

BR 9024729

ISSN 0101-3084



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

CERÂMICAS AVANÇADAS - SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS

Clauer Trench de FREITAS

PUB

PUBLICAÇÃO IPEN 301

ABRIL/1990

SÃO PAULO

CERÂMICAS AVANÇADAS – SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS

Cleuer Trench de FREITAS

DEPARTAMENTO DE METALURGIA NUCLEAR

**CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO – BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

823.00

CERAMICS

IPEN - Doc - 3596

Aprovado para publicação em 30/03/90.

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

CERÂMICAS AVANÇADAS - SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS*

Clauer Trench de FREITAS

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRASIL**

RESUMO

Desenvolvimentos na área de cerâmicas avançadas são descritos tanto no contexto brasileiro como internacional, com ênfase para as suas perspectivas econômicas e aplicações industriais. Os trabalhos executados por várias instituições nacionais são apreciados com destaque para aquelas que tiverem posições pioneiras para a implantação de tecnologias de ponta nesse setor da Cerâmica. O recente progresso do campo dessas cerâmicas especiais, posto mais em evidência pela divulgação do grande potencial dos materiais cerâmicos supercondutores para aplicações de considerável relevância, é um dos traços mais marcantes dessa área tecnológica.

(*) Trabalho apresentado ao "XXXII Congresso da Associação Brasileira de Cerâmica" - Natal - Rio Grande do Norte, de 24 a 27 de abril de 1988.

ADVANCED CERAMICS - THE PRESENT AND PERSPECTIVES*

Clauer Trench de FREITAS

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRASIL**

ABSTRACT

Development in the Brazilian and international areas of advanced ceramics is described, emphasizing its economic perspectives and industrial applications. Results obtained by national institutions are reviewed, mainly in the context of those that pioneered the required high technology in this ceramic field. The rapid growth of the interest for those special materials, made more evident by ample information related to the superconducting ceramics great potential for important practical applications, is one of the most significant characteristics of the area.

(*) Paper presented to the "XXXII Congresso da Sociedade Brasileira de Cerâmica", held in Natal, Rio Grande do Norte, April 24-27, 1988.

O campo de Cerâmicas Avançadas no Brasil continuou em processo de rápido desenvolvimento, graças a investimentos bastante significativos, tanto governamentais como privados. tomando como referência a situação nacional em 1985⁽¹⁾. Em aproximadamente duas décadas, as atividades no setor, praticamente reduzidas de início a complexa tecnologia de produção de combustíveis nucleares cerâmicos^(1,2), expandiu-se de forma a abranger também outras cerâmicas com funções óticas, térmicas, elétricas, mecânicas, magnéticas, químicas e biológicas, conforme apresentadas em reunião patrocinada pela Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), em 1986⁽³⁾.

Graças sobretudo a ações extremamente afirmativas de associações profissionais como a ABC, em outubro de 1987 recursos consideráveis já tinham sido reservados a programas de desenvolvimento de cerâmicas de alta tecnologia, alguns dos quais discriminados na tabela 1^(4,5).

Cumprе realçar a influência que tiveram para esse amplo apoio governamental, as seguintes reuniões técnicas e publicações:

- 1 - PRIMEIRO ENCONTRO NACIONAL DE CERÂMICA AVANÇADA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - 23 e 24 de outubro de 1986, São Paulo, SP - Os trabalhos apresentados e respectivas discussões foram reunidos em volume publicado pela ABC em 1987.
- 2 - SEMINÁRIO SOBRE SUPERCONDUTIVIDADE APLICADA NO MUNDO - 21 de abril de 1987, Instituto de Física da USP, São Paulo - SP - A literatura e outros dados pertinentes foram reunidos em volume distribuído pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração.
- 3 - ENCONTRO PARANAENSE SOBRE NOVOS MATERIAIS INDUSTRIAIS - 9-10 de dezembro de 1986, Curitiba, Paraná - Os traba-

TABELA 1 - Convênios na área de cerâmicas avançadas (MCT-FINEP).

Instituição	Objetivo	Valor Cz\$		
		FNDCT	FUNAT	TOTAL
Cetec	Obtenção de pós ce râmicos pelo pro - cesso hidrotermal para aplicações e - letrônicas e ele - tro-ólicas.	17.098.469	11.340.183	28.438.652
USP-Insti- tuto de Fís.Quim. S.Carlos	Preparação de mate riais vítreos e ce râmicos de alta tecnologia pelo mé todo sol-gel.	3.079.777 (7.667,05 OTM)	9.539.265	12.619.042
UNESP-Ins- tituto de Química de Araraquara	Materiais cerâmi - cos com funções e letrônicas.	4.535.482	16.454.352	20.989.834
SUB-TOTAL		24.713.728	37.333.800	62.047.528
IPEN(*)	Materiais cerâmi - cos avançados.			40.304.000
TOTAL				102.351.528

(*) verba aprovada em janeiro de 1988

FONTES: ref. (4) e (5).

lhos apresentados com respectivas discussões foram reunidos em volume praticado pela MINEROPAR, em convênio com CPM/CONCITEC.

