

The background features a complex, abstract design. On the left side, there is a grid of small squares that appears to be receding into the distance, creating a sense of depth. This grid is overlaid with a pattern of light rays or lines that radiate from the center, giving the impression of a digital or scientific environment. The overall color palette is monochromatic, consisting of various shades of gray and white.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
O AVANÇO DO CONHECIMENTO



CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

O AVANÇO DO CONHECIMENTO

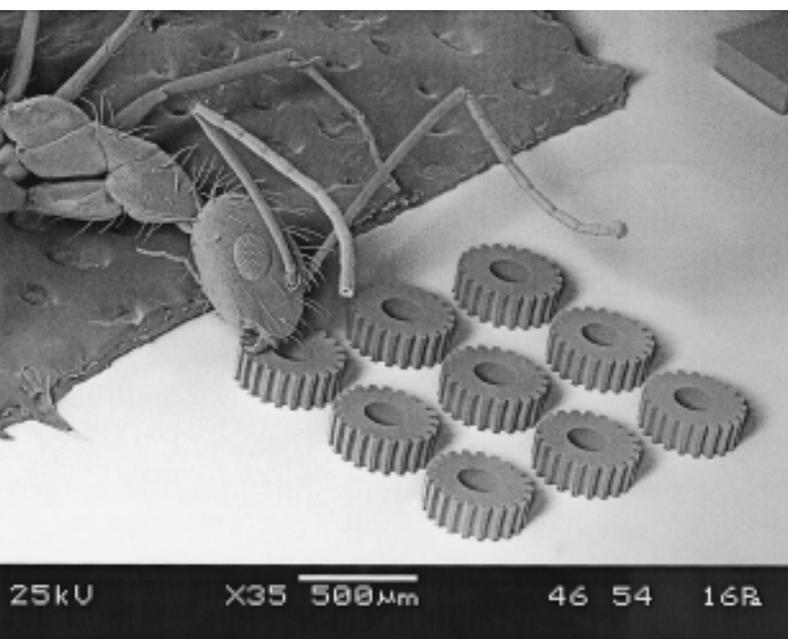
Os grandes ciclos de expansão de economia moderna, iniciando-se com a primeira revolução industrial, tiveram como base novas fontes de energia, como o carvão e o petróleo, e motores, como a máquina a vapor e o motor de combustão interna, complementadas por novos processos industriais, como o tear mecânico, a siderurgia, a indústria química e a produção em série de bens de consumo. No século XIX, a eletricidade e, no século XX, as ondas eletromagnéticas foram empregadas para gerar um dos maiores avanços da humanidade: comunicações rápidas sem transporte físico da mensagem. O telégrafo com fio, seguido pelo sem fio, foram o sinal de partida de uma profunda transformação nos meios de comunicação, da qual o rádio, a televisão e o telefone são, hoje, os instrumentos mais difundidos.

No entanto, desde a segunda metade do século XX, está em curso uma revolução ainda mais radical, certamente a mais profunda de toda a história da espécie humana até o presente. Esta revolução não foi provocada pela descoberta de novas formas de explorar fontes de energia ou de controlá-las; pelo avanço de processos industriais; ou pela expansão dos meios de transporte, como a ferrovia, os veículos automotores ou os aviões. Ela está sendo impulsionada por dois grandes avanços do conhecimento: de um lado, pela ampliação da capacidade dos sistemas de comunicação e processamento de informação, possibilitada pelos formidáveis avanços na microeletrônica – transistor, circuito integrado, microprocessador, representada pelo computador e sua integração com os meios de comunicação –; de outro lado, pelos progressos da biologia molecular.

Não se trata mais de substituir a força humana por instrumentos mecânicos, mas de substituir o cérebro humano por sistemas eletrônicos. Não é o trabalho braçal que se quer poupar ou amplificar, mas aquilo que mais distingue a espécie: a capacidade de adquirir, processar e transmitir informações, que vai sendo paulatinamente transferida para máquinas. Um computador já vence o maior enxadrista do mundo. É irrelevante que sua estratégia de jogo seja a da força bruta, da capacidade de analisar em segundos centenas de milhões de seqüências de movimentos das peças e de selecionar a mais promissora. Ele ainda sim supera a estratégia criativa do jogador humano. E isto reflete apenas o estágio inicial dessa revolução. Podemos apenas imaginar até onde chegarão esses avanços nas próximas décadas e como eles mudarão os relacionamentos sociais e dos homens com as máquinas.

“O desenvolvimento contemporâneo implica simultaneidade de problemas no tempo e no espaço. Neste sistema complexo cabe identificar as “variáveis de controle”. Educação, Ciência e Tecnologia passaram a ser “variáveis de controle” para a orientação estratégica da dinâmica social futura.”

*Sérgio Mascarenhas de Oliveira,
Instituto de Estudos Avançados/São Carlos.*



Não se trata, tampouco, de aperfeiçoar processos produtivos milenares, como a metalurgia, mas de redesenhar a própria vida. Os cientistas aprendem a manipular os processos biológicos fundamentais. DNA, genoma, clonagem, engenharia genética, biossegurança são termos que se incorporam ao dia-a-dia em velocidade alucinante.

Essa combinação – tecnologias da informação e comunicação e biologia molecular –, aliada à crescente capacidade de manipular a matéria nos seus constituintes atômicos, a nanotecnologia, irá redefinir os conceitos de máquina e as idéias de fabricação. A fábrica do futuro está começando a nascer, e tem muito pouca semelhança com as herdadas dos séculos XIX e XX. O panorama que se desenha desses avanços pode nos encher de orgulho e esperança, ou de horror e ansiedade. Não importa. O fato concreto é que o conhecimento é inesgotável. Confrontados com a inevitável marcha em busca do conhecimento, nosso dever é transformá-la em instrumento efetivo de desenvolvimento sustentável da comunidade nacional e da humanidade como um todo. Essa é a tarefa para o século que se inaugura.

A sobrevivência da humanidade está intrinsecamente ligada ao avanço do conhecimento. Sem conhecimento e sem Ciência, Tecnologia e Inovação, não é possível sustentar os bilhões de seres humanos que consomem os limitados recursos do globo terrestre, ou administrar e prover de serviços essenciais uma sociedade urbana, na qual milhões de pessoas convivem em espaços cada vez mais limitados. Sem a CT&I, tampouco é possível preservar para as gerações futuras a herança natural que recebemos de nossos ancestrais, muito menos superar os graves desequilíbrios e iniquidade sociais que jogam bilhões de seres humanos na mais humilhante fome e miséria.

Quadro 1 Avanços na Área de Biotecnologia: o Projeto Genoma

Na década de oitenta, foram descobertas duas formas distintas de seqüenciar DNA: uma, pelo grupo de Maxam e Gilbert, dos Estados Unidos, e outra, pelo grupo de Sanger, na Inglaterra. Seqüenciar o DNA significou descobrir uma infinidade de novos genes, evidenciar como o genoma se organiza e desvendar novas seqüências funcionais que não codificavam diretamente para uma proteína, mas revelavam mecanismos de controle de transcrição. Ambos, Gilbert e Sanger, receberam o prêmio Nobel por esta descoberta. O método de Sanger acabou prevalecendo e, no final da década de oitenta, a substituição de nucleotídeos radiativos por fluorescentes permitiu sua automatização. A capacidade de seqüenciamento de DNA é hoje fantástica. Somando a rapidez e precisão do processo de seqüenciamento a um trabalho organizado e colaborativo, em forma de rede, tornou-se possível seqüenciar genomas inteiros, tais como o da levedura e o humano, em tempo relativamente curto, em relação ao que seria necessário há apenas dez anos.

Empresas, em busca de bons negócios, embarcaram em seqüenciamentos de genomas. A de maior sucesso foi a Celera, responsável pelo seqüenciamento do genoma da *Drosophila*, pelo seqüenciamento do genoma humano (inicialmente independente e depois em colaboração com o empreendimento público) e pelo seqüenciamento do genoma do camundongo.

As perspectivas abertas pelo o seqüenciamento do genoma humano para uma biologia funcional mais aprofundada, para a descoberta da raiz genética de muitas doenças e para a descoberta de métodos de diagnósticos e de medicamentos novos constituem algo que seria inimaginável há alguns anos. Uma nova fase, a do proteoma, está se desenvolvendo a partir do genoma, em que o estudo de proteínas, as moléculas responsáveis pelos fenômenos químicos e físicos no organismo, passa a ser uma realidade palpável.

Até cinco anos atrás, o Brasil ocupava posição pouco privilegiada em termos de competência na área de biologia molecular. Em 1997, um grupo de pesquisadores do estado de São Paulo, articulados pela Fapesp, organizados em rede (Rede ONSA, ver capítulo Desafios Institucionais) iniciou um grande programa de seqüenciamento de genoma. Foi escolhido um fitopatógeno, que tem importância em um segmento significativo da economia brasileira. Ter impor-

tância econômica significava associar, desde o início, os resultados de uma pesquisa básica às necessidades da sociedade, neste caso a descoberta de elementos para combater uma doença que põe em risco uma produção de grande importância para a exportação – a laranja. A bactéria escolhida foi a *Xylella fastidiosa*, responsável pela doença do amarelinho, que vem dizimando os laranjais do estado de São Paulo. O sucesso desse programa colocou o Brasil, dentre os países em desenvolvimento, como o único a fazer parte do clube que tem tecnologia avançada em genômica.

O MCT está liderando um esforço nacional de ampliação do programa de seqüenciamento de genomas de organismos importantes para problemas brasileiros. Por exemplo, programas de genomas de protozoários (*Trypanosoma cruzi* e *Schistosoma manzoni*) estão sendo estruturados e poderão trazer conhecimentos de grande relevância para combater a doença de Chagas e a esquistossomose. Redes estão se articulando e equipamentos estão sendo adquiridos. Mais uma vez, coordenações competentes e forte interação entre os grupos da rede serão fundamentais para avanços em conhecimentos e qualificação em uma área de importância incontestável da biotecnologia moderna.

