

**MINERAIS E MATERIAIS
AVANÇADOS:
CRISE RECENTE E PERSPECTIVAS**

*Heloísa Vasconcellos de Medina
Luis Alberto Almeida Reis*

SED 26

MCT

CNPq

CETEM

CE
Ex. 1

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Fernando Henrique Cardoso
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: José Israel Vargas

PRESIDENTE DO CNPq: José Galizia Tundisi
DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO: Marisa Cassin
DIRETOR DE PROGRAMAS: Eduardo Moreira da Costa
DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA: José Ubyrajara Alves

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)

Presidente: Roberto C. Villas Bôas

Vice-presidente: Juliano Peres Barbosa

Membros Internos: Luiz Gonzaga dos S. Sobral; Ronaldo Luiz Corrêa dos Santos e Fernando Freitas Lins (suplente)

Membros Externos: Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Octávio Elísio Alves de Brito; Saul Barisnik Suslick e Luiz Alberto C. Teixeira (suplente)

DIRETOR: Roberto C. Villas Bôas

DIRETOR ADJUNTO: Juliano Peres Barbosa

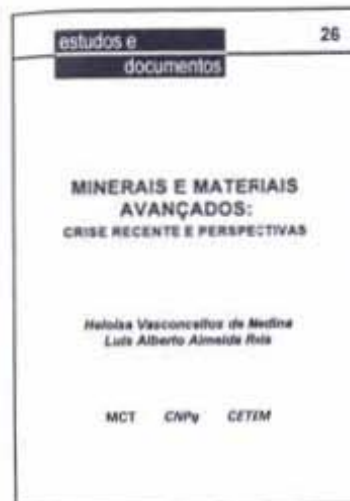
DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM): Adão Benvindo da Luz

DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME): Ronaldo Luiz C. dos Santos

DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI): Luiz Gonzaga dos S. Sobral

DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES): Carlos Cesar Peiter

DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD): Antônio Gonçalves Dias



ISSN - 0103-6319

Heloisa Vasconcellos de Medina

Economista do CNPq desde 1980 e Tecnologista do CETEM desde 1991. Mestranda em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Área de especialização: Inovação Tecnológica e Organização Industrial. Atuação profissional em Política, Planejamento e Orçamento de C&T, Indicadores Industriais e de C&T, Prospectiva e Avaliação Tecnológica.

Luis Alberto Almeida Reis

Economista e Pesquisador do CNPq desde 1987. MSc em Planejamento Energético pela COPPE/UFRJ. Atuação profissional nos campos de Política Científica e Tecnológica, Planejamento e Análise Econômica.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia



CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

1995

CT-00006398-8

SEJ 206
CC
EX-2
Tombo: 006227

CETEM SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS
BIBLIOTECA CONSELHO EDITORIAL

Editor

Ronaldo Luiz C. dos Santos

Conselheiros Internos

Maria Laura T. M.G. C. Barreto, Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, Francisco E. de Viles Lepido Loureiro e Francisco R. C. Fernandes.

Conselheiros Externos

Luis Henrique Sanchez (USP), J. R. Andrade Ramos (UFRJ), Eduardo C. Damasceno (USP), Saul Barisnik Suslick (UNICAMP), Abraham Benzaquem Sicsu (Fundação Joaquim Nabuco), Helena Maria Lastres (IBICT), Hildebrando Hermann (UNICAMP) e Rupen Adamian (COPPE/UFRJ)

Reg. N.º 231 Data 28/11/95

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

1 - D - 6556

COORDENADORA DE VOLTAR VOLTAR Nº
Dayse Lúcia M. Lima COORDENAÇÃO EDITORIAL E REVISÃO

EDITORA 28/11/95 Vera Lúcia Ribeiro EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

REG. Nº Jacirto Frangella ILUSTRAÇÃO

BMB

Medina, Heloisa Vasconcellos de

Minerais e materiais avançados: crise recente e perspectivas/
Heloisa Vasconcellos de Medina; Luis Alberto Almeida Reis. -
Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995.

62p.: il. - (Série Estudos e Documentos, 26)

1. Minerais. 2. Novos Materiais. I. Reis, Luis Alberto Almeida.
II. Centro de Tecnologia Mineral. III. Título. IV. Série.

ISBN 85-7227-064-7

ISSN 0103-6319

CDD 620.112

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho, de autoria de Heloisa Medina e Luiz Alberto Reis, pesquisadores do CETEM, ora trazido à discussão do leitor interessado, é fruto de um exercício realizado no bojo de um projeto maior, sobre os desafios colocados pelo desenvolvimento sustentável à indústria minero-metalúrgica nacional, e que nos oferece um panorama abrangente da atual "indústria de materiais" frente ao novo paradigma industrial e econômico.

Outros números desta Série tratam dos vários ângulos da questão e deverão ser úteis ao leitor que ora se deita sobre este tema, bem como é indicada a publicação conjunta CETEM/IDRC, "Sustainable Development and the New Materials: The Brazilian Case", ora no prelo.

Rio de Janeiro, Agosto de 1995.

Roberto C. Villas Bôas
Diretor do CETEM

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. DA CRISE ECONÔMICA RECENTE AO PROCESSO DE SUBSTITUIÇÃO DOS MATERIAIS	5
2.1 Estratégias de Crescimento, Novas Tecnologias e Materiais Avançados	9
2.2 O Processo de Substituição dos Materiais.....	16
2.3 Ciclo de Vida dos Materiais.....	21
2.4 Desmaterialização	23
2.5 Transmaterialização	23
3. O MERCADO DE <i>COMMODITIES</i> E OS MATERIAIS AVANÇADOS	29
3.1 Relação entre <i>Commodities</i> e Materiais Avançados.....	30
3.2 Perspectivas de Mercado para os Materiais Avançados.....	33
3.3 Mecanismos de Mercado	47
4. ESTRUTURA INDUSTRIAL, MATERIAIS AVANÇADOS E O NOVO PARADIGMA.....	52
4.1 Perspectivas para o Brasil	57
BIBLIOGRAFIA.....	60

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado na primeira fase do projeto "Materiais Avançados e Desenvolvimento Sustentável no Brasil", desenvolvido pelo CETEM, com o apoio financeiro do IDRC/Canadá e do CNPq. Nessa fase da pesquisa (1991/1992), a questão dos materiais avançados foi abordada sob as óticas econômica, tecnológica, ambiental, sócio-política e jurídica.

Assim, o presente texto contém idéias centrais sobre a crise econômica recente e as novas estratégias para o desenvolvimento econômico adotadas em nível mundial para os anos 90. Discutem-se neste contexto: o setor minero - metalúrgico e os novos materiais, o papel das novas tecnologias, o processo de substituição dos materiais e as mudanças na estrutura industrial dentro de um novo paradigma tecnológico-produtivo emergente.

Aspectos relativos ao mercado, tais como fluxos comerciais, mecanismos de globalização e novos fatores de competitividade são destacados com o intuito de fornecer um panorama das perspectivas econômicas no campo dos materiais avançados. Em conclusão, apresentam-se algumas oportunidades para o Brasil nesse campo, do ponto de vista técnico e econômico, apontando possíveis "nichos".

Sendo a visão de Paradigma centro focal e analítico do presente estudo, vale esclarecer os conceitos e definições utilizados. Entende-se por paradigma o conjunto de princípios norteadores da organização técnica, econômica e social da produção de bens e serviços para a sociedade. Considera-se paradigma dominante o que prevalece, em determinado período, nos países considerados líderes mundiais. Nesse sentido coexistem diversos paradigmas, como por exemplo, o Fordista/Taylorista, o da Produção Flexível (modelo japonês), o

da Produção Automatizada-Flexível etc. Há também períodos de transição nos quais se acumulam mudanças nos modelos de produção e surgem novos princípios que conduzem a lógica dessas mudanças. Nesses momentos assiste-se à emergência de um novo paradigma que passará da convivência ao domínio, medida que os países que nele se inserem assumam a liderança no *ranking* mundial.

Acredita-se que esse final de século é um desses momentos e é sob tal visão que esta leitura dos aspectos econômicos dos materiais avançados se insere. O novo paradigma tem sua vertente tecnológica representada pelas novas tecnologias, entre elas os materiais avançados e seus princípios baseados nos novos conceitos de competitividade, produtividade e qualidade, que quebram, radicalmente, com o paradigma Fordista. Essa mudança é a marca registrada dos anos 90, e a discussão central situa-se na importância das tendências desse novo paradigma na configuração dos cenários mundiais para o próximo século.

2. DA CRISE ECONÔMICA RECENTE AO PROCESSO DE SUBSTITUIÇÃO DOS MATERIAIS

A economia mundial, do fim da II Guerra até a primeira metade dos anos 70, apresentou taxas de crescimento excepcionais. O padrão industrial dominante, produção em massa Fordista, possibilitou uma contínua elevação da produtividade do trabalho que, somada ao petróleo barato e abundante, criou as condições adequadas à expansão e dinamismo dos setores automobilístico, mecânico e químico.

A partir de 1973, de uma forma geral, o período foi marcado por uma profunda crise econômica, especialmente nos países centrais, com suas taxas de crescimento da produção reduzindo-se, gradativamente, gerando desemprego, queda no consumo e no nível de investimentos e redirecionamento de parte desses investimentos para países do Terceiro Mundo (como a produção de materiais industriais fortemente poluidora e/ou consumidora de energia - caso do setor minero-metalúrgico). Como consequência dessa crise de acumulação nos países centrais (esgotamento do padrão produtivo Fordista) uma crise financeira também se apresentou, especialmente nos EUA, provocada por déficits comerciais crescentes, deste com outros países industrializados, criando grandes estoques especulativos de eurodólares que se somaram à massa de petrodólares disponíveis no mercado internacional.

A liquidez internacional representada pelos petrodólares foi o outro lado da crise que desencadeou um processo de reestruturação profunda da indústria em nível mundial. Os choques do petróleo, iniciados em 1973, concentraram os recursos financeiros nas mãos dos países produtores e das grandes empresas do setor (as "7 Irmãs"), alterando, significativamente, o equilíbrio de forças, não só econômicas como geopolíticas. Decorre daí o reajuste recessivo a que

foram submetidas as economias industrializadas e o redirecionamento dos financiamentos internacionais.

Tornaram-se vantagens comparativas de peso as reduções dos custos de energia. Nesse contexto, a indústria brasileira conheceu fase de grande expansão, conquistando uma posição de destaque mundial como exportadora de produtos minerais e metalúrgicos, aproveitando-se da grande disponibilidade de recursos naturais e da energia elétrica relativamente abundante e barata.

No início dos anos 80, contudo, essa competitividade tradicional viu-se ameaçada pela saída estratégica encontrada pelos países do Primeiro Mundo de substituir suas indústrias intensivas em energia e minerais por processos mais poupadores desses recursos. É neste contexto que se insere o advento da já chamada "Era dos Novos Materiais", cujo avanço se deu em escala e ritmo acelerados, associado aos novos sistemas de gestão tecnológica e de produção flexível das firmas industriais.

O setor mineiro-metalúrgico pode estar no centro dessas mudanças na busca de novos produtos e de processos otimizados de desempenho técnico, ou ser ameaçado por elas se permanecer na defesa de suas vantagens comparativas tradicionais.

Como se vê, essas mudanças vieram dentro de ambiente recessivo que passou a exigir estratégias especiais para manutenção dos espaços de mercado e a reavaliação dos investimentos projetados. Os países centrais, maiores consumidores de matérias-primas minerais, modificaram seus padrões de consumo, primeiro como resultado de uma redução da demanda agregada, e, num segundo momento, de forma a adequar-se a um novo padrão de crescimento pautado em ganhos de produtividade dinamizados por setores pouco intensivos em energia e matérias-primas (serviços, eletrônica, informática, química fina e outros).

Já na década de 80, essa situação começou a se delinear com o fortalecimento do bloco europeu e do Japão, como também pelo estabelecimento de empresas multinacionais no Terceiro Mundo. No plano econômico, aumentaram as tensões entre as estruturas produtoras e consumidoras, resultando em um processo de grandes flutuações de demanda e de preços nos mercados mundiais. Um bom exemplo disso pode ser a retração do mercado mundial de alumínio primário, que, segundo dados do Bureau of Mines, entre 1960 e 1973, teve queda demanda da ordem de 10% a.a. e já entre 1973 e 1984, essa taxa caiu para cerca de 2% a.a.

O novo padrão de consumo e de produção reflete, ainda, uma redução na intensidade de uso das matérias-primas minerais. Esse fato deve ser visto como uma modificação de caráter estrutural, e não conjuntural. As causas dessa tendência encontram-se na própria lógica de funcionamento da economia, conduzida nas bases do novo paradigma que se avizora no rearranjo dos sistemas produtivo e comercial em nível mundial. Os dados do *Federal Reserve Board* sobre as tendências recentes, comparando os índices da produção industrial geral com os da produção de materiais, ilustram bem essa situação: de 1977 a 1988 o índice da produção de manufaturados nos EUA cresceu 46%, enquanto o índice da produção de materiais cresceu só 25%.

