

A EMERGÊNCIA DOS NOVOS MATERIAIS: SEU SIGNIFICADO E IMPACTO ECONÔMICO NO BRASIL

SÉRGIO R. R. DE QUEIROZ
e HEBE MITLAG



destaque que os governos dos países industrializados vêm dando ao desenvolvimento de novas tecnologias no campo dos materiais tem difundido a idéia de que elas estão entre as grandes transformações técnicas de nosso tempo, ao lado das tecnologias da informação, baseadas no desenvolvimento da microeletrônica, das biotecnologias e das novas tecnologias na área de energia.

Essa atenção crescente que os materiais vêm merecendo decorre em boa medida do papel chave que eles cumprem nos avanços tecnológicos de outras áreas. Praticamente não há tecnologia nova importante que não dependa do desenvolvimento de materiais: semicondutores para microeletrônica e informática, fibras óticas para optoeletrônica, supercondutores para transmissão e armazenamento de energia, etc.

Além de críticos para o sucesso de outras tecnologias, os novos materiais alteram as relações entre os setores que os produzem e aqueles que os utilizam. Estes últimos se defrontam com uma multiplicidade crescente de materiais e assumem um papel mais importante na definição do que deve ser pro-

duzido. Se anteriormente os consumidores de materiais se encontravam numa posição de relativa fragilidade frente a produtores de materiais standardizados e produzidos em larga escala, cada vez mais eles invertem essa situação especificando materiais com características determinadas para usos bem definidos. Os ofertantes de materiais vão tendo que se sujeitar progressivamente às exigências dos demandantes, cada vez mais qualitativas e específicas.

Também os fabricantes de materiais tradicionais, bem como os produtores de suas matérias primas, são afetados pelos novos materiais em função de processos de substituição. Embora esse fenômeno seja freqüentemente superestimado, ele não deixa de existir. Como exemplo, pode-se apontar o surgimento da fibra ótica para uso nas telecomunicações e de novos materiais condutores de energia tendendo a diminuir consideravelmente a importância do cobre.

Por essas e por várias outras razões que discutiremos adiante os materiais tornam-se objeto de análises cada vez mais numerosas. Entretanto, a noção de que a emergência de novos ma-

teriais é resultado de um conjunto de novas tecnologias que, a exemplo da informática ou da biotecnologia, estariam revolucionando as bases técnicas da economia mundial precisa ser devidamente qualificada para não conduzir a enganos. A área de materiais tem especificidades importantes que devem ser consideradas.

A primeira delas decorre da posição na cadeia produtiva, do fato dos materiais serem bens intermediários e que os distingue, por exemplo, dos produtos da informática. Essa característica é bem destacada na definição que propomos para o termo materiais: "materiais são os insumos intermediários dos processos industriais, obtidos por transformações sucessivas de matérias primas ou sucata, a partir dos quais são projetadas e produzidas as peças, componentes, e bens finais para diversas aplicações".

Outra característica importante dos materiais é que eles não apenas se destinam a praticamente todos os setores econômicos como também apresentam uma grande diversidade de origem: siderurgia, metalurgia de não ferrosos, química, vidros e cerâmicos, etc. Ao contrário novamente da informática,

Sérgio R. R. de Queiroz é graduado em engenharia pela Universidade de São Paulo e Mestre em Economia pela Universidade Estadual de Campinas. Docente do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociência da UNICAMP, trabalha atualmente na área de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento em pesquisas sobre processos de inovação tecnológica. Endereço: Departamento de Política Científica e Tecnológica. IG/UNICAMP. Caixa Postal 6152, 13081 - Campinas, S. P. Brasil.

Hebe Mitlag é graduada em Ciências Químicas pela Universidade de Buenos Aires. Atualmente é pesquisadora do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da UNICAMP, trabalhando em pesquisas sobre tendências de desenvolvimento científico e tecnológico. Endereço: Departamento de Política Científica e Tecnológica. IG/UNICAMP, Caixa Postal 6152. 13081 - Campinas, SP. Brasil.

os produtores de materiais não constituem um setor, ou mesmo um complexo industrial. Eles participam de indústrias distintas com características estruturais distintas e bases técnicas distintas, apenas tendo em comum o fato de produzirem bens intermediários. Logo, torna-se inviável um tratamento agregado dos produtores de materiais e também muito mais complexa a tarefa de identificar os elementos comuns que nos autorizam a falar genericamente de *materiais* sem outras qualificações. O desenvolvimento da ciência e engenharia dos materiais e o consequente domínio da estrutura básica da matéria talvez proveja um desses elementos comuns a todos os materiais. Mas, não elimina as dificuldades de integrar no mesmo processo as mudanças tecnológicas que estão ocorrendo nos mais diversos campos dos materiais.

O emprego da expressão *novos materiais* também se presta a confusões. Basta constatar que muitas vezes a novidade não está no material propriamente dito mas sim nas técnicas de processamento que permitem que um dado material, de há muito conhecido, adquira novas propriedades, se torne "novo" pelo simples fato de ganhar um maior grau de pureza ou de confiabilidade.

A expressão *novos materiais* sugere uma oposição, muito mais fictícia que real, em relação aos materiais tradicionais. Sugere também que a mutação tecnológica em curso no campo dos materiais se resume a um processo de substituição de materiais "antigos" por "novos".

Em um trabalho anterior (Queiroz e Mitlag, 1985) estabelecemos a distinção entre materiais de uso múltiplo e materiais de uso específico para caracterizar o processo de mudança que hoje se observa. Os primeiros seriam os materiais "commodities", produzidos em larga escala, com tecnologia relativamente difundida, baixo custo unitário e voltados para variadas aplicações. É o caso dos aços comuns, do alumínio, da madeira, dos plásticos comuns como o polietileno, o PVC, etc.

Já os de uso específico seriam materiais caros, de elevado conteúdo tecnológico e com um número limitado de aplicações. Produzidos em quantidade muito menores, freqüentemente sob encomenda, têm como exemplo os aços especiais, os plásticos de engenharia, as cerâmicas avançadas, etc.