- 4 - PRIMEIRO ENCONTRO NACIONAL SOBRE CERÂMICAS SUPERCONDUTORAS - 24 de julho de 1987, São Paulo - SP - Reunião organizada pela ABC, com o apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia. As palestras apresentadas foram as seguintes: a) "Matérias primas - terras raras", pelo Dr. Gilberto de Campos; b) "Obtenção e caracterização de ítria e terras raras puras", pelo Dr. Alcídio Abrão; c) "Matérias primas - caracterização", pelo Prof. Pêrsio de Souza Santos; d) "Estado da Arte", pelo Dr. Armando Paduan Filho; e) "As patentes e pesquisas", pela Dra. Maria Margarida Rodrigues Mittelbach; f) "Tecnologia de Aplicações", pelo Dr. Daltro Garcia Pinatti.

- 5 - SEGUNDO ENCONTRO NACIONAL DE CERÂMICA AVANÇADA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - 4 de dezembro de 1987 - São Paulo, SP - As seguintes palestras foram apresentadas: a) "Resumo das atividades da Coordenadoria de Novos Materiais do MCT", por M.T.C. Duarte; b) "Posicionamento das empresas frente aos insumos necessários para a indústria de componentes eletrônicos", por Sérgio Eckhardt e Luis Mucci. Adicionalmente, desenvolveu-se uma mesa redonda sobre o financiamento ao desenvolvimento tecnológico na área de cerâmica avançada, coordenada pelo Dr. Geraldo Agosti. A palestra inicial coube ao Dr. R.C. Vilas Bôas, secretário de Novos Materiais do MCT.

- 6 - REUNIÃO SOBRE CERÂMICAS - 22 de julho de 1987 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP - Organizada pela Secretaria de Ciência e Tecnologia e pela Academia de Ciências de São Paulo, com coordenação do Professor Pêrsio de Souza Santos. Foram apresentadas

palestras sobre cerâmicas avançadas no concernente a matérias primas (Dr. J.O.A.Paschoal), aplicações eletrônicas (Dr. J.A. Varela) e situação geral (Dr. E.D. Zanotto).

- 7 - 31º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA - 24 a 27 de maio de 1987 - Brasília - Dos 106 trabalhos inscritos, 43 corresponderam a sete sessões técnicas de cerâmicas avançadas. Os anais do Congresso estão disponíveis ao público. O Professor Malcon G. McLaren apresentou a conferência "A oportunidade em cerâmica avançada e o mercado potencial".

O Instituto Nacional de Tecnologia, órgão do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), destacou-se em 1987, entre outros, pela sua excepcional contribuição no estabelecimento de uma política nacional para novos materiais, em particular os cerâmicos. Por expressa diretriz do então Ministro Renato Archer do MCT, foi criado e instalado no INT o Núcleo de Estudos e Planejamento em Novos Materiais (NEMAT), formado por pesquisadores que objetivam identificar as prioridades nacionais para o desenvolvimento científico e tecnológico do setor⁽⁶⁾.

De acordo com J. Duailibi Filho⁽⁷⁾, do INT, existiam no Brasil, no primeiro trimestre de 1987, cerca de vinte fabricantes de produtos cerâmicos especiais, com destaque para meia dúzia de empresas multinacionais, dominantes da maior fatia do mercado. Destaca entre os principais produtos cerâmicos de alta-tecnologia absorvidos pelo mercado brasileiro os seguintes:

- 1 - isolantes para velas de ignição, produzidos no Brasil pela NGK e a Bosh, com um valor de mercado de US\$ 25 milhões;
- 2 - varistores, em parte fabricados pela Thorton e em parte importados;

- 3 - substratos para microcircuitos, em parte produzidos pela NGK e em parte importados;
- 4 - tubos;
- 5 - mobílias cerâmicas;
- 6 - peças para vedação mecânica;
- 7 - bolas para moagem;
- 8 - guias-fio;
- 9 - outros produtos (na sua maioria importados), como refratários especiais, ferritas, sensores de oxigênio, tubos translúcidos para lâmpadas de vapor de sódio, suportes para catalisadores, ferramentas de corte, etc.

A matéria prima principal para os produtos acima citados é a alumina, produzida no país principalmente pela Coors, NGK, CETEBRA, KERAMOS e Procer, com um valor de mercado de US\$ 20 milhões, destacando-se ainda as seguintes empresas, universidades e centros de tecnologia envolvidos com a produção e desenvolvimento de insumos que poderiam ser utilizados na fabricação de cerâmicas especiais:

- 1) ALUMINA: - Metal Leve - planta piloto; P&D: Metal Leve, UFSCar, IQ/UNESP;
- 2) ZIRCÔNIA: - IPEN - planta piloto de 10 t/mês; P&D: IPEN, UFSCar, IQ/UNESP;
- 3) TITÂNIA: -TIBRAS (produção industrial para uso em tintas e esmaltes), NUCLEMON;
- 4) NIÓBIA: - CBMM (produtora de nióbia de grau ótico, exportando para o Japão);
- 5) SÍLICA: - CVRD (implantando unidade para a produção de quartzo puro); P&D: UNICAMP, CBPF e outros;
- 6) ÓXIDO DE ZINCO: - UNIPOVAL;
- 7) FERRITA: - 3M do Brasil;
- 8) ÓXIDOS DE TERRAS RARAS, ZIRCONITA, FLUORETO DE LÍCIO, HÍDRÓXIDOS DE LÍCIO, CÉRIO E LANTÂNIO: - NUCLEMON;
- 9) DEFLOCULANTES, LIGANTES QUÍMICOS, REAGENTES E SÍLICA GEL: MONSANTO, ICI DO BRASIL e B. HERZOG⁽⁷⁾.