O processo de utilização do acervo de conhecimentos e bancos de dados gerados pelos programas de genoma estrutural, visando ao estudo de mecanismos biológicos e ao estabelecimento das relações entre estrutura (genes) e função biológica (caracteres), dependerá da organização apropriada de bancos de dados e armazenagem dos recursos genéticos. Assim, a Embrapa está organizando, por meio do seu projeto estratégico de Genética Genômica Funcional, parte do seu acervo de recursos genéticos segundo o conceito de Bancos de Caracteres. Na primeira fase, esses Bancos de Caracteres serão desenvolvidos prioritariamente com foco em caracteres expressos em raízes de plantas tropicais (tolerância a alumínio, eficiência na absorção de nutrientes, como fósforo, nitrogênio, micronutrientes etc.). Tais conjuntos de recursos genéticos serão insumos básicos para projetos de genoma (funcional e proteoma) e prospecção gênica, devendo ter grande utilidade para estudos de mecanismos biológicos, identificação e clonagem de genes e módulos regulatórios úteis para expressão de moléculas de interesse da bioindústria, bem como desenvolvimento de plantas, animais e microorganismos com atributos superiores.

Costuma-se dizer que, antigamente, podia-se abrir um relógio e, com um pouco de esforço, entender seu funcionamento. Hoje em dia, não adianta desmontar um relógio eletrônico – a contemplação de suas peças nada nos dirá sobre seu modo de operação. Ainda menos aprenderemos sobre um computador, desmontando-o. Ou seja, a revolução em curso significa que a capacidade de entender as peças

essenciais do mundo em que vivemos, de trabalhar com elas e de empregá-las produtivamente tornou-se absolutamente dependente do domínio do conhecimento nelas inserido. Isto se aplica não apenas a computadores, relógios a quartzo ou automóveis modernos. Uma modesta semente de soja da Embrapa traz tanto ou mais conhecimento embutido do que esses equipamentos.

Mais do que nos impressionar por seus produtos e “milagres”, ou nos assustar por suas conseqüências, a revolução em curso deve nos preocupar, enquanto nação, por suas implicações políticas, econômicas e sociais. Os países cujas populações não alcançarem o nível educacional requerido para acompanhar e se adiantar a essa revolução estarão condenados a um atraso relativo crescente e a uma dependência política daquelas nações que dominam o conhecimento mais opressora do que qualquer outra que jamais se viu na história da humanidade. Não se trata de subjugação militar, visível nas forças de ocupação de uma potência estrangeira, ou econômica, perceptível nas limitações externas às opções de uma política nacional. Trata-se de uma subjugação completa, invisível e inescapável.

Avanço do conhecimento implica capacitar a sociedade para sobreviver e prosperar nessa nova era. É, assim, um magno desafio a ser enfrentado pela sociedade brasileira. Avanço do conhecimento deve ser entendido em dois sentidos complementares. No sentido da difusão horizontal, para toda a população, do conhecimento necessário para a vida moderna, e no sentido vertical, em profundidade, da capacidade de realizar pesquisa e desenvolvimento, e assim participar de forma ativa nas redes universais que operam na fronteira do conhecimento. Tanto no sentido do crescimento do número de brasileiros escolarizados, quanto no sentido de que o País tenha a capacidade de gerar o conhecimento e as aplicações necessárias para seu desenvolvimento social e econômico. Apenas operando em conjunto, os dois movimentos poderão assegurar a expansão da Ciência, Tecnologia e Inovação em ritmo e qualidade compatíveis com as exigências e desafios a serem enfrentados nas próximas décadas. Os dois processos são, portanto, complementares e se reforçam mutuamente. Por

exemplo, para educar bem e para educar os educadores, são necessários quadros qualificados. Esta qualificação está indissociavelmente associada a boas universidades e centros de pesquisa. Para haver quadros qualificados receptivos à inovação, na quantidade requerida, é preciso que a educação seja estendida ao maior número possível de brasileiros e que os talentos com a vocação para o trabalho intelectual tenham a oportunidade de acesso à educação, independentemente de sua origem social. Trata-se, portanto, de colocar em movimento e reforçar este círculo virtuoso de avanço do conhecimento, que é a base da criação de uma sociedade do aprendizado brasileira, nacional na sua cultura, universal no seu conhecimento.

Um dos elementos fundamentais do avanço do conhecimento é a formação de uma comunidade capacitada a buscar, no imenso reservatório de conhecimento e talentos disponíveis, aquelas informações e pessoas detentoras de conhecimentos, com capacidade de fazer escolhas tecnológicas e selecionar informações que permitam a rápida solução de problemas de interesse nacional. Esses interlocutores são a chave para o posicionamento estratégico do Brasil no cenário competitivo internacional nos anos a vir, seja de seu setor privado, seja de seu setor público. Assim, o avanço do conhecimento no País não significa buscar uma posição autárquica e de auto-suficiência em um mundo globalizado. Significa, ao contrário, a inserção do Brasil na comunidade mundial em condições de igualdade e de competitividade.

As assim chamadas sociedades do aprendizado ou do conhecimento dos países avançados se destacam pelo papel central que nelas ocupa o avanço do conhecimento. O alto investimento na pesquisa, o crescimento do número de professores, engenheiros, téc-

Quadro 2 Química

Nos anos setenta, Giuseppe Cilento (USP e Unicamp) propôs a existência de uma “Fotoquímica e Fotobiologia sem Luz”, ou seja: compostos metabolicamente importantes geram radicais livres, que por sua vez produzem moléculas em estado excitado capazes de produzir importantes fenômenos biológicos. Essa idéia muito original foi detalhadamente explorada pelo grupo de Cilento e, mais tarde, por numerosos pesquisadores na Europa e Estados Unidos. Os seus conceitos básicos foram assimilados pela comunidade científica mundial, gerando intensa atividade de pesquisa e dando nova compreensão sobre a toxidez do oxigênio e sobre a importância de dioxetanos e peróxidos. Essa atividade prosseguiu, depois da morte de Cilento, conduzida por alguns dos seus discípulos, em particular Etelvino Bechara e Ohara Augusto. O primeiro tratou com sucesso de problemas de bioluminescência e de mecanismos de inflamação, fazendo também uma bem-sucedida incursão tecnológica ao demonstrar mecanismos de dano biológico às tintas automobilísticas. A segunda tem desenvolvido e explorado as descobertas de Cilento no estudo de várias patogêneses. O grupo formado por Henrique Bergamin, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Piracicaba) nos anos setenta, inventou e desenvolveu uma nova tecnologia analítica, a “*flow-injection analysis*” (FIA), que hoje é adotada em laboratórios de muitos tipos, em todo o mundo.

FIA é uma tecnologia muito adequada às necessidades da pesquisa agrícola e ambiental, ao diagnóstico clínico, ao controle industrial e a quaisquer situações em que seja necessário executar grandes números de análises químicas, para gerar os dados primários necessários à solução de algum problema científico ou tecnológico em situações complexas. Esta tecnologia se ramificou em um grande número de tecnologias específicas, com um impacto facilmente verificado: o *Web of Science* registra hoje mais de 4300 referências a trabalhos sobre FIA.

Um problema chave, hoje, é o da criação de nanoestruturas funcionais, utilizando conceitos de supramoléculas, auto-ordenamento e compartimentalização. Este trabalho é a resposta ao desafio de se construir estruturas de dimensões muito inferiores às da atual microeletrônica, para com elas construir dispositivos funcionais (optoeletrônicos, microeletrônicos, biomédicos) e materiais estruturais que explorem propriedades revolucionárias, como a superplasticidade de nanopartículas. O sucesso no domínio desta propriedade poderá gerar uma nova revolução tecnológica na fabricação de materiais estruturais e objetos de uso geral, tão grande quanto foi a revolução causada pela introdução dos plásticos, no século XX.

nicos, cientistas e pesquisadores, inclusive com a incorporação de cientistas estrangeiros, a organização de grandes programas científicos e tecnológicos mobilizadores, a existência de numerosas e importantes empresas de base tecnológica são aspectos que refletem a busca seletiva dessas sociedades por liderança no progresso do conhecimento.

Mudanças no perfil ocupacional e educacional da força de trabalho, crescimento e diversificação da educação e ampliação do ensino em todos seus níveis, valorização das profissões pedagógicas, técnicas e científicas, definição de prioridades para o avanço do conhecimento são alguns dos aspectos centrais das sociedades do conhecimento que necessitam ser incluídos, inadiavelmente, na agenda da sociedade brasileira.

Quadro 3

Uma conquista invisível na Agropecuária

O aumento da produtividade e qualidade sempre foi desafio para a pesquisa agropecuária brasileira. Mas não o único. Tecnologias destinadas à agricultura, à pecuária e ao setor florestal brasileiro que permitissem a exploração em bases sustentáveis, e não predatórias, também exigiram a atenção dos pesquisadores da Embrapa e dos seus parceiros. A qualidade ambiental garantida pela pesquisa na produção agropecuária e florestal ainda não pôde ser mensurada de forma efetiva. No entanto, diversos exemplos indicam que o agronegócio saiu ganhando.

Pesquisadores aderiram a uma idéia simples: o controle de uma praga (doença, inseto ou planta daninha), usando seus próprios inimigos naturais. O uso do controle biológico, em vez de inseticidas químicos. Opção importante em um país que despeja por ano mais de 260 mil toneladas de agroquímicos nas lavouras e onde o consumo de praguicidas cresceu 44% em dez anos. Tecnologias brasileiras nessa área estão sendo adotadas no Brasil e em outros países.