A Figura 1 mostra nitidamente o "descolamento" desses índices a partir de 1980, e a ampliação, em toda a década, do afastamento, mesmo que o comportamento dos dois seja semelhante como tendência.



Fonte: Federal Reserve Board USA, 1990.

Figura 1 - Índices da produção industrial: Indústria geral versus materiais

Os reflexos desse processo na indústria mineral e metalúrgica mundial produziram um acirramento da concorrência e a transformação dos fatores responsáveis pelo crescimento e sustentação de posições de liderança das empresas nesses setores. Partindo de um modo de crescimento tipicamente oligopolista, impulsionado por pressões de demanda, a indústria passou a estabelecer novas estratégias, compatíveis com as novas condições definidas pelo mercado.¹ A indústria passou a ter dois tipos básicos de comportamento:

a) aquelas que assumiram uma estratégia de produção de materiais, buscando a diferenciação dos produtos, a integração vertical, novas relações comerciais e técnicas, com a diversificação de suas matérias de base e planos estratégicos

¹Essa questão é bem desenvolvida por GIRAUD, 1990.

para P&D; agindo assim esse segmento atua segundo a lógica da indústria de manufaturas, e

b) aquelas firmas que mantiveram um comportamento tradicional, segundo a lógica dos produtores de *commodities*, buscando, numa posição defensiva, um novo modo de crescimento e de regulação de mercado compatível com as novas características dominantes da economia mundial.

2.1 Estratégias de Crescimento, Novas Tecnologias e Materiais Avançados

Conscientes da necessidade de mudanças de comportamento empresarial-produtivo, as principais empresas mundiais vêm buscando traçar suas estratégias de crescimento econômico para os anos 90. Esse processo passa, então, pela redefinição do atual modelo de desenvolvimento industrial, visando, sobretudo, criar as condições adequadas para o aumento da produtividade e da lucratividade do capital.

Observe-se que os países têm formas específicas de ajustar suas estruturas industriais às novas exigências mundiais e, como consequência, alteram suas posições na correlação de forças internacionais. Por outro lado, no âmbito da produção industrial em termos de micro, de processos produtivos, projeto de produtos e organização das firmas, tem-se o rebatimento de estratégias gerais nas novas formas de gestão da produção dentro da filosofia de flexibilidade total.

É exatamente esse princípio da flexibilidade que permeia todo o novo paradigma tecnológico industrial e o contrapõe, em termos de modelo e formas de organização e comercialização da produção, ao paradigma anterior de princípios Fordistas de produção em massa, ampliação de mercado em termos quantitativos e competição via preços, exigindo rebaixamento constante de custos.

Nessa busca da flexibilidade máxima, o Japão saiu na frente, até por uma questão de necessidade, dado os poucos recursos de infra-estrutura produtiva de que dispunha no início de sua industrialização. A saída nacional para alcançar níveis de competitividade mundiais foi investir em uma indústria altamente flexível e centrada nos recursos humanos e tecnológicos. Isso deu à automação industrial japonesa características de manufaturabilidade até hoje inigualável.

Montou-se assim uma linha de produção conhecida como *enxuta* (*lean production*) que se realiza pelo multiuso de máquinas, ferramentas e equipamentos e pela multiespecialização da mão de obra empregada nesse processo. Uma fábrica *enxuta* ajusta suas máquinas à produção de diferentes produtos em poucas horas, enquanto a fábrica do sistema de produção em massa leva dias para fazê-lo. Em caso de alterar toda a linha de produção por um novo produto, ou modelo, a fábrica tradicional fecha por meses, e a *enxuta* o faz em questão de dias.

Assiste-se, assim, a um processo contínuo de criação e domínio de novos mercados, que tornam-se cativos de novos produtos gerados em sistemas mais eficientes de produção. Esses mercados são também tão exigentes e sofisticados quanto os produtos a eles oferecidos, e entram na lógica da busca constante da novidade, incentivando a P&D industrial.

Os mecanismos de funcionamento desse mercado, em termos globais, estão nas mãos de um seleto grupo de empresas multinacionais, conhecidas pelo chamado *padrão de classe mundial* que elas próprias estabeleceram.

De acordo com uma pesquisa realizada pela Câmara de Comércio Americana para o Brasil e a FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo)², o padrão de classe

² Essa pesquisa envolveu um total de 220 empresas selecionadas para responder a um questionário preparado de acordo com uma enquete

mundial é simplesmente o que os melhores negócios de hoje são capazes de conseguir. Se uma siderúrgica na Alemanha consegue, de maneira regular, atender aos pedidos de consumidores em 4 dias, e ninguém mais consegue superar esse prazo, então, ele se torna o padrão de classe mundial para tempo de entrega de pedido (*lead time*) no setor de fundição de aço.

Segundo essa mesma pesquisa, os padrões de classe mundial estão em constante mudança, dado o ambiente atual de aperfeiçoamento contínuo nas indústrias. Também é perfeitamente possível que uma empresa atinja padrões de classe mundial apenas em algumas áreas de seu negócio, e não em todas. Destacando os principais resultados tabulados pela pesquisa, tem-se que:

- a) menos de 10% das empresas brasileiras estavam operando em níveis de classe mundial para quaisquer que fossem os indicadores de desempenho selecionados;
- b) o *gap* entre o desempenho da manufatura de classe mundial e o observado no Brasil estava se expandindo há mais de uma década;
- c) em média, o Brasil se aproximava dos EUA mas ambos estavam longe dos padrões mundiais;
- d) o Brasil se aproximou ou alcançou os EUA em questões e preocupações administrativas;
- e) quanto a técnicas e métodos de manufatura integrados, o Brasil estava bem longe dos EUA, ou seja, com apenas 3 a 4% das indústrias pesquisadas usando os

semelhante feita nos EUA (a AUTOFAC[®]- A Fábrica Automatizada). O trabalho foi realizado em outubro e novembro de 1989, e as empresas representam todo o tipo de segmento de manufatura dos mais variados portes (de menos de 50 a mais de 2500 empregados).

mais modernos métodos de projetos industriais, tais como Taguchi ou função de qualidade e

- f) o nível da automação industrial no Brasil estava muito baixo, e as técnicas de manufatura integradas por computador: (CIM, CAD/CAM/CAE/CAPP) eram usadas, em média, por 5% das firmas.

Nos dois casos o estudo concluiu que: seja no Brasil ou nos Estados Unidos, o setor de manufatura precisaria passar por uma grande mudança, a maioria das empresas pretendesse competir com sucesso na década de 90.

A pesquisa se encerra relacionando quais são as principais barreiras à manufatura de classe mundial no Brasil, apontadas pelas empresas entrevistadas. Dentre as 7 causas mais recorrentes, a maioria (63%) apontou a falta de fundos para investimentos em tecnologia, quer em P&D ou em treinamento da mão-de-obra ou ainda para importação de tecnologia.

Nesse padrão de classe mundial, o objetivo das indústrias líderes é obter ganhos de produtividade crescentes, otimizando a eficiência das suas operações nos diferentes níveis de produção. Para isso, devem ser eliminadas as atividades que não agregam o máximo de valor possível. Prioridade maior é dada à flexibilidade de todas as operações, de modo a que as flutuações de mercado não comprometam os custos de produção.

Essas empresas são o exemplo de competitividade moderna, conceito que, no novo paradigma, traz embutida a filosofia de aperfeiçoamento contínuo, fundamento da busca constante de novos produtos, novos processos e novos materiais, cada vez mais desenvolvidos e avançados.

Outro estudo, esse bem mais longo e detalhado, realizado pelo MIT/EUA, sobre a indústria automobilística mundial, traz resultados ainda mais surpreendentes e enriquecedores ao

estudo e comparação desses paradigmas. A pesquisa foi realizada nas montadoras de automóveis de todo o mundo num período de 4 anos (de 1986 a 1990). De início foram analisados dois exemplos clássicos, a Toyota para produção enxuta e a GM para produção em massa.

Em todos os indicadores de desempenho técnico considerados, a TOYOTA superou em muito a GM de Framingham. Em 1986, a TOYOTA associou-se à GM e passou a gerenciar uma velha fábrica da GM na Califórnia. Os resultados obtidos, já em 1987, colocavam essa unidade bem mais próxima do desempenho da fábrica japonesa do que de sua original americana. Em 1989 a GM de Framingham fechou definitivamente, e a NUMMI (associada à TOYOTA) continuou melhorando sempre.

Essa experiência e outras de gerenciamento japonês **transplantado** indicam, segundo o relatório da pesquisa, que o sistema de produção enxuta está se difundindo e espraiando seus resultados com igual sucesso, quer quando usado pela própria FORD nos EUA, ou no México, onde conta com assistência gerencial japonesa.

A pesquisa conclui que: o salto de performance dado no início do Fordismo foi superado pela produção enxuta. A FORD reduziu em 9 vezes o trabalho de montagem direta, mas a TOYOTA reduziu não só o trabalho pela metade como também os defeitos a 1/3 e deu um profundo golpe nos estoques e espaço da fábrica, ou seja, poupa mão-de-obra e capital em comparação com a produção em massa. Entretanto, o estudo desmistifica a exclusividade do desempenho japonês associado à produção enxuta. O mérito, na opinião do MIT, está com o modelo de produção, e não com o país onde ele é aplicado. Conclui, portanto, que o modelo é perfeitamente "transplantável", baseado em dados como o seguinte: a Ford do México, que usando o sistema enxuto (superou em qualidade) as demais grandes montadoras, inclusive as japonesas no Japão.

E ainda há mais: mesmo não autorizado pela empresa a revelar sua identidade, o relatório cita seus resultados da seguinte forma: a melhor fábrica de um país em desenvolvimento também surpreendeu na eficiência, sobretudo dado seu modesto nível de automação.

Quanto à qualidade, o estudo observou que, na produção em massa e na indústria artesanal, qualidade e produtividade se alternam e nunca aparecem juntas nessas fábricas. Na produção em massa, qualidade, quando existe, custa caro e na produção enxuta, ela é uma decorrência do processo.

No entanto, ressalta a pesquisa, determinar quem ocupa qual posição no *ranking* mundial não esclarece o que os que ficaram para trás precisam fazer para se recuperarem. O segredo estará na automação, na "manufaturabilidade", ou em como a variedade e complexidade pode não afetar negativamente a produtividade?

Em verdade, as novas tecnologias formam a base técnica desse novo modelo, criando o potencial de promoção do aumento da produtividade da economia, via novos fatores de competitividade global. Essas tecnologias passam a modificar tanto a base técnica instalada, como também as formas de organização da produção, ou seja, todo o paradigma tecnológico vigente.

Nesse grupo das tecnologias emergentes, destacam-se a informática e a microeletrônica, que já detêm um papel de destaque na promoção do crescimento econômico mundial. A esses vêm se somar, principalmente nas últimas duas décadas, os chamados novos materiais, fruto dos avarços da ciência dos materiais com enormes impactos na economia, pelos efeitos em cadeia característicos de produtos intermediários que representam.

Segundo Clark and Flemings³, cada pessoa empregada na indústria de materiais primários gera pelo menos 3 empregos em outros setores. Considerando esse potencial multiplicador, os autores veem o desenvolvimento dos novos materiais como um fator crítico para a solução de problemas econômicos fundamentais, tais como: poupar recursos minerais escassos, para materiais estratégicos da indústria americana e manter o crescimento econômico, por meio do aumento da produtividade e geração de capital e da competitividade no mercado global.

Além disso, os materiais avançados representam, algumas vezes, alternativas aos efeitos danosos causados pelas atividades minero-metalúrgicas ao meio ambiente. Na indústria, ou melhor dizendo, os processos produtivos propriamente ditos, esses materiais têm efeito profundo sobre o projeto do produto e sua *performance*, sobre os custos de produção, uso e descarte final, sobre a produção e o consumo dos materiais tradicionais e ainda sobre as habilidades e conhecimentos requeridos dos trabalhadores. Ou seja, alteram até o perfil do emprego dos setores industriais envolvidos, (produtores e utilizadores de novos materiais), em termos de qualificação (treinamento e especialização) da mão-de-obra.

Pode-se assim dizer que a entrada dos novos materiais afeta toda a estrutura das indústrias estabelecidas, na medida em que tem impacto sobre todos os fatores da produção. Dessa forma, esses materiais vão exigir um esforço adicional de organização da produção (desde o projeto até o chão da fábrica) e vão tornar as unidades produtivas cada vez mais flexíveis em função dos aprimoramentos tecnológicos constantes decorrentes da P&D em materiais.

³ em "Advanced Materials and The Economy" Scientific American, vol. 255, n.4, Oct/86.

2.2 O Processo de Substituição dos Materiais

O processo de substituição de materiais, que hoje se assiste, está apoiado na combinação da ciência com a engenharia dos materiais, no plano técnico, e em considerações de caráter geopolítico que induzem a estratégias econômicas e políticas de países ou blocos homogêneos de interesses afins.