Segundo M.Teresa G. Duarte do INT, já foram conside
ráveis as realizações da comunidade científica e do setor
industrial brasileiros na área de cerâmicas avançadas, com
destaque para o apoio ao desenvolvimento de produtos e a
transferência de tecnologia para o setor produtivo, confor
me apresentado na tabela 2^(8,9).

TABELA 2 - Tecnologia repassada às indústrias.

Desenvolvimento	Produto	Empresa
DEMA-UFSCar	Alumina especial em pó	Metal-Leve
	Cabeça de pistão	Metal-Leve
	Placas para blindagem	Keramus
	Protetor cementante	Keramus
	Guias-lápis	Keramus
	Pó para polimento	Keramus
	Sensores de zircônia	Engecer
IPT	Produtos de alumina	IPT
	Guias-fio	Certec, Ciceram
IPEN	Combustíveis de UO ₂	IPEN
	Zircônia em pó	IPEN
CTA	Carbano vítreo	CTA
UNICAMP	Fibras óticas	ABC-XTAL
CETEBRA	Purificação de alumi <u>n</u> a	Cetebra
	Bolas de alumina	Cetebra
KERAMUS	Cordierita	Keramus

FONTE: (8) e (9)

De acordo com⁽¹⁰⁾, prevê-se que o mercado mundial
para cerâmicas avançadas crescerá de US\$ 3.75 bilhões em
1986 para US\$ 7.5 bilhões em 1996; os Estados Unidos continua
riam a ser o maior mercado para cerâmicas de alto desempen

penho, com grandes e crescentes mercados no Japão e na Europa Ocidental. As tabelas 3 e 4, traduzidas da mencionada referência, apresentam dados a respeito.

TABELA 3 - Consumo mundial de cerâmicas de alto desempenho.

Região	Milhões de US\$*		Taxas compostas de crescimento anual
	1986	1996**	
Estados Unidos	1.900	3.800	7
Japão	1.900	2.400	7
Europa Ocidental	650	1.400	8
TOTAL	3.750	7.600	7

* Inclue consumo retido avaliado a preços de varejo.
** Em dólares constantes referidos a 1986.

FONTE: (10)

TABELA 4 - Consumo dos Estados Unidos de cerâmica de alto desempenho.

Finalidade	Milhões de US\$*		Taxas compostas de crescimento anual (%)
	1986	1996**	
Eletrônica	1.600	3.200	8 ***
Industrial	300	600	7
TOTAL	1.900		7

* Inclue consumo retido avaliado a preços de varejo.
** Em dólares constantes referidos a 1986
*** Valor arredondado

FONTE: (10)

A descoberta de que certos materiais cerâmicos constituídos por óxidos mixtos Ln-Ba-Cu-O (Ln sendo ítrio ou um elemento da família dos lantanídeos) podem apresentar supercondutividade elétrica em temperaturas próximas a da liquefação do nitrogênio, teve grande impacto para despertar atenção mundial sobre a relevância das novas cerâmicas em um contexto global. Os descobridores do fenômeno, Karl Alex Mueller e Georg Bednorz, dos laboratórios de pesquisa da IBM em Zurique, Suíça, receberam em outubro de 1987 o prêmio Nobel de Física, por seu trabalho descrito em publicação de setembro de 1986⁽¹¹⁾, considerado⁽¹²⁾ como um dos mais importantes avanços científicos do século XX e um marco no desenvolvimento da tecnologia cerâmica⁽¹³⁾. Mueller iniciou seus trabalhos sobre óxidos supercondutores em 1983, nos citados laboratórios da IBM; em dezembro de 1985, então juntamente com seu colega J.G. Bednorz, encontrou um composto de bário, lantânio, cobre e oxigênio com sinais de supercondutividade a 35 K.

Na universidade da Califórnia em Berkley, em Março de 1987, constatou-se queda "dramática" (ref.14) na resistividade elétrica de cerâmicas a 234 K, sem atingir todavia valor nulo; sinais de supercondutividade em temperaturas altas foram constatados por L. Wenger e J.T. Chen em amostras cerâmicas na universidade estadual Wayne (EUA), quando sob a influência de microondas⁽¹⁵⁾.

Em abril de 1987 a agência de notícias Tass divulgou que pesquisadores russos anunciaram a obtenção de supercondutividade em cerâmicas a 23^oC negativos; no início daquele ano valores dessa ordem tinham sido alcançados também nos Estados Unidos^(8,16).

Até maio de 1987, a imprensa noticiava⁽¹⁷⁾ a obtenção de supercondutividade em cerâmicas à temperaturas superiores a 150^oC nos EUA, Europa e União Soviética. No congresso Anual da ABC realizado nesse mês em Brasília, o Prof. americano M.G. MacLaren informou em sua conferência sobre

supercondutores, que um número extremamente considerável de pedidos de patente nessa área estava ocorrendo nos Estados Unidos. Possivelmente será através de literatura de patentes que esses avanços mais recentes poderão ser confirmados.

Até meados de agosto de 1987 não havia publicação científica registrando supercondutividade a 23°C , que teria sido obtido por pesquisadores russos⁽¹⁸⁾.