Observamos então que, se no passado a substituição de um material tradicional ("commodity") por um novo era um fenômeno extremamente

TABELA I
NOVOS MATERIAIS x MATERIAIS TRADICIONAIS - CARACTERÍSTICAS

		<i>novos materiais</i>	<i>materiais tradicionais</i>
Características do produto	Tipo Valor adicionado	muitos alto	poucos baixo
Características da demanda	Tamanho do Mercado Ciclo de Vida Utilidade	pequeno curto específica	grande longo multipropósito
Características de produção	Método de Prod. Grau de Intensidade de Tecnológica Escala de Produção	variados, em pequena quantidade alta pequena	único, em grande quantidade baixa grande

Fonte: IBJ (1986).

importante, as mudanças atuais caracterizam-se antes de tudo por um crescimento da importância dos materiais de uso específico em relação aos de uso múltiplo. Muito mais que um processo de substituição, observa-se uma adição dos novos materiais aos tradicionais, uma multiplicação incessante dos materiais disponíveis que está na origem do fenômeno batizado por T. Gaudin de "*hyperchoix des matériaux*".

Portanto, o processo de mudança tecnológica no domínio dos materiais não deve ser confundido com uma disputa entre materiais tradicionais e novos. Por isso a expressão *novos materiais* é enganosa e melhor seria utilizar a expressão *novas tecnologias em materiais* que é mais abrangente e dá conta melhor dos movimentos atuais. Entretanto, como os termos novos materiais já se difundiram bastante não vamos nos recusar a empregá-los, com a ressalva de que assumirão um sentido mais amplo, para englobar os materiais antigos rejuvenescidos pelas novas tecnologias.

Que devemos entender, afinal, por novos materiais? Os materiais que resultam do emprego de novas tecnologias? Os materiais que visam aplicações de alta tecnologia? A tecnologia é certamente um aspecto importante mas não é o único. Um trabalho do Industrial Bank of Japón (IBJ, 1986) agrupa as principais características dos novos materiais por produto, demanda e produção, resumidas na Tabela I

Como se pode observar na Tabela I, a elevada intensidade tecno-

lógica é apenas uma entre várias características dos novos materiais, (praticamente as mesmas dos que denominamos materiais de uso específico).

Caberia ainda acrescentar um critério econômico simples, que incorpore justamente a idéia da importância crescente dos novos materiais. Em um trabalho realizado para o projeto FAST da C.E.E. (Cohendet *et alli*, 1987), novos materiais são definidos como aqueles "cuja taxa de crescimento prevista para o próximo decênio ultrapassa a taxa de crescimento médio das economias ocidentais, ou seja, em torno de 3% a.a.

Por oposição, materiais tradicionais seriam aqueles cuja taxa de crescimento prevista é inferior à taxa de crescimento médio, isto é, cuja intensidade de uso em relação ao Produto tende a diminuir. Esse é o caso dos materiais "commodities", que denominamos anteriormente como de uso múltiplo. A Tabela II ilustra para o caso do Japão a marcha desse processo.

Segundo seus estágios de desenvolvimento, Cohendet classifica os novos materiais nas seguintes categorias: 1) materiais em fase de industrialização recente; 2) materiais em fase de pre-industrialização; 3) materiais em fase de desenvolvimento e 4) materiais em fase de pesquisa. A cada fase corresponde naturalmente uma taxa de crescimento.

Deve-se observar que o critério da taxa de crescimento em relação ao Produto para caracterizar os novos materiais introduz a dificuldade de que as referências para os países em de-

envolvimento e desenvolvidos não são as mesmas. Por exemplo, é fora de dúvida que os aços comuns são materiais tradicionais. No entanto, sua taxa de crescimento em relação ao PIB pode ser alta em países como o Brasil, onde o consumo per capita ainda é baixo e as condições de produção para o mercado internacional são favoráveis. Apenas por esse critério, um material tradicional nos países desenvolvidos poderia ser considerado em outra parte um "novo material", em fase de industrialização recente ou de pré-industrialização.

Tais considerações sugerem que países como o Brasil devem ter uma maior preocupação com os materiais em seu conjunto, lembrando sempre que, aqui, muitos materiais tradicionais podem ter ainda um futuro promissor.

Quanto à classificação dos materiais a mais usual os divide nas seguintes classes relacionados à sua estrutura molecular: metais e suas ligas, cerâmicos e vidros, polímeros (plásticos e borrachas) e compósitos (metal/cerâmico, polímero/cerâmico, etc.).

Entretanto, a crescente multiplicação dos materiais e de seus usos, vem tornando cada vez mais atraente a classificação por função: materiais estruturais, materiais biológicos, materiais eletrônicos, materiais óticos, etc. Isto porque a explicitação do tipo de material não é suficiente para identificar adequadamente suas características e propriedades, das quais decorre sua função. Ademais, a função determina as possíveis aplicações do material, ligando, desta maneira, suas características e propriedades aos seus usos industriais. Pode-se também combinar ambas as classificações, de maneira a indicar simultaneamente a classe e a função do material; por exemplo, cerâmicos para usos estruturais, polímeros com funções biológicas, etc.

Mudanças associadas às tecnologias emergentes em materiais

Por trás dos recentes avanços tecnológicos dos materiais existem processos de mudança que os estão facilitando ou mesmo induzindo. Discutiremos a seguir alguns desses processos, escolhidos por sua importância e extensão de seus efeitos, isto é, por afetarem um conjunto amplo de materiais e não apenas um ou outro tipo.