É o caso do controle da mosca-da-carambola, capaz de dizimar pomares inteiros. O controle biológico da praga, desenvolvido pela EMBRAPA, está sendo adotado pela França. Pesquisadores da empresa já liberaram aqui seis milhões de vespas *Diachasmimorpha longicaudata* para controle da mosca, que ataca mais de 30 tipos de frutas. Com apenas alguns milímetros de comprimento, a vespa é capaz de parasitar a mosca, que no Brasil, caso chegasse à região Nordeste, por exemplo, seria capaz de comprometer a exportação de frutas e causar prejuízos da ordem de centenas de milhões de reais.

A lagarta-da-soja pode ser controlada pelo uso do Baculovírus Anticársia, um método totalmente natural desenvolvido pela Embrapa e tão eficiente quanto os inseticidas químicos. O baculovírus é produzido de lagartas contaminadas por vírus que, após maceradas, são diluídas em água e pulverizadas na lavoura. Desde o seu lançamento, em 1983, o baculovírus já foi aplicado em mais de 10 milhões de hectares, proporcionando uma economia superior a U\$100 milhões em agrotóxicos, o equivalente a mais de 11 milhões de litros de produtos químicos que deixaram de ser jogados na natureza.

A pesquisa da bióloga Johanna Döbereiner teve importância fundamental para a descoberta da fixação biológica de nitrogênio, hoje empregada em culturas como o feijão, a ervilha e principalmente a soja, com significativas vantagens econômicas e ambientais para a agricultura brasileira. Por implicar menores custos de produção e por estar associada ao melhoramento genético, a cultura da soja, antes restrita ao clima temperado do Sul do País, estendeu-se para regiões tropicais, que hoje contribuem para a maior parte das 30 milhões de toneladas anuais que produzimos. A fixação biológica promove a economia de fertilizantes nitrogenados em uma área de aproximadamente 12 milhões de hectares, o que reduz significativamente a importação de adubos nitrogenados, altamente demandantes de insumos em seu processo de produção, como energia e petróleo. Estima-se que a economia com o uso dessa tecnologia, somente na cultura da soja, seja de U\$1,5 bilhões.

EDUCAÇÃO PARA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

A sociedade do conhecimento exige que se estabeleçam programas de estímulo individual ao aprendizado contínuo e ao desenvolvimento de uma cultura científica e tecnológica. Nesse sentido, a educação para CT&I deve dirigir-se aos estudantes da educação básica, nos níveis infantil, fundamental e médio, das escolas técnicas, aos professores e aos administradores escolares, bem como a todos os cidadãos que necessitam de conhecimentos básicos e aplicados de CT&I, de modo a assegurar sua prosperidade, segurança, qualidade de vida e participação social.

O grande desafio está não apenas em tornar a educação relevante, mas em fazer atraente o processo educacional para mestres e alunos. No caso dos primeiros, a questão da formação profissional, ambiente de trabalho, remuneração e perspectivas de carreira são cruciais. Para os segundos, será preciso desenvolver métodos educacionais (textos, programas de computador, redes etc.) capazes de competir em atratividade, sem perder conteúdo, com os meios de comunicação de informação e entretenimento que fazem parte do universo das crianças e adolescentes de hoje. Para os adultos, terão de ser desenvolvidas metodologias apropriadas para sua realidade pessoal e disponibilidade profissional, tais como o ensino a distância, o treinamento no próprio local de trabalho ou a qualificação profissional visando renda e emprego. Terá papel determinante no processo o estabelecimento de atrativos e estímulos ao ingresso de



“As novas tecnologias ocuparão, certamente, um lugar central nos debates da próxima Conferência. Será imprescindível discutir, também, a atual formação universitária. Esta fica comprometida, inclusive, pelo déficit de 600 mil docentes para os ensinos primário e secundário, cuja solução exige um esforço análogo ao de uma economia de guerra.”

*Abilio Baeta Ilevés,
Capes*

jovens talentos no mercado de trabalho em CT&I, ou seja, a formação de pesquisadores tanto para as instituições públicas e privadas de pesquisa como para as empresas.

A educação para a CT&I deve propiciar condições para o indivíduo conhecer o mundo físico, biológico, humano e social, bem como desenvolver atitudes, hábitos e valores necessários para formar seres humanos solidários e criativos, capazes de pensar por si próprios e de interagir com o mundo físico e social de maneira responsável. Isto significa compreender a maneira científica de produzir conhecimento e as principais atividades humanas que têm moldado o meio ambiente e a vida humana, tais como agricultura, manufatura, materiais, fontes e uso de energia, comunicação, processamento da informação e tecnologia da saúde etc., bem como a responsabilidade ético-político-social dos que fazem Ciência, Tecnologia e Inovação.

No Brasil, têm sido feitos esforços nesse sentido que, no entanto, precisam ampliar sua magnitude e escopo. Cabe notar a experiência do Programa de Edu-

cação para a Ciência (SPEC), subprograma do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), e o Programa Pró-Ciências, da Capes. O SPEC apoiou cerca de 300 projetos, envolvendo mais de 45 mil professores de todos os níveis, em 55 cidades de 22 estados. Mesmo assim, a qualidade do ensino em geral continua sendo um grande desafio, particularmente no que diz respeito à importância que deve ser dada pelos currículos de ciências às relações entre Ciência, Tecnologia e sociedade, ao estímulo para a produção de pesquisa na área de ciência e matemática e, também à articulação das secretarias estaduais e municipais de Educação.

No CNPq, encontra-se em estruturação um programa de educação para a Ciência e Tecnologia. Tal programa deverá dirigir-se à educação para a ciência e tecnologia, entendida como o desenvolvimento de conhecimentos, atitudes e habilidades mentais que preparem o indivíduo para a carreira técnico-científica e para a sua inserção crítica no mundo. Alguns de seus objetivos: participar ativamente do processo de alfabetização científica e tecnológica de toda população; fortalecer a alfabetização científica e tec-

Quadro 4 **Divulgação Científica**

A compreensão pública do que é ciência constitui elemento fundamental na construção da cultura científica. Ela é complementar à educação para a ciência, na medida em que atua na informação ao público sobre os grandes temas da CT&I e suas implicações para a qualidade de vida.

Como os temas da divulgação científica e da educação para a ciência têm recebido atenção cada vez maior dos programas oficiais e das políticas públicas de CT&I, em vários países desenvolvidos, a tendência é que se multipliquem as formas de seu tratamento. No Brasil, embora a história da divulgação científica e do ensino para a ciência tenha começado mais tardiamente, já se pode reconhecer uma institucionalização importante, em uma atividade cuja tendência é organizar-se cada vez mais. Neste momento, a divulgação científica vem encontrando apoio nas políticas públicas de CT&I e

nas atitudes positivas da comunidade de cientistas e de jornalistas. Para consolidar essa atividade entre nós, algumas medidas são sugeridas, de modo a se constituírem em marcos de procedimentos programáticos para o setor:

- criar um programa nacional de divulgação da ciência e da tecnologia com o apoio das agências de fomento e dos fundos setoriais.
- incluir ao menos uma disciplina de jornalismo científico nas graduações de jornalismo.
- estimular a criação de cursos de pós-graduação em jornalismo científico, com caráter eminentemente multidisciplinar e multi-institucional, abertos a jornalistas e a cientistas.
- estimular as experiências de publicações em jornalismo científico, inclusive as eletrônicas.

nológica no sistema escolar, contribuindo assim para a melhoria no sistema educacional brasileiro; adequar e qualificar mão-de-obra e perfil dos profissionais das carreiras técnico-científicas, com vistas a elevar a produtividade interna; aprimorar formação e a capacitação dos profissionais de educação; proporcionar o avanço do conhecimento em educação.

Museus de Ciência

A educação científica e tecnológica deve ir além dos bancos escolares. Centros e museus de ciência permitem estender as oportunidades de educação, difusão e informação sobre Ciência e Tecnologia não apenas à população em idade escolar, mas a toda a população, como uma opção de lazer. O Brasil ainda tem muito poucos museus de ciência. Alguns exemplos: em Belém do Pará, o centenário Museu Paraense Emílio Goeldi e, no Rio de Janeiro, o Museu de Astronomia e Ciências Afins, ambos do MCT; em São Paulo, a Estação Ciência, criada pelo CNPq e hoje sob a responsabilidade da Universidade de São Paulo; em Porto Alegre, o Museu de Ciência e da Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica. Como parte da estratégia de avanço do conhecimento, é preciso, nos próximos anos, expandir substancialmente a rede desses centros de divulgação científica e integrá-la, de forma efetiva, ao processo de aprendizagem e alfabetização tecnológica das crianças e jovens brasileiros, e ao de educação tecnológica dos adultos.



Quadro 5

Matemática no Brasil: a premência de crescer

A matemática brasileira, sobretudo em suas linhas de pesquisa fundamentais, experimentou grande avanço nas últimas três décadas, a partir do trabalho pioneiro de poucos, mas excelentes, cientistas. Criaram-se ambientes de efervescência científica de padrão crescentemente elevado, ao mesmo tempo em que crescia a participação de jovens e de matemáticos experientes. Ela hoje desfruta uma nítida posição de destaque dentre os países em desenvolvimento, passando o País a fazer parte do grupo III na classificação da União Internacional de Matemática ao lado da Austrália, Bélgica, China, Hungria, Índia, Holanda, Polônia e Espanha. Isto é motivo de orgulho, mas sobretudo é estímulo para uma conquista ainda mais ampla e complexa: promover um avanço de nossa matemática em termos mais abrangentes, mas tão importantes quanto nossos anseios iniciais de desenvolver, aqui mesmo, pesquisas e formação de novos pesquisadores de primeira qualidade.