A intensidade e a frequência das substituições de materiais são determinadas pela própria velocidade e profundidade do desenvolvimento econômico, especialmente tecnológico e industrial, da sociedade. Os principais fatores que provocam a substituição de materiais são:

- a) o custo relativo dos materiais;
- b) o desempenho técnico frente às utilizações;
- c) o custo do processo de produção e de uso dos materiais (perfil da oferta);
- d) a disponibilidade de matérias-primas;
- e) o nível de estabilidade dos mercados reguladores dos materiais;
- f) a capacidade de reciclagem dos materiais; e
- g) gostos e preferências do consumidor (perfil da demanda).

A resultante de todos esses fatores, com seus respectivos pesos relativos a cada caso ou situação específica, passa a determinar a escolha por materiais alternativos. Assim o desempenho técnico do material pode ser o fator preponderante na indústria aeronáutica, e a capacidade de reciclagem o mais importante para a escolha do material na indústria de embalagens de bens não-duráveis, por exemplo.

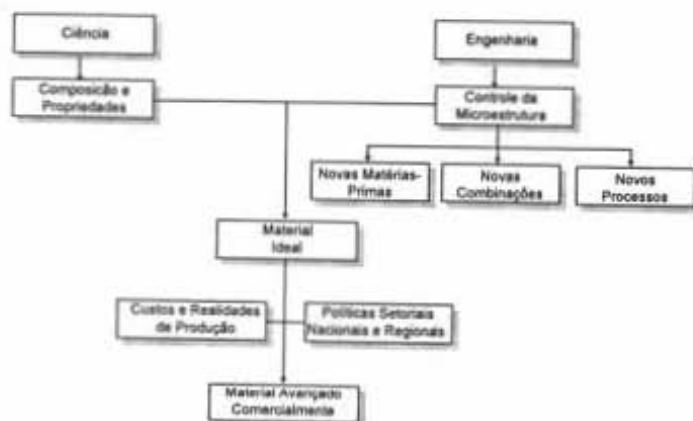
Dentro desse contexto, já foram observados vários casos de processos de substituição de metais largamente utilizados, em mercados quase cativos, como o cobre e o estanho. O primeiro, cujo uso tradicional ocorre nos setores de construção, eletricidade e comunicações, vem sendo substituído pelo plástico, alumínio e fibras óticas, respectivamente. O segundo, cujo uso concentra-se nas indústrias de embalagens (principalmente alimentares) que foi crescentemente substituído, até a década passada, pelo alumínio e pelo plástico, representando uma redução de cerca de 50% do consumo daquele metal. No caso do alumínio a boa reciclabilidade o credita a continuar ganhando espaço, mas por outro lado esse mesmo fator já representa uma limitação à expansão dos plásticos.

Apesar do processo de substituição ser um fato inegável a sua mensuração de forma precisa não é simples. De fato, pode-se dizer que a ocorrência da substituição é difícil, e até impossível, de ser quantificada em termos de resultados. Todo o processo resulta de uma conjunção de fatores técnicos, administrativos e tecnológicos que, associados, representam a busca constante de maior eficiência do sistema produtivo, da qual a evolução dos materiais faz parte. Nesse sentido, muitos exemplos de substituição de materiais são, na verdade, economia de material no processo produtivo. Mas tanto a substituição quanto a economia de material refletem, freqüentemente, uma mudança tecnológica introduzida por produtores ou usuários de matérias-primas que podem ser, basicamente, de três tipos:

- 1) tecnologias mais eficientes em metalurgia podem aumentar a taxa de extração de metais dos minerais e até reduzir custos de extração;
- 2) técnicas de beneficiamento e equipamentos mais automatizados podem resultar em otimização do uso dos metais e redução do desperdício, e

- 3) a reciclagem de escória e a redução da perda de metais no processo levam também a uma diminuição do volume de material primário processado.

Por tudo isso é preciso cuidado com as conclusões e previsões feitas exclusivamente a partir de dados estimados de volume e valor dos materiais produzidos ou consumidos na indústria. Essas estimativas são indicadores de tendência, mas estão bem longe de terem a precisão de medidas das dimensões reais dos efeitos dos materiais nos agregados econômicos. A perda relativa de posição dos materiais tradicionais torna-se evidente apenas de forma localizada, em setores e usos específicos; a agregação desses dados é extremamente complexa, pela diversidade de materiais e setores que envolvem, e, por isso mesmo, constitui-se em exercícios de estimativa de totais, mesmo no presente. No plano técnico, o processo de substituição de materiais se apóia na combinação da ciência com a engenharia dos materiais, que, associadas às estratégias das empresas e às políticas nacionais, lançam novos materiais no mercado, conforme o seguinte esquema:



A Demanda de Minerais

A demanda de bens minerais é, em alguma medida, função da demanda de produtos e bens finais que os utilizam. Trata-se, portanto, de uma demanda derivada na qual os fatores que definem a demanda dos bens finais tornam-se, também, relevantes para a determinação da demanda dos bens minerais, segundo as definições econômicas clássicas.

Desse modo, sendo a demanda de bens finais função da renda, do preço de cada bem e dos seus bens substitutos e complementares, do grau de disponibilidade do bem no mercado e do gosto ou preferência dos consumidores, a conjunção dessas variáveis, num ambiente competitivo, dá a capacidade concorrencial do bem final, que, por sua vez, define, em perfil e quantidade, a demanda de bens minerais.

O nível de atratividade da produção mineral é função indireta das variáveis citadas, por ser um bem intermediário, e função direta de seu próprio preço e do preço dos bens substitutos e complementares a ele, como também de sua adequação aos processos tecnológicos em curso e em desenvolvimento. A demanda de bens minerais está, assim, fortemente ligada ao processo de inovação de produtos e processos.

Dada a pequena participação dos minerais no valor agregado dos bens finais e as dificuldades para substituição, eles têm uma baixa elasticidade-preço, ou seja, variações nos preços dos bens minerais não produzem variações sensíveis em sua demanda global. Por outro lado, possuem uma alta elasticidade, renda, ou seja, os bens minerais são intensamente utilizados na base da estrutura econômica (bens de capital, construção civil, transportes, agricultura, siderurgia etc..) que possuem uma elevada sensibilidade a variações de renda.

Por tudo isso, o processo de inovação tecnológica afeta a demanda de bens minerais com a modificação dos processos produtivos, que passam a exigir novas matérias-primas e

insumos, expandindo o universo de produtos finais produzidos a partir de uma variedade crescente de matérias-primas minerais e não-minerais.

Essa visão da demanda dos bens minerais, como sendo duplamente composta por sua demanda direta mais a demanda derivada, representada pela demanda dos produtos originários de todo um complexo de indústrias de transformação, consumidoras das chamadas *comodities* minerais, é igualmente válida para os novos materiais. Além disso, no caso dos novos materiais, o efeito multiplicador da posição intermediária desses bens é reforçado, na medida em que eles têm sido mais utilizados nos setores de ponta, em termos tecnológicos ou estratégicos, em termos políticos e econômicos, como na informática e microeletrônica, indústria militar ou aeroespacial e ainda na automobilística só para citar as mais importantes. Em conclusão, o que importa hoje não é o valor da produção dos materiais avançados, que ainda é muito pequeno se comparado ao dos tradicionais, mas sua capacidade de crescimento acelerado e de agregação de valor aos produtos finais por seu alto conteúdo tecnológico.

Intensidade de Uso dos Materiais

A intensidade de uso de um material é caracterizada pela relação entre a quantidade consumida desse material e o PIB (ou PIB/*per capita*). Os trabalhos (Malenbaum, Tilton etc...) realizados a partir da década de 70 sobre essa questão definiram algumas hipóteses como sendo responsáveis por alterações na intensidade de uso (IU). Segundo Malenbaum existe uma relação estável e previsível entre a I.U. e a renda *per capita*, considerando, que:

- alterações na I.U. derivam de alterações no conjunto de produtos onde a renda é alocada.

- alterações nesse conjunto de produtos derivam de alterações na renda *per capita*.

Há autores que consideram também que a I.U. incorpora ainda as alterações no conjunto dos materiais utilizados nos produtos, provocadas por uma série de fatores já mencionados no item anterior (1.2.1). Pode-se analisar a intensidade de uso ainda segundo as hipóteses de processos de ciclo de vida dos materiais, da desmaterialização e da transmaterialização.

2.3 Ciclo de Vida dos Materiais

Para autores como Humphreys, os bens minerais apresentam fases de desenvolvimento que caracterizam o estágio em que se encontram frente ao mercado, ou seja, em processo de expansão e valorização, em período de maturidade e liderança, em fase de estabilidade com sinais de esgotamento e em momento de declínio e substituição.

Existem vários tipos de classificação para o ciclo de vida dos materiais, sendo uma das mais usuais a que identifica 4 fases, do chamado ciclo físico ou biológico de vida: juventude ou crescimento, maturidade, saturação ou velhice e declínio.

Vale destacar que essa classificação não pode ser generalizada de forma irrestrita, e, sim, deve ser contextualizada de acordo com as especificidades de cada bem mineral e de cada país ou região. Uma série de fatores econômicos, sociais, políticos, legais, tecnológicos e até ambientais exercem influência direta no desenvolvimento (produção/consumo) dos bens minerais. Dessa forma, não se pode esperar um comportamento homogêneo, em intensidade, e linear, no tempo quanto ao ciclo de vida dos minerais, uma vez que a ocorrência desses fatores e suas influências variam de acordo com o lugar e as formas de organização sócio-políticas e econômicas, aí considerado o grau de hegemonia nacional.

De uma forma genérica, pode-se visualizar os sistemas de produção e consumo de minerais e metais. Esses modelos podem apresentar variações, locais ou setoriais, em termos de processos, ou em grau de complexidade e adequação de economia para economia. **Esses ciclos são estreitamente vinculados aos ciclos econômicos vigentes e seguem suas expressões mundiais, regionais e mesmo sazonais⁴.**

Desse modo, a trajetória da intensidade de uso de cada material dependerá do grau tecnológico e da complexidade da estrutura industrial de cada país ou bloco, e do comércio externo por eles estabelecidos. Todo esse processo vem sendo exaustivamente abordado na literatura especializada com riqueza de conceituações técnicas pertinentes, destacando-se, dentre elas, a **desmaterialização** e a **transmaterialização**.

Só para se ter uma idéia dos aspectos econômicos, tecnológicos e ambientais envolvidos nesse processo vale observar o esquema a seguir, adaptado do trabalho de Villas Bôas (op. cit.1992):

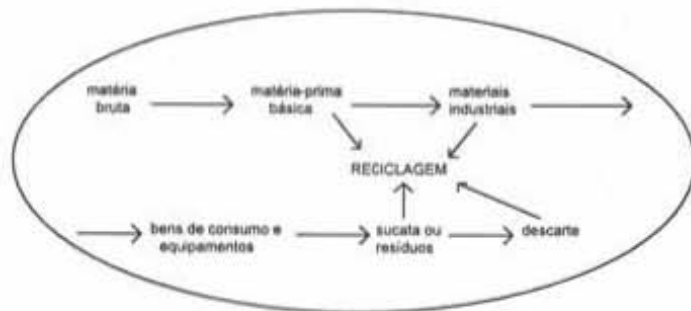


Figura 2 - Ciclo Produtivo dos Materiais

⁴ Villas Bôas, R.C. "Minérios Estratégicos: Perspectivas" CETEM/CNPq, 1992.

2.4 Desmaterialização

O processo de desmaterialização caracteriza-se pelo declínio constante no uso dos materiais em relação à produção total em termos percentuais. Esse processo resulta de mudanças estruturais na economia, indicando uma redução da demanda de materiais e uma diminuição no crescimento global. A alteração na participação percentual de um determinado material na produção total reflete uma modificação na intensidade de uso (IU) desse material, expressa como quantidade do material por unidade do PIB (ou PIB *per capita*).

A esse respeito, a evolução dos índices da produção industrial dos EUA, já citada neste trabalho (Figura 1), cresceu 46% entre 1977 e 1988, enquanto a produção de materiais apresentou um crescimento de 25% no mesmo período, é um indicador sensível.

2.5 Transmaterialização

O processo de transmaterialização implica uma transformação do padrão de consumo da sociedade, especialmente daqueles segmentos que participam com maiores parcelas na demanda agregada. Isto não é novo, e vem ocorrendo ao longo da história de forma cíclica, caracterizando-se por fases onde "velhos" materiais são substituídos por "novos" com maior qualidade, melhor desempenho técnico e maiores condições de competitividade econômica. Vale a pena lembrar mais uma vez a relatividade da ocorrência desses ciclos na história da humanidade, visto que variam em complexidade e adequação de economia para economia, como coloca R.Villas Bôas (op. cit).

Ainda segundo o mesmo autor, a dinâmica do processo é dada pelos países industrializados ou avançados, que determinam a maior ou menor utilização de um determinado bem, forçando o mercado a adequar-se à nova realidade.

Diante disso, os novos materiais formam a base de matérias-primas dos setores mais dinâmicos da economia e que tendem a determinar o modo e ritmo do crescimento global.