Em setembro de 1987 a imprensa noticiava que as baixas densidades de corrente crítica, uma das grandes dificuldades para a aplicação industrial das cerâmicas supercondutoras, estava em via de superação; já em maio daquele ano a IBM norte-americana havia conseguido produzir um filme supercondutor com densidade de corrente crítica de 100.000 A/cm^2 , tendo a NTT japonesa anunciado em setembro ter alcançado 10^6 A/cm^2 .

Já no primeiro semestre de 1987, sete instituições de pesquisa nacionais estavam envolvidas em trabalhos com material cerâmico supercondutor⁽¹⁹⁾: 1) Departamento de Física da Universidade Federal de Pernambuco, 2) Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 3) Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 4) Universidade de São Paulo, campus de São Carlos, 5) Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 6) Unicampo (Campinas, SP), 7) Universidade de São Paulo, campus de São Paulo - IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares). Até julho de 1987, esses grupos nacionais trabalhavam com uma mistura de óxidos derivada de carbonato de ítrio, bário e óxido de cobre, descrita pela fórmula $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ($6 < x < 9$). Para $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$, é possível alcançar condições de supercondutividade a cerca de 163°C , ou 13°C acima da temperatura de vaporização do nitrogênio líquido.

O mercado potencial para aplicação de cerâmicas supercondutoras, devido ao carácter revolucionário desses materiais, não pode ser extrapolado de dados disponíveis. Todavia é possível antever o extraordinário impacto desses

materiais sobre a economia mundial. Nesse contexto, citam-se as seguintes prováveis aplicações⁽²⁰⁾: 1) magnetos cerâmicos supercondutores "contribuiriam para fazer a fusão nuclear possível e prática", no entender de H. Furth, diretor do laboratório de Física de Plasma da Universidade de Princeton (EUA); 2) em informática e instrumentação eletrônica, as cerâmicas supercondutoras seriam usadas como interruptores elétricos ultra-rápidos, denominados junções Josephson, aumentando consideravelmente a eficiência de computadores; 3) em geradores de força elétrica, as cerâmicas supercondutoras permitiriam mais que dobrar a potência de saída por unidade, cujo limite prático é hoje da ordem de 300 MW; 4) em medicina, magnetos cerâmicos supercondutores contribuiriam substancialmente para baratear os aparelhos de ressonância magnética, de crescente importância em diagnósticos de desordens como tumores cerebrais; 4) em armazenamento de grandes quantidades de energia, em espiras supercondutoras; 5) em baterias supercondutoras, alimentando motores elétricos de elevada potência, para automóveis. Todas essas aplicações, todavia, dependem da transferência de escala de laboratório para a de aplicação industrial; uma das dificuldades é a de conformação do material cerâmico em formas utilizáveis nos dispositivos acima. Nesse sentido, cabos cerâmicos flexíveis já foram obtidos, como os mostrados na fig. 1.

Pelo menos 1000 companhias e grandes organizações de pesquisa estão empregando substanciais esforços para alcançar resultados tão cedo quanto possível, tendo sido identificados mercados imediatos para materiais supercondutores; a tabela 5 apresenta os dados correspondentes⁽²¹⁾.

Recentemente⁽²²⁾ A. Erbil e outros pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Geórgia nos Estados Unidos, relataram a ocorrência de transição supercondutora em cerâmica, terminando em temperatura ambiente; de acordo com o relatório de pesquisa, somente 0,03% das amostras eram cons-



FIGURA 1 - Fios feitos de cerâmica supercondutora, produzidos no Laboratório Nacional de Argonne⁽³⁴⁾.

TABELA 5 - Mercado mundial para supercondutores, 1987-2002 (em milhares de dólares).

Aplicação	1987	1992	1997	2002
Circuitos Integrados	25	75	225	400
Instrumentos de laboratório e sensores	5	25	125	200
Diagnóstico médico	150	300	500	750
Física de alta energia	25	150	150	200
Energia elétrica	5	10	20	40
Transporte	0	1	5	10
Separação magnética	5	25	60	175
TOTAL	215	586	1085	1775

FONTE: (21)

tituidas pela fase supercondutora, concentrada nos contornos de grão do material e por essa razão, sua resistência elétrica não era nula na temperatura ambiente, no extremo da transição. A descoberta anunciada por Erbil levou outros pesquisadores nos Estados Unidos a investigar sistemas multifásicos contendo óxidos de cobre para obtenção de possíveis fases supercondutoras acima da temperatura ambiente. Entre estes destaca-se o sistema Bi-Sr-Ca-Cu-O em estudo por D. Kitazawa no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, particularmente interessante por prescindir da utilização de materiais dispendiosos, como o ítrio. Ainda de acordo com ⁽²²⁾, o Laboratório Nacional de Argonne (EUA) construiu o primeiro motor elétrico utilizando cerâmica supercondutora.

A figura 2 ⁽²³⁾ mostra uma cerâmica em estado supercondutor. A figura 3 ⁽²⁴⁾ apresenta uma possível aplicação desses materiais em circuitos sobre substratos cerâmicos.