Os desafios que se apresentam são os da integração com outras áreas da ciência, do estímulo às aplicações ao setor produtivo e da questão fundamental da qualidade do ensino em todos os níveis. A premência de crescer torna-se, assim, indiscutível e, até mesmo, avassaladora.

A história do desenvolvimento da comunidade matemática no Brasil é relativamente recente. Nas primeiras décadas do século XX, com exceção de nomes isolados, a matemática brasileira estava inteiramente dissociada do panorama internacional. Algumas datas importantes: a criação da Faculdade de Filosofia da USP em 1934, a do CNPq em 1951 e a do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) em 1952. Apenas em meados da década de 60, artigos de matemáticos brasileiros começavam a aparecer com alguma frequência em boas revistas internacionais, embora grande parte dessas pesquisas fosse ainda realizada no exterior. O desafio fundamental de produzir novos resultados matemáticos no Brasil teve início com os primeiros programas de pós-graduação nos anos 60.

Apesar desse inegável sucesso, a possibilidade de uma expansão planejada da pós-graduação em matemática tem sido dificultada pela ausência de uma ampla compreensão de sua importância. Cresce também a preocupação com o ensino de matemática em todos os níveis, reconhecendo-se o papel que ela tem na formação de recursos humanos qualificados em todos os segmentos da sociedade. É preocupante a escassez de pessoal qualificado para atender não apenas à demanda do ensino tradicional, nos seus vários níveis, mas também àquela gerada pela evolução científica e tecnológica do país. Constata-se, hoje, que o número de profissionais pós-graduados existente está longe de atender à demanda do ensino, da pesquisa, do setor produtivo e do próprio governo.

A produção de mestres e doutores vem crescendo ao longo dos últimos trinta anos. Passamos da situação em que os pós-graduados eram formados no exterior para a de hoje em que todos os mestres e a maioria dos doutores são formados no País. No entanto, este crescimento ainda é insuficiente e está em descompasso com o avanço das necessidades acadêmico-científicas e com a própria dinâmica educacional.

Por exemplo, um exame dos dados referentes à matemática no ano de 1999 revela que foram formados apenas cerca de 200 mestres, assim mesmo se considerarmos áreas do conhecimento agregadas a matemática. Como existem 369 cursos de graduação em matemática, isto significa que foram disponibilizados, naquele ano, cerca de 0,5 novos mestres por curso de graduação, o que é altamente insuficiente em face da demanda atual. Este número é ainda muito mais preocupante quando observamos que, no mesmo ano, existiam no País 2004 cursos de graduação que exigem formação matemática (1360 em áreas de ciências exatas e da terra e 644 em engenharia e tecnologia).

A realidade revelada pelo Exame Nacional de Cursos (ENC-2000) e pelo Sistema de Avaliação do Ensino Brasileiro – SAEB apresenta uma situação extremamente preocupante no que concerne à formação matemática do cidadão brasileiro. No ENC-2000, realizado com graduandos de matemática, 88,2% dos participantes obtiveram, em uma escala de 0 a 10, conceito menor do que 2,24. Além disso, as melhores médias institucionais não ultrapassaram 6,1 na mesma escala. Isto é um indicador forte de que a formação oferecida nos 369 cursos de graduação em matemática está longe do ideal. Já os dados resultantes dos exames realizados pelo SAEB, nos anos 85, 97 e 99, revelam que os alunos da terceira série da escola média obtiveram notas na faixa 225 a 275 em uma escala de 0 a 500. Aqui o indicador fundamenta a hipótese de um ensino fundamental com grandes deficiências em matemática. Para mudar esse quadro, é necessária uma mobilização imediata da comunidade matemática na discussão de diretrizes para o ensino da matemática e na implementação de novos programas de aperfeiçoamento dos atuais professores e ampliação dos já existentes, tais como o Pró-Ciências. Se quisermos melhorar o nível do ensino de matemática nos primeiro e segundo graus, devemos agir sobre toda a cadeia, que inclui as licenciaturas e bacharelados, os mestrados e os doutorados.

Por outro lado, a ampliação do número de profissionais de matemática envolvidos com aplicações desta ciência ao setor produtivo e a outras ciências demanda uma formação atualizada, diferenciada e mais abrangente, bem como o incentivo a parcerias multidisciplinares em pesquisa e na solução de problemas originados na realidade socioeconômica do País.

A comunidade matemática brasileira analisou o quadro geral desta área no país e conscientizou-se da necessidade absoluta de um crescimento acelerado da mesma e dispõe-se a dar sua vigorosa contribuição para alcançar tal fim, aceitando a responsabilidade de propor soluções que possam ser a base para a definição de políticas e estratégias para solucioná-la e, posteriormente, contribuir para a implementação das mesmas.

O objetivo final é uma ação coordenada da comunidade dos matemáticos e das agências de fomento, para obter-se um salto significativo da matemática no País, tanto do ponto de vista da competência quanto do porte de sua comunidade e a conseqüente superação das deficiências aqui apontadas.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS PARA CT&I

A formação e capacitação de recursos humanos é fator crítico para o desenvolvimento. As nações que investiram de forma sistemática no fortalecimento e ampliação de capital humano atingiram patamares científicos e tecnológicos diferenciados que lhes permitiram tanto ampliar a base econômica quanto aprimorar indicadores de qualidade de vida.

Expansão do Ensino no Brasil

Os esforços brasileiros neste campo, nos últimos cinquenta anos, têm sido notáveis. No período mais recente, ao lado da expansão quantitativa e da ampliação da cobertura geográfica, a política educacional vem dando particular atenção para a superação de deficiências estruturais do sistema que comprometem a qualidade da educação. Temas como orientação acadêmica e pedagógica do ensino, capacitação de novos professores e atualização contínua do quadro funcional, capacidade de atender à crescente demanda por educação de qualidade em todos os níveis, avaliação de resultados, gestão operacional e pedagógica já estão sendo enfrentados, mas, ainda assim, por quaisquer critérios que se adotem, devem integrar a agenda para os próximos dez anos na área de educação.

Melhoria da Qualidade do Ensino

O aprimoramento e expansão quantitativa da rede de ensino fundamental no País já está ampliando



“O foco não pode ser nem a Tecnologia nem a Ciência. O foco deve ser a educação, o cidadão, a espécie humana, nos seus mais variados aspectos e vistos como partes essenciais de um processo de desenvolvimento mais amplo, do qual a educação tecnológica é apenas uma faceta.”

*Francisco Cesar Sá Barreto,
UFMG*

fortemente a demanda no ensino médio e até mesmo no nível superior, que terá grandes desafios ao longo da próxima década, como consequência da expansão dos demais níveis. De um lado, é necessário assegurar a contínua melhoria do padrão qualitativo do ensino, que, apesar do evidente progresso observado nos últimos anos, ainda está certamente aquém dos níveis desejados; de outro lado, é preciso capacitar o sistema de ensino médio e superior para absorver o aumento da demanda e responder às exigências educacionais da sociedade do conhecimento.

O Ensino Superior de Graduação

Existe enorme demanda não atendida de ensino superior no Brasil. Durante quase quinze anos, o número de inscritos no vestibular cresceu mais rapidamente que o número de vagas, e apenas no último quinquênio o hiato entre o número de candidatos e matriculados foi estabilizado. Em 1981, o número de candidatos inscritos para os vestibulares foi de cerca de 1,7 milhão, correspondendo a 125% do total de matriculados; em 1994, o número de candidatos foi de 2.2 milhões, 41% a mais do que o número de matriculados (1,7 milhão). Em 1999, o total de inscritos no vestibular alcançou 3.3 milhões, e a relação número de candidatos/número de matriculados não se alterou.

O fato é que, depois de quase uma década de estagnação, o número de matrículas no ensino superior voltou a crescer de forma acentuada no último quinquênio. Verifica-se que, em 1981, o total de matriculados em instituições públicas e privadas de ensino superior era de 1,4 milhão de estudantes. Em 1994, este número era de 1,7 milhão (dos quais 41,6% em instituições públicas), tendo saltado para 2,4 milhões em 1999 (35% do total). Observa-se, portanto, um crescimento vigoroso do sistema privado (58,1% entre 1994 e 1999), embora o sistema público também tenha crescido 20,5% no mesmo período. Neste período, destacou-se a elevação da oferta de vagas pelo ensino privado (70,3%), bem superior ao crescimento da oferta nas universidades públicas (23,2%), o que levou a participação do primeiro a 75,6% do total das vagas oferecidas em 1999 (Tabela 1).

Expansão do Ensino Privado

A expansão do sistema privado vem permitindo não apenas a absorção de parte do crescimento da demanda, mas também a maior capilaridade da rede de escolas superiores, alcançando inclusive cidades de pequeno e médio porte do interior do País. Ao mesmo tempo, impõe aos gestores do sistema o enorme desafio de assegurar a prestação de serviços de

Tabela 1: Matrículas por Dependência Administrativa

Ano	Total	Público	%	Privado	%
1994	1.661.034	690.450	41,6	970.584	58,4
1995	1.759.703	700.540	39,8	1.059.163	60,2
1996	1.868.529	735.427	39,4	1.133.102	60,6
1997	1.945.615	759.182	39,0	1.186.433	61,0
1998	2.125.958	804.729	37,9	1.321.229	62,1
1999	2.377.715	833.093	35,0	1.544.622	65,0
Taxa de Cresc. 94-99	43,1%	20,7%		59,1%	

Fonte: INEP - Censo do Ensino Superior, 1999.

qualidade compatível com as exigências da sociedade contemporânea e com a própria realidade econômica das famílias brasileiras. Impõe, ainda, o desafio de integrar o sistema privado com as atividades de pesquisa e de formação de recursos humanos de alto nível, para atender à crescente demanda do próprio mercado de trabalho por esse tipo de profissionais.