O conceito de transmaterialização define intervalos regulares, nos quais os materiais são substituídos por outros que apresentam uma maior adequação técnica e econômica à estrutura produtiva vigente na economia. Esses materiais, que formam a base das indústrias dinâmicas, passam a apresentar uma taxa de intensidade de uso (IU) crescente até alcançar seu "pico" de IU na fase de maturidade. A teoria da transmaterialização registra em termos técnicos, o resultado de um ciclo tecnológico de produção e consumo de materiais. Esta teoria tem por base os trabalhos de Schumpeter sobre ciclos econômicos e inovação tecnológica. No contexto da teoria da inovação, por sua vez, aborda a teoria do ciclo de vida do produto, também conhecida como "Curva S", que sugere a existência de 3 fases de vida para o produto: Introdução, Expansão e Maturação.

Já desenvolvimentos posteriores da teoria da transmaterialização têm sugerido a existência de 5 fases no ciclo de vida dos materiais de base mineral em relação a sua demanda:

- **introdução:** período de demanda não comprovada, de tecnologia ainda não integralmente aprovada e vendas baixas. Hoje tem-se como exemplo as cerâmicas avançadas, como carbetos de silício e nitrato de silício.
- **crescimento:** período de demanda em aceleração, crescimento do mercado (consumo aumenta mais que o PIB) e altas taxas de lucratividade da indústria. Nessa fase se inicia a substituição de bens minerais de forma significativa para a indústria. Hoje são exemplos dessa fase o nióbio, vanádio, molibdênio, gálio germânio e os metais do grupo da platina.

- **maturidade:** período em que a demanda do material fica próxima da demanda do produto, e o material tem uma estrutura industrial bem estabelecida, dificultando a entrada de novos participantes. O exemplo atual é o alumínio.
- **saturação:** período de estabilidade de consumo, mas com taxas de crescimento menores que as do produto, podendo ser inclusive negativas. Os bens minerais, nessa fase, começam a sofrer o processo de substituição, seja por razões técnicas ou por razões de custo. A lucratividade das indústrias de materiais "velhos" fica menor que a média do setor. Os exemplos de minerais "velhos" são o ferro, cobre e chumbo.
- **declínio:** período de redução da demanda e substituição de materiais por "novos" e mais eficientes tecnológica e economicamente. Nesse estágio final o processo de substituição é intenso. Os casos típicos de hoje são: estanho, cádmio e asbestos.

Segundo essa teoria, os chamados materiais avançados situam-se no momento inicial entre as fases de introdução e crescimento, não tendo ainda alcançado o "pico" de intensidade de uso e encontrando-se em ambiente de extrema atratividade pelas possibilidades de expansão de lucratividade que apresentam. Pode-se dizer que estão no eixo da busca de competitividade ao nível global.

Em termos amplos, os novos materiais têm sido introduzidos na produção econômica mundial nas últimas 3 décadas, com maior ou menor intensidade, de acordo com a maturidade industrial de cada país. Eles são, sem dúvida, um sinal da complexidade industrial, do desenvolvimento tecnológico e do grau de autonomia geopolítica que os países líderes e os líderes emergentes alcançaram até hoje. Alguns desses materiais criaram sua própria demanda: novos produtos e novos mercados em função de usos inéditos, representando soluções

para necessidades técnicas até então não atendidas. Outros substituíram apenas os materiais tradicionais com alguma vantagem relativa e certa mudança no processo de produção.

Outra maneira de observar essa substituição é registrar sua ocorrência segundo sua intensidade ou impacto no produto final. Nesse sentido ela pode ser de dois tipos:

- a) evolucionária: quando envolve aperfeiçoamentos graduais em materiais ou produtos, chegando a substitutos com propriedades e características melhores que seus originais. São exemplo os aços especiais, super ligas etc.
- b) revolucionária: quando envolve uma mudança radical para uma classe de material inteiramente nova, apresentando melhor desempenho ou, então, um novo conceito de sua função ou do produto. Como exemplo os supercondutores cerâmicos.

No primeiro caso, o processo de substituição pode ser visto e avaliado segundo as fases de vida dos materiais. Tomando-se como ponto de partida a introdução, assiste-se hoje à fase de intenso crescimento dos novos materiais, que deixarão de sê-lo quando atingirem a maturidade, passando então para a fase descendente do seu ciclo.

No segundo caso, toda essa lógica do ciclo de vida é subvertida pelo processo revolucionário que pode ocorrer em qualquer dos estágios do ciclo global de vida dos materiais. Assim, todas as previsões de comportamento da demanda ou evolução do consumo aparente podem falhar, e o desenvolvimento tecnológico conduz o processo, imprime-lhe o ritmo, atendendo aos desafios das inovações.

Consumo de Materiais

Os principais fatores que afetam o consumo de materiais estão ligados tanto ao seu ciclo de vida, físico e produtivo, como a elementos que contribuem para o processo de substituição. Nesse sentido, as alterações no perfil da demanda dos materiais devem ser vistas como função relativa à distância do **ponto de saturação**, ou seja, o envelhecimento do material em termos industriais e tecnológicos, o que, por sua vez, será função do grau de maturidade técnica e de complexidade industrial de cada sociedade. Esta, com defasagens diversas, de anos ou décadas, atinge todo o processo industrial em termos globais.

Essa inevitabilidade de inserção, mais cedo ou mais tarde, no processo mundial de avanço técnico-científico é o que coloca o desafio dos novos materiais como um imperativo em termos estratégicos, mesmo para países em desenvolvimento ou em processo de industrialização tardia.

Considerando-se, então, que diferentes graus de desenvolvimento, de maturidade industrial e tecnológica levam a evoluções diversas na vida produtiva dos materiais, tem-se que: materiais já velhos no mundo desenvolvido possam ainda ter perspectivas de crescimento nos países não-desenvolvidos. Desse modo, o Brasil e os países do Terceiro Mundo, em geral, constituem-se ainda em amplo mercado para materiais maduros em setores de infra-estrutura, tais como construção civil e obras públicas, saúde, saneamento, distribuição de energia elétrica e mesmo, em material elétrico e de comunicações, aos quais apenas pequenas parcelas de suas populações têm acesso.

Outra característica particular dos países em desenvolvimento é que neles o custo relativo dos materiais é de grande importância e até mesmo decisivo; portanto, a competitividade dos produtos via preço ainda é forte e não ganha do melhor desempenho, a não ser em produtos especiais para classes ou funções nobres.

A questão ambiental, por sua vez aproxima mais os "dois blocos", ou seja, o discurso ecológico global deixa todos preocupados com a busca de produtos, materiais e processos menos poluentes, e estabelece uma "corrida" para a reciclagem como exemplo de atitude produtiva e "limpa". As implicações dessa postura no setor mineral são bem complexas. Por seu caráter intrinsecamente agressivo ao meio ambiente, a atividade de extração mineral dificilmente conseguirá obter um "selo verde", ou seja, a aprovação ampla desse movimento de preservação mundial. Mas, por outro lado, a reciclabilidade dos seus materiais pode ser uma saída honrosa.

Em resumo, a rede de fatores que afetam a demanda dos materiais industriais é de natureza técnica/produziva, econômica/industrial, científica/tecnológica e ainda assume contornos jurídicos e ambientais, em termos da questão da preservação do planeta e das formas de proteção nacionais expressas nas legislações locais e acordos multilaterais. Destacam-se assim: o desenvolvimento da ciência e engenharia dos materiais, o advento dos novos materiais, a mudança do perfil da demanda, a globalização dos mercados, a internacionalização de processos industriais, a preservação ambiental e a legislação que apóia esse processo.

3. O MERCADO DE *COMMODITIES* E OS MATERIAIS AVANÇADOS

A expressão dos novos materiais em termos de mercado ainda é mais considerada quanto ao seu potencial de expansão do que em relação à posição que de fato ocupam hoje no *ranking* mundial. Em valor ou em volume, essa expressão é muito reduzida em comparação com os materiais tradicionais, mesmo nas economias de Primeiro Mundo. Dados citados pelo Bureau of Mines indicam que nos EUA, em 1985: os materiais avançados representam apenas 3% do volume total de materiais utilizados, e chegaram a 10% em termos de valor devido ao seu alto preço unitário.

Contudo, as projeções até o ano 2000 para os EUA indicam um crescimento anual esperado do consumo médio desses materiais em torno 7% ao ano. (a.a.) Essa taxa média pode ser maior para grupos que têm hoje pouca aplicação comercial, como: 10% a.a. para ligas de lítio-alumínio, 14% a.a. para cerâmicas avançadas, ou ainda, de 25 a 35% a.a. para compósitos de matriz metálica e polímeros avançados.

São as estimativas de tendências de dominância de novos materiais em diversos campos e usos específicos que dão a este mercado potencial grande expressão e perspectivas de competitividade e lucratividade únicas na produção industrial moderna. São também, por esse potencial, considerados precursores de um novo modelo tecnológico e de produção anunciado nesse final de século, e de preponderância mundial no próximo século.

Nessa fase de mudança, a competitividade tem sido buscada caso a caso, passo a passo, por cada país ou cada setor, segundo estratégias que sempre passam pelas novas tecnologias, novos processos de gestão e novos materiais que atendam a um mercado de sofisticação crescente e em inegável

processo de globalização. Preparar-se para esse desafio é questão de sobrevivência.

A partir dessas considerações gerais, os itens seguintes apresentam a relação entre as *commodities* minerais e os materiais avançados (metálicos, cerâmicas, polímeros e compósitos), em seus principais usos, sobre os quais se seguem as previsões de produção e consumo. São analisados também os mecanismos de funcionamento desse mercado: comportamento dos líderes, fatores de competição e estratégias.

3.1 Relação entre *commodities* e Materiais Avançados

Os minerais metálicos associados a usos tecnológicos avançados, em fase de introdução e crescimento pela teoria da **Intensidade de Uso dos Materiais** (gálio, germânio, titânio, háfnio, índio, telúrio, tâlio, selênio e os do grupo da platina, entre outros), não se apresentam na natureza de forma exclusiva em concentrações economicamente exploráveis. Normalmente, esses minerais são obtidos como subprodutos do processamento de outros minerais mais comuns tais como o ferro, bauxita, cobre, zinco, chumbo e outros, conforme mostra o Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Sistemas de produção mineral e principais produtos associados

Sistemas	Subprodutos e/ou produtos associados
Alumínio	gálio e vanádio.
Cobre	arsênio, bismuto, cobalto, germânio, ouro, prata molibdênio, rênio, selênio, telúrio e urânio.
Chumbo	antimônio, arsênio, bismuto, cádmio, estrôncio, germânio, ouro, prata e telúrio.
Ferro	cobalto, manganês, níquel e titânio.
Fosfato	compostos de cálcio, escândio, vanádio e urânio.
Níquel	cobalto e platina.
Pirita	cádmio, gálio, germânio, índio e tâlio.
Urânio	escândio, rádio, tório e vanádio.
Zinco	cádmio, gálio, germânio, índio, manganês, ouro, prata, tâlio e telúrio.

Fonte: Petrick, A., "The Economics of Byproducts Metals" Anais do Congresso do IBRAM de 1990, pg 169.

A exploração desses minerais metálicos de usos avançados está, necessariamente, associada à mineração e ao processamento dos minerais ditos tradicionais ou de base. O aproveitamento daqueles minerais ocorre em função de mercados (indústrias consumidoras) que viabilizam um processamento mais sofisticado, compatíveis com exigências técnicas rigorosas quanto à pureza, resistência e desempenho do material a ser produzido.

A essas condições técnico-econômicas somam-se as de caráter tecnológico, já que esses insumos industriais são, sem dúvida, de alta tecnologia, e dependem, portanto, da existência de uma base científica e de P&D bem desenvolvida e consolidada.

No Brasil, as condições econômicas encontram, do lado da oferta, ampla base de possibilidades de fornecimento de matérias-primas, dada a grande riqueza mineral do País, e, do lado da demanda, uma estrutura industrial, em processo de diversificação, com perspectivas de acompanhar as tendências

mundiais de forma estratégica voltada para o aproveitamento de suas vantagens atuais. Na vertente tecnológica, contudo, há um grande *gap* a ser preenchido, na consolidação dos sistemas nacionais de C&T.

Citando, por exemplo, Soares (1990) "no caso da siderurgia brasileira o seu nível de competitividade situa-se em 1990 próximo ao da Índia e da Indonésia, pelo menos a metade do índice da Malásia e Coréia, cerca de um terço de Hong-Kong e Taiwan, e é quase quatro vezes menor que o de Cingapura, segundo a "The World Competitiveness Report", apesar do índice de produtividade ter crescido quase 80% na década de 80 (de 100 em 1979 para 174 em 1980).⁵ No ambiente da concorrência global e das mudanças constantes das exigências do mercado, a permanente atualização tecnológica é a única rota segura para galgar posições competitivas.

Ainda seguindo a análise de Soares, a atualização tecnológica no Brasil implica um esforço constante de P&D, além de investimentos diretos na produção industrial, mormente nesse setor onde os investimentos em infra-estrutura produtiva são caros, os retornos financeiros demorados e a obsolescência tecnológica é cada vez mais rápida, devido aos avanços da informática e da automação industrial.

