando que se esfriasse suficientemente rápido para tanto. Na prática porém, não é bem assim, e os materiais que podem vir a constituir vidros são aqueles que possuem a característica de ter uma grande alteração de viscosidade com a mudança de temperatura.

Portanto, resumindo, para termos um vidro, na sua forma mais “popular” como os de garrafas e de janelas, precisamos antes ter um líquido fundido que tenha a característica de ser viscoso e ter aumentada muito a sua viscosidade durante o esfriamento, e que, finalmente apresente a transição vítrea.

A primeira observação que podemos fazer olhando este gráfico é que o vidro ocupa um volume superior que um sólido com a mesma análise química pois, suas moléculas estão “bagunçadas” enquanto que no sólido estão bem organizadas.

IMPORTÂNCIA DA VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO

Observem agora o seguinte gráfico da figura 3, que é semelhante ao da figura 1, porém onde se deu duas opções de resfriamento: rápido e lento.

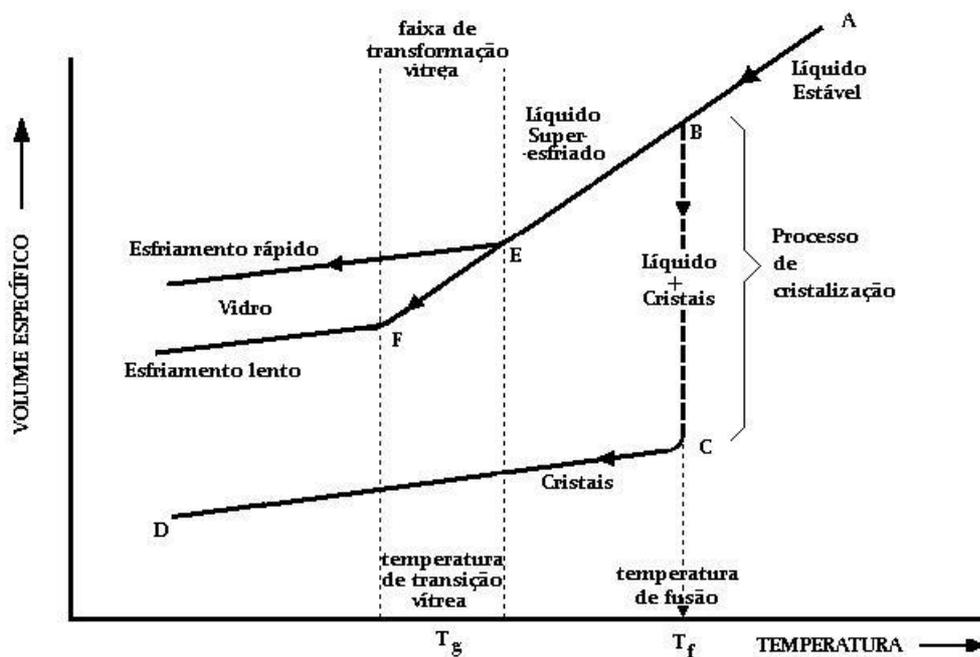


Figura 3

Aqui podemos observar que a temperatura de transição (T_g) na verdade não é um ponto fixo, mas sim uma faixa, e dentro desta faixa T_g pode assumir diversos valores de acordo com a velocidade de resfriamento do material.

Isto significa que na prática, quando passamos do ponto **B** a partir de **A**, e estamos na fase de líquido superesfriado, existe um início de arranjo dos átomos com os seus vizinhos porém, não há tempo suficiente para formar os cristais. Quando o esfriamento é mais lento este arranjo pode atingir um número maior deles. De qualquer forma este rearranjo para ao passar pela T_g , que passa então a ser dependente, não apenas do material, mas também de sua velocidade de esfriamento.

Neste gráfico pode se observar que uma determinada massa de um vidro que sofreu esfriamento rápido, por ter tido menos chance de se rearranjar, ocupa um volume maior, ou seja, tem menor densidade que o mesmo vidro esfriado lentamente.

Esta é uma característica fundamental para podermos entender o processo de produção em qualquer vidraria.

Tomemos o exemplo de uma garrafa: ela é produzida, a grosso modo, a partir de uma gota de vidro dentro de um molde metálico que apresenta a sua forma externa. Dentro desta gota se assopra uma bolha de ar que pela ação da pressão vai crescer e empurrar o vidro contra o molde metálico. Enquanto isto acontece, o vidro vai se esfriando e, quando ele estiver todo abaixo de T_g , podemos abrir o molde e já teremos a nossa garrafa.