O papel da ciência e engenharia dos materiais (CEM)

Uma característica fundamental no processo que hoje se obser-

TABELA II
CONSUMO DOS MATERIAIS BÁSICOS MAIS IMPORTANTES POR UNIDADE DE PNB NO JAPÃO

	1970	1975	1980	1985
Têxteis	1,75	1,32	1,22	1,11
Madeira	87,31	65,27	57,41	44,21
Papel	10,65	8,84	9,45	8,56
Etileno	2,63	2,30	2,20	1,76
Cloreto de Vinila	1,11	0,83	0,83	0,64
Fertilizantes	—	1,38	0,97	0,90
Ferro	60,48	46,10	41,63	34,09
Alumínio	0,75	0,79	0,86	0,80
Cobre	0,70	0,56	0,70	0,65
Cimento	46,0	42,81	43,43	35,83

Unidade: ton/100 milhões yens; m³/100 milhões yens para madeira.
Fonte: IBJ (1986).

va no campo dos materiais é a inversão na lógica do sistema de produção: se antes os materiais eram *dados* para os fabricantes dos produtos que os utilizavam, agora eles passam a ser *criados* com as propriedades especificadas por esses demandantes. Em decorrência, o produtor do material perde parte de sua autonomia em relação a um mercado anteriormente impessoal e estandardizado, subordinando-se mais fortemente às exigências dos compradores.

Essa capacidade de projetar e manufaturar um material com propriedades previamente determinadas tornou-se possível graças ao significativo avanço da CEM nas quatro últimas décadas. Ele estabeleceu o crescente domínio das relações entre propriedades, estrutura e processamento, possibilitando a produção de materiais "sob encomenda" e alargando quase ilimitadamente o leque de produtos ofertados. Os cientistas e engenheiros de materiais possuem hoje o conhecimento fundamental sobre estruturas atômicas e moleculares necessário para concretizar avanços tecnológicos de grande impacto num horizonte de tempo definido. O mesmo não ocorre, por exemplo, em certas áreas da biotecnologia que carecem de conhecimento básico.

Para esse avanço da CEM contribuiu de forma decisiva o próprio desenvolvimento tecnológico. A capacidade de análise e caracterização de materiais cresceu enormemente graças a instrumentos cada vez mais poderosos: microscópios óticos, depois eletrônicos, raios x, sistemas computadorizados, etc. A possibilidade de solucionar milhares de equações de mecânica quântica, essencial, por exemplo, para o projeto de circuitos integrados cada vez mais minia-

turizados, só se tornou realidade com os supercomputadores. E a capacidade de manufaturar materiais com as propriedades previstas exigiu o desenvolvimento de várias tecnologias subsidiárias.

O dinamismo tecnológico da área de materiais é assim condicionado por uma forte interação entre ciência e tecnologia característica da CEM. Novas tecnologias impulsionam a ciência dos materiais que, por sua vez, vai permitir o desenvolvimento de novos materiais, que vão contribuir para a geração de novas tecnologias, e assim por diante. Estabelece-se um círculo virtuoso, exemplo do qual está na interação entre materiais e microeletrônica: a informática contribuiu muito para o avanço da CEM, que, por sua vez, viabilizou materiais para microeletrônica sem os quais não existiria a informática.

Em resumo, o avanço da ciência dos materiais, bem como das tecnologias das quais ela é tributária, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento dos novos materiais. Ainda que não esteja propriamente determinando as mudanças tecnológicas hoje observadas é condição essencial para que elas ocorram. A continuidade desse processo não estando limitada pela necessidade de adquirir novos conhecimentos básicos passa a depender fundamentalmente dos esforços em pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico de materiais que, por toda parte, são crescentes.

A integração dos materiais na concepção do produto final

A partir do momento em que se coloca a possibilidade de construir um material com característi-

cas pré-definidas para cumprir determinada função alteram-se os procedimentos técnicos que orientam os projetos e a produção dos bens finais. O material deixa de ser para o seu demandante uma rígida baliza imposta do exterior, muda de parâmetro para variável.

Esse processo de endogeneização dos materiais à concepção dos produtos que os incorporam conduz a uma crescente especialização dos materiais com vistas a atender funções altamente complexas. Consequentemente, acelera-se a diversificação dos materiais, defrontando-se os seus consumidores com uma crescente variedade de oferta. Neste quadro, a substituição de materiais tradicionais por novos, embora não deixe de ocorrer, não tem a importância que teve no passado. O acrescentamento de novos materiais é o fato mais significativo e relativamente independente do deslocamento dos antigos materiais.

A integração dos materiais ao processo produtivo dos bens finais responde a uma necessidade de simplificação. Embora a complexidade técnica dos materiais tenda a crescer, sua utilização permite reduzir o número de componentes e/ou de etapas do processo de produção dos bens finais. Para cumprir uma determinada função que anteriormente exigia uma combinação de vários materiais standardizados, produz-se agora um único material, especializado e tecnicamente sofisticado.

Os compósitos apresentam exemplos impressionantes dessa capacidade de reunir especialíssimas combinações de propriedades impossíveis de serem obtidos com os materiais tradicionais e que permitem grandes simplificações. A partir do emprego de compósitos, o núcleo do rotor principal de um helicóptero produzido pela Aeroespacia teve reduzido seu número de peças de 293 para somente 92.

O efeito simplificador da integração também é obtido através de novas técnicas de processamento de materiais. A metalurgia do pó e a fundição de precisão são exemplos de processos que permitem a conformação de peças que dispensam etapas posteriores de usinagem, além de reduzir ao mínimo o desperdício do metal empregado.

Enfim, as novas tecnologias em materiais, processos ou produtos, respondem à lógica de integração que conduz a uma simplificação global, ainda que acompanhada de uma complexização dos materiais. Ao assumi-los como variáveis e não mais como dados, os projetistas dos produtos finais podem reduzir o número de etapas produtivas,

o número de componentes utilizados e o tempo gasto na produção, transferindo aos produtores dos materiais a responsabilidade de gerar produtos com especificações impossíveis de serem atendidas pelos materiais tradicionais. O custo maior desses insumos acaba sendo mais do que compensado pelas reduções de outros custos que eles proporcionam.