Por outro lado, as atividades de P&D, são também de longo prazo, e se não forem iniciadas com a antecedência devida não atenderão, a tempo, às necessidades do setor produtivo. Nesse sentido, a preocupação com os novos materiais, no momento em que eles ainda não têm produção industrial considerável no Brasil, reveste-se de importância estratégica e de oportunidade certa para investimentos em desenvolvimento tecnológico básico e P&D que dêem suporte à transformação de possíveis ameaças em prováveis ganhos de competitividade no futuro.

⁵ Artigo de Rinaldo Campos Soares "Competitividade da Siderurgia Brasileira de Aços Planos num Mercado Aberto", publicado na Revista Metalurgia da ABM, vol 46, agosto/setembro 1990.

Esse enfrentamento técnico e econômico entre materiais novos e os tradicionais mostrou-se, pelo menos nas previsões japonesas, extremamente favorável aos avançados já na década de 80. De acordo com os dados do MITI/Japão, as taxas projetadas de crescimento anual do valor da produção para os novos materiais ficaram sempre acima de 13% a.a., entre 1983 e 1990, enquanto que para os tradicionais as taxas ficaram abaixo de 3%, conforme observa-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Crescimento do uso dos materiais entre 1983-1990

Taxa de Crescimento entre 1983-1990			
Novos Materiais	%	Materiais Tradicionais	%
Cerâmicas finas	19,0	Cerâmicas	3,0
Tecnoplásticos	13,0	Aço	2,0
Metais Novos	18,0	Metais não ferrosos	3,0
Metais amorfos	43,0	Produtos químicos	3,0
Compósitos	29,0	Têxteis e Papel	2,0

Fonte: MITI/Japão

3.2 Perspectivas de Mercado para os Materiais Avançados

As tendências e projeções sobre produção e consumo, no mundo e nos principais países industrializados, serão apresentadas segundo categorias de classificação agregada desses materiais mundialmente aceitas. Destacam-se em cada categoria as funções que desempenham e as propriedades físicas que possuem. Essa agregação se faz necessária devido à abrangência do escopo deste trabalho e em função dos dados e informações disponíveis. Os dados sobre produção e uso dos novos materiais ainda não estão suficientemente desenvolvidos para permitir um detalhamento maior dos mesmos, segundo critérios técnicos homogêneos. A heterogeneidade, sempre que houver divergências, será esclarecida pelas fontes citadas.

Para melhor acompanhamento das categorias, apresentadas de forma esquemática, o Quadro 2 sumariza as principais relações entre os materiais avançados os insumos convencionais e suas funções ou propriedades finais.

Quadro 2 - Materiais Avançados: principais insumos e funções

Insumos Convencionais	Materiais Avançados	Principais Funções
Materiais orgânicos e similares (polímeros tradicionais)	A Polímeros: resistência e condutividade elétrica semelhante aos metais, com mais funções que os tradicionais	Mecânica Térmica Elétrica Ótica Biológica e Química
	B Cerâmicas: de pós finos sintéticos para elevar os níveis funcionais (aumentar a dureza e a resistência)	Mecânica Térmica Elétrica Ótica e Magnética Biológica e Química
Materiais inorgânicos: vidro, cerâmica tradicional (dureza, resistência térmica e à corrosão)	C Novos Metais: são mais flexíveis (como a borracha) e com memória de forma (supercondutores, ligas amorfas)	Mecânica Térmica Elétrica Magnética
Materiais metálicos: ferro, alumínio e não-ferrosos (resistência, maleabilidade e condutibilidade elétrica)	D Compósitos: Funções derivadas da combinação de dois ou mais materiais: cerâmica-metal, polímero-metal etc...	Mecânica Térmica Elétrica
* Utiliza combinações de materiais avançados dos grupos A, B e C.		

A. Polímeros Avançados

São, junto com as cerâmicas, os concorrentes por excelência dos metais, por atenderem às mesmas funções com propriedades semelhantes quanto à condutibilidade e resistência. Por serem originários de materiais orgânicos, substituem a base mineral tradicional dos materiais metálicos. São alternativas para alguns usos industriais, mas não servem a todos os setores.

Mercado Atual e Potencial

O mercado mundial de polímeros avançados foi, em 1988, de US\$3,8 bilhões. Desse total, a indústria aeronáutica deteve 50%. Em segundo lugar vem o setor de produtos para recreação e esportes, com 25%. A concentração não é só setorial, mas também regional, pois os EUA detinham cerca de 50% da demanda mundial total. A Ásia ficava em segundo com 22%. A taxa de crescimento estimada para a demanda desses polímeros é de 10% ao ano. Dessa demanda projetada espera-se uma participação ainda maior das indústrias aeronáutica e aeroespacial (à taxa de 12,5% a.a.). Os EUA também devem crescer acima da média, a uma taxa de 11% a.a..

A Tabela 2 seguinte, mostra outros dados com projeções semelhantes a essas.

Tabela 2 - Consumo de Polímeros Avançados nos EUA e no Mundo

ANOS	VOLUME*		VALOR**	
	EUA	MUNDIAL	EUA	MUNDIAL
1985	510	1.410	2.200	6.000
1990	760	2.020	3.600	9.600
1995	1.050	2.690	5.800	14.850

* volume em 10^3 t

** valores em 10^6 US\$

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".

Já o consumo desses mesmos polímeros dentro da indústria americana apresenta divergência de dados, dependendo da fonte de referência. Geralmente, quando as informações vêm de órgãos oficiais de estatísticas dos EUA, aparecem distribuições mais harmônicas entre setores consumidores desses materiais. Tal fato é devido ao maior conhecimento da situação e melhor detalhamento da classificação setorial. Por

exemplo, nos dados do *Bureau of Mines* o setor aeroespacial e o automotivo estão juntos e totalizando em torno de 25% do mercado, enquanto que o setor eletro-eletrônico fica com a maior fatia, 27%. Desse modo, entendemos que o dado mencionado anteriormente, de 50% do mercado estar com o setor aeronáutico-aeroespacial, deve estar incluindo os produtos eletro-eletrônicos por eles usados.

Tabela 3 - Consumo de Polímeros Avançados na Indústria Americana*

SETORES	1985	1990	1995
Aeroespacial e Automobilístico	115	170	260
Elétrico e Eletrônico	140	185	285
Construção Civil	65	100	95
Aplicações domésticas	35	65	75
Outros	155	240	335
Total	510	760	1.050

* volume em 10^3 t

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".s

Funções e propriedades

Funções mecânicas: alta resistência, elasticidade, absorvente de vibração e ruído, oscilabilidade, protetor superficial e colante.

- Funções Mecânicas: resistência e isolante térmico.
- Funções Elétricas: condutividade, isolante e conversos de energia.
- Funções Óticas: transmissão luminosa, fotoatividade e dupla refração.

- Funções Biológicas: histocompatibilidade, compatibilidade sanguínea.
- Funções Químicas: resistência à corrosão, troca de íons e separação de misturas.

B. Cerâmicas Avançadas

As cerâmicas avançadas concorrem com os metais, deslocando-os de áreas tradicionais de uso industrial, como em material de transportes, eletrônica, ferramentas de corte, aeroespacial e vários ramos ligados à área militar. Portanto, assumem posição estratégica nos setores ditos dinâmicos ou alavancadores em termos econômicos. Também nesse grupo de materiais as estatísticas de produção e consumo são imprecisas, e as estimativas envolvem diversas classificações sem, muitas vezes, explicitar os critérios ou o universo considerados. Contudo, as diferenças, quando existem, não chegam a divergir quanto à tendência ou rumos do movimento de ampliação e conquista de mercados que essas cerâmicas vêm apresentando.

Mercado Atual e Potencial

Uma visão panorâmica das tendências mundiais revela detalhes importantes sobre o mercado de cerâmicas avançadas. Segundo estudos recentes da *Business Communications Co.Inc. (BCC)*, esse mercado deve comportar-se de acordo com as perspectivas de crescimento, que apresentam intensidades distintas nos três tipos principais de tecnologia considerados: 1. Cobertura de alta *performance (high performance coating)*, 2. Compósitos de Matriz Cerâmica e 3. Processo Sol-Gel.

As tecnologias dominantes no segmento de coberturas cerâmicas de alta performance são o *spray thermal* e a

decomposição química a vapor (CVD que em 1988 representava cerca de 90% do usc no mercado de ferramentas de corte).

O principal segmento do mercado de compósitos de matriz cerâmica é o de peças de alta resistência ao desgaste, feitas à base de zircônio, com 39% do total, ficando em segundo as ferramentas de corte.

Por fim, os produtos derivados da tecnologia Sol-Gel (abrasivos de alta *performance*, pós-cerâmicos ultra-puros, fibras óticas, refratários) representavam um mercado ainda reduzido, no início dos anos 90, mas são considerados, de grande potencial futuro, especialmente nos usos em microeletrônica e em telecomunicações.

A Tabela 4 abaixo sintetiza as principais projeções apresentadas nesses estudos.

Tabela 4 - Projeções para o Mercado Mundial de Cerâmicas Avançadas de 1988 a 1993

TECNOLOGIAS	1988	1993	Taxa Anual (%)
	10 ⁶ US\$		
Coberturas de alta <i>performance</i>	310,0	488,0	9,5
Compósitos de matriz cerâmica	77,2	202,5	21,0
Processo Sol-Gel	9,0	428,0*	117,0

* 75% (320 milhões) serão representados por fibras óticas

Fonte: Business Communications Co. Inc. 1990

Essas projeções estão sendo constantemente revistas e reelaboradas por diversas fontes, oficiais ou não, de diferentes países. A Tabela 5, é bastante ilustrativa da ordem de grandeza dessas projeções, em relação aos Estados Unidos.

Tabela 5 - Mercado de Cerâmicas Avançadas nos Estados Unidos*

APLICAÇÃO POR SETORES	CERÂMICA CONTIDA NA PRODUÇÃO			
	1988	1990	1995	2000
Aeroespacial	20	80	200	445
Automobilístico	29	81	310	820
Biocerâmicas	8	15	34	60
Ferramentas	32	92	246	500
Outros	82	165	320	720

* US\$ 10⁶

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".

Considerando-se a variedade e a complexidade dos fatores que atuam, tanto na descoberta de novos materiais quanto no processo de substituição, e ainda a imprevisibilidade que cerca a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, a margem de acerto dessas previsões é consideravelmente reduzida para mais de 5 anos.

Outro problema, já ressaltado, em relação a esse tipo de dados, é a divergência conceitual e metodológica freqüente em relação a diferentes fontes de informação. Tal fato é devido, em grande parte, às diferentes classificações adotadas quanto à definição do que é considerado material novo ou avançado. A tabela 6, a seguir, elaborada pela Organization du Cooperation pur Le Development Economique (OCDE) em recente trabalho publicado sobre materiais avançados, é um exemplo dessa variação quanto às estimativas da produção de cerâmicas avançadas nos Estados Unidos.

Tabela 6 - Produção Mundial de Cerâmicas Avançadas*

Fontes	Região/País	1980	1990	1995	2000
Bowen	Estados Unidos	1.500	5.000	7.000	
	Japão,	1.900	6.500	9.000	
	Países industrializados s/leste	4.100	12.000	17.000	
US Depart. of Commerce	Estados Unidos	601	2.531		5.895
Business Communications	Estados Unidos				18.000

valor da produção em US\$10⁶

Fonte: "Materiaux Avances: Les Politiques face aux défis Technologiques" OCDE, 1990

Funções e Propriedades

- Funções Mecânicas: resistência a altas temperaturas, resistência ao desgaste, capacidade de corte, lubrificação.
- Função Térmica: isolante térmico.
- Funções Elétricas: isolante, piezoelectricidade, semicondutor, condutividade, indutividade, condutividade iônica, radiação eletrônica.
- Função Magnética: magnetismo
- Funções Óticas: transmissão luminosa, indução luminosa, defletores luminosos, fluorescência, fotossensibilidade.
- Função Biológica: histocompatibilidade.
- Funções Químicas: absorvente, catalisador, resistência à corrosão.

C. Metais Avançados

Os metais avançados são utilizados, principalmente, em aplicações de alta tecnologia, onde o parâmetro desempenho técnico se sobrepõe aos demais, como, por exemplo: indústria aeronáutica, militar, microeletrônica e computação. Esses metais, com características específicas, são produzidos visando atender certas propriedades e funções exigidas por diferentes usos. Materiais metálicos constituem o segundo componente em importância para a indústria eletrônica, ao lado dos materiais semicondutores. Por sua vez, a tecnologia microeletrônica impõe severas limitações ao grau de pureza de todos os constituintes dos microcircuitos, tornando necessária a adoção de sofisticadas técnicas de purificação e análise. Obter materiais com esse elevado grau de pureza exige um constante monitoramento dos processos de fabricação através de técnicas de análise sofisticadas. Cumpre ressaltar ainda que as técnicas de purificação e, especialmente, a análise, representam a maior concentração tecnológica dos processos de obtenção dos insumos básicos (metais e semicondutores) do produto final, sendo responsáveis pela maior fração do custo dos dispositivos eletrônicos.⁶

Mercado Atual e Potencial

Os metais avançados podem ser considerados os mais antigos e, em sua maioria, advêm de melhoramentos sucessivos dos materiais metálicos tradicionais na forma de novas ligas, com propriedades reforçadas em relação às anteriores. Mas mesmo nesse segmento, pode-se observar o surgimento recente de desenvolvimentos tecnológicos de complexidade crescente, que levam os metais a assumir novas funções no cenário industrial. São, portanto, mais inovadores que seus predecessores. Nessa categoria encontram-se as

⁶ver Roberto T. Assumpção "Materiais Metálicos para a Microeletrônica e Computação" ABM Metalurgia, vol.46, n.386, jan.1990.

ligas de alumínio-lítio, as matrizes de base metálica (compósitos), as superligas, as ligas de titânio e as ligas intermetálicas. A Tabela 7, a seguir, apresenta as estimativas de consumo desses materiais nos EUA até o ano 2000.