Porém, se olharmos o que ocorre, tendo a figura 3 em mente, podemos dizer que o vidro da pele da garrafa, aquele da parte mais externa que esteve em contato com o molde metálico, vai esfriar mais rápido e querer ocupar um volume maior do que o vidro da pele interna (do interior da garrafa), que se esfriou lentamente pois, só esteve em contato com o ar que é mau condutor de calor. Como estas duas peles estão consolidadas em uma única massa, uma querendo ocupar um volume maior e a outra um menor, desta “briga” surgem tensões que são suficientes para quebrar a garrafa antes dela ser usada.

Evitar estas tensões é impossível pois elas são inerentes ao processo, então o que se deve fazer é eliminá-las ou ao menos reduzi-las a um nível tolerável.

O alívio de tensões é realizado através do recozimento da peça, e consiste em aquecê-la até o ponto **E** que é o T_g da porção mais tensionada, deixar que todo o vidro da garrafa atinja o equilíbrio nesta temperatura, e em seguida esfriar lentamente para que toda a massa faça o trajeto **EF** e ao chegar a temperatura ambiente não existam tensões residuais.

Este mesmo princípio é aplicado na tempera do vidro: A peça é aquecida até T_g , depois esfriada igualmente em toda a superfície por jatos de ar. A pele (camada superficial) de toda a peça vai se esfriar rapidamente, enquanto o núcleo, protegido pela pele, vai se esfriar mais lentamente. Desta forma no final a pele vai querer toda ela ocupar um espaço maior que o núcleo, isto é ela gostaria de crescer, mas o núcleo não deixa. Como resultado final a superfície fica em compressão e o núcleo em tração.

Estando a pele em compressão ela dificulta a propagação de trincas, que quebrariam um vidro que fosse simplesmente recozido e conseqüentemente aumenta a sua resistência. O núcleo está em tração mas, como esta protegido pela pele não há risco de uma trinca se propagar até ele. Porém, se uma fissura atravessar a camada comprimida e atingir o núcleo tracionado, a peça se estilhaça em inúmeros pedaços.

ESTRUTURA

Vidros silicatos, assim como minerais, não são compostos por moléculas discretas, mas por redes conectadas tridimensionalmente. A unidade básica da rede de sílica é o tetraedro silício-oxigênio (figura 4), no qual um átomo de silício está ligado a quatro átomos de oxigênio maiores. Os átomos de oxigênio se dispõem espacialmente, formando um tetraedro.

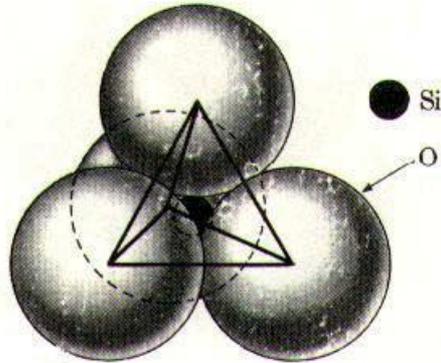
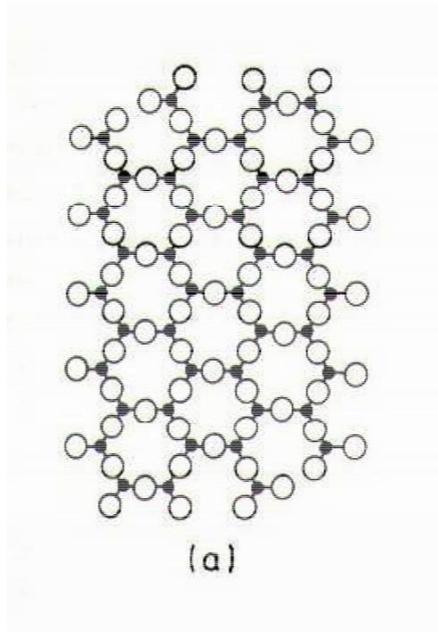
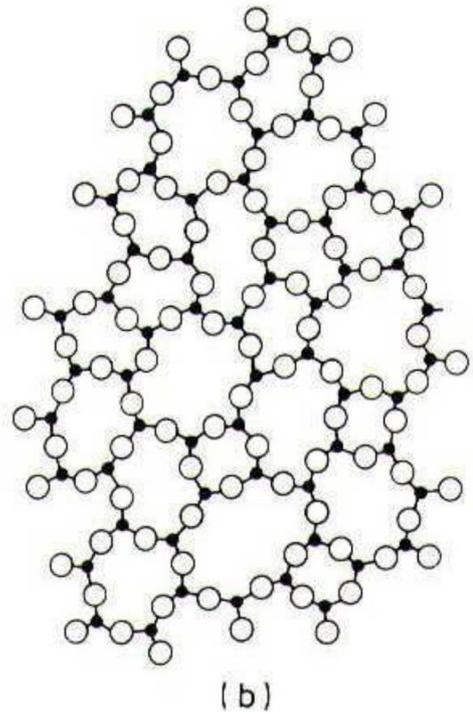