O estreitamento dos laços entre produtores e consumidores de materiais é uma consequência importante desse processo. Mais ainda do que isso, observa-se uma inversão da lógica de subordinação: no caso dos materiais "commodities" o produtor se colocava numa posição dominante em relação ao consumidor, mas para os novos materiais dá-se o oposto, os consumidores tendem a subordinar os produtores. Esse fato pode vir a ter uma série de implicações econômicas importantes em termos de tendências de verticalização, compras e fusões de empresas, acordos de comercialização, etc.

O novo padrão de consumo de materiais

Como já foi dito, uma das características dos materiais tradicionais é sua baixa taxa de crescimento. Naturalmente, a desaceleração do crescimento econômico mundial a partir de meados da década de 70 afetou fortemente a demanda de materiais como aço, alumínio, plásticos "commodities", etc. Mas esta, não é a única explicação na medida em que a intensidade de uso desses materiais, isto é, seu consumo por unidade de produto, também se reduziu, como se pode constatar na Tabela II anteriormente apresentada.

Alterações na composição do Produto são uma das explicações aventadas para essas mudanças no consumo de materiais tradicionais. Nos países desenvolvidos o setor vem ampliando sistematicamente sua participação no Produto em detrimento dos setores agrícola e industrial. E a composição interna deste último também vem se modificando no sentido de aumentar a participação dos bens com baixo conteúdo relativo de materiais.

Inegavelmente esse fenômeno está ocorrendo. Contudo, alguns autores chamam a atenção para o fato de que ele também é afetado pelas mudanças na estrutura do comércio internacional. Muitas nações desenvolvidas estão se tornando importadoras líquidas de bens intensivos em materiais fabricados em países em desenvolvimento. Esse tipo de mudanças na divisão internacional do trabalho precisa ser le-

vado em conta na avaliação da redução da intensidade de uso de materiais tradicionais que, tomada globalmente, pode ser menor do que aparenta.

Outro tipo de explicação para a redução na intensidade de uso de materiais tradicionais está no aumento de eficiência dos processos industriais. A quantidade de aço que um automóvel consome hoje é significativamente menor que a de dez anos atrás e isso não se deve unicamente à substituição por outros materiais mas também a melhorias técnicas que reduzem o desperdício. Um maior conhecimento a respeito do comportamento de uma dada estrutura permite economia de materiais sem qualquer efeito negativo em termos de segurança.

O efeito substituição (materiais tradicionais por novos materiais) também existe mas em escala muito pequena e incapaz de explicar a menor intensidade de uso dos materiais tradicionais na mesma medida que os fatores anteriormente apontados. Claro que o próprio exemplo do automóvel mostrou que a diminuição do uso de aço comum é acompanhada de um aumento da participação de novos materiais cerâmicos e plásticos, além de novas ligas metálicas. Um exemplo ainda mais forte é a já citada substituição do cobre por fibras óticas no campo das telecomunicações. Entretanto, seria enganoso supor que o rápido crescimento dos novos materiais e o declínio dos materiais tradicionais se explique simplesmente pela substituição. As demandas de um e outro grupo de materiais diferem quantitativa e qualitativamente. Os novos materiais representam hoje uma pequena parcela, ainda que crescente, da produção global de materiais. Além disso, eles se dirigem em grande número para *novos produtos*, onde a idéia de substituição não se aplica.

O emergente padrão de consumo de materiais poderia ser resumido, portanto, pelo deslocamento dos materiais tradicionais pelos novos, não de forma direta pela substituição mas sim indiretamente pelas tendências à redução da intensidade de uso dos tradicionais apontadas e pelo caráter dinâmico da demanda dos novos materiais.

Em resposta a esta demanda multiplicam-se os materiais ofertados em simultâneo a uma crescente especialização e sofisticação tecnológica. A ênfase passa da quantidade para a qualidade, dos materiais padronizados e consumidos em grande escala para os especializados e de pequeno consumo. A saturação dos mercados que caracteri-

zaram a chamada "era dos materiais" não impede o dinamismo de novos mercados, baseados em produtos pouco intensivos em materiais e altamente intensivos em tecnologia, os mercados da "era da informação".

Novos materiais e energia

Sendo as mudanças na base energética um dos aspectos mais evidentes da crise econômica mundial —a ponto de muitos explicarem a crise atual como uma "crise de energia"— sua repercussão sobre os materiais não poderia deixar de ser significativa.

Os processos de substituição de materiais e de introdução de novos materiais estão sendo fortemente condicionados pela questão do consumo de energia dada a elevação do seu preço a partir dos anos 70 e a crescente preocupação com a possibilidade de esgotamento de suas fontes naturais.

Os esforços de desenvolvimento tecnológico em materiais podem ser agrupados segundo dois grandes objetivos. O primeiro, de produzir novas tecnologias para o setor energético buscando o aumento da eficiência no armazenamento, transmissão e geração de energia (polímeros condutores, células combustíveis, supercondutores, células fotovoltaicas, etc). O segundo, de reduzir o consumo de energia ao longo do ciclo de produção e utilização de materiais, isto é, melhorando o balanço energético.

A relação entre materiais e o balanço energético total do produto final resume as interrelações entre materiais e energia e condiciona, essencialmente através de considerações sobre eficiência e preço, a escolha de um material para uma dada função ou produção de um objeto. Assim, para todo produto pode-se definir um balanço global que integre a energia gasta a cada etapa do processo de produção e consumo.

