

## ENSINO E PESQUISA EM MATERIAIS VÍTREOS NO BRASIL

Edgar Dutra Zanotto

DEMa - UFSCar

13560 - São Carlos - SP

## ABSTRACT

Uma classificação da Ciência e Engenharia dos Materiais (CEM) é apresentada e relacionada com outros ramos da Engenharia, com a Física e a Química. Os materiais vítreos são definidos e sua importância no contexto de CEM é enfatizada. Analisa-se a indústria vidreira implantada no país, mostrando-se sua diversidade. Estatísticas sobre a formação de pessoal, as pesquisas e a produção científica nacionais na área de materiais vítreos são apresentadas e comparadas com as do exterior. Conclui-se que devido à extrema importância científica e tecnológica dos vidros, o estudo desses materiais deve ser incorporado aos currículos dos cursos de Graduação e Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Física e Química.

## 1. INTRODUÇÃO

### Ciência versus Engenharia de Materiais

Antes de apresentar o assunto em pauta, vidros, é conveniente introduzir uma classificação, senão plenamente satisfatória, pelo menos didática, sobre Ciência e Engenharia de Materiais. As figuras 1 e 2 são auto-explicativas e resumem minha visão neste assunto. A figura 1 enfoca uma seqüência típica de fabricação de materiais, desde a escolha da composição química apropriada até o "design" de peças das mais variadas dimensões e geometrias. Nesse caso, a abrangência da Engenharia de Materiais (EM), Ciência dos Materiais (CM) e de outras engenharias é superposta ao diagrama de produção de materiais. A engenharia metalúrgica abrange um espectro semelhante ao da Engenharia de Materiais, entretanto, trata somente dos materiais metálicos. A engenharia química enfatiza o projeto e a construção de reatores e usinas de processamento de gases e líquidos.