Figura 4 - Unidade básica da rede de sílica



Quartzo (sílica cristalizada)



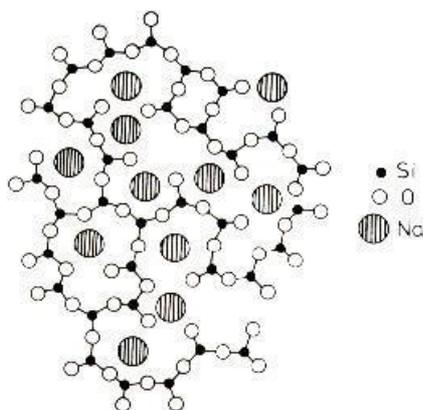
Sílica vítrea

Figura 5

Os tetraedros de sílica estão ligados pelos vértices, através do compartilhamento de um átomo de oxigênio, por dois átomos de silício. Todos os quatro átomos de oxigênio de um tetraedro podem ser compartilhados com quatro outros tetraedros formando uma rede tridimensional (figura 5; notar que cada átomo de silício está ligado a um quarto átomo de oxigênio abaixo ou acima do plano do papel).

Estes oxigênios partilhados são chamados de oxigênio "pontantes". Em vidros ou em minerais de sílica pura, como o quartzo, a relação entre silício e oxigênio é de 1:2, pois, embora o tetraedro tenha a formulação SiO_2 , cada oxigênio é ligado a dois átomos de silício, resultando a formulação SiO_2 , e todos os oxigênios são pontantes (formam pontes).

Alguns átomos, como o sódio, quando presentes no vidro, se ligam ionicamente ao oxigênio. Isto interrompe a continuidade da rede, já que alguns dos átomos de oxigênio não são mais compartilhados entre dois tetraedros, mas ligados somente a um átomo de silício (figura 6). Este tipo de átomo de oxigênio é chamado de oxigênio não pontante. Por essa razão, os óxidos alcalinos são utilizados como fundentes que diminuem a viscosidade do vidro pois, quebram algumas ligações (pontes).



Vidro sódio-cálcico
Figura 6

Quantidades apreciáveis de muitos óxidos inorgânicos podem ser incorporados aos vidros ao silicato. Elementos que podem substituir o silício são chamados "formadores de rede". A maioria dos cátions mono e bivalentes não entram na rede, mas formam ligações iônicas com oxigênios não pontantes e são chamados "modificadores de rede". Alguns íons bivalentes, como magnésio e zinco, podem tanto ser formadores ou modificadores de rede, dependendo da natureza e quantidades dos outros constituintes na composição do vidro.

Por causa da sua rede estrutural, a tentativa de se expressar a composição química de um vidro em termos de uma única fórmula química não tem sentido prático. Porém, algum sistema é necessário para descrever a composição do vidro em termos químicos. A maneira usual é listar as quantidades relativas de óxidos provenientes das matérias-primas na formulação da composição, a despeito do fato de que esses óxidos não existam por si

só na estrutura do vidro. Para efeito de fabricação, as quantidades relativas são usualmente expressas em porcentagem de peso.

TIPOS DE VIDROS

Existem infinitas formulações de vidros em função da aplicação, processo de produção e disponibilidade de matérias-primas. Porém, podemos dividir os vidros em famílias principais descritas a seguir:

SÍLICA VÍTREA

Este vidro pode ser preparado, aquecendo-se areia de sílica ou cristais de quartzo até uma temperatura acima do ponto de fusão da sílica, 1725 °C. Por causa da sua natureza de rede tridimensional, tanto para a sílica cristalina como a vítrea, o processo de fusão é muito lento. O vidro resultante é tão viscoso que qualquer bolha de gás formada durante o processo de fusão não se liberta, por si só, do banho.