Tabela 7 - Consumo Estimado de Metais Avançados e Matrizes Metálicas nos EUA

Materiais	1985		1990		1995		2000	
	10 ³ t	US\$10 ⁶	10 ³ t	US\$10 ⁶	10 ³ t	US\$10 ⁶	10 ³ t	US\$10 ⁶
Ligas de alumínio-lítio	-	-	-	-	25	550	40	880
Superligas	20	350	30	600	40	1000	50	1500
Ligas de titânio	20	650	21	720	20	870	16	850
Ligas intermetálicas	-	-	-	-	3	100	11	350
Matrizes metálicas	-	-	5	220	25	750	60	2000

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".s "The New Materials Society" Challenges and Opportunities vol.1, 1990.

Se ao cenário mundial agrega-se a demanda crescente da indústria nacional, o Brasil deverá buscar domínio tecnológico nas áreas em que haja farta disponibilidade de recursos minerais e que hoje participam de forma decisiva no comando das novas regras de mercado. Dentre esses nichos de oportunidade, Soares (op.cit.) aponta: a produção de pigmentos à base de titânio oriundo do minério anatásio (em pesquisa pela Cia. Vale do Rio Doce), a intensificação do uso do nióbio, desenvolvimento de ligas de alumínio e aço e, ainda, a produção de cerâmica avançada à base de alumina.

Nesse sentido, em seu artigo sobre competitividade da siderurgia brasileira, Soares, diretor-presidente da USIMINAS, fornece mais dados sobre a posição do Brasil nesse cenário. Segundo o autor, a siderurgia brasileira já ultrapassou o estágio característico da siderurgia dos países subdesenvolvidos nos quais os custos de produção não são os mais baixos e falta-lhes competência gerencial e *know-how* operacional. Para ele, a

siderurgia estatal brasileira situava-se, em 1990, num estágio caracterizado pela crescente utilização da sua capacidade de produção, com custos específicos de investimentos decrescentes (dada a infra-estrutura instalada) e com grande potencial para redução de custos de produção e aumento de produtividade. A posição competitiva da siderurgia frente aos outros materiais está associada ao seu grau de desenvolvimento tecnológico. Entretanto, no Brasil, a realização de investimentos indispensáveis à permanente atualização tecnológica vem sendo postergada, e sua definição depende do estabelecimento de um novo modelo de financiamento para o setor siderúrgico. Nesse aspecto, a privatização pode ser vista, na opinião de Soares, como uma alternativa capaz de viabilizar esse novo modelo.

Nas palavras da pesquisadora do CNPq, Helena Lastres, "o quadro geral na área apresenta-se da seguinte forma: apesar de termos importantes reservas minerais da maior parte dos insumos necessários à produção de materiais avançados, não dispomos de capacitação tecnológica ou industrial para produzi-los nas purezas e qualidades necessárias. O caso do quartzo é exemplar: o Brasil detém as mais importantes reservas mundiais (de alta qualidade), assim como é um dos maiores produtores de silício metalúrgico, mas importa todo o silício de grau eletrônico que consome. Produz-se monocristal de silício, porém a partir da importação de silício grau eletrônico. Produzem-se fibras óticas, mas importa-se seu insumo básico: os tubos de quartzo fundido."

Propriedades e Aplicações

- Funções Mecânicas: alta resistência (ligas de cristal fino e de cristal *single* de uso na aeronáutica e aeroespacial), superplasticidade (ligas de alumínio e metais plásticos, uso aeronáutico) e absorção de vibração (ligas de magnésio e de manganês-cobre, uso em peças de equipamentos).

- Função Térmica: resistência térmica (ligas a base de níquel e cobalto, uso em turbinas à gás e exaustores).
- Funções Elétricas: supercondutividade (nióbio-titânio, nióbio-estanho e vanádio-gálio, uso em reatores de fusão nuclear) e semicondutividade (silício amorfo, uso em células fotoelétricas e sensores).
- Funções Magnéticas: alto magnetismo (pós metálicos magnéticos, a base de samário e cobalto, uso em superímãs para motores elétricos e autofalantes) e alta permeabilidade magnética (material magnético intensamente amorfo, uso em núcleo de transformadores e cabeças magnéticas).
- Outras Funções: absorção de hidrogênio (ligas de ferro-titânio e de magnésio-níquel, uso na conversão de hidrogênio e meios de calor), mobilidade eletrônica em super alta velocidade (arseneto de gálio e junções Josephson, uso em circuitos integrados de alta velocidade), memória de forma (ligas de níquel-titânio e cobre-zinco, uso em medicina: próteses).

D. Compósitos Avançados

Os compósitos são multimateriais por excelência envolvendo múltiplas naturezas em sua composição, podendo apresentar base metálica, cerâmica (reforçada) ou ainda polimérica. São, desse modo, resultado de desenvolvimentos dos demais materiais avançados, e também têm origem em melhoramentos e avanços obtidos em outras áreas. Como os compósitos de base metálica já foram tratados junto com os metais avançados e os cerâmicos são cerâmicas reforçadas associadas aos de base metálica ou polimérica, resta apresentar, além dos dados gerais de mercado para a classe como um todo, os dados relativos aos compósitos de matriz polimérica em detalhe.

Mercado Atual e Potencial

De acordo com a Suppliers of Advanced Composite Materials Association (SCMA) cuja abrangência envolve as principais empresas mundiais de compósitos avançados, as tendências do mercado, por tipo e região, apresentam-se da forma que a Tabela 8, a seguir, sumariza:

Tabela 8 - Tendência do Mercado de Compósitos Avançados

Mercado Mundial	1986	1988	2000	2015
Crescimento:				
Volume (em t)	10.000	13.500	90.000	600.000
Valor (em 10 ⁶ US\$)	800	1.000	10.000	30.000
Empregos	20.000	25.000	200.000	500.000
Tipo/setor (%)				
Aeroespacial	55	44	50	40
Recreação	28	34	20	10
Outros	17	22	30	50
Por Região(%)				
América do Norte	58	60	55	50
Europa	23	14	20	22
Ásia	19	26	25	28

Fonte: SACMA (Suppliers of Advanced Composites Materials Association)

Os dados citados pelo Bureau of Mines (New Materials Society vol.1,1990) são ilustrativos das possibilidades de consumo futuro dos compósitos poliméricos, tanto em geral, nos EUA e no mundo, como por setores industriais que utilizam esses insumos, conforme exposto nas tabelas 9 e 10, a seguir:

Tabela 9 - Consumo de Compósitos e Matriz Polimérica

Ano	EUA 10 ⁶ t	Mundo 10 ³ t	EUA US\$10 ⁶	Mundo US\$ 10 ⁶
1985	5	10	650	1.350
1990	15	30	1.550	3.100
1995	26	153	2.300	4.600

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".

Tabela 10 - Consumo de Compósitos de Matriz Polimérica*

Setores	1985	1990	1995
Aeroespacial	2,9	5,0	9,1
Automobilístico	*	,3	6,5
Outros	2,1	6,7	10,4
Total	5,0	15,0	26,0

* em 10⁶ t métricas

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".s/ US.

Funções, Propriedades e Aplicações

- **Funções Mecânicas:** alta resistência e baixo peso, que no caso dos **Compósitos de Base Polimérica** são encontrados nos materiais de base como resinas epoxi e de fluorcarbono e plásticos de engenharia, e nos materiais de reforço, tais como fibras de carbono, boro, de Aramid e fibras cerâmicas. As principais aplicações são em aviões e aeronaves espaciais, automóveis e trens, embarcações e produtos esportivos.
- **Funções Térmicas:** alta resistência física e ao calor, que no caso dos **Compósitos de Base Metálica** são encontradas nos materiais de base, tais como alumínio, cobre, magnésio, titânio e níquel; e nos materiais de reforço, tais como fibras cerâmicas de boro e metálicas. As principais aplicações são em equipamentos de usinas nucleares, turbinas a gás, equipamentos de aviões e aeronaves espaciais e em trocadores de calor. No caso dos **Compósitos de Base Cerâmica**, são encontradas nos materiais de base, tais como alumina, nitreto de silício; e carbetos de silício e nos materiais de reforço, tais como fibras cerâmicas e metálicas. As principais aplicações são em turbinas a gás, motores a combustão interna, equipamentos de usinas nucleares e em foguetes.

3.3 Mecanismos de Mercado

O mercado, é na verdade, uma palavra coletiva, pois significa, a um só tempo, cenário de transações técnicas e econômicas, de relações jurídicas, de atuação de agentes econômicos, financeiros, científicos e tecnológicos no nível setorial, regional, nacional e internacional. "O mercado não é um ente abstrato: sobre ele são exercidas as mais variadas forças que o direcionam: compete ao governo de cada país redirecioná-lo segundo os interesses nacionais e face às realidades geopolíticas".⁷

O que freqüentemente é chamado de mercado é o retrato final da atuação, em dado momento, dos agentes públicos e privados constituídos em determinado cenário. O importante é conhecer quais os mecanismos e os interesses que movem esses agentes no processo de transações, ou seja, qual a dinâmica das relações que se estabelecem entre setores, regiões, países e blocos. Esses mecanismos são a própria lógica de funcionamento das atividades básicas dos principais agentes envolvidos.

No caso dos materiais avançados, o contorno do mercado é dado pelo novo paradigma tecnológico industrial. As características do mercado de materiais avançados são resultado tanto das condições particulares em que esses insumos são produzidos como dos contornos gerais do mercado atual.

O domínio da produção industrial pelos grandes grupos transnacionais e multinacionais associado aos avanços tecnológicos, especialmente da informática, contribuiu, de forma decisiva, para o processo de globalização de mercados, em curso.

⁷ de Villas Bôas R.C., "A Pesquisa Tecnológica e o Desenvolvimento Nacional", ABIPITI, Brasília 1991, pp.17.

Nesse cenário tem-se hoje, em processo iniciado há mais de uma década, um mercado crescentemente internacionalizado e intensamente competitivo em bases tecnológicas amadurecidas, onde a tecnologia de ponta alavanca o crescimento econômico-industrial, que se traduz em termos de domínio de mercados e sofisticação de consumo. O exemplo típico dessa fase de transição da economia mundial é o Japão, que, na década de 80, abalou o equilíbrio mundial sob hegemonia norte-americana, reduzindo a indústria de computadores e eletro-eletrônica dos EUA para a metade do que possuía em termos de penetração internacional em 1982.

Dados da OCDE²⁹ mostram esse deslocamento pela "Taxa de Exportação/Importação"(Main Science and Technology Indicators, 1990): para máquinas de escritório e computadores, nos EUA, essa taxa caiu de 2,63%, em 1982, para 1,04%, em 1987. Enquanto isso, no Japão, essa variação foi positiva, de 3,18%, em 1982, para 6,53%, em 1987. No setor eletro-eletrônico o Japão passou o período com taxas entre 9 e 10%, enquanto que os EUA ficaram entre 1,5 e 1%, em 1987.

Se esses dados forem analisados frente às aplicações realizadas em cerâmicas avançadas destinadas ao setor eletro-eletrônico, quase 50% do total, nesses mesmos países, fica evidente a relação entre P&D, intensidade tecnológica da indústria e seu grau de competitividade.

Assim, a política de P&D de empresas e países segue também o caminho da internacionalização, mas sempre no sentido de se investir de forma mais pesada no conjunto de materiais avançados que melhor reflita a realização de suas potencialidades e oportunidades, dentro da atual renovação das estruturas produtivas mundiais. A busca é por indicadores positivos dentro do novo padrão de competitividade internacional.

Pode-se resumir os fatores mais expressivos desse mercado globalizado, onde hoje se situam os materiais avançados, em:

- a) competição tecnológica crescente;
- b) transferência de tecnologia restrita;
- c) competitividade intensa via tecnologia/qualidade e produtividade;
- d) mercado em ampliação via sofisticação do consumo, e
- e) processos e materiais mais econômicos na produção.