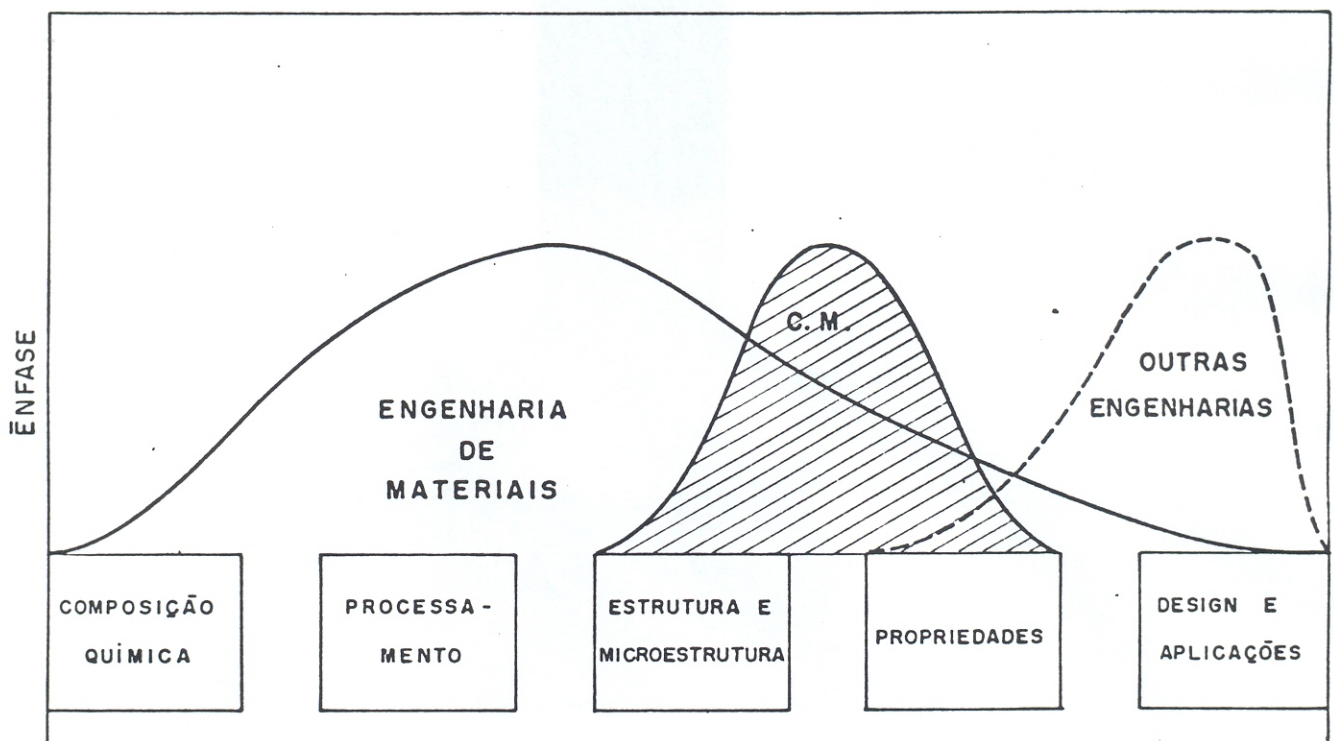


Figura 1. Relações entre a seqüência de fabricação, a ciência dos materiais e as engenharias.

A figura 2 ilustra as abrangências e as relações entre as ciências básicas e as engenharias em função da escala dimensional.