Uma segunda técnica para se produzir sílica vítrea é um processo de deposição de vapor. Neste processo, tetracloreto de silício reage com oxigênio a temperaturas acima de 1500 °C. Partículas de sílica finamente divididas são formadas, as quais podem ser consolidadas coletando-as em um substrato mantido em temperaturas superiores a 1800 °C.

Sílica vítrea tem um coeficiente de expansão térmico muito baixo, sendo ideal para janelas de veículos espaciais, espelhos astronômicos, e outras aplicações aonde são exigidas baixa expansão térmica a fim de se ter resistência a choques térmicos ou estabilidade dimensional.

Devido à extrema pureza obtida pelo processo de deposição de vapor, sílica vítrea é utilizada para produção de fibras óticas.

II. SILICATOS ALCALINOS

A fim de reduzir a viscosidade do vidro fundido de sílica, é necessário adicionar um fluxo ou modificador de rede. Os óxidos alcalinos são excelentes fluxos. Como eles são modificadores de rede, eles "amolecem" a estrutura do vidro pela geração de oxigênios não-pontantes.

Os óxidos alcalinos são normalmente incorporados nas composições dos vidros como carbonatos. Acima de 550 °C os carbonatos reagem com a sílica formando um líquido silicoso e, se a proporção de carbonato alcalino e sílica for adequada, formará um vidro com o resfriamento. Ainda que estas reações aconteçam abaixo do ponto de fusão da sílica, tecnólogos vidreiros referem-se a este processo como fusão.

A adição de alcalinos diminuem a resistência química do vidro. Com altas concentrações de álcalis, o vidro será solúvel em água, formando a base da indústria de silicatos solúveis utilizados em adesivos, produtos de limpeza e películas protetoras.

III. VIDROS SODO-CÁLCICOS

Para reduzir a solubilidade dos vidros de silicatos alcalinos mantendo-se a facilidade de fusão, são incluídos na composição, fluxos estabilizantes no lugar de fluxos alcalinos. O óxido estabilizante mais utilizado é o de cálcio, muitas vezes junto com óxido de magnésio. Estes vidros são comumente chamados de sodo-cálcicos. Eles compreendem, de longe, a família de vidros mais antiga e largamente utilizada. Vidros sodo-cálcicos foram usados pelos antigos egípcios, enquanto hoje em dia constituem a maior parte das garrafas, frascos, potes, janelas, bulbos e tubos de lâmpadas.

As composições da maioria dos vidros sodo-cálcicos estão dentro de uma faixa estreita de composição. Eles contêm, normalmente, entre 8 e 12 por cento em peso de óxido de cálcio e de 12 a 17 por cento de óxido alcalino (principalmente óxido de sódio). Muito cálcio faz com que o vidro tenha tendência a devitrificar (cristalizar) durante o processo de produção. Muito pouco cálcio ou alto teor em alcalinos resulta um vidro com baixa durabilidade química.

Usualmente, uma pequena quantidade de alumina (0,6 a 2,5%) é incluída na formulação para incrementar a durabilidade química.

Outros óxidos alcalinos-terrosos podem substituir o cálcio ou magnésio em composições usadas para produtos especializados. Por exemplo, bulbos de televisão a cores contêm quantidades consideráveis de óxidos de bário e estrôncio para absorver raios-X produzidos durante a operação do aparelho de TV.

IV. VIDROS AO CHUMBO

O óxido de chumbo é, normalmente, um modificador de rede, mas em algumas composições pode, aparentemente, atuar como um formador de rede. Vidros alcalinos ao chumbo têm uma longa faixa de trabalho (pequena alteração de viscosidade com diminuição de temperatura), e, desta maneira têm sido usados por séculos para produção de artigos finos de mesa e peças de arte.

O chumbo também confere ao vidro um maior índice de refração, incrementando seu brilho. Vidro ao chumbo é o vidro nobre aplicado em copos e taças finas conhecido como “cristal”, termo ambíguo pois, já sabemos que o vidro não é um material cristalino.

Devido ao fato do óxido de chumbo ser um bom fluxo e não abaixar a resistividade elétrica, como fazem os óxidos alcalinos, vidros ao chumbo são usados largamente na indústria eletro-eletrônica. Funil de tubo de televisão a cores é um exemplo de aplicação comercial devido essas características elétricas, assim como da propriedade de absorção dos raios X destes vidros. Vidros ao chumbo são também utilizados em ótica, devido aos seus altos índices de refração.