O balanço energético leva em consideração o ciclo completo desde a obtenção de matérias primas até a destruição ou reciclagem do produto final. Resumidamente, tal balanço considera:

a energia incorporada nas matérias primas naturais ou sintéticas (extração, transporte, etc),

o consumo de energia no processo de produção industrial do material (economia de energia por processos alternativos de fabricação),

a energia associada a diferentes projetos de peças e componentes (usinagem e conformação),

TABELA III											
funções das cerâmicas	setores consumidores potenciais										
		eletronico	eletrico	telecomunicações	meccanico (maq. ferramenta)	metalurgico	automobilistico	aero-espacial	energetico	quimico-petroquimico-petrolif.	medico-hospitalar
Eletro-eletronicas	isolantes eletricos	X	X								
	ferroeletricos	X	X								
	semicondutores	X									
	piezoeletricos	X	X								
	condutores iônicos									X	
Magneticas		X	X								
Oticas		X	X	X							
Mecanicas e termo-mecanicas	ferramentas de corte					X					
	resistentes ao desgaste e fratura					X	X	X			
	resistentes ao calor					X	X	X			
	compositos					X	X	X			
Quimicas							X	X		X	
Termicas		X	X			X					
Biologicas											X
Nucleares									X		

Fonte: NPCT/UNICAMP (1987).

a energia associada à montagem das peças e componentes (soldagem) e à obtenção de um produto final (montagem de automóveis),

a economia de energia associada à utilização de uma peça ou componente e à eficiência do objeto constituído por um dado material (eficiência dos motores diesel com partes cerâmicas),

a energia gasta no transporte do material e do produto,

o tempo de vida do material e do produto (desgaste, abrasão e corrosão),

os ganhos de energia por produção secundária,

o custo energético na destruição de objetos nos quais os materiais incorporados são predatórios ao meio ambiente e não podem ser reciclados (exemplo, plásticos e compósitos).

Deve-se notar ainda que muitos dos novos materiais que surgem para solucionar esses problemas são mais intensivos em energia. Isto é particularmente evidente no caso dos materiais de baixa densidade, que reduzem significativamente o consumo de energia na utilização dos produtos que os incorporam. Assim, apesar dos esforços permanentes para redução do elevado consumo de energia na produção de materiais (da ordem de 15% a 25% de toda a energia primária nas economias industrializadas), é até provável que estes números venham a crescer, paradoxalmente, com a crise energética. Desde que o aumento da eficiência propiciado pela utilização de materiais mais intensivos em energia produza um balanço final favorável.

Em relação ao mencionado primeiro objetivo de produzir no-

vas tecnologias para o setor energético, podemos citar como um exemplo de aumento da eficiência no armazenamento, transmissão e geração de energia através de novos materiais a introdução de materiais supercondutores.

As aplicações da supercondutividade decorrem, basicamente, da possibilidade de eliminar a resistência elétrica de certos materiais quando mantidos a baixas temperaturas com a conseqüente eliminação das perdas de transmissão de energia elétrica devidas à dissipação em forma de energia térmica. A eliminação da resistência permite a elevação da densidade de corrente admissível e, como resultado, a obtenção de campos magnéticos de alta intensidade.

Os resultados obtidos nos últimos dois anos com novos materiais supercondutores à base de óxidos cerâmicos têm permitido reacender as expectativas existentes desde o começo do século de obter materiais que atinssem a supercondutividade a temperaturas viáveis comercialmente. Dos -250° centígrados estabelecidos há 15 anos com supercondutores metálicos, tem-se chegado recentemente a temperaturas da ordem de -170° C e ainda maiores.

Dentre as aplicações mais promissoras da supercondutividade estão as associadas à geração e à redução do consumo de energia em diversas atividades e processos. As previsões atuais sugerem que os usos mais prováveis a curto prazo dos supercondutores metálicos e cerâmicos serão na área de informática (diminuição de tamanho de equipamentos informatizados e aumento na velocidade de processamento de sinais).

Outros usos ligados à geração e armazenamento de energia referem-se à diminuição de tamanho e/ou aumento de potência de geradores elétricos, magnetos de pequeno porte para a utilização em equipamentos de geração de imagem por ressonância magnética para uso em medicina; geração de intensos campos magnéticos em bobinas para uma maior eficiência no armazenamento de energia; aumento de velocidade e eficiência em meios de transporte.

Impactos dos novos materiais na economia brasileira

Os impactos dos novos materiais podem ser divididos em diretos e indiretos. Os primeiros referem-se aos efeitos sobre os setores produtores de materiais e de matérias-primas en-

TABELA IV

setores consumidores potenciais											
funcoes dos polimeros		funcoes dos polimeros									
		eletronico	eletrico	telecomunicacoes	meccanico	metalurgico	automobilistico	aero-espacial	energetico	quimico-petroquimico-petrolif.	medico-hospitalar
Mecanicas *											
	resistencia a fratura,deformacao e desgaste				X		X	X			
	adesividade - colagem				X		X	X		X	
Termicas *											
	resistencia ao calor						X	X			
	isolamento	X									
Eleto-eletronicas											
	condutividade	X							X		
	isolamento	X	X								
Oticas											
	transmissao de luz	X		X							
	reações através de luz	X									
	dispositivos de"display"	X									
Biológicas											
	compatibilidade biológica										X
Químicas											
	separacao iônica									X	
	separação de líquidos e gases									X	
	separação biologica										X
	corrosao e resistencia quimica						X	X		X	

* simples ou como polímeros combinados

* simples ou como polímeros combinados

Fonte: NPCT/UNICAMP (1987).

quanto os segundos são relativos aos setores consumidores de materiais.

Em relação aos impactos indiretos cumpre observar que na qualidade de bens intermediários os materiais são elos na cadeia de produção de outros insumos ou bens finais. À medida que vão sendo aperfeiçoados eles ampliam as potencialidades dos produtos que os incorporam, gerando efeitos sobre os mercados finais. Caso se consiga num futuro próximo produzir comercialmen-

te supercondutores a altas temperaturas ocorrerá o barateamento e conseqüente expansão do mercado de muitos novos produtos, principalmente nos setores eletro-eletrônico e de transportes.

Entretanto, o exemplo dos supercondutores não pode ser generalizado pois na maior parte das vezes o avanço tecnológico dos materiais não se dá independentemente das indústrias consumidoras. Estas, como já foi mencionado, tendem a subordinar mais e

mais as indústrias produtoras de materiais que, consequentemente, estariam mais na posição de sofrer que de gerar impactos. O avanço da microeletrônica promove o avanço dos materiais para microeletrônica, como o avanço da indústria aeroespacial estimula o avanço dos materiais para uso aeroespacial, e assim por diante. Portanto, a análise dos impactos indiretos que faremos adiante procura estabelecer por quais setores os novos materiais estão se difundindo sem deixar de considerar o fato de que estes não são o motor do processo e, frequentemente, têm seu desenvolvimento determinado pelos produtos que vão incorporá-los.