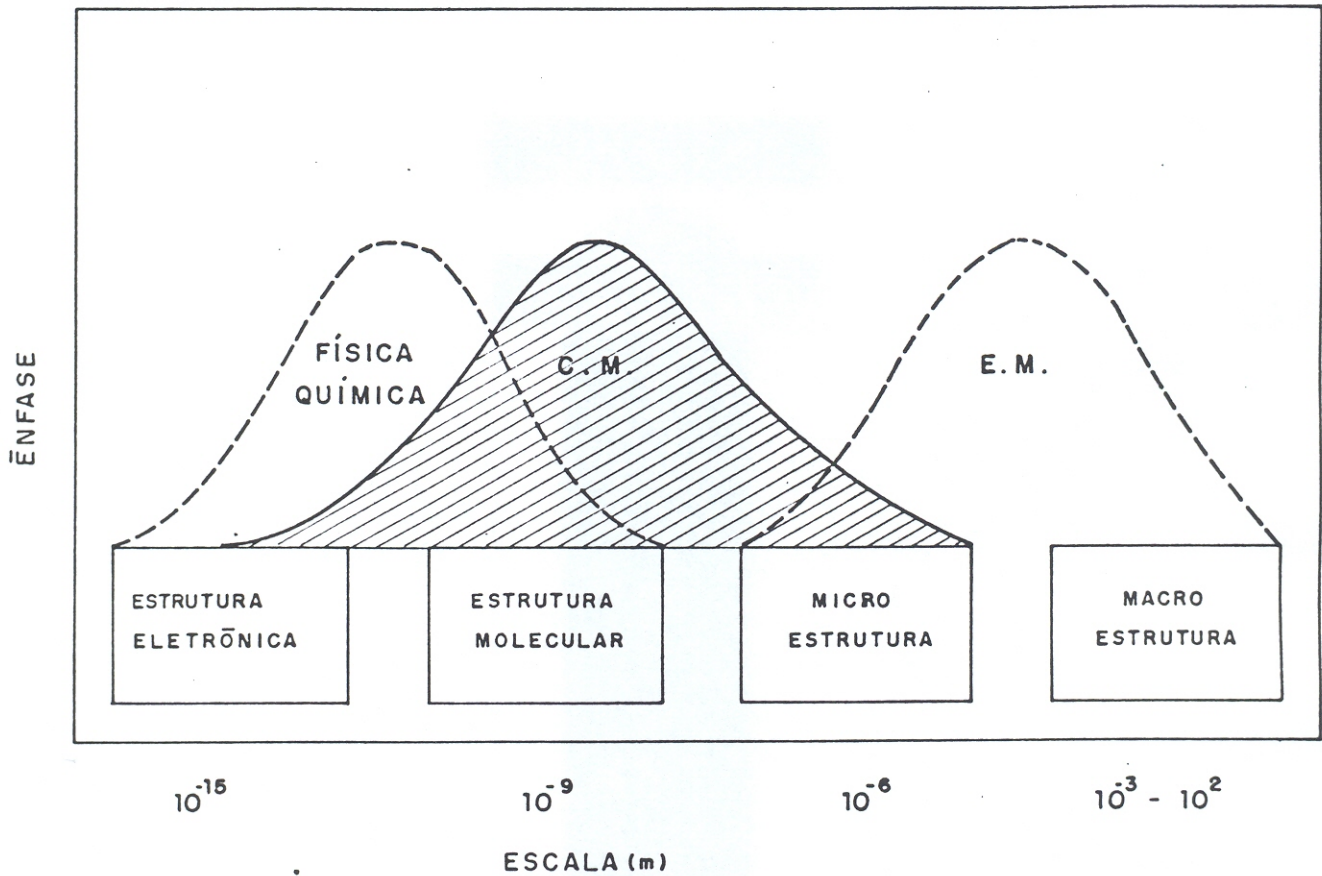


Figura 2. Abrangência das ciências básicas e das engenharias em função da escala.

Portanto, sem desprezar a considerável justaposição entre as diversas áreas, pode-se dizer que a Ciência dos Materiais enfatiza as relações entre estrutura e propriedades estabelecendo um elo entre as ciências fundamentais e as aplicações, enquanto que a Engenharia de Materiais privilegia o estudo das relações entre o processamento e as propriedades. As demais engenharias se utilizam das propriedades, sem necessariamente entender sua natureza física ou química e como modificá-las, para o projeto de peças, dispositivos, equipamentos ou estruturas. De forma geral, pode-se dizer que o cientista de materiais contribui para o avanço das fronteiras científicas enquanto que o engenheiro apresenta soluções

para os problemas de produção de materiais com características inusuais e otimizadas.

## 2. O ESTADO VÍTREO

Vidros são sólidos não cristalinos (sem ordem estrutural a distâncias maiores que  $10 - 15 \text{ \AA}$ ) que apresentam o fenômeno de transição vítrea. Essa transição é uma passagem gradual de líquido para sólido com inflexão nas propriedades termodinâmicas derivadas. O estado vítreo, portanto, é caracterizado por comportamento físico de sólido com estrutura de líquido congelado, sem liberdade molecular translacional. Convencionalmente, tratam-se por vidros os óxidos não cristalinos e suas soluções, entretanto, há inúmeros exemplos de polímeros amorfos, elementos químicos (C, S, Se) e até metais vítreos. Portanto, materiais com quaisquer tipos de ligações químicas: iônicas, covalentes, metálicas, van der Waals ou mistas podem formar vidros [1].

Os materiais vítreos são importantes tanto do ponto de vista científico (estado termodinamicamente metaestável, modelos para estudos de cinética de cristalização, propriedades inusuais, entendimento sobre líquidos, fenômenos de relaxação estrutural, etc) quanto do tecnológico. Eles são familiares em nosso cotidiano: sabonetes, balas doces, fibras sintéticas, acrílico, plástico de canetas (poliestireno), esmaltes de fogões e painéis, vidrados de azulejos, garrafas, bulbos de lâmpadas, a fase ligante da maioria das cerâmicas e até em aplicações futurísticas como biovidros, vidros semicondutores, vidros de LASER e fibras óticas.

O entendimento da influência da composição química e tratamentos térmicos e dos processos de fabricação nas propriedades dos vidros são, portanto, objeto de interesse da CEM.

### 3. A INDÚSTRIA VIDREIRA NACIONAL

A Tabela I |2| resume dados relevantes sobre a indústria vidreira automática instalada no Brasil. Além dessas, há um grande número de indústrias manuais ou semi-automáticas (algumas de grande porte com até 1.000 funcionários) produtoras dos chamados "cristais" domésticos, vasilhames e peças decorativas.