Apesar desse aumento, o total de matrículas, quando comparado à população brasileira na faixa etária de 18 a 24 anos, ainda representava uma proporção baixa, no final da década passada (10% no ano de 1998).

O estudo “Resultados e Tendências da Educação Superior no Brasil” (INEP, 2000) confirma a aceleração do ritmo de matrículas na graduação, tal como mencionado acima, a melhoria global dos indicadores de eficiência e produtividade do sistema – evidenciada pelo aumento do número de concluintes, melhoria da relação entre o número de concluintes e o número de ingressantes, aumento do número de alunos por professor e de aluno por funcionário –, a melhoria da qualificação docente e a expansão e consolidação dos programas de pós-graduação nas instituições de ensino superior públicas.

Avaliação do Ensino Superior

Está sendo implantado no Brasil um sistema de avaliação geral das instituições de ensino superior, nos moldes da que já pratica a Capes há mais tempo para os programas de pós-graduação. Os resultados ainda não permitem o diagnóstico qualitativo completo de todos os cursos, mas são suficientes para sustentar a visão de que o sistema ainda é desequilibrado e de que, ao lado de instituições de nível acadêmico elevado – principalmente as públicas –, convive um con-

junto que ainda precisa melhorar, de forma substancial, para atingir os padrões de qualidade que o MEC vem fixando como parte do esforço de melhoria generalizada do ensino no Brasil.

Neste contexto, somente uma parcela dos cidadãos tem acesso à educação sistemática e de qualidade. A dificuldade com o modelo atual não está somente na existência de instituições de perfis diferenciados para atender à enorme e diversificada demanda. Reflete ainda, tanto problemas estruturais, que vêm se acumulando há décadas, como impasses típicos dos períodos de transformação acelerada e ruptura de paradigma, entre os quais a incerteza em relação à estratégia a ser seguida, à redefinição de funções e prioridades, resistência às mudanças, multiplicidade de interesses não necessariamente convergentes e assim por diante. Não se pode imaginar que os problemas possam ser superados por reformas educacionais, nos moldes da implementada pelo governo militar na década de 60. As instituições de ensino estão em processo de transformação, e o desafio da próxima década consiste, por meio do contínuo diálogo e debate envolvendo governo, instituições de ensino e sociedade em geral, levar adiante um amplo programa de ampliação quantitativa e qualitativa do sistema de ensino superior. Para isto será necessário, entre outras ações, superar a carência de projetos acadêmicos e pedagógicos para desenvolver metodologias e técnicas adequadas para resolver as grandes questões relacionadas com o atendimento quantitativo da demanda e com a qualidade da educação.

Plano Nacional de Educação

O Plano Nacional de Educação representa um passo neste sentido. Considerando-se que a população brasileira na faixa etária entre 18 e 24 anos é superior

a 20 milhões, o alcance da meta estabelecida no Plano Nacional de Educação prover, até o final da década, oferta de educação superior para, pelo menos, 30% da população na faixa etária de 18 a 24 anos demandará um esforço gigantesco de expansão da educação superior. Ou seja, estabelecer as condições para passar de 2 milhões de vagas para entre 4 e 6 milhões de vagas nos próximos cinco anos.

Um aspecto que chama a atenção é o crescimento acentuado da participação do segmento privado dos estabelecimentos de ensino superior no Brasil e a expansão, neste segmento, dos estabelecimentos isolados (escolas formadas muitas vezes por um ou dois cursos com única direção, sucedâneas de escolas secundárias). No total dos estabelecimentos de ensino superior isolados, as faculdades privadas representavam 60%, em 1996. Neste quadro, uma exigência crucial para o setor público é a definição de formas de regulação que garantam à população uma perspectiva de melhora contínua e substancial da qualidade da educação ofertada. Um passo inicial importante e inédito nessa direção foi dado com a institucionalização da sistemática atual de avaliação do MEC. Esta compreende os “Provões”, ou Exame Nacional de Cursos (ENC), cujo objetivo é a avaliação do desempenho dos alunos e a avaliação das condições de oferta de cursos de graduação. Esta ocorre mediante visitas de verificação realizadas por especialistas, que efetuam a avaliação dos cursos com respeito à qualificação do corpo docente, organização didático-pedagógica e instalações. A provisão de educação privada de qualidade requer, necessariamente, aperfeiçoamento dos mecanismos de avaliação, a fim de romper com o círculo vicioso da mediocridade que governa o funcionamento de muitas instituições de ensino superior: o estudante paga pelo diploma, e não pelo conhecimento e formação, e por isso

Quadro 6 **Ensino de Engenharia**

O período pós II Guerra Mundial pode ser considerado um marco de pujança da engenharia e seu importante papel de transformar o conhecimento em inovação. Essa “engenharia do conhecimento”, ocorrida de forma tão acelerada no último século, trouxe profundas modificações na visão do homem de si mesmo e na sua forma de viver e, conseqüentemente, no modo de produção.

Os resultados brasileiros em termos de inovação ou invenção são extremamente preocupantes, quando comparados aos de países desenvolvidos. Por exemplo, enquanto em todo o período de 1988 a 1996 houve a solicitação de 112.436 patentes no Brasil (a maior parte originária do Exterior), registraram-se 206.276 pedidos nos Estados Unidos, apenas no ano de 1996.

Esse quadro mostra a necessidade de mudança na formação do engenheiro. Hoje, a competitividade instalada na indústria e as exigências com o comprometimento ambiental e social requerem um perfil de engenheiro com capacidade para identificar as oportunidades para a inovação e que tenha, ainda, uma boa capacidade gerencial e de inter-relação pessoal. Em resumo, requer-se hoje do engenheiro uma formação mais abrangente e, ao mesmo tempo, de maior conteúdo científico, condições que não têm sido contempladas na maioria dos currículos brasileiros.

O Brasil forma cerca de 15 mil engenheiros por ano. Entretanto, a maior parte daqueles que permanecem na profissão têm geralmente uma formação que pouco os estimula à busca da inovação. Comparado aos países desenvolvidos, o Brasil apresenta um número de 6 engenheiros por mil trabalhadores da população economicamente ativa, contra 15 por mil na França e 25 por mil no Japão e Estados Unidos. Apenas 10% do alunado de graduação das universidades brasileiras está matriculado em cursos de engenharia, contra mais de 25% nos Estados Unidos. Esse quadro é um forte indicativo da desvalorização da profissão, conseqüência dos inadequados investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em infra-estrutura no País.

Em 1994, o Ministério da Ciência e Tecnologia, por intermédio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), criou o Programa de Desenvolvimento das Engenharias (Prodenge). O referido programa tinha como objetivo estruturar e modernizar o ensino e a pesquisa em engenharia. O Prodenge atuou mediante dois subprogramas complementares: a Reengenharia do Ensino de Engenharia (Reenge), e a criação de Redes Cooperativas de Pesquisa (Recope), envolvendo a interação entre universidades, institutos de pesquisa e empresas para a realização de atividades conjuntas de pesquisa, desenvolvimento experimental e engenharia. O saldo do Prodenge é muito positivo. O Recope, por exemplo, criou uma cultura de cooperação entre as escolas de ensino de engenharia no País, lançou as bases de importantes coalisões regionais dessas escolas e propiciou a criação de uma Rede Brasileira de Engenharia, uma infra-estrutura de telecomunicações que interliga as escolas de engenharia, facilitando interações e a realização de cursos à distância.

O Programa de Apoio ao Ensino e Pesquisa em Engenharia (Paepe) do MCT e MEC virá substituir o Reenge e continuar o esforço de reativação das engenharias no Brasil.

mesmo não exige a prestação de um serviço de boa qualidade. Ao contrário, quanto menor a exigência, melhor, pois mais fácil será a obtenção do título.

Com relação ao ensino superior público, o mesmo Plano Nacional de Educação coloca um desafio: ampliar a oferta de ensino público e assegurar um número de vagas nunca inferior a 40% do total. Isto implica a necessidade de quase dobrar a oferta de ensino superior por estabelecimentos públicos. Ainda que parte desse crescimento possa vir a ser atendido com a criação de novos estabelecimentos – inclusive em parceria da União com os estados, como indicado no Plano –, é inevitável que as universidades públicas promovam ampliação substancial de suas vagas, o que já está ocorrendo. O desafio, na universidade pública, é o de expandir o ensino e ao mesmo tempo melhorar sua qualidade sem comprometer o esforço, a qualidade e os resultados da pesquisa, que também devem ser potencializados.

A diversidade e a heterogeneidade de nosso complexo de educação superior devem ser consideradas como premissa fundamental quando se avança na construção de políticas dirigidas ao setor.

A Pós-graduação

A pós-graduação no Brasil constitui o cerne da pesquisa científica. É também a base de formação de pesquisadores para instituições de pesquisa e para empresas. Neste sentido, tem função estratégica na construção do futuro. Sob todos os aspectos – número de cursos, alunos, bolsas, produção científica –, o quadro da pós-graduação no Brasil, nos anos 90, foi de expansão. O número de estudantes matriculados na pós-graduação *stricto sensu* cresceu acima de 80%, ao longo da última década (ver capítulo 1 e

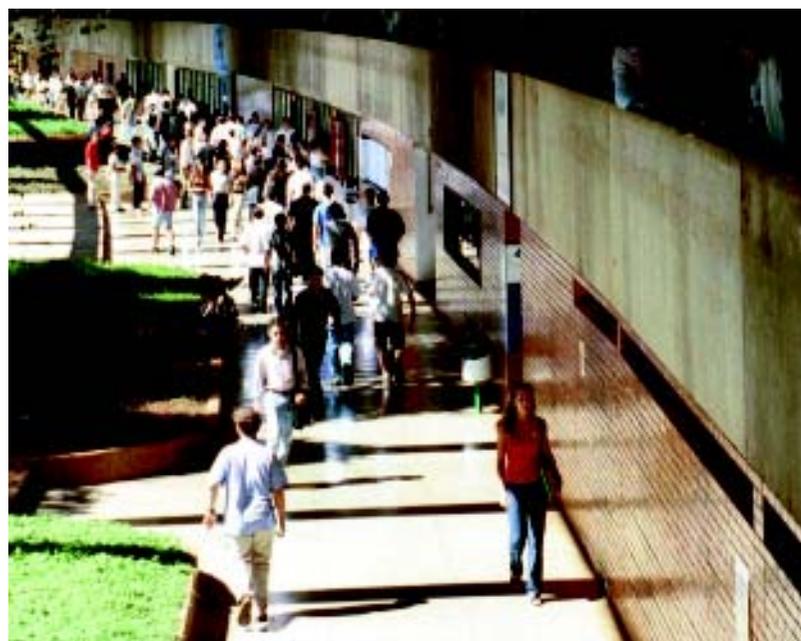


Tabela 2). O número de alunos de doutorado cresceu ainda mais rapidamente do que o de mestrado. Esta é uma das principais realizações da década de noventa, com poucas paralelas no resto do mundo.