V. VIDROS BOROSSILICATOS

O óxido de boro, por si só, forma um vidro com resfriamento a partir de temperaturas acima do seu ponto de fusão a 460°C. Entretanto, ao invés da rede tridimensional da sílica vítrea, o óxido de boro vítreo é composto de uma rede de triângulos boro-oxigênio. Em vidros silicatos com baixo teor de alcalinos a altas temperaturas, o boro mantém sua coordenação trigonal plana, que diminui a coesão tridimensional da estrutura de vidros ao silicato. Devido a isso, este é frequentemente usado como fluxante em substituição aos óxidos alcalinos. Já que íons formadores de rede, aumentam muito menos o coeficiente de expansão térmica do que íons modificadores de rede, o óxido de boro é frequentemente utilizado como agente fluxante em vidros comerciais, nos quais se deseja resistência ao choque térmico. Os vidros borossilicatos apresentam alta resistência ao choque térmico e por isso são empregados em produtos de mesa que podem ser levados ao forno. É o caso do Pyrex e do Marinex. Devido à menor quantidade de óxidos modificadores, além da resistência ao choque térmico, vidros borossilicatos são também muito resistentes ao ataque químico e por isso são utilizados em vários equipamentos de laboratório.

VI. VIDROS ALUMINO-BOROSSILICATO

Quando se adiciona alumina (óxido de alumínio) em uma formulação de vidro silicato alcalino, o vidro se torna mais viscoso em temperaturas elevadas. Em vidros ao silicato, a alumina é um formador de rede (embora sozinha não forme vidro em condições normais) e assume uma coordenação tetraédrica similar à sílica. Sendo o alumínio trivalente, em contraste com o silício que é tetra-valente, a coordenação tetraédrica da alumina diminui o número de oxigênios não-pontantes, o que aumenta a coesão da estrutura do vidro. Como consequência, vidros alumino-silicatos comerciais podem ser aquecidos a temperaturas superiores sem deformação, comparativamente a vidros sodocálcicos ou à maioria dos borossilicatos. Vidros alumino-silicatos são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e vitro-cerâmicos.

A tabela 1, a seguir, apresenta algumas composições típicas de diversos vidros comerciais

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
sodo-cálcicos	Embalagem	72,0	2,0	-	12,5	1,0	11,0	1,5	-
	Plano	71,0	1,0	-	13,5	0,5	10,0	4,0	-
	Lâmpada	73,0	1,0	-	16,5	0,5	5,0	4,0	-
Borossilicato	Pyrex	79,0	2,0	13,0	5,5	-	-	-	-
	Fibra isolamento	66,0	1,5	3,5	15,5	1,0	8,0	4,0	-
Chumbo	Cristal	56,0	-	-	4,0	12,0	2,0	2,0	24,0
	Néon	63,0	1,0	-	8,0	6,0	-	-	22,0
	Lente	32,0	-	-	1,0	2,0	-	-	65,0
Aluminoborossilicato	Farmacêutico	72,0	6,0	11,0	7,0	1,0	1,0	-	-
	Fibra reforço	55,0	15,0	7,0	-	-	19,0	4,0	-

	Tubo combustão	62,0	17,0	5,0	1,0	-	8,0	7,0	-
--	----------------	------	------	-----	-----	---	-----	-----	---

Tabela 1

DEVITRIFICAÇÃO

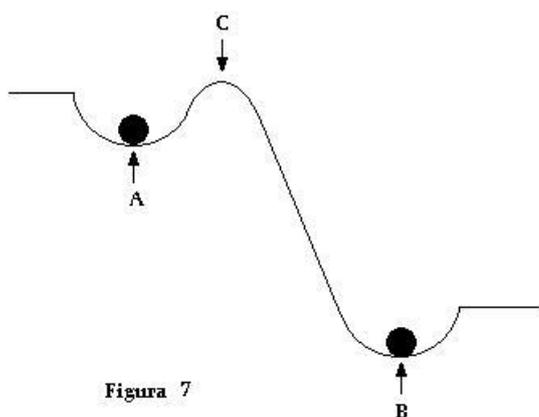
O vidro é um material que se encontra numa condição de metaestabilidade, isto é, o estado mais estável de uma substância que é passível de formar vidro, é o estado cristalino. Voltando à figura 1, uma substância que a partir do estado de líquido estável, ponto **A**, faça o trajeto **ABCD**, isto é, o esfriamento foi suficientemente lento que possibilitou a movimentação dos átomos para a condição que eles “queriam” ocupar, ou seja, a condição mais estável, ou de menor energia, chega a temperatura ambiente na forma de cristais e, portanto não é um vidro.