De forma resumida, pode-se estimar a produção de 4.000 ton/dia de recipientes, 2.000 ton/dia de vidro plano e 500 ton/dia de vidro doméstico no país. Outros tipos de vidros tais como de iluminação, fibras textéis e isolantes, cinescópios, garrafas térmicas, isoladores, oftálmico, etc., são produzidos em menores quantidades (10-100 ton/dia). As indústrias automáticas empregam aproximadamente 14.000 pessoas e faturam vários bilhões de dólares anualmente. A origem dessas empresas é marcadamente internacional com apenas 20% de participação nacional. A maioria se dedica a produtos tradicionais, as únicas exceções sendo vitro-cerâmicas (Corning) e fibras óticas (Pirelli e ABC-Xtal).

Um fator tecnológico, extremamente importante, relacionado ao vidro é a sua fácil reciclagem, isto é, artigos de vidro tais como os recipientes podem ser lavados e reutilizados pois não se oxidam nem sofrem qualquer outro tipo de deterioração. Além disso, a maioria dos vidros podem ser refundidos; sendo que de 20 a 100% da carga de um forno de vidro é constituída de sucata. Essa característica tende a ser crescentemente valorizada devido a potencial economia energética e despoluição associados |3|.

Tabela I. Área de atuação e capacidade da indústria automática de vidro no Brasil (1989) |2|.

Área de Atuação/ empresa	Estado	Capacidade t/dia	Número de Empregados	País de Origem
<b>Embalagens</b>				
Anchieta	SP	90	200	Brasil
Cisper	SP	900	500	EUA
CIV	PE,BA	520	1.200	Brasil
Inovisa	PE	230	425	Brasil
Nadir Figueiredo	SP	110	2.200(3)	Brasil
Rimisa	RJ	500	n.d.	EUA
Santa Marina	SP	450	5.800(1)	França
Subrasa	RS	440	(1)	França
Vidro Porto	SP	150	290	Brasil
Wheaton	SP	360	1.500(2)	EUA
<b>Plano</b>				
Cebrace I	SP	600	500	França
Cebrace II	SP	600	500	Reino Unido
Santa Marina	SP	400	(1)	França
UBV	SP	180	500	Brasil
<b>Doméstico</b>				
Cisper	RJ	40	n.d.	EUA
Nadir Figueiredo	SP,RJ	300	(3)	Brasil
Santa Marina	SP	110	(1)	França
Wheaton	SP	40	(2)	EUA
<b>Fibra Têxtil</b>				
Fiberglas	SP	75	500	EUA
Vetrotex(*)	SP	n.d.	n.d.	França
<b>Fibra Isolante</b>				
Eucatex	SP	5	n.d.	Brasil
Fiberglas	SP	n.d.	n.d.	EUA
Santa Marina	SP	60	(1)	França
<b>Iluminação</b>				
GE	RJ, PE	80	1.000	EUA
GTE-Sylvania	SP	40	200	EUA
Philips	SP	30	500	Holanda
<b>Cinescópios</b>				
Philips	SP	100	700	Holanda
<b>Isoladores</b>				
Eletrovidro	RJ	70	500	França
<b>Garrafas Térmicas</b>				
M. Agostini	RJ	30	800	Brasil
Sobral-Invicta	MG	30	1.350	Brasil
<b>Ampolas</b>				
Vitrofarma	RJ	40	1.000	Alemanha
<b>Oftálmico</b>				
Corning	SP	10	(4)	EUA
<b>Laboratório</b>				
Corning	SP	12	(4)	EUA

n.d. - dados não disponíveis

(\*) - unidade em construção

(1), (2), (3), (4) - número de empregados para todas as unidades

#### 4. ENSINO NO BRASIL

O ensino e a formação de pessoal nos países desenvolvidos são notadamente mais intensos que no Brasil e não serão analisados neste artigo. A título de exemplo, enfatizo que mesmo em países em desenvolvimento como China, Índia, Alemanha Oriental (ex) e Tchecoslováquia o número de pesquisadores e instituições especializadas é muitas vezes superior ao do Brasil. Por exemplo, o número de membros brasileiros na Society of Glass Technology (INGLATERRA), que edita dois dos principais periódicos na área; Glass Technology e Physics & Chemistry of Glasses, é de apenas dois (Tabela II).