A pós-graduação brasileira vem apresentando um nível de qualidade crescente e para isto contribuiu, de forma decisiva, o processo de avaliação instituído pela Capes, com a colaboração do CNPq e outras agências de fomento, e a participação da comunidade científica. Este processo e a resultante elevação do patamar de qualidade do ensino de pós-graduação no Brasil é exemplar do que se pode alcançar de forma participativa com perseverança e visão de futuro.

Bolsas de Formação

Um dos instrumentos mais importantes para a obtenção desses resultados tem sido a concessão de bolsas de formação. O número total de bolsas de mestrado e doutorado no País (Tabela 3), concedidas pelo conjunto das agências federais (CNPq e Capes), passou de menos de 10 mil bolsas/ano, em 1980 para mais de 30 mil/ano em 2000. Tomando-se apenas as bolsas de mestrado, vemos que, seu número, que era

de aproximadamente 8 mil em 1980, cresceu continuamente até 1994, quando atingiu seu ponto máximo com quase 22 mil bolsas, e vem se reduzindo desde então, tendo atingido o patamar de 17 mil bolsas em 2000. Já o número de bolsas de doutorado partiu de cerca de 1.300, em 1980, elevou-se continuamente durante todo o período, deu um salto expressivo em 1993, chegando a pouco mais de 8.500 bolsas, e manteve-se em uma trajetória de crescimento contínuo até 2000, quando atingiu seu ponto de máximo com 14 mil bolsas. Incluindo-se todas as agências estaduais, o número de bolsas de estudos de formação no país, atualmente vigentes, aproxima-se de 60 mil, segundo as informações do Prossiga captadas em maio de 2001. A prioridade dada às bolsas de doutorado reflete uma decisão da política educacional, para atender à demanda futura, com o objetivo de reforçar a oferta de recursos humanos de qualificação elevada, cuja formação requer anos.

Como reflexo da opção de abreviar o tempo de formação dos pesquisadores, acompanhando assim a tendência internacional¹, acentuou-se o direcionamento da concessão de bolsas ao doutorado, em especial pelo CNPq, que, em 2000, pela primeira vez em sua história,

Tabela 2: Alunos Matriculados em Cursos de Pós-Graduação (Brasil: 1987/1999)

Estudantes	1987	1990	1993	1996	1999
Estudantes de Mestrado	30.337	36.502	38.265	44.925	57.031
Bolsas (CNPq + Capes)	12.241	17.592	20.484	20.898	17.623
% Estudantes com Bolsa	40	48	53	46	31
Estudantes de Doutorado	8.309	10.923	15.569	22.004	29.985
Bolsas (CNPq + Capes)	3.876	5.076	8.575	11.618	12.881
% Estudantes com Bolsa	47	46	55	53	43
Titulados					
Mestrado	3.865	5.579	4.557	10.356	15.356
Doutorado	1.005	1.410	1.875	2.972	4.862

Fonte: Capes

Tabela 3: Papel das Bolsas no Apoio à Pós-Graduação: Bolsas de Mestrado e Doutorado Concedidas no País, por Agências Federais. Brasil: 1980-2000

Anos	Total		CAPES (1)		CNPq	
	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado	Mestrado	Doutorado
1980	8.653	1.372	6.190	887	2.463	485
1981	8.471	1.548	5.888	981	2.583	567
1982	8.475	1.706	5.301	1.108	3.174	598
1983	8.649	1.950	5.009	1.291	3.640	659
1984	9.172	2.224	5.273	1.449	3.899	775
1985	9.684	2.649	5.727	1.830	3.957	819
1986	10.180	2.961	5.980	2.048	4.200	913
1987	12.241	3.876	7.242	2.589	4.999	1.287
1988	16.048	4.664	10.221	3.251	5.827	1.413
1989	16.570	4.648	9.969	2.959	6.601	1.689
1990	17.592	5.076	9.658	2.938	7.934	2.138
1991	19.094	6.007	10.487	3.333	8.607	2.674
1992	18.702	6.739	10.393	3.734	8.309	3.005
1993	20.484	8.575	11.873	5.101	8.611	3.474
1994	21.684	9.718	12.267	5.706	9.417	4.012
1995	20.440	10.531	10.787	6.131	9.653	4.400
1996	20.898	11.618	11.280	7.034	9.618	4.584
1997	20.768	12.175	13.004	7.143	7.764	5.032
1998	18.632	12.623	12.376	7.418	6.256	5.205
1999	17.623	12.881	11.930	7.554	5.693	5.327
2000	17.251	14.016	11.679	8.158	5.572	5.858

Fonte: Capes/MEC.

Elaboração: Coordenação de Estatísticas e Indicadores - MCT; Cons. Nac. de Desenvol. Científico e Tecnológico - CNPq.

Nota: (1) Os dados informados, até 1994, referem-se ao número de bolsas concedidas; a partir de 1995, passam a indicar o número de bolsas para as quais foram pagas 12 mensalidades.

concedeu um número de bolsas de doutorado (5.858) superior ao de bolsas de mestrado (5.572).

Foi também uma opção deliberada de País constituir em suas universidades cursos de mestrado e

doutorado, distinguindo-se da prática adotada por outros países em desenvolvimento de utilizar-se maciçamente do recurso de enviar seus estudantes para centros estrangeiros. Evidentemente, para áreas do conhecimento consideradas prioritárias ou que

1 Um ponto essencial ao debate é a diferenciação dos sistemas de pós-graduação em sentido amplo e em sentido estrito. A tendência recente de crescimento desproporcional do número de mestres formados nos EUA, Canadá e países da Europa está associada, basicamente, aos chamados MBAs e similares. Referem-se muito mais a mecanismos de educação/formação continuada do que a instrumentos de consolidação da base da estrutura universitária e de pesquisa. Poucos países exigem ou mesmo reconhecem a necessidade de titulação em nível de mestrado para que se ingresse no programa de doutorado.

não sejam contempladas nos cursos de pós-graduação no País, o envio de estudantes brasileiros para o exterior é a solução mais adequada. De modo geral, a concessão de bolsas de estudo para doutorado-sanduíche e pós-doutorado foi priorizada, sobretudo a partir da primeira metade da década de noventa. Além de manter os vínculos científicos das instituições, pesquisadores e estudantes nacionais com o exterior, essa opção tende a incentivar a disseminação da capacidade científica no País, na medida em que os bolsistas tendem a ser mais experientes e a possuir vínculos institucionais mais estabelecidos. Além de incentivar o desenvolvimento e a disseminação de capacidade científica e de pesquisa no País, essa opção, complementada com a busca de soluções mais adequadas para a inserção produtiva desses pesquisadores, contribui para evitar a perda de profissionais mais capacitados para o exterior. Tendo em vista a rapidíssima evolução da CT&I nos países avançados, não se deveria excluir, metodologicamente, a possibilidade de expandir o número de bolsas de estudo no exterior em áreas selecionadas do conhecimento. Por outro lado, parece necessário que a sociedade

abra um debate no contexto das perspectivas da crescente demanda por recursos humanos qualificados por países avançados, definindo tanto políticas de fixação no País da mão-de-obra qualificada, como a intensificação de intercâmbio com o exterior como mecanismo de prevenção da fuga de cérebros.

Finalmente, vale mencionar ressalvas que são feitas quanto à queda da relação entre bolsas de mestrado e de doutorado, no Brasil. Esta filosofia contrasta com a tendência de países desenvolvidos, como os EUA e o Japão, onde a relação entre mestres e doutores formados é bem superior à do Brasil, mesmo tomando-se em consideração apenas o MA e o MSc (ou seja, desconsiderando-se o MBA). Leve-se em consideração também que a situação nesses dois países é radicalmente distinta da existente no Brasil. O argumento considera que a crescente sofisticação e complexidade da ciência moderna requer a formação de equipes organizadas em estrutura piramidal, incluindo pessoal treinado em diversos níveis, um ou dois líderes, poucos doutores e diversos mestres e técnicos qualificados com nível equivalente ao secundário.

Quadro 7

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - Pibic

O Pibic nasceu em 1988, de uma iniciativa inovadora do CNPq, que visava estabelecer um contato mais estreito entre as instituições de ensino e as de pesquisa. Serve de instrumento para a formação para pesquisa de estudantes da graduação em todas as áreas do conhecimento. Dirige-se o programa ao aprendizado concreto de teorias e metodologias de pesquisa sob a orientação de pesquisadores mais experientes, buscando: i) *introduzir o aluno no mundo da pesquisa científica*, ou seja, deve estimulá-lo à continuidade dos estudos, garantindo frutos duradouros, introduzindo-o mais cedo na pós-graduação com melhores e mais rápidos resultados; ii) *estimular o pesquisador-orientador a formar equipes para a atividade científica*. Este aspecto da iniciação científica permite desenvolver e consolidar a investigação científica integrada à própria formação de colaboradores; iii) *propiciar à instituição um instrumento de formulação de políticas de pesquisa*. Isto é, a IC deve servir às instituições

como um incentivo à recomposição de atividades, capaz de conduzir a inovações no planejamento e na definição de linhas de pesquisa com vistas à identificação com o próprio perfil institucional.