Por outro lado, se o resfriamento for rápido, provocando um aumento de viscosidade que impeça as moléculas de ocuparem as posições que elas “gostariam” e então a estrutura do líquido se mantém a “contragosto”, sem a ordenação dos cristais, o equilíbrio é metaestável.

Para tornar mais clara a idéia de estabilidade e metaestabilidade observe a figura 7 abaixo. Podemos dizer que a bolinha em **A** se encontra numa posição **metaestável** e a em **B** numa posição **estável** pois, se não fizermos nada com a bolinha em **A** ela pode ficar nesta posição indefinitivamente. Porém, se a partir de **A** for dado um empurrãozinho na bolinha suficiente para que ela passe de **C**, isto é, se fornecermos um pouco de energia, ela espontaneamente vai passar a ocupar a posição **B**, que é o ponto onde vai apresentar o menor nível de energia potencial no sistema (lembra-se da energia potencial que é diretamente proporcional à altura em que se encontra o corpo?).

O ponto **C** é dito de equilíbrio **instável** pois, se colocarmos uma bolinha lá com muito cuidado ela pode permanecer porém, qualquer brisa será suficiente para que a bolinha vá se acomodar ou em **A** ou em **B**

Por outro lado, a bolinha que se encontra na posição **B**, a mais estável, para chegar ao ponto **A** deve receber energia suficiente para passar o ponto **C** ou seja, mais energia do que terá quando estiver estacionada no ponto **A**.



Com o vidro ocorre o mesmo. Ele se encontra em equilíbrio metaestável e se o deixarmos tranqüilo, à temperatura ambiente, ele vai permanecer como vidro indefinitivamente, (como a bolinha em **A**) porém, podem existir situações em que ele tende a ir para o seu estado mais estável (como a bolinha em **B**) e formar cristais, deixando portanto de ser vidro.

Na verdade, o processo industrial de elaboração do vidro consiste em se misturar matérias-primas sólidas, que são substâncias cristalinas (areia, calcário, etc.), que estão na forma mais estável (posição **B**), fornecer energia através do aquecimento até obter um banho líquido (posição **C**), que em seguida será esfriado rápido o suficiente para se ter vidro (metaestável: posição **A**) a temperatura ambiente.

PROPRIEDADES

As propriedades dos vidros, assim como de todos os outros materiais, dependem de suas características estruturais. A estrutura por sua vez, esta condicionada principalmente pela composição química, e em menor escala também pela história térmica.

A variação das propriedades com a composição pode ser avaliada, com certa aproximação, em função da concentração dos componentes, mediante expressões lineares nas quais intervêm fatores de proporcionalidade obtidos experimentalmente para cada óxido e para cada propriedade. Entretanto, deve-se advertir que as faixas de aplicação destas fórmulas aditivas são mais ou menos restritas, já que perdem sua validade quando as mudanças de composição provocam mudanças estruturais no vidro, ou dêem lugar a interação entre seus componentes.

Com relação à história térmica, já vimos que a velocidade com a qual é efetuado o resfriamento do vidro dentro do intervalo de transformação, ou dito de outra forma, o tempo que o vidro teve para dissipação do calor, determina o seu grau de relaxação estrutural que influi sobre suas características finais.

O esquema da figura 8 mostra, de maneira qualitativa, como variam as propriedades dos vidros em relação ao aumento de um de seus óxidos constituintes.

Por exemplo:

Aumentando-se o Na_2O (óxido de sódio) do vidro aumenta-se a sua fluidez, expansão e solubilidade mas por outro lado diminui a sua durabilidade.