Foge a finalidade desta apreciação enumerar e descrever a maior parte das instituições, empresas e personalidades envolvidas na área de cerâmicas avançadas, com seus respectivos programas, durante 1987. Estudos com tal grau de abrangência foram feitos pelo INT, no qual foram consultadas mais de sessenta instituições e companhias ⁽²⁵⁾, e pelo IPT ⁽²⁶⁾. Um dos trabalhos do INT, a respeito, deverá ser divulgado ainda durante o 1º semestre de 1988. Todavia, embora bastante limitada, a listagem seguinte apresenta parcialmente atividades de algumas das entidades com substanciais interesses no setor de cerâmicas de alta tecnologia.

1 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - Sobretudo através de sua Comissão de Cerâmica Avançada, tem tido participação bastante significativa no desenvolvimento brasileiro de novos materiais cerâmicos, de alta tecnologia, destacando-se de modo particular a figura do Dr. Geral



FIGURA 2 - Fenômeno de levitação em cerâmica supercondutora; uma amostra de composto Y-Ba-Cu-O repele o fluxo magnético criado por um ímã sobre o qual ela está colocada (23).

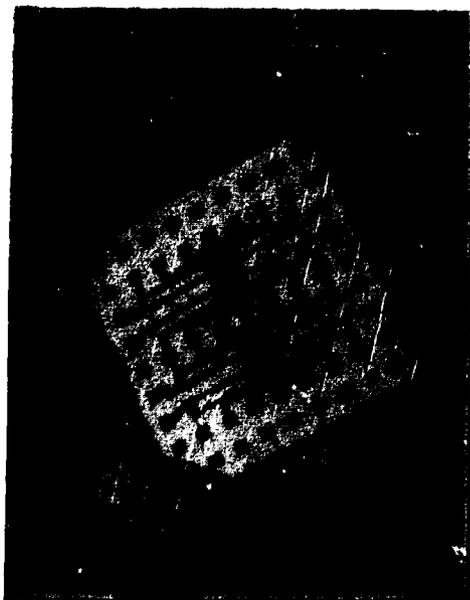


FIGURA 3 - Zonas lineares de material cerâmico supercondutor, depositado por vaporização em um substrato também cerâmico, indicando como o novo produto pode ser usado em circuitos eletrônicos integrados (24).

do Agosti (4). Aquela Comissão e esse ilustre ceramista, não pouparam esforços no sentido de propiciar recursos governamentais para o setor; nesse sentido, compre destacar a organização de reuniões técnicas sobre cerâmicas supercondutoras (julho de 1987) e cerâmicas avançadas em geral (dezembro de 1987), as quais tiveram ampla repercussão.

- 2 - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA - INT - RIO DE JANEIRO - Iniciou-se a execução de um Programa de Cerâmicas Especiais em setembro de 1987. O grupo de trabalho consta de 9 técnicos de nível superior. Em 1988 deverá ser iniciado um projeto em nível de laboratório, visando obter ferramenta de corte à base de nitrato de silício. O INT promoveu, durante o 2º semestre de 1987 uma série de cursos e seminários, dentro do "Programa de Deseenvolvimento de Insumos e Produtos Cerâmicos Especiais para fins Estruturais" (27).

- 3 - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - DEMa/UFSCar - Tem 12 especialistas de nível superior, trabalhando em cerâmica, com destaque para as seguintes áreas (7): 1) MATERIAIS CONJUGADOS:- a) efeito de condições de fabricação nas propriedades mecânicas de amostras de alumina/zircônia; b) desenvolvimento de conjugados cordierita/zircônia e mulita/zircônia; 2) CERÂMICAS PARA APLICAÇÕES ELETRÔNICAS E MAGNÉTICAS: - a) reações de estado sólido para produção de titanato de bário e ferritas; b) desenvolvimento de sensores de zircônia para controle de combustão; c) resistividade elétrica de alumina; d) cerâmicas supercondutoras; e) condutividade elétrica de titânia dopada com nióbio; f) desenvolvimento de substratos cerâmicos; g) desenvolvimento de varistores de óxido de zinco; 3) PREPARAÇÃO DE PÓS: - a) influência de condições de precipitação nas características físicas

de partículas de zircônia; b) produção de pós covalentes (nitretos e carbetos); c) produção de alumina; 4) VIDROS: - a) desenvolvimento de vidros para aplicações óticas; b) vidros reforçados quimicamente; c) desenvolvimento de um viscosímetro para vidros.

- 4 - INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - IPEN-SÃO PAULO - Trinta e três técnicos de nível superior e cerca de quarenta de nível médio estão envolvidos na área de cerâmica, com destaque para aplicações nucleares, especialmente no que concerne a combustíveis para reatores de ensaios e pesquisas. Produção em escala piloto vem sendo desenvolvida para pastilhas de alumina e de urânio-gadolínea. A preparação de zircônia em pó é feita na escala de 4 t/ano para aplicações nucleares (que exigem teor bastante baixo de háfnio) e de 10 t/ano para utilização em que material de boa sinterabilidade é adequado (fig.4). Também está em desenvolvimento a produção de pós de zircônia-íttria, carboneto de boro, ítria, gadolínea, samária e berília. Outras áreas de processamento cerâmico que tem sido trabalhadas são: cerâmicas supercondutoras, cerâmicas covalentes, sensores de oxigênio baseados em zircônia parcialmente estabilizada, microestrutura do sistema alumina-zircônia, alumina de alta pureza para isoladores e aplicações nucleares e processamento de cerâmicas por microondas. No concernente a cerâmicas supercondutoras, o IPEN foi uma das instituições pioneiras no Brasil na produção desses materiais, graças a trabalhos realizados em abril de 1987 sob a direção do Dr. Spero Penha Morato. Em julho de 1987, Bressiani et alii publicaram pela primeira vez na revista da Associação Brasileira de Cerâmica, resultados de suas experiências realizadas no IPEN⁽²⁸⁾. O Dr. Spero Penha Morato, coordenador do projeto de cerâmicas supercondutoras do IPEN, posiciona os programas da instituição nessa área visando o