Tabela II. Membros da Society of Glass Technology (1990).

PAÍS	MEMBROS
U.K.	603
U.S.A.	139
Índia	36
Japão	21
Alemanha	17
França	15
Grécia	11
Itália	10
México	10
<u>Brasil</u>	<u>2</u>
Argentina	1

Uma estatística recente sobre o número de graduados e pós-graduados em Materiais Cerâmicos (Cerâmicas e Vidros) foi relatada em [4]. Estima-se que o número de teses de mestrado e doutorado, específicas sobre vidros, já defendidas no Brasil seja de aproximadamente vinte.

A Tabela III, ainda que incompleta, fornece uma boa amostragem das instituições e disciplinas regularmente oferecidas a nível de graduação e pós-graduação em vidros.

Tabela III. Disciplinas sobre vidros oferecidas por instituições nacionais.

Instituição	Disciplina	
DEMa/UFSCar	Físico-química de vidros Tecnologia de vidros Estado vítreo	Graduação Graduação Pós-Graduação
IFQSC/USP	Propriedades dos materiais vítreos	Pós-Graduação
IF/UNICAMP	Ciência de vidros	Pós-Graduação
IPT/USP	Tecnologia do vidro	Especialização

Ensino formal a nível de graduação por meio de disciplinas específicas só é oferecido pela UFSCar. A nível de pós-graduação, além da UFSCar, a USP e a UNICAMP mantêm uma disciplina cada. Deve-se lembrar aos coordenadores dos cursos de engenharia metalúrgica para incluir o tema de solidificação ultra-rápida e vidros metálicos em seus currículos. A escola SENAI de São Bernardo do Campo-SP mantêm uma disciplina sobre vidros a nível técnico.

##### 5. PESQUISAS NO BRASIL E NO MUNDO

As pesquisas em vidros no Brasil são levadas a cabo em alguns departamentos de física e engenharia de materiais de universidades e institutos de pesquisa. A Tabela IV, atualizada a partir de [4], ainda que incompleta, resume dados sobre as instituições e pesquisadores atuantes em vidros no Brasil.



Tabela IV. Pesquisas em Vidros no Brasil.

Instituição	Pesquisadores	Atuação
DEMa/UFSCar	3 PhD, 2 MS, 2 BS	Cinética de cristalização, propriedades termo-mecânicas, síntese de vidros óticos.
IFQSC/USP	1 PhD, 3 MS	Síntese de vidros via sol-gel, vidros fluoretos para fibras óticas.
IF/UNICAMP	2 PhD, 2 MS	Fibras e vidros óticos, vidros metálicos.
CPQD/TELEBRÁS	2 PhD, 2 MS	Fibras óticas.
IF/UFPE	2 PhD, 2 MS, 1 BS	Vidros para opto-eletrônica.
IPT	1 PhD, 1 Tec.	Fusão de vidros, corrosão.
IQ/UFRJ	1 PhD, 1 Eng.	Vidros e VC com rejeitos industriais.
DM/UFMG	1 PhD	Tecnologia sol-gel.
DEM/UFPB	2 PhD, 2 BS	Vidros metálicos.
IF/USP	2 PhD, 2 BS	Vidros metálicos, centros de cor em vidros
Instituto Politécnico de Nova Friburgo	1 PhD	Vidros semicondutores.

A Tabela IV mostra claramente que há um número razoável de instituições com atividade em vidros, com um ou dois pesquisadores doutores por instituição, com raras exceções caracterizando "grupos de pesquisa" estabelecidos. Os departamentos de física se destacam pelo estudo de propriedades óticas e magnéticas enquanto que os de engenharia enfatizam a síntese de vidros a partir de diversas técnicas, o estudo de cristalização e de propriedades mais macroscópicas tais como comportamento mecânico, reológico e químico (corrosão).

