

NOVOS MATERIAIS

(*Sérgio Queiroz e Hebe Mitlag*)

DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS GERAIS

O destaque que os governos dos países desenvolvidos 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 defrontam com uma multiplicidade crescente de materiais e assumem um papel mais importante

na definição do que deve ser produzido. Se anteriormente os consumidores de materiais se encontravam numa posição de relativa fragilidade frente a produtores de materiais estandardizados 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.

A noção de que a emergência de novos materiais 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 de os materiais serem bens intermediários, o 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, 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, com o conseqüente 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 do 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*.

Num 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 quantidades muito menores, freqüentemente sob encomenda, são, por 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 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 do 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 o termo *novos materiais* já se difundiu bastante, não vamos nos recusar a empregá-lo, com a ressalva de que assumirá 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. A elevada intensidade tecnológica 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. Num trabalho realizado para o projeto FAST da CEE (Cohendet *et al.*, 1987), os 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, os 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. 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 desenvolvimento 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*.

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

Quanto à classificação dos materiais, a mais usual os divide nas seguintes classes relacionadas 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.

IMPACTOS DOS NOVOS MATERIAIS NA ESTRUTURA PRODUTIVA

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, enquanto que 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 comercialmente supercondutores a altas temperaturas, ocorrerá o barateamento e conseqüente expansão do mercado de muitos novos produtos, principalmente nos setores eletroeletrônico e de transporte.

Entretanto, o exemplo dos supercondutores não pode ser generalizado, pois, na maior parte das vezes, o avanço tecnológico dos ma-

teriais não se dá independentemente das indústrias consumidoras. Estas, como já foi mencionado, tendem a subordinar mais e mais as indústrias produtoras de materiais que, conseqüentemente, estariam mais na posição de sofrer do 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, freqüentemente, 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). Comparem-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 um quarto da produção total.

No Brasil, os impactos diretos tendem igualmente a ser pequenos. Apesar de o país já começar a produzir alguns novos materiais (por exemplo, fibras óticas, cerâmicas avançadas, ligas especiais), sua demanda deve permanecer proporcionalmente mais baixa do 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 materiais cerâmicos avançados para controle de emissão 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 participação maior 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 comum 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.

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. E 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.

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

A pesquisa, o desenvolvimento e o mercado atual e potencial em nível mundial das cerâmicas avançadas estão concentrados nas áreas relacionadas com seus usos estruturais e eletroeletrônicos.

Atualmente, 80% do mercado são dominados pelas cerâmicas eletrônicas e magnéticas, mas as previsões indicam que esse percentual deverá cair para 60% ou 40%, devido a 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 termomecânicas como alta resistência a fratura, abrasão, desgaste e corrosão sob 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 metalmeccânico, fundamentalmente em ferramentas de corte, e no setor automobilístico e aeroespacial para uso em motores e turbinas com uma maior eficiência no consumo de combustível.

No setor eletroeletrônico, 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).

Uma difusão maior desses materiais está condicionada por alguns problemas técnicos muito delicados que entravam na 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, características destes materiais, e a dificuldade de usinagem e conformação, assim como de produção de peças e componentes em condições razoáveis de reprodutibilidade e confiabilidade.

Os plásticos de engenharia, os polímeros avançados e os polímeros combinados são requeridos por suas funções mecânicas e térmicas superiores, o que permite sua utilização em condições extremas de temperatura e impacto, típicas de componentes estruturais de aviões e automóveis e na indústria espacial.

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 que aceitem grandes fluxos e conservem estabilidade química e térmica permitiriam uma apreciável redução do consumo de energia nos processos que utilizam grandes volumes.

Para o caso dos metais como já foi mencionado, ocorre atualmente uma grande revalorização destes materiais, que têm aplicações importantes em quase todos os setores industriais.

Novas ligas metálicas, obtidas fundamentalmente através de inovações em processos a partir de ligas já existentes, permitem uma adequação melhor das características para usos específicos, melhor controle de qualidade e reprodutibilidade, e redução de custos através do melhoramento dos processos.

Para a indústria eletroeletrônica se destacam os materiais metálicos de grau eletrônico, principalmente para dispositivos microeletrônicos.