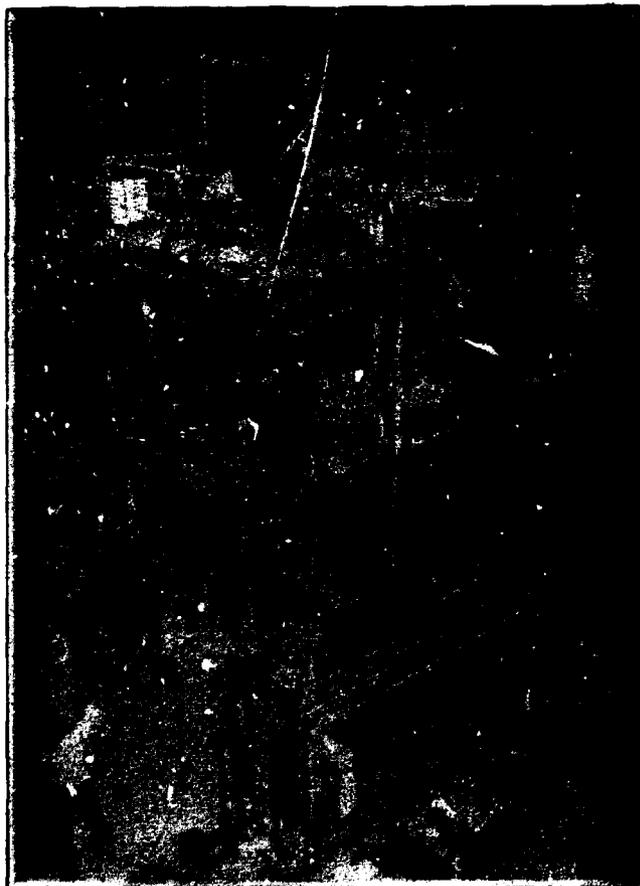


FIGURA 4 - Vista geral da usina piloto do IPEN destinada a produção de compostos de zircônio e de háfnio.

domínio completo do ciclo de preparação de supercondutores, partindo da matéria prima básica (por exemplo monazita) até a obtenção de dispositivos (magnetômetros, circuitos, filmes, entre outros) ⁽²⁹⁾.

- 5 - INSTITUTO DE FÍSICA E QUÍMICA DE SÃO CARLOS - IFQS/USP SÃO CARLOS, SÃO PAULO - Pesquisas sobre cerâmicas avançadas são desenvolvidas no Laboratório de Ciência dos Materiais Vítreatos, envolvendo onze investigadores. Os principais assuntos de pesquisa são: a) preparação de materiais vítreos; b) aplicação do processo sol-gel em tecnologia cerâmica ⁽³⁰⁾.
- 6 - LABORATÓRIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA - USP - INSTITUTO DE FÍSICA - Uma das linhas de pesquisa, de interesse em Cerâmica Avançada, é a de transformações de fase com a elevação progressiva de temperatura, não somente de argilominerais como também de hidróxidos de alumínio em diferentes aluminas. Essas pesquisas vêm sendo realizadas pela Prof. Helena de Souza Santos e colaboradores, levando a teses de doutoramento.
- 7 - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - ESCOLA POLITÉCNICA - USP - O Professor Pérsio de Souza Santos e colaboradores estão trabalhando em rotas de síntese de diferentes hidróxidos de alumínio, de ferro-III e de zircônio, visando a utilização em Cerâmica Avançada.
- 8 - ENGEGER - São Carlos, SP - Conforme declarações do Dr. Milton Ferreira de Souza, trata-se de empresa de capital de risco, da qual participam professores da USP (São Carlos) e do DEMA (Universidade Federal de São Carlos), entre outros. Destacou o Dr. M.F. de Souza, entre as atividades da empresa as seguintes: 1) planta piloto para a produção de zircônia, alumina e nitreto de silício; 2) planta de purificação de gálio; 3) P&D

para produção de pós, utilizando óxidos de cério (em colaboração com a NUCLEMON) e de alumínio; 4) produção de selos mecânicos de alumina e magnésia (única firma a fabricá-los no Brasil, de acordo com as informações disponíveis no momento); 5) produção de peças para guias-fio (usando inclusive cerâmicas com cromo); 6) fabricação de sensores para oxigênio, usando zircônia com ítria, cálcia ou magnésia; 7) fabricação de peças especiais como cadinhos de nióbia, elementos de moagem, cerâmicas não molháveis por vidro, cerâmicas porosas para a Petrobrás e outras de interesse para a Companhia Cosipa; 8) construção de uma planta piloto sol-gel, com auxílio do Professor M. Aegerter. Foi destacado o apoio da FINEP, BADESP e BANESPA TECNOLOGIA.