Metas

- *de caráter substantivo (voltada para as expectativas relativas à identidade do programa)*. Nos próximos dez anos, o PIBIC deverá contribuir para diminuir em pelo menos dez anos a idade média atual de formação de mestres e doutores;

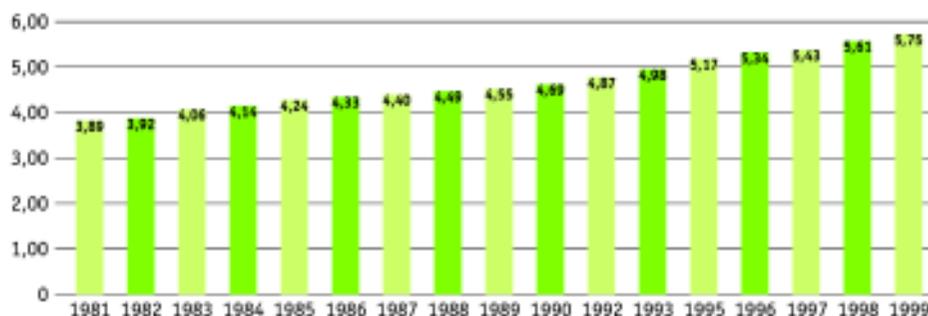
- *de caráter de política científica (forma de intervenção estratégica no planejamento do desenvolvimento regional equilibrado)*. O Pibic deverá contribuir para, na próxima década, diminuir as disparidades regionais na distribuição da competência científica no território nacional.

A indústria segue a mesma estrutura piramidal, contratando mais bacharéis, menos mestres e somente alguns doutores para posições de liderança. Portanto, a redução da porcentagem de estudantes de mestrado com bolsa poderia diminuir a capacidade da universidade de selecionar talentos e desfavorecer a formação de recursos humanos qualificados para a indústria, que prefere contratar mais mestres do que doutores.

O nível de escolaridade da população brasileira com um mínimo de dez anos de idade registra um crescimento muito lento desde 1981 (Gráfico 1). Em dezessete anos, a escolaridade média do brasileiro aumentou menos de dois anos. Em 1999, ela era ainda inferior a seis anos. Não há testemunho mais eloquente e doloroso do despreparo do país para os de-

safios da sociedade do conhecimento. Igualmente, não há desafio mais urgente a ser enfrentado para o avanço do conhecimento, caso se queira fazer da Ciência, Tecnologia e Inovação os motores do desenvolvimento do Brasil no século XXI. Será preciso que a sociedade e os poderes públicos dêem, à questão educacional, atenção constante e prioritária a toda uma geração. Só assim será possível acelerar o ritmo de crescimento da escolaridade média do brasileiro e começar a aproximá-la daquela dos países bem-sucedidos, em seu esforço de desenvolvimento social e econômico. Como já se indicou anteriormente, a escolaridade média da Coreia do Sul, por exemplo, é mais de duas vezes superior à brasileira. Cumpre ainda ressaltar que do indicador quantitativo não transparece a questão da qualidade dessa educação, outro fator crucial do desafio brasileiro.

Gráfico 1: Brasil: Média de Anos de Estudo da População em Idade Ativa (10 ou mais Anos de Idade), 1981/1999



Fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD (microdados) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Elaboração: Coordenação de Estatísticas e Indicadores do Ministério da Ciência e Tecnologia.

Notas: exclusiva a população rural de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá.

Nos anos de 1981 a 1990, o valor de 9 a 11 anos de estudo foi convertido para 10 anos de estudo e 12 anos ou mais de estudo foi considerado com 12 anos de estudo.

Nos anos de 1992 a 1999, 15 anos ou mais de estudo foi considerado com 15 anos de estudo.

Para o cálculo da média, não foram consideradas as pessoas sem instrução e com menos de um ano de estudo e os valores não determinados ou sem declaração.



PROFISSIONAIS E PESQUISADORES NA CONSTRUÇÃO DO FUTURO

A distribuição da educação no Brasil é tão desigual quanto a distribuição de riqueza, produzindo um círculo vicioso que alimenta a pobreza: o baixo nível de educação implica baixa produtividade, baixo nível de renda e exclusão social, que por sua vez limita o acesso à educação de qualidade e as possibilidades de ascensão social. Em 1999, no topo da pirâmide educacional, cerca de três milhões de brasileiros (menos de 2% da população) possuem emprego formal, muitos desses em ocupações científicas, técnicas e artísticas e de direção superior. As estatísticas mostram não apenas que as taxas de desemprego para os brasileiros com educação superior são bem inferiores à média geral, mas também que, entre 1985 e 1999, os ocupados em empregos formais, com educação superior, passaram de cerca de 9% para mais de 12% do total de empregados (Tabela 4).

Não obstante, a participação de cientistas e engenheiros nesse total é bastante limitada: em 1999, o número de cientistas e engenheiros (excluindo-se os profissionais de informática) somava cerca de 126 mil pessoas, o que representa apenas 0,5% do emprego formal no Brasil (ou 0,7%, se forem incluídos os profissionais de informática). Embora na primeira metade da década de noventa tenha se reduzido o número de cientistas e engenheiros, a partir de 1996 este número passou a apresentar tendência de crescimento, superando, no caso dos cientistas, o patamar observado em 1990. Ademais, merece destaque a



Tabela 4: Número de Ocupados Formais: Total e com Educação Superior, Brasil 1985/99 (em 1000 pessoas)

Ano	Total dos Ocupados (a)	Total dos Ocupados com Escolaridade Superior (b)	Percentual dos Ocupados com Nível Superior (b/a)
1985	20.492	1.845	9,0
1988	23.662	2.099	8,9
1991	23.011	2.205	9,6
1994	23.667	2.553	10,8
1997	24.104	2.725	11,3
1999	24.619	3.037	12,3

Fonte: *Relação anual das Informações Sociais (Rais)*, Ministério do Trabalho e Emprego, 1985-99. Elaboração: Coordenação de Estatísticas e Indicadores do Ministério da Ciência e Tecnologia.

grande expansão do número de profissionais de informática que, entre 1991 e 1999 variou quase 50%. Em comparação com indicadores equivalentes de países mais industrializados, no Brasil a participação desses profissionais no emprego é exígua. Nos países mais industrializados da OCDE, em 1998, a participação de cientistas e engenheiros no emprego variava entre 5% e 12% do emprego total.

A distância entre o Brasil e os países mais industrializados é determinada primordialmente pelo menor número de empregos desses profissionais nas empresas. A principal razão para isto é a relativamente reduzida atividade de P&D e engenharia realizada nas empresas brasileiras.

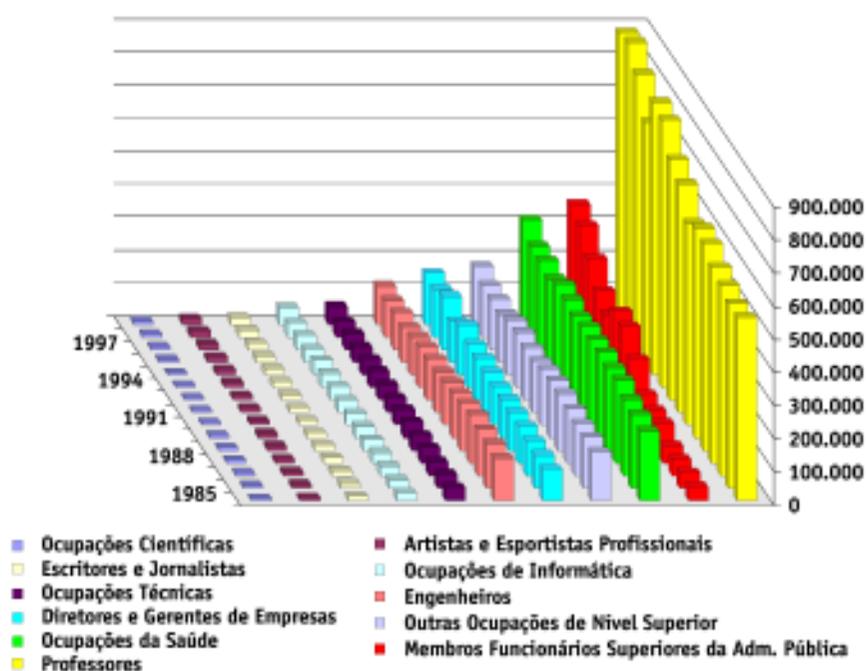
Os professores, os funcionários superiores da administração pública (incluindo pesquisadores), os profissionais da saúde e os profissionais de informática constituem as categorias que mais cresceram entre 1985 e 1997, entre os grupos que estão sendo aqui considerados (Gráfico 2). Os professores representam cerca de 40% do total dos profissionais de nível superior em ocupações científicas, técnicas e artísticas. Os professores do ensino superior somavam cerca de 135.000

indivíduos, em 1998, ou 15% do total de professores.

Se o significativo aumento no número e participação dos professores é um fato animador, o agravamento do já precário quadro de utilização de engenheiros e cientistas nas empresas merece atenção redobrada e a busca de instrumentos para superá-lo. A promoção do desenvolvimento de atividades tecnológicas nas empresas depende de um conjunto de políticas diretas e indiretas de incentivos. Vale lembrar que a reformulação das políticas de apoio à P&D em vários países (como a França, a Holanda, a Bélgica e a Austrália) tem incorporado mecanismos específicos de apoio à contratação de cientistas e engenheiros pelo setor privado.