A produção científica pode ser estimada pelo número de publicações em vidros no Brasil e no exterior, apresentados graficamente na figura 3. Os artigos do exterior foram contabilizados pelos "abstracts" publicados bimensalmente pela Society of Glass Technology e, portanto, são uma amostragem significativa, porém subestimada. As publicações no Brasil foram computadas pela conta

gem de artigos publicados no periódico Cerâmica (ABC), nos Anais do CBEICMAT e do ENOMAT. Nota-se claramente um aumento das publicações nacionais na década de 80.

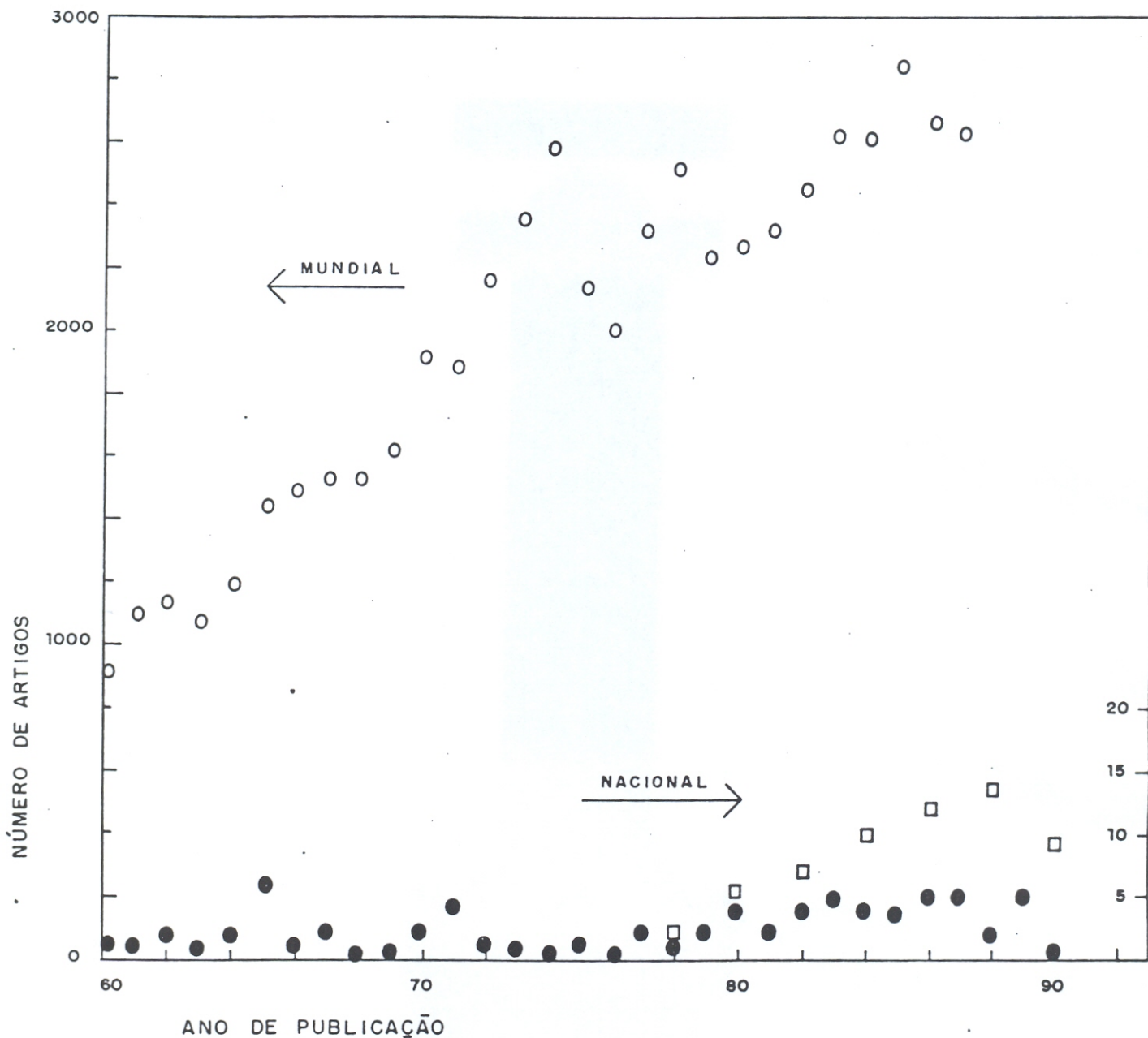


FIG.3 - ARTIGOS SOBRE MATERIAIS VÍTREOS PUBLICADOS NO EXTERIOR (O) E NO BRASIL; (●) REVISTA ABC; (□) ABC+CBEICMAT.

O número total, entretanto, corresponde a apenas 0,3% da produção mundial. As publicações de pesquisadores do Brasil na literatura internacional entre 1988 e 1990 chegaram a mais de 60 artigos, com uma média de 20/ano. O total mundial é de aproximadamente 3.000 artigos/ano.

## 6. CONCLUSÕES

A indústria vidreira nacional é de grande porte e diversificada, produzindo desde uma variedade de artigos domésticos tais como: vasilhames, bulbos de lâmpadas, fibras textéis e de reforço, vidro plano e cinescópios até vidros de alta tecnologia como fibras óticas. Se cada uma das 40 fábricas de porte médio ou grande absorvesse pelo menos um engenheiro especialista em vidros a cada dois anos, teríamos no mínimo, 20 vagas por ano. Se incluirmos as indústrias produtoras ou consumidoras de esmaltes e vidrados esse número se ampliaria.