- 9 - SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARANÁ - De acordo com informações do Dr. Egon Torres Berg, a Secretaria está dando andamento a criação de Centro para estudo de novos materiais, onde será enfatizada especialmente a Cerâmica Avançada.
- 10 - LORENZETTI - PARANÁ - Ainda conforme o Dr. E.T. Berg, em nível empresarial essa companhia tem se destacado naquele estado por suas atividades em escala piloto na área de cerâmicas avançadas para fins eletro-eletrônicos, com realce para substratos cerâmicos especiais com gama bastante ampla de emprego.
- 11 - COBEL - São Paulo, SP - Nessa companhia destaca-se o desenvolvimento de processo para injeção e extrusão de cerâmicas avançadas, que deverá ter aplicação regular ainda no decorrer de 1988; seus produtos são fabricados inclusive a partir de nitreto e carbeto de silício. Na fabricação de fornos para a indústria cerâmica a COBEL tem contribuído para resolver problemas especiais de grande relevância técnica em âmbito nacional, como os

relacionados ao processamento de berília.

- 12 - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT- São Paulo , SP - De acordo com o Dr. Marco Antonio Pacheco Jordão, o IPT continua sua tradição de trabalhos na área de ce râmicas de alta tecnologia, destacando-se os seguintes:
- 1) processamento de aluminas - O IPT vem prestando ser viços a indústrias, instituições de ensaio e institu - tos de pesquisa, envolvendo fornecimento de massa e queima de peças; foram fornecidas peças para a UNESP , IPEN-CNEN, COPE e Universidade do Rio Grande do Sul ;
 - 2) estudos básicos e tecnológicos para determinar os mecanismos envolvidos em processamento de alumina, co meçadas em 1987, com preocupação especial para análi - ses químicas;
 - 3) identificação de oportunidades tecno - lógicas para novos materiais cerâmicos, a pedido da Se cretaria da Indústria e Comércio de São Paulo; em fun ção desse trabalho, feito e terminado no início de 1987, estabeleceu-se plano quadrienal para atividades do setor;
 - 4) programação de desenvolvimento de curso pa ra alunos de diversos países, sobre novos materiais, no contexto de intercâmbio com o Japão (através da Jaica -Japan International Cooperation Agency); há possibili da de de desenvolvimento de grandes projetos em colabo - ração com a JÁICA;
 - 5) estabelecimento de projeto na área de cerâmicas eletrônicas, envolvendo o processo de fi ta ("doctor's blade"), conjuntamente com a FINEP e a UNICAMP;
 - 6) estabelecimento de um convênio bastante a brangente entre o IPEN e o IPT, do qual a tecnologia de sensores de zircônia será parte;
 - 7) desenvolvimento de óxidos de titânio para a área textil (guias-fio);
 - 8) desenvolvimento de suportes para lâmpadas de halogênio, utilizando porcelana aluminosa. Segundo o Dr. Jordão , um dos objetivos mais importantes do Agrupamento de Tecnologia I no rgânica do IPT, onde 21 pessoas executam trabalhos em diversos setores de Cerâmica, é tornar ainda melhores

suas capacitações em caracterização e processamento.

A extraordinária rapidez do desenvolvimento do campo das cerâmicas de alta tecnologia⁽³¹⁾, evidenciada pela divulgação em 1987 do imenso potencial das cerâmicas supercondutoras, continua sendo um dos traços mais marcantes do campo. O acompanhamento cuidadoso do que está ocorrendo nessa área é essencial para o planejamento industrial e científico brasileiro, mesmo a curto prazo. O preço que se teria de pagar pela manutenção de modelos econômicos nacionais fortemente dependentes da exportação de materiais tradicionais é inadmissível, face a substituição inevitável dos mesmos a médio prazo por outros, abundantes em todo o mundo, mas processados de acordo com os resultados da pesquisa científica das duas últimas décadas^(32,33). Indubitavelmente faz-se necessária maior aplicação de recursos na preparação de tecnólogos e cientistas voltados para o processamento de materiais cerâmicos, o que parece estar sendo objeto de esforços concretos não só na área governamental⁽⁴⁾, como na das empresas privadas, a exemplo das aqui mencionadas.

R.C. Villas Bôas⁽³⁴⁾ sugere que seja efetuado um estudo completo e abrangente da base de dados minerais brasileiros, de relevância para a tecnologia cerâmica, esboçando-se: a) matérias primas existentes; b) processos para se atingir o grau de pureza necessário; c) mercado projetado para peças cerâmicas de alta tecnologia; d) identificação das peças cerâmicas, suas necessidades de insumos e tecnologias; e) matriz matéria prima x uso x valor de mercado x substitutos. Observa que a preocupação em serem estudados os substitutos é primordial, considerando que em vários setores da cerâmica avançada toma-se o desenvolvimento de produtos cerâmicos como alternativa ao emprego de materiais críticos e/ou vulneráveis. Ficariam assim realçados aqueles setores em que efetivamente as cerâmicas avan-