Na competição tecnológica, o Japão tem se utilizado dos novos materiais como estratégia de comercialização prematura de produtos, que alimenta ampliação de mercado via sofisticação do consumo. Nesse sentido joga com a experiência tecnológica acumulada e com a conjugação de fatores-chave no mercado global. O Japão associa em sua política tecnológica-industrial pelo menos 4 dos 5 fatores acima, pois baseia-se, pelo lado da produção, na filosofia -Kaizen- de aperfeiçoamento contínuo como padrão de qualidade e produtividade, acoplado a estruturas industriais diversificadas e a organizações produtivas extremamente flexíveis.

Por outro lado, as restrições à transferência de tecnologia, via novas regras e acordos mundiais sobre propriedade industrial (GATT), têm sido utilizadas pelos atuais líderes mundiais como estratégia de defesa contra possíveis ameaças a seus tradicionais domínios.

Independentemente dos fatores que atuam nesse mercado, o avanço tecnológico (inovação e difusão) em geral, e especialmente em relação aos novos materiais, assume características predominantes de um processo puxado pela demanda (*demand pull*). Sustenta-se assim sobre sólida base de experiência acumulada em P&D, realizada por justificativas de fora dos contextos ou setores onde hoje são aplicadas. A tecnologia assume nesse contexto importância marcante nesse novo mercado, onde se torna o fator de produção que mais

agrega valor aos bens intermediários e aos produtos finais, gerando vantagens competitivas inigualáveis para seus detentores.

O mercado assim caracterizado passou, também, a constituir-se em um mercado de trabalho altamente qualificado, formado de acordo com as exigências de qualidade e produtividade dentro dos sistemas modernos de produção. Nesse particular, as indústrias produtora e consumidora de materiais avançados potencializaram essas características, congregando trabalhadores da mais alta capacidade de aprendizado dentro da filosofia do aperfeiçoamento contínuo e da qualidade total. Por outro lado, os engenheiros e pesquisadores de centros de P&D e de indústrias são o sustentáculo desse novo modelo.

Uma visão completa dos mecanismos que respondem pela dinâmica desse mercado industrial-tecnológico internacionalizado, do qual os novos materiais são um dos expoentes, sem dúvida, deve considerar também o processo de avanços e inovações tecnológicas como fator propulsor de acordo com as formulações teóricas na linha *technology push*.

Nesse sistema, o Brasil está em posição de desvantagem em relação ao fator tecnológico, pois não encontra-se preparado para atender às necessidades de sofisticação tecnológica colocadas pelas indústrias aeronáutica e microeletrônica, apesar de estar mais próximo da demanda da indústria automobilística.

O mercado brasileiro para materiais avançados ainda é extremamente incipiente, se comparado ao padrão internacional. Contudo, a internalização de práticas de produção e comercialização de produtos desenvolvidas no exterior tem forçado o surgimento e a progressiva consolidação de um mercado naci-

onal para esses materiais.⁸ Exemplo dessa incipiência está na EMBRAER (Empresa Brasileira de Aeronáutica) que, como consumidora de materiais avançados, depende quase que exclusivamente de fornecimento externo, com exceção de alguns aços especiais, pela ELETROMETAL.

Essa situação se reproduz também do lado da produção industrial, a ser tratada a seguir, onde a grande produtora nacional de fibras óticas, a ABC-Xtal, depende inteiramente de importação de insumos críticos, como os tubos de quartzo de alta pureza (que também são novos materiais), os gases para difusão e até de equipamentos.

⁸ Lastres H. "Materiais Avançados", maio 1991, estudo elaborado para a UNICAMP

4. ESTRUTURA INDUSTRIAL, MATERIAIS AVANÇADOS E O NOVO PARADIGMA

O advento dos materiais avançados trouxe, com sua interdisciplinaridade e suas inovações em produtos e processos, uma nova configuração à estrutura industrial moderna. Inicialmente surgiram novos setores como a microeletrônica, a informática levando à automação industrial, a bioengenharia e os materiais biomédicos. A seguir, veio a formação de grandes complexos de pesquisa, produção e comercialização, num processo, hoje ainda crescente, de integração vertical e horizontal de grande empresas. E por fim, na produção industrial propriamente dita, esses materiais vieram desafiar, e mesmo desestabilizar, a produção em massa e os ganhos de escala, permitindo, com seu alto valor agregado e insuperável desempenho técnico, a produção em plantas menores com processos flexíveis e especificações variadas (produtos não-padronizados encomendados em função da indústria consumidora).

O novo paradigma opôs ao modelo Fordista, já em crise nos últimos vinte anos, uma forma de organização da produção flexível, em pequenos lotes e com grande diversificação na linha de produtos. Os novos materiais, como insumos desses produtos e já tendo entrado em cena no advento desse modelo, representam e aproveitam bem suas características.

Nesse novo modelo, os materiais começam cada vez mais, a ser produzidos "sob encomenda", segundo as necessidades dos fabricantes que os utilizam, buscando o desempenho melhor para seus produtos finais. Nesse contexto, as matérias primas, cuja abundância era a vantagem tradicional do Brasil, deixam de ser determinantes fundamentais e tendem a responder por parcelas decrescentes no custo do material.

Quanto à composição dos custos de produção, outra mudança importante ocorre no novo modelo, em especial na produção de novos materiais: o fator preponderante passa a ser a tecnologia, não apenas na máquina ou equipamento, embutida em todo o processo de produção. Há alto conteúdo tecnológico na mão-de-obra, na engenharia, na gestão da fábrica e na comercialização final dos produtos. Estabelece-se, nos países líderes mundiais, uma relação tecnológica entre fornecedores em rede que leva, em alguns casos, ao desenvolvimento de P&D associada e, quase sempre, a exigências de qualidade e desempenho dos materiais em níveis projetados pela engenharia do produto final. Um exemplo de estrutura industrial em mudança é a da NIPPON STEEL, que pode ser vista na distribuição percentual das suas áreas de atuação nos últimos anos, mostrada na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 - Distribuição Percentual da Produção da Nippon Steel

Áreas/Setores	1987	1990	1993*
Aço	84,0	75,0	64,0
Engenharia	8,0	10,0	12,0
Eletrônica e Novos Materiais	0,4	5,0	11,0
Química	10,0	10,0	13,0

* os dados constam na fonte como planejados para 1993.

Fonte: Nippon Steel Bulletin Jul/August 1991

De um modo geral, a estrutura industrial no campo dos materiais avançados apresenta-se bastante internacionalizada, com participação especial dos EUA e Japão, além de países da Europa Ocidental. Atualmente, início dos anos 90, o Japão tem o domínio do mercado de cerâmicas avançadas, liderando a produção de cerâmica para uso eletrônico (semicondutores), apesar de grande parte dos desenvolvimentos tecnológicos que levaram aos semicondutores terem sido feitos pelos EUA e Grã Bretanha. Os EUA dominam o mercado de polímeros avançados e destacam-se nas cerâmicas estruturais (para uso aeroespacial, principalmente).

No Japão, o desenvolvimento dos materiais avançados foi, estrategicamente, reforçado pela carência de matérias-primas minerais e de recursos energéticos para a sustentação do crescimento industrial. O governo japonês promoveu, dentro de um conjunto de objetivos nacionais estratégicos, a troca de setores-eixo da alavancagem econômica tradicional pela informática e os novos materiais, passando a produzir efeitos multiplicadores pela tecnologia *high-tech*, ou seja, difusão tecnológica em toda a estrutura industrial movendo a lógica da produção para conquista de mercados cada vez mais exigentes e sofisticados. A estrutura industrial japonesa realimenta todo esse processo e tira dele sua vitalidade.

Nos EUA, os novos materiais são produtos da P&D promovida pela "indústria da guerra" e pelo "programa espacial americano". Os elevados investimentos em pesquisa básica nesses setores foram sendo repassados, já amortizados, para a indústria civil.

Na Europa, a questão do financiamento da pesquisa em novos materiais assumiu um caráter estratégico de sobrevivência em face do novo paradigma ou, em alguns casos, assumiu formas localizadas, como a indústria aeronáutica e espacial, na França, para cerâmicas, ou a indústria química na Alemanha, no desenvolvimento dos polímeros, ou, ainda, seguem o desenvolvimento científico e aproveitam a capacitação técnica e universitária de que dispõem.

A longo prazo, a tendência geral para o mercado de materiais avançados é de predomínio das grandes empresas altamente integradas vertical e horizontalmente e de atuação transnacional. Os principais motivos para que isso ocorra, são: a necessidade de grandes investimentos nas fases anteriores à comercialização do produto, especialmente na pesquisa e desenvolvimento experimental, o também uma grande capacidade de controle e integração requerida nas fases de projeto, produção e controle de qualidade. Às pequenas e médias empresas resta a oportunidade de situar-se, no longo

prazo, dentro de espaços específicos ou nichos de mercado, especialmente no campo dos serviços e da produção limitada de especialidades.

Essa é uma tendência observada sob o ponto de vista financeiro do negócio: grandes grupos em faturamento mundial são os pioneiros nessa área e têm todas as condições de manter e expandir sua hegemonia nos setores em que atuam. Contudo, pelo lado da organização da produção industrial propriamente dita, a opção é por produzir materiais avançados em plantas pequenas, diversificadas, associadas até, algumas vezes, aos setores consumidores que, pela já mencionada horizontalização e verticalização em curso, são, por vezes, constituídos de empresas do mesmo grupo (conglomerados multinacionais e associados nacionais).

Uma visão da internacionalização do mercado produtor de materiais avançados está no Quadro 3, que nomeia as empresas fornecedoras de alguns desses materiais nos EUA, Europa e Japão.

Quadro 3 - Materiais Avançados: Internacionalização Crescente do Mercado Produtor: principais fornecedores por país ou região de origem

Materiais Avançados	Estados Unidos	Europa Ocidental	Japão
Cerâmicas para circuitos integrados	Kyocera, NGK, Coors Ceram	Kyocera, NGK, Coors Ceram	Kyocera, NGK, Namuri China
Cerâmica para capacitadores	AVX/Kyocera, Murata Mfg	AVX/Kyocera, Murata Mfg	Murata Mfg
Polímeros e resinas	Ciba Geigy, Dow Chemical, Shell	Ciba Geigy, Dow Chemical, Shell	YUKASHELL*, Mitsui Chemical, Asahi Chemical

* Joint Venture entre a Mitsubishi Chemical e a Shell

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".

Em função da crescente competição entre materiais avançados, as indústrias de manufatura vêm enfrentando uma série de dificuldades no sentido de identificar as melhores e mais adequadas alternativas disponíveis no mercado dos materiais perante suas necessidades correntes e futuras. Dessa forma, essas indústrias vêm traçando estratégias que incluem a ampliação de seus portfólios de materiais e de alternativas de usos.

Estrategicamente, o que ocorre é que os novos materiais vêm representando a abertura de novas áreas de negócios para os produtores tradicionais, que deixam de se caracterizar pela atividade principal, como siderurgia, química, cerâmica, ou produtores de plásticos, metais, cerâmica ou qualquer outro produto de destaque, e passam a produtores de materiais.

Essa diversificação de posições das indústrias de metais, cerâmicas ou polímeros para indústrias de materiais pode ser vista no Quadro 4, que resume informações dos Estados Unidos.

Quadro 4 - Indústrias com Participação Intermaterial nos Estados Unidos

Companhias	Materiais Avançados Produzidos			
	Cerâmicas	Compósitos	Metais	Polímeros
ALCOA	X	X	X	X
Allied Signal	X	X	X	X
BASF	NC	X	NC	X
British Petroleum	X	X	X	X
Cyba Geigy	NC	X	NC	X
Denka	X	NC	NC	X
DuPont	X	X	NC	X

notações: X = produz e NC = Não consta produção

Fonte: Bureau of Mines "The New Materials Society, Challenges and Opportunities, vol. 1, 1990".

Do ponto de vista da estratégia das empresas que buscam produzir os novos materiais, as principais considerações de caráter técnico e econômico a fazer são:

- Mercado Potencial: Quais as perspectivas dos setores consumidores?
- Seleção do Material: Quais as aplicações mais promissoras e quais as melhores rotas tecnológicas?
- Capital e Tecnologia: Quais os custos de oportunidade associados a esses investimentos?
- P&D Acumulada: Qual a base de conhecimento científico e tecnológico existente no país?
- Mão de Obra: Qual o perfil de qualificação da mão-de-obra necessária e disponível no país?

Nesse elenco de fatores de decisão, o de menor peso ficou sendo a disponibilidade de recursos naturais que, como foi dito anteriormente, não é, nesses casos, um critério decisivo para entrada no setor, uma vez que a participação das matérias-primas no custo do bem final é reduzida e decrescente, tanto pela menor escala de produção, quanto pela mudança na composição dos custos de produção.

4.1 Perspectivas para o Brasil

As perspectivas para o Brasil no campo dos novos materiais não podem ser vistas exclusivamente sob o ângulo técnico e econômico. Devem ser consideradas estrategicamente pelas oportunidades e ameaças que podem representar, pelas dificuldades e entraves que vão encontrar para se desenvolverem plenamente, e de forma articulada, com a estrutura industrial brasileira. O Quadro 5, abaixo, resume os principais pontos desse esquema, exemplificando a partir do

perfil da indústria de hoje no Brasil, as oportunidades, as fragilidades e as ameaças: que podem ser aproveitadas, no caso das boas oportunidades, e ultrapassadas e vencidas, no caso das fragilidades e ameaças, através de um bem planejado esforço continuado no desenvolvimetro dos novos materiais.