Quanto aos impactos diretos sobre o crescimento dos produtores de novos materiais é preciso lembrar que a dimensão absoluta do mercado de novos materiais é ainda extremamente reduzida. As vendas mundiais de cerâmicas avançadas em 1985 foram de US\$ 5,2 bilhões segundo Sen (1986) ou de US\$ 4,2 bilhões segundo dados da Jetro- Japan (1986). Compare-se esses valores com o faturamento mundial da indústria siderúrgica e fica evidente a quase insignificância dos impactos diretos dos novos materiais. Em termos relativos eles mal representam atualmente 5% do total da produção de materiais. Supondo-se que cresçam sua produção à taxa anual de 10% enquanto os materiais tradicionais crescem apenas 1%, levará ainda 21 anos para que a parcela dos novos materiais represente 1/4 da produção total.

Essa disparidade reforça um aspecto já bastante enfatizado anteriormente, qual seja, o de que a relação entre o crescimento dos setores produtores de novos materiais e o declínio dos produtores de materiais tradicionais não é direta (via substituição). Esse decréscimo (relativo) dos materiais tradicionais não pode ser explicado apenas pelos novos materiais e num país como o Brasil é até questionável que ele venha a ocorrer.

No Brasil os impactos diretos tendem igualmente a ser pequenos. Apesar do país já começar a produzir alguns novos materiais (por exemplo, fibras óticas, cerâmicas avançadas, ligas especiais) sua demanda deve permanecer proporcionalmente mais baixa que a dos países avançados. À exceção dos setores que produzem para o mercado externo e que estão tendo que seguir os padrões internacionais, a indústria brasileira de um modo geral consome muito pouco em termos de novos materiais. Os automóveis exportados pelo país incorporam sensores de gases com

TABELA V

setores consumidores potenciais								
	metais, ligas e semicondutores							
	ELETO-ELETRÔNICO	AUTOMOBILÍSTICO	AERO-ESPACIAL	BÉLICO E ARMAMENTOS	ENERGÉTICO	QUÍMICO-PETROQUÍMICO	MÉDICO-HOSPITALAR	EMBALAGEM-ARMAZEN.
Não-ferrosos leves								
ligas de alumínio								
Al-Cu			X					X
Al 99%	X				X			
Al-Li			X					
Al-Si		X						
Al-Be				X				
ligas de magnésio								
Mg-Zn-Cu		X						
Mg-Al			X					
ligas de zinco								
Zn-Al		X						
Zn-Br	X							
Não-ferrosos densos								
ligas de cobre								
Cu-Be			X					
Cu-Si	X							
Cu-Sn-Ti					X			
Cu-Mg-Zr			X					
ligas de chumbo								
Pb-Sn	X							
Pb 99%					X			
Ligas especiais								
ligas de titânio								
Ti-Fe-V-Al			X					
Ti-Mo-Ni					X			
Ti-Cr								X
Ti-Mo-Zr-Al							X	
ligas de níquel								
Ni-Cu-Mg B							X	
Ni-Cr-Co-Mo			X					
superligas								
Fe-Cr-Nb-B							X	
Cr-Ni-Nb-Ti		X						
Cr-Ni-Co-Mo			X					
ligas e metais refratários								
Ta-Nb							X	
Mo-W	X							
W-Ag			X					
W-Cu	X							
Ta 99%								X
Aços especiais								
aços revestidos								
c/Zn-Ni		X						
c/Cu	X							
c/Zn-Sn								X
aços microligados								
c/Nb				X				
c/B-Ti		X						
aços inox.								
c/Cr-Mo-Ni							X	
c/Mn-Al-Si				X				
aços ultraresistentes								
c/Mn-B		X						
c/Co-Mo-Ti			X					
Ligas exóticas								
efeito memória								
Ni-Ti			X					
Cu-Zn-Al							X	
supercondutoras								
Nb-Ti					X			
Nb-Zr	X							
compositos metálicos								
Mg-Al203		X						
Al-B			X					
ligas amorfas								
Ni-C-R-Cr-Mo							X	
Pd/Au-B-C-Si	X							
terras raras								
La-Ce-Pr-Gd	X							
Mg/Ce-La-Pr			X					
Materiais de grau eletrônico								
semicondutores								
Si-grau solar						X		
Si-grau eletrônico	X							
AsGa	X							
AgInSe2				X				
ligas super puras								
Sn-Pb	X							
Au 99%	X							
Al-Si	X							
Cu-Fe	X							

Fonte: NPCT/UNICAMP (1987)

materiais cerâmicos avançados para controle de emissões de poluentes, ao passo que aqueles fabricados para o mercado interno, onde a legislação é muito menos restritiva, dispensam tais dispositivos.

Dentre os novos materiais os cerâmicos e polímeros (além dos compósitos que utilizam essas classes de materiais) aparecem com maior destaque em relação aos metais, que representam atualmente algo como 80% do total dos materiais. Os metais, de um modo geral, combinam certas propriedades que resultam em grande versatilidade de uso. Já os cerâmicos e polímeros, embora sejam superiores aos metais em vários aspectos, apresentam deficiências tão grandes em outros que sua aplicação se tornou bastante limitada. O desenvolvimento tecnológico vem minorando esses problemas, como, por exemplo, a fragilidade elevada dos cerâmicos ou o baixo ponto de fusão dos polímeros em geral, o que permite antever uma maior participação desses materiais em aplicações que até então permaneciam exclusivas dos metais.

Contudo, não se pode prever nenhum deslocamento intenso dos metais por polímeros ou cerâmicos. Em primeiro lugar, nas aplicações mais específicas — características dos novos materiais — a ausência de uma ou outra propriedade nem sempre é relevante, o que torna esses materiais naturalmente mais competitivos com os metais. Mas, pelas razões já apontadas, uma distribuição mais equilibrada no universo dos novos materiais representa pouco dado o peso enorme dos materiais tradicionais, onde os metais continuarão a reinar por um longo período.