çadas e seu desenvolvimento tecnológico são primordiais para o País, evitando-se gastar recursos de pesquisa e produção para substituir materiais aqui abundantes. No concernente ao desenvolvimento propriamente dito de tecnologia cerâmica, deveriam ser previstas ações envolvendo órgãos planejadores, financeiros, centros de pesquisa e usuários que tenham potencial de satisfazer as perspectivas de utilização de cerâmicas de alta tecnologia na década de 1990; as ações correspondentes seriam baseadas em projeções para consumo de capacitores, ferramentas de corte, sensores para motores, como as apresentadas em (34,35).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FREITAS, C. T., Cerâmica técnica avançada. Associação Brasileira de Cerâmica - Anuário 86, p.44-52, 1986.
- [2] FREITAS, C. T., Cerâmica Avançada. Associação Brasileira de Cerâmica - Anuário 87, p. 78-88, 1987.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. - Primeiro encontro nacional de cerâmica avançada da Associação Brasileira de Cerâmica, realizado em São Paulo, 23-24 outubro 1986. São Paulo, SP, 1987.
- [4] ROSADO, M. Editorial. Cerâmica, 33(10):11-A, 1987.
- [5] BRESSIANI, J.C.. Comunicação pessoal, Janeiro 1988.
- [6] LASTRES, H.M.M.. Importância dos novos materiais no mundo e no Brasil. Informativo do INT, 38(Jan/Abril): 3-4, 1987.
- [7] DUALIBI FILHO, J.. Considerações sobre o campo de cerâmicas especiais. Informativo do INT, 38(Jan/abr): 18-19, 1987.
- [8] TEREZA G. DUARTE, M. Cerâmicas avançadas. Informativo do INT, 38(jan/Abril):8, 1987.
- [9] ZANOTTO, E.D. Cerâmica avançada no Brasil, estágio atual e perspectivas. São Carlos, São Paulo, Universidade Federal de São Carlos, 1986 (Relatório para a Comissão de Novos Materiais do Ministério de Ciência e Tecnologia).

- [10] HIGH GROWTH RATES FOR ADVANCED CERAMICS PREDICTED. Technical Ceramics Bulletin, p.20, nov.-dez.1987.
- [11] BEDNORZ, J.G. & MÜLLER, K.A. Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. Z. Phys. B. 64(2)189-193, 1986.
- [12] MIURA, N. On the way to a new technology. Nature, 326(6144)638, 1987.
- [13] BUTTON, T.W., RAND, B., WARD, P.J., HARRIS, E.A., SHARP, J.H., MESSER, P.F.. Heat treatment and microstructure of Y-Ba-Cu-O superconducting ceramics. Br. Ceram. Trans. J., 86(2)166, 1987.
- [14] SEEKING THE PERFECT WIRE. US News and World Report, p.70, maio 1987.
- [15] SEEKING THE PERFECT WIRE. US News and World Report, p.71, maio 1987.
- [16] UM NOBEL PARA O SALTO DO SUPERCONDUTOR. Veja, p.64, 21 outubro 1987.
- [17] CSN PARA EXPORTAÇÃO DE MATERIAL USADO EM SUPERCONDUTOR. Jornal Folha de São Paulo, p.A-16, 21 maio 1987.
- [18] SUPERCONDUTORES. Jornal da Tarde (Estado de São Paulo), p.13, 14 de agosto 1987.
- [19] MARQUES, P.. Brasil larga bem e segue os líderes a pouca distância. Rev. Nac. de Telemática, 2(7) 26, 1987.
- [20] LEMONICK, M.D.. Superconductors. Time, p.31, 11 maio 1987.
- [21] SCHOBBER, M.. Ceramics thrive in changing world markets. Am. Ceram. Soc. Bull., 66(12), 1698-99, 1987.
- [22] SUPERCONDUCTIVITY CLAIMS KEEP RISING HIGHER. Am. Ceram. Soc. Bull., 67(3)455, 1988.
- [23] BUSINESS Week, 31(5)64, 18 maio 1987.
- [24] MARANTO, G. Superconductivity: hype vs. reality. Discover, 8(8)30, 1987.
- [25] DUARTE, M.T.G.. Comunicação pessoal, 4 dez. 1987.
- [26] PACHECO JORDÃO, M.A.. Comunicação pessoal, jan.88.

- [27] PROGRAMA DE CERÂMICAS ESPECIAIS DO INT. Cerâmica, 33(12)20-A, 1987.
- [28] BRESSIANI, A.H.A., MUCCILLO, E.N.S., BRESSIANI, J.C., MARTINELLI, J.R., MUCCILLO, R.. Cerâmicas supercondutoras à base de Y-Ba-Cu-O. Cerâmica, 33(210)153, 1987.
- [29] MORATO, S.P. Comunicação pessoal, jan. 1988.
- [30] DUAILIBI FILHO, J.. Comunicação pessoal, set. 1987.
- [31] FREITAS, C. T., Cerâmica avançada. Associação Brasileira de Cerâmica - Anuário 87, 0.88, 1987.
- [32] SCIENTIFIC AMERICAN, 255(4)43-177, 1986.
- [33] FERNANDES Jr., O. CARVALHO, F., NESTLEHNER, W.. Tecnologia - mudança de órbita. Isto é, 16(8)40, 12 ago. 1987.
- [34] VILLAS BÔAS, R.C. Cerâmica Fina. Brasil Mineral, 48(11)114, nov. 1987.
- [35] FREITAS, C. T., Cerâmica técnica avançada. Associação Brasileira de Cerâmica - Anuário 86, p.45, 1986.