Quadro 5 - Oportunidades X Ameaças para o Brasil

Oportunidades	Fragilidades	Ameaças
Estrutura industrial incompleta e não-rígida que pode se adaptar mais rapidamente e melhor a modelos de produção flexíveis	Faltam importantes ramos industriais como: química fina, mecânica de precisão e microeletrônica	Falta capacitação industrial, tecnológica e de qualidade nos setores <i>high-tech</i> , principalmente, o que os torna não competitivos.
Mercado com certa sofisticação: indústria automobilística, eletro-eletrônica e telecomunicações	Indústrias, maiores consumidoras de materiais, com grande atraso tecnológico (ultrapassadas)	Esses setores, defasados, mantêm a competitividade dos materiais tradicionais adiando as mudanças necessárias
Mercado de trabalho com mão-de-obra jovem e abundante	Baixa escolaridade e falta de qualificação da mão-de-obra.	Novos materiais e novo modelo de produção que exigem alta qualificação
Boa capacitação tecnológica e industrial em cerâmica, vidros, minerais e metais.	Os setores fortes (mineral, metalúrgico, mecânico) estão sendo ameaçados por substituições e mudanças mundiais.	Não há no Brasil um sistema de inovação tecnológica que propicie os avanços tecnológicos em nível industrial.

Reconhece-se no Brasil, pelo menos na comunidade ligada a C&T, que os governos brasileiros não tem o entendimento correto das estreitas vinculações entre desenvolvimento tecnológico e econômico, e vêm, com isso, dando pouca importância à produção do conhecimento tecnológico e à inovação, submetendo-os a políticas de curto prazo para minorar problemas conjunturais, que, por sinal, só têm se agravado nos últimos anos.

Por isso, assume-se aqui, em conclusão, quatro pontos básicos para uma política de governo no Brasil para o setor de novos materiais, formulados pela pesquisadora Helena Lastres:

- 1) O entendimento de que a inovação em materiais avançados pode desempenhar um papel fundamental no rejuvenescimento do crescimento industrial.
- 2) A seleção de um grupo específico de materiais, cujo desenvolvimento se considere tendo em vista as especificidades brasileiras.
- 3) A adoção de políticas de longo prazo direcionadas para os materiais selecionados.
- 4) O estabelecimento de um sistema nacional de inovação.

Em termos de produção industrial, os metais e as cerâmicas avançadas são, de um modo geral, os segmentos onde P&D, associada a uma base de recursos minerais abundantes, pode obter vantagens comparativas no jogo da competição internacional.

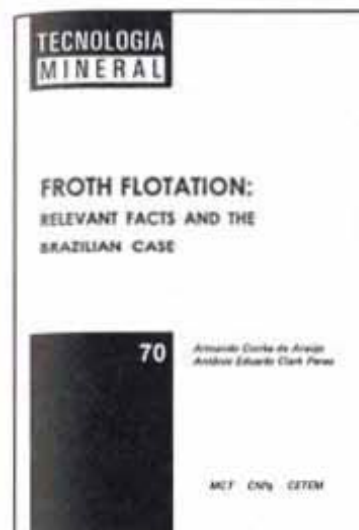
Estrategicamente, o Brasil poderia tirar vantagem de sua base mineral e de seus setores industriais sólidos e competitivos, como o minero-metalúrgico e o de cerâmicas tradicionais, promovendo a pesquisa básica e aplicada nas áreas relacionadas a esses campos por todos os meios, políticos e financeiros, necessários.

BIBLIOGRAFIA

- 1) MARCUM, J.M. "Materials: The Economic Implication", ATAS Bulletin, N°.5, May 1988, p.15-18.
- 2) HONDROS, E.D. "Materials: A Perspective" ATAS Bulletin, N°.5, May 1988
- 3) KOUZNETSOV, A. "Materials Technology and Trade Implications" ATAS Bulletin, N°.5, May 1988.
- 4) CZICHOS, H. "The Materials Cycle" ATAS Bulletin, N°.5, May 1988
- 5) KURSTEN, M. et al. "Raw Material Resources" ATAS Bulletin, N°.5, May 1988.
- 6) CHOPPLET, M.; THERRY, S.P. "Biomedical Materials" ATAS Bulletin, N°.5, May 1988
- 7) KAHAR, N. "Options in Materials Development" ATAS Bulletin, N°.5, May 1988
- 8) KIUSELLA, E.; LYES, M. "Infrastructure Building for Materials Related Industries" ATAS Bulletin, N°.5, 1988
- 9) ROHAIGI, P. "Capacity Building for Materials Science and Technology in Developing Countries" ATAS Bulletin N°.5, May 1988.
- 10) BRANCO, R. "A Demanda por Bens Minerais", Brasília: DNPM, Abril 1988
- 11) CLARK, J.P.; FLEMING, M.C. "Advanced Materials and The Economy" Scientific American, vol 255, N°.4, Oc/86
- 12) ERBER, F. "Um Debate que se tornou Urgente" Revista Brasileira de Tecnologia, v.19, N°.1, Jan.1988
- 13) PEREZ, C. "Structural Change and Assimilation of New Technologies in The Economic and Social Systems" Futures, oct. 1983.

- 14) GONZALES & VIGIL, F. "New Technologies, Industrial Reestructuring and Changing Patterns of Metal Consumption, CETEM/CNPq
- 15) FOREST, T. edited by "The Materials Revolution" MIT Press 1988
- 16) BUREAU OF MINES. "The New Materials Society - Challenges and Opportunities" vol 1. 1990
- 17) OCDE, "Matériaux Avancés. Les politiques face aux défis technologiques.", Paris, 1990
- 18) BOLWIJN, P.T.; KUMPE, T. "Manufacturing in The 1990's: Productivity, Flexibility and Innovation" Long Range Planning, vol 23, N°.4, pp44-57, 1990.
- 19) SÁ, P. "Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais" Série Estudos e Documentos N°.9 Rio de Janeiro CETEM 1990
- 20) VILLAS BÔAS, R.C. "Minérios Estratégicos Perspectivas" Série Tecnologia Mineral, N°.56, Rio de Janeiro CETEM 1992
- 21) VILLAS BÔAS R.C. "Pesquisa Tecnológica e o Desenvolvimento Nacional. ABIPTI (Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica Industrial) Brasília. 1992
- 22) DAS SUJIT and CURTLEE T. RANDALL "Advanced Materials Information Needs: A Survey Report" Ceramic Bulletin, vol.70, N°.2, 1990.
- 23) WEISS M.G. JAMES "A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectivas, Revista de Administração de Empresa EBAP, São Paulo, jan/mar de 1992, pp48-59.
- 24) WADDELL M. L, and LABYS C.W., "Transmaterialization: Technology and Materials Demand Cycles", Materials and Society, vol 12, N°.1, pp 59-86, 1988.

- 25) CZICHOS, H. "Strategic Materials: Technological Relevance and International Concepts" *Materials and Society*, v.11, N° 5, 1987, pp.309-331.
- 26) LASTRES H. "Advanced Ceramics: Industrial Organization Technological Features, Relevance of Government Policies and Expected Changes in the International Division of Labor" edited by UNICAMP (University of Campinas) São Paulo, Brazil 1990.
- 27) LASTRES H. "Advanced Materials: Discontinuity in Material Evolution and the Japanese Strategy" Vith General Conference OSLO 27-30 June 1990. EADI (European Association of Development Research Training Institutes)
- 28) OECD, Science and Technology Indicators n.2 "R&D, Invention and Competitiveness, Paris 1986
- 29) OCDE, Main Science and Technology Indicators, Paris 1990
- 30) BUREAU OF MINES, Advanced Materials: Outlook and Information Requirements, Proceedings of Bureau of Mines Conference, Nov 7-8, 1989.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Holanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Holanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomita do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita com Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canavieira do Estado do Ceará - Franz Xaver H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autógena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Pulso Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981.
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Shinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porphírio, 1981.
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)
20. Dynawhirpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)

21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Caraíba - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Uruçum, Corumbé-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélis Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Pessoa de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985.
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985.
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Hollanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987.
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapulgita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lamelas - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianetação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)
45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990.
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Ganimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Cotta, Adão B. da Luz, Marcello M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Farid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centrifugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992.
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bôas, Maria Dionsia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porphirio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bôas, 1992.
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luiz Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.
67. Tiouréia e Bromo como Lixivantes Alternativos à Cianetação do Ouro. Roberto de Barros E. Trindade, 1994.
68. Zeólitas: Propriedades e Usos Industriais - Adão Benvindo da Luz, 1994.
69. Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo - Marília Inês Mendes Barbosa e Ney Hamilton Porphirio, 1994.
70. Froth Flotation: Relevant Facts and the Brazilian Case - Armando Corrêa de Araújo e Antônio Eduardo Clark Peres,

**INSTRUMENTAL
MULTIELEMENT
ANALYSIS IN PLANT
MATERIALS**

- A modern Method in
Environmental Chemistry and
Tropical Systems Research

8 Bernd Markert

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcello M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luís Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evádo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Hélcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Nelson Luiz S. Ferreira, Saete Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)

2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Nelson S. Ferreira, Gersino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vangil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Lais A. Menezes, 1992.

**ACOMPETITIVIDADE
DA INDÚSTRIA
BRASILEIRA DE ALUMÍNIO:
AVALIAÇÃO E PERSPECTIVAS**

4 James M. G. White

MCT CNPq CETEM

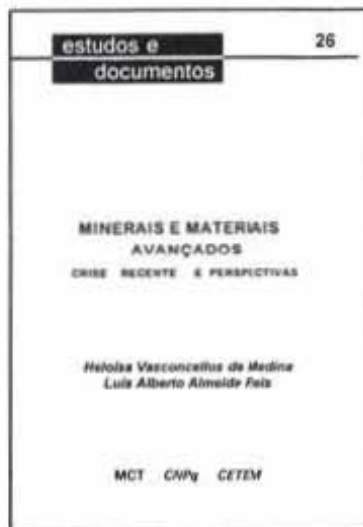
**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE**

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992.

2. La Importância del Método em la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.

3. Normalización Minerometalúrgica e Integración Latinoamericana - Rômulo Genuíno de Oliveira, 1993.

3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992.
4. Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajó - Pré-Diagnóstico - Rita Maria Rodrigues et al., 1994.
5. Utilização do Aguapé no Tratamento de Efluentes com Cianetos - Marcus Granato, 1995.
6. Are Tropical Estuaries Environmental Sinks or Sources? - Egbert K. Duursma, 1995.
7. Assessment of the Heavy Metal Pollution in a Gold "Garimpo" - Saulo Rodrigues Filho e John Edmund L. Maddock.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
ESTUDOS E DOCUMENTOS

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987.

2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luis Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.

3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)

4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaio Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaio Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno

Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

6. Setor Mineral e Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.

7. Constituinte: A Nova Política Mineral - Gabriel Guerreiro, Octávio Elísio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Herrmann e Osny Duarte Pereira, 1988. (esgotado)

8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bôas, 1988. (esgotado)

9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)

10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coreia do Sul e Israel. - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)

11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990.

12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991.

13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.

14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)

15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.

16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcelo M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.

17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.

18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.

19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993.

20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann] 1993. (esgotado)

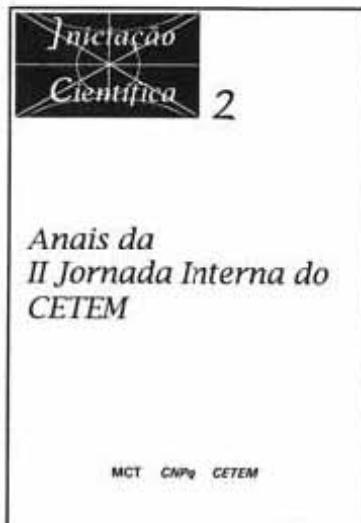
21. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas - Francisco Eduardo de V. Lapido Loureiro, 1994.

22. Aspectos Tecnológicos e Econômicos da Indústria de Alumínio, Marisa B. de Medo Monte e Rupen Adamian, 1994

23. Indústria Carbonífera Brasileira: conveniência e viabilidade - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1995

24. Carvão Mineral: Aspectos Gerais e Econômicos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1995.

25. "Sustainable Development: materials technology and industrial development in Brazil" - Roberto C. Villas Bôas, 1995.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

1. Anais da I Jornada Interna do CETEM, 1994.

PUBLICAÇÕES AVULSAS EDITADAS PELO CETEM OU EM CO-EDIÇÃO

1. Programação Trienal: 1989/1991. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
2. Manual de Usinas e Beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
3. Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. CETEM/CNPq/EDUFF, 1992.
4. Programação Trienal: 1992/1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq).
5. Impactos Ambientais. SPRU/USP/CNPq, 1993.
6. Relatório de Atividades de 1993. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1994.
7. Programação Trienal: 1995/1997. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.
8. Relatório Anual de Atividades 1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995 - no prelo.