Em segundo lugar, o desenvolvimento tecnológico não exclui os metais. Aliás, nunca a tecnologia de metais produziu tantos avanços em termos de novas ligas e novos processamentos como atualmente. É comuns que materiais ameaçados de substituição sofram aperfeiçoamentos tecnológicos e voltem a se tornar competitivos. Essa revalorização dos metais certamente ocorrerá — e já está ocorrendo — em muitos casos.

O quadro que se apresenta é, portanto, o da multiplicação das alternativas oferecidas em termos de materiais, da concorrência mais intensa entre diversos tipos de materiais, do "hyperchoix" de materiais.

Uma consequência importante da idéia do "hyperchoix" é a revisão do conceito de material estratégico que ela implica. À medida que as soluções técnicas em termos de novos

materiais e novos processos se multiplicam, o caráter estratégico que alguns materiais porventura tiveram se dilui, os riscos associados à sua dependência diminuem.

Portanto, os novos materiais tendem a desvalorizar duplamente as matérias primas. Em primeiro lugar, reduzem a parcela de custo que a elas corresponde no produto final na medida em que ao processamento cabe um peso cada vez maior. É a tecnologia e não a matéria prima o fator preponderante nos custos. Em segundo lugar, os novos materiais retiram das matérias primas seu eventual caráter estratégico. Um possuidor de determinado recurso que esteja em condições privilegiadas, digamos, de monopólio, pode não conseguir sobrevalorizar esse recurso — isto é, apropriar-se de seu valor estratégico — pois a tecnologia pode desenvolver sucedâneos que tornem seu monopólio inútil.

Para um país como o Brasil, que conta com uma ampla base de recursos naturais, esse impacto dos novos materiais deve ser considerado. A redução da dependência dos países desenvolvidos em relação à importação de matérias primas, algumas das quais exportadas pelo país, tende a afetar negativamente sua balança comercial. Mas, não se deve superestimar os efeitos desse processo como se a introdução dos novos materiais significasse automaticamente o deslocamento dos materiais tradicionais e de suas matérias primas, o que, como vimos, não ocorrerá. Além disso, o peso dos produtos primários na pauta de exportações brasileira é relativamente reduzido além de decrescente. A desvalorização das matérias primas pelos novos materiais certamente repercutirá, muito mais do que aqui, sobre outros países da América Latina que dependem mais fortemente da exportação de minérios, como é o caso do Chile e da Bolívia.

Retomemos aqui a análise dos impactos indiretos dos novos materiais examinando por classe de materiais as principais indústrias consumidoras afetadas.

Na Tabela III são apresentados os setores consumidores potenciais dos diferentes materiais cerâmicos avançados.

A pesquisa e desenvolvimento, assim como o mercado atual e potencial a nível mundial das cerâmicas avançadas estão concentrados nas áreas relacionadas com seus usos estruturais e eletro-eletrônicos.

Atualmente 80% do mercado é dominado pelas cerâmicas ele-

trônicas e magnéticas, mas as previsões indicam que esse percentual deverá cair para 60% ou 40% devido à maior utilização das cerâmicas estruturais, principalmente nas aplicações em motores onde se espera um avanço significativo a partir de 1990.

As cerâmicas estruturais são as que possuem propriedades mecânicas e termo-mecânicas como alta resistência à fratura, abrasão, desgaste e corrosão a temperaturas elevadas. Exemplos desses materiais são os óxidos de alumínio, titânio e zircônio, carbeto de alumínio, silício e titânio e nitretos de alumínio, titânio e silício. Assim, seu maior impacto na indústria brasileira, e de resto mundial, deverá ocorrer nos setores metal-mecânico, fundamentalmente em ferramentas de corte, e no setor automobilístico e aeronáutico para uso em motores e turbinas com uma maior eficiência no consumo de combustível.

No setor eletro-eletrônico as cerâmicas já estão sendo utilizadas em envelopes e substratos para dispositivos microeletrônicos em especial através do desenvolvimento de diferentes tipos de alumina. As aplicações previstas de maior importância são em capacitores (Titanatos de Ba e Sr) e em dispositivos que aproveitem as propriedades magnéticas dos óxidos combinados de Fe (ferritas).

Cabe mencionar que uma maior difusão desses materiais está condicionada por alguns problemas técnicos muito delicados que entravam a produção de peças e componentes em grande escala e que implicam preços elevados. Esses problemas são a fragilidade e a baixa resistência ao choque térmico, característico destes materiais, e a dificuldade de usinagem e conformação assim como de produção de peças e componentes em condições razoáveis de reprodutibilidade e confiabilidade.

Para o caso dos materiais poliméricos os setores consumidores potenciais são apresentados na Tabela IV.

Os três setores industriais com maior potencial de utilização de novos polímeros de engenharia são os setores de transporte eletro-eletrônica, e a indústria química.

Os plásticos de engenharia, os polímeros avançados e os polímeros combinados (compósitos, plásticos reforçados, ligas poliméricas) são requeridos por suas funções mecânicas e térmicas superiores (alta resistência ao desgaste, resistência à degradação térmica, resistência química e estabilidade a agentes oxidantes e químicos) o que per-

mite sua utilização em condições extremas de temperatura e impacto típicas de componentes estruturais de aviões e automóveis e na indústria espacial. Os materiais mais importantes são as poli-sulfonas poliamidas aromáticas, poliimidas, poliamida-imida, policarbonatos e poliésteres.

Os usos mais relevantes na área microeletrônica são para litografia e "packaging" em dispositivos microeletrônicos e circuitos integrados.

Os processos de separação e concentração consomem cerca de 80% de energia utilizada na indústria química. O uso de membranas poliméricas (poliamidas e poliésteres) que aceitem grandes fluxos e conservem estabilidade química e térmica permitiriam uma apreciável redução do consumo de energia nos processos que utilizam grandes volumes.