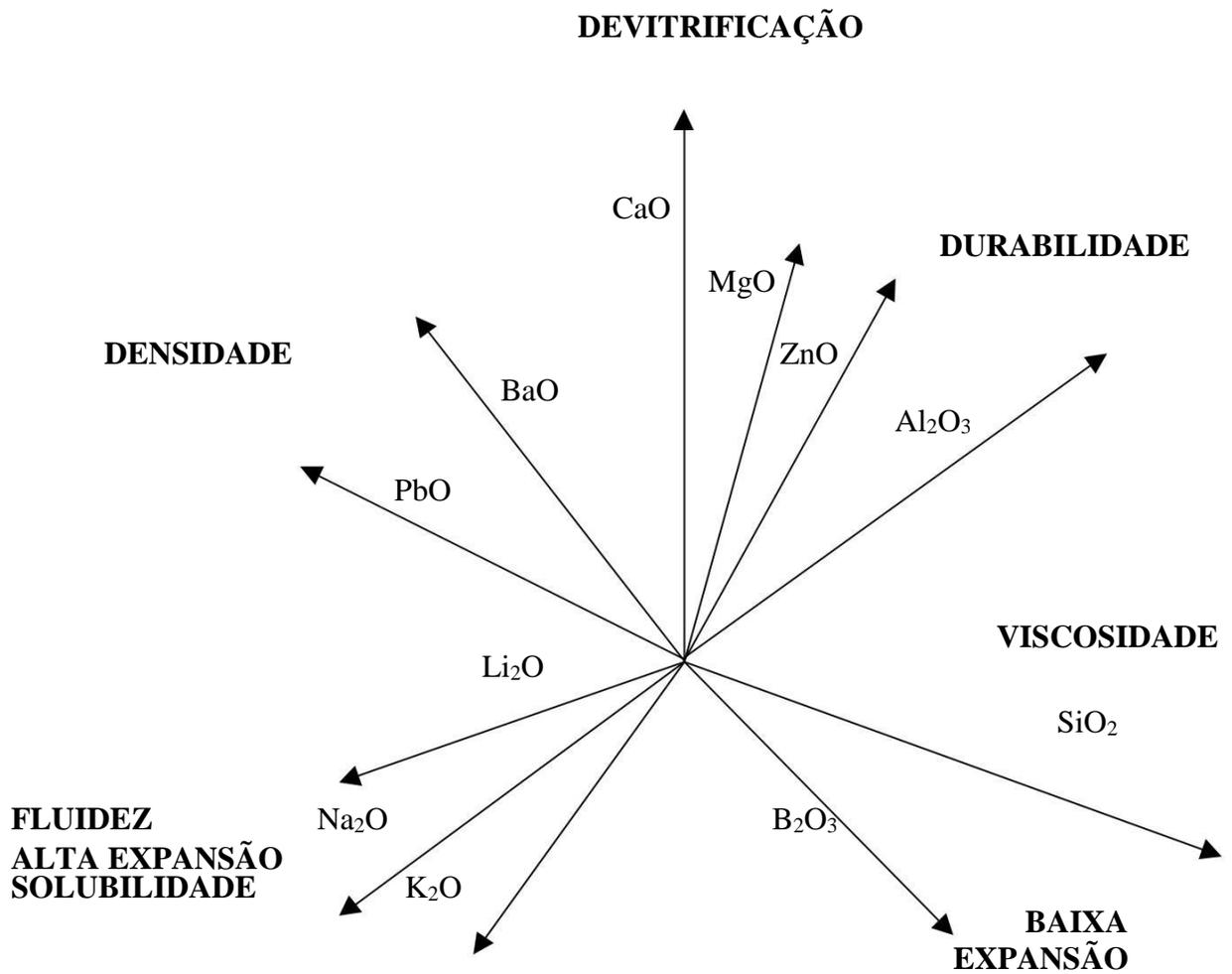
O Al_2O_3 (alumina ou óxido de alumínio), ao contrário do Na_2O , aumenta a durabilidade e faz aumentar a viscosidade.

O BaO (óxido de bário) e o PbO (óxido de chumbo) aumentam a densidade e reduzem a viscosidade, além de aumentarem a expansão térmica.

O CaO (óxido de cálcio) favorece a devitrificação.

Não esquecer que a soma de todos os óxidos presentes na composição do vidro deve fechar em 100% e que, quando se diminui ou aumenta determinado óxido, outro ou outros devem aumentar ou diminuir sua participação pois, o total sempre deve ser 100%, e na estimativa dos efeitos sobre as propriedades, todos devem ser considerados.

Por exemplo, se foi retirado 1% de Na_2O e em seu lugar foi acrescentado 1% de SiO_2 , o efeito sobre o aumento da viscosidade é dobrado pois, ambas modificações vão no mesmo sentido de aumento de viscosidade.



Funções relativas dos óxidos no vidro
 Figura 8