Há no país pelo menos 11 instituições de ensino e pesquisa com atividades em vidros. Cálculos similares ao efetuado para as empresas levaria à abertura de mais 5 a 6 vagas/ano. É importante enfatizar, entretanto, que apenas umas poucas instituições contam com grupos estabelecidos com infraestruturas razoáveis e pessoal experiente. Grande parte ainda está em período de consolidação. A produção científica dessas instituições vem crescendo a partir de 1985 mais ainda é pequena. Somando-se os artigos de autores brasileiros publicados no país e no exterior, a produção nacional é de cerca de 1% da produção mundial.

Ensino formal a nível de graduação só é efetivado no DEMA-UFSCar. A nível de pós-graduação, o IFQSC-USP e o IF-UNICAMP oferecem disciplinas específicas. A nível de pesquisa, um total de seis instituições formam mestres e doutores. Aproximadamente vinte teses já foram defendidas sobre materiais amorfos.

Tendo em vista que os materiais vítreos englobam uma ampla gama de pro

duto comerciais incluindo polímeros e metais amorfos, além dos tradicionais vidros inorgânicos. Embora a criação de curso específico de engenharia de vidros não se justifique; uma maior ênfase ao estado vítreo nos cursos de engenharia, física e química seria altamente desejável e benéfico ao desenvolvimento do Brasil.

#### 7. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos bolsistas Nora D. Mora, E.B. Ferreira, L.G. Kuck pelo auxílio no levantamento dos dados referentes à figura 3 e ao Prof. J.A. Gregolin pela leitura crítica do artigo.

#### 8. REFERÊNCIAS

- |1| ZANOTTO, E.D. - Notas de aula da disciplina Estado Vítreo, PPG-CEM, DEMA/UFSCar, (1983).
- |2| VIDRO: Panorama Setorial - Anuário Brasileiro de Cerâmica, (1990).
- |3| FARGE, Y. - Materials of Future: A Progressive Evolution, ASM News, vol. 22 (1991), 6.
- |4| ZANOTTO, E.D. - Ensino Superior em Cerâmicas e Vidros no Brasil, Cerâmica, 36 (1990), 30-A.
- |5| GREENHUT, V.A. et al. - Brazil-U.S. Cooperation in Advanced Ceramics and Glass: NSF Team visits Brazil-Ceram. 69, (1990), 1452.