As membranas poliméricas podem ser usadas para a produção de reagentes de alta pureza para a indústria microeletrônica (ultra-filtração), filtração e concentração de sucos na indústria alimentar, dessalinização de água do mar (por osmose reversa) e em operações de recuperação secundária de petróleo (separação de gases). Além desses usos mais específicos, os materiais poliméricos, especialmente os de uso extensivo, tendem a se diversificar e a se difundir por diversos tipos de bens de consumo.

Para o caso dos metais, como já foi mencionado, ocorre atualmente uma grande revalorização destes materiais que tem aplicações importantes em quase todos os setores industriais como se mostra na Tabela V.

Novas ligas metálicas, obtidas fundamentalmente através de inovações em processos a partir de ligas já existentes, permitem uma melhor adequação das características para usos específicos, melhor controle de qualidade e reprodutibilidade e redução de custos através do melhoramento dos processos. Como exemplo, podemos citar as ligas especiais de Titânio, Níquel e superligas e os aços microligados em especial com nióbio, com aplicações importantes nas indústrias automobilística, bélica, aeroespacial siderúrgica, elétrica e petrolífera.

Para a indústria eletroeletrônica se destacam os materiais metálicos de grau eletrônico (semicondutores e ligas super puras) principalmente para dispositivos microeletrônicos. Vêm ganhando importância no Brasil as pesquisas em materiais semicondutores como Si

grau eletrônico e As-Ga, assim como as ligas amorfas e as ligas de terras raras.

Sugestões para uma política para os novos materiais

1. Considerando-se que os laços entre produtores e consumidores de materiais tendem a se estreitar, inclusive com uma maior subordinação dos primeiros aos segundos, sugere-se que a definição de quais novos materiais devam ser desenvolvidos e produzidos no país esteja vinculada à decisão sobre quais são os setores consumidores prioritários.

A produção de materiais para microeletrônica, por exemplo, deve ser vista como parte do desenvolvimento de um setor considerado prioritário cuja base deva ser alargada e integrada internamente. Antes de mais nada uma política para os novos materiais pressupõe sua articulação com a política industrial global.

2. Definidos os setores prioritários sugere-se elaborar programas de P&D específicos em novos materiais para eles. A responsabilidade principal em sua execução deve ser atribuída às entidades (universidades, instituições de pesquisa e empresas) que já tenham demonstrado, inequivocamente, alto potencial e competência na área. A seletividade não se restringe à definição do que fazer mas também à de quem fazê-lo. Os chamados "grupos emergentes" devem ser objeto de programas suplementares de apoio para que, em prazos determinados, adquiram os requisitos necessários para participarem junto aos demais.

3. É importante concen-
tenar o desenvolvimento de outras áreas de tecnologia de ponta que são suporte para o desenvolvimento de materiais. Os insumos, equipamentos, instrumentos, etc., normalmente importados, mas que poderiam vir a ser produzidos no país, devem ser contemplados pela política para os novos materiais.

4. Devem ser facilitadas as importações de insumos, equipamentos, instrumentos, etc., que não se enquadrem na situação do item anterior Retardar ou encarecer demasiado a produção de um determinado material devido a dificuldades, por exemplo, de importações de equipamentos, pode acabar custando a importação do próprio material.

5. Sugere-se também a implantação de um "Sistema Nacional de Caracterização, Análise e Certificação de Qualidade de Materiais", de espectro

amplo, partindo, eventualmente, de instituições já existentes. Além de executar funções comuns e, ao mesmo tempo, vitais para todas as áreas de pesquisa em materiais, um sistema deste tipo poderia racionalizar os investimentos a serem realizados, concentrando, segundo a proficiência dos institutos envolvidos, os equipamentos mais caros e que não tem sentido duplicar. A certificação de qualidade garantida por um sistema nacional pode contribuir também para melhorar as condições de especificação e normatização, e assim resolver alguns problemas dos produtores nacionais de materiais, relacionados com a multiplicidade de normas estrangeiras que devem atender.

6. Deve ser estimulado o investimento das empresas em pesquisas. Um instrumento interessante para este fim poderia ser a implantação de "Laboratórios Associados" mantidos por empresas em algumas universidades do país, a exemplo do que já vem sendo feito em termos de pesquisa e formação de recursos humanos pela Telebrás e Petrobrás na UNICAMP.

7. Finalmente, sugere-se ampliar a formação de recursos humanos para a pesquisa em materiais através dos cursos de pós-graduação em ciência e engenharia dos materiais, bem como nas áreas de especialização em materiais das escolas de física, química, engenharia, etc. Complementarmente, se deve contemplar programas de formação de pessoal no exterior e em institutos de pesquisa locais em segmentos prioritários. Como última etapa, ampliar a formação de engenheiros de materiais (cursos de graduação).

REFERÊNCIAS

- Bever, M. B. & Nasar, S. (1982): *Materials, Technological Change and Productivity Materials and Society*, vol. 6, Nº 4, 1982.
- Cohendet et alii (1987): *Les Matériaux Nouveaux, Economica*, 1987.
- Industrial Bank of Japan (1986): *Light and Shadow: The Two Aspects of the New Materials Business*, IBI, 1986.
- Jetro, (1983): *The Development of Structural Fine Ceramics in Japan*, Jetro; *The Japan Industrial & Technology Bulletin*. Special Issue Nº 15, 1983.
- Queiroz, S. & Mitlag, H. (1985): *Tendências em novos materiais*. Textos para Discussão, num. 3, Núcleo de Política Científica e Tecnológica - UNICAMP, out 1985.
- NPCT/UNICAMP (1987): *Novos Materiais: Subsídios para uma Estratégia de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Relatório ao Ministério de Ciência e Tecnologia, Núcleo de Política Científica e Tecnológica* - UNICAMP, 1987.
- Sen, J. P. (1986): *How to Enter the Advanced Ceramic Business*, *Ceramics Industry*, abril.