No que concerne aos recursos humanos com alto nível de qualificação, as informações produzidas pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)², do IBGE, mostram que o número de pessoas com mestrado ou doutorado no Brasil passou de 157 mil em 1992, para 258 mil em 1999, das quais 224 mil eram economicamente ativas. Por seu turno, 221 mil estavam ocupadas em 1999. Logo, havia cerca de 3 mil pessoas com título de mestre ou doutor em situação de desemprego naquele ano. Isso corres-

Gráfico 2: Ocupação de Profissionais de Nível Superior, Brasil - 1985/1999



ponde a uma taxa específica de desemprego da ordem de 1,3%, contra 4,2% entre as pessoas com nível superior completo e 9,6% para o conjunto da população.

Esse mesmo levantamento permite outras verificações interessantes: em 1992, das pessoas ocupadas, 51% que freqüentaram regularmente cursos de mestrado ou doutorado, independentemente do fato de os terem ou não concluído, estavam empregadas no setor público. Destas, 55% estavam inseridas em atividades de ensino. Em 1999, observa-se que a proporção daquelas empregadas no setor público havia se reduzido para 45% e a parcela das que desenvolviam atividades educacionais havia passado para 53%. Deve-se considerar que este movimento foi

motivado tanto pela criação de novas oportunidades de ocupação no setor privado como pela aposentadoria e planos de demissão voluntária associados às reformas institucionais implementadas no setor público ao longo da década de noventa.

Assim, o setor privado está se tornando o principal empregador dos indivíduos de alta qualificação (segundo a PNAD, essa situação passou a se verificar a partir de 1998). Note-se que a expansão das oportunidades de emprego nesse setor não se explica apenas pelo crescimento das ocupações nos serviços de educação, uma vez que a proporção das pessoas de elevada qualificação que atuam nesse segmento específico manteve-se, em 1999, no mesmo patamar observado em 1992 (23%).

2 Por ser uma pesquisa amostral, a PNAD se ressentia de importantes limitações para realizar estimativas de eventos de baixa frequência, como os ora analisados. Portanto, as estimativas aqui apresentadas devem ser tomadas com reservas, especialmente aquelas em números absolutos. Porém, a série temporal que se obteve apresenta um comportamento consistente, sugerindo que sua amostra não apresentou variações expressivas no período no que tange a esse aspecto.

Tabela 5: Brasil: Distribuição dos Grupos de Pesquisa segundo as Regiões Geográficas - 2000

Região	Grupos	%
Sudeste	6.733	57
Sul	2.317	20
Nordeste	1.720	15
Centro-Oeste	636	5
Norte	354	3
Brasil	11.760	100

Entre as informações coletadas estão as referentes ao número de pessoas com nível superior que atuam em atividades de P&D no interior das empresas. Seus primeiros resultados indicam que há no País cerca de 12.200 pessoas nessa situação, distribuídas em 1.800 empresas, das quais 65% estão localizadas no estado de São Paulo.

A Base de Pesquisadores Empregada no Brasil

De acordo com o último levantamento do Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil (2000), do CNPq, 224 instituições forneceram informações sobre 11.760 grupos de pesquisa nos quais trabalham 48.781 pesquisadores, sendo 27.662 com título de doutor.

A distribuição geográfica dos 11.760 grupos de pesquisa é fortemente concentrada na região sudeste, conforme demonstra a Tabela 5. São 6.733 grupos localizados nesta região, seguindo-se a região Sul com 2.317 grupos, a Nordeste com 1.720, a Centro-Oeste com 636 e a região Norte, com apenas 354.

O estado de São Paulo abriga 3.645 grupos, seguido do estado do Rio de Janeiro, com 1.922. Essas duas unidades da Federação, mais o Rio Grande do Sul e Minas Gerais, abrigam dois terços da atividade de pesquisa quando medida pelo número de grupos. Univer-

sidades, escolas isoladas e institutos de pesquisa com atividade de pós-graduação detêm 89,6% do total dos grupos. Estes números refletem a consolidação da pós-graduação na institucionalização da pesquisa no Brasil, fato que foi reforçado nas duas últimas décadas pela continuidade dos programas de bolsas de estudo, mesmo nas fases mais difíceis e de maiores cortes do gasto público no setor. Também é muito concentrada a atividade de pesquisa no Brasil do ponto de vista institucional. Dezesesseis instituições, que perfazem 7% do total de instituições inventariadas, abrigam metade dos grupos de pesquisa.

Tomando-se as grandes áreas, a percentagem de doutores varia de 68,4%, nas ciências exatas e da Terra, a 45,8%, nas ciências humanas. Entre as áreas do conhecimento, há 11 com mais de 70% de pesquisadores doutores. Dessas, seis pertencem às ciências biológicas (biofísica, bioquímica, fisiologia, farmacologia, morfologia e imunologia), quatro às ciências exatas (astronomia, matemática, física e química) e a restante cabe à engenharia civil. A astronomia e a matemática lideram o *ranking* de titulação, respectivamente com 85% e 83% de doutores. No que se refere às grandes áreas, a distribuição dos grupos é mostrada na Tabela 6.

Tabela 6: Brasil: Distribuição dos Grupos de Pesquisa segundo a Grande Área de Conhecimento Predominante de suas Atuações - 2000

Grandes Áreas do Conhecimento	Grupos de Pesquisa	%
Ciências da Natureza	3.638	31
Engenharia e C. da Computação	1.826	16
Ciências Exatas e da Terra	1.812	15
Ciências da Vida	4.904	42
Ciências da Saúde	1.832	16
Ciências Biológicas	1.720	15
Ciências Agrárias	1.352	12
Humanidades	3.218	27
Ciências Humanas	1.711	15
Ciências Sociais Aplicadas	930	8
Linguística, Letras e Artes	577	5
Totais	11.760	100

Fonte: CNPq, Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil

Quadro 8 A Fábrica do Futuro

As técnicas de fabricação de que dispomos são ainda muito primitivas, se comparadas àquelas da natureza. O fio de uma teia de aranha, por exemplo, tem a resistência de um fio de aço do mesmo diâmetro, mas é muito mais flexível. A produção do fio de aço exige uma seqüência complexa e custosa de fabricação. Da extração do minério de ferro até o produto final, o processo de fabricação é caro, demorado, consome uma quantidade enorme de energia e é altamente poluente. Comparemos esta seqüência de etapas de fabricação com a simples produção do fio da teia de aranha: silencioso, limpo e eficiente. Qual a diferença? A glândula da aranha que produz o fio manipula quase que diretamente os átomos que constituem suas moléculas. Ela emprega uma técnica de fabricação extremamente sofisticada, manipulando a matéria de “baixo para cima”, isto é, dos átomos e moléculas invisíveis para o produto final, visível. Esta técnica é aquilo que os cientistas chamam de nanofabricação: a montagem de materiais e dispositivos átomo por átomo, molécula por molécula. Já nossas técnicas metalúrgicas, herdadas da antigüidade e aperfeiçoadas pela ciência mais recente, são extremamente cruas e manipulam a matéria, por assim dizer, de cima para baixo, do visível (material) para o invisível (átomos). A ciência moderna ambiciona, cada vez mais, imitar a aranha em lugar de imitar a forja de Plutão, o mítico deus da antigüidade que forjava metais em meio ao barulho e calor de sua siderúrgica primitiva.

As máquinas do futuro empregarão mais componentes miniaturizados e materiais produzidos por técnicas que se aproximarão, progressivamente, daquelas empregadas pela natureza, por exemplo, na “produção” de uma formiga. A formiga é uma pequena “máquina” que se autoconstrói, dotada de sensores químicos e eletromagnéticos poderosos, atuadores mecânicos potentes, capaz de se locomover e identificar onde precisa atuar para conseguir os resultados desejados. Mesmo nossas melhores máquinas são ainda primitivas, se comparadas à sofisticação de uma formiga, e precisam ser construídas com enorme paciência e alto custo. Como na produção da formiga, o objetivo da nanofábrica do futuro é produzir máquinas que se autoconstruam, que se montem e se reparem sozinhas.

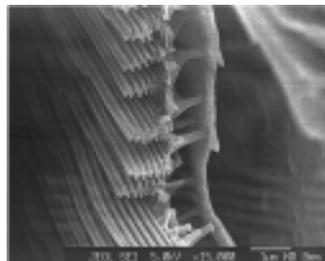
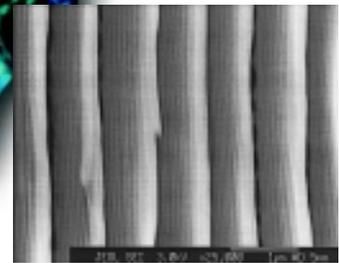
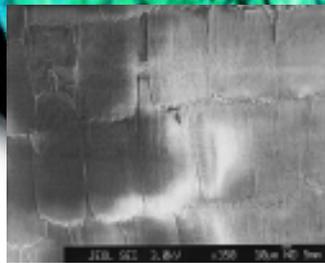
Para chegar lá, o nosso conhecimento da natureza ainda precisa avançar muito. Pesquisas multidisciplinares em física, química, biologia, engenharia de materiais, computação, matemática serão necessárias para que os processos de manufatura de artefatos humanos se aproximem em eficiência ao uso de matérias-primas e energia, na preservação do meio ambiente e na engenhosidade daqueles empregados pela natureza na produção de seres vivos. As próximas décadas prometem ser fascinantes na busca de soluções para esses problemas.



O segredo da asa da borboleta

De onde vem a cor azul da asa da borboleta? Esta cor é produzida por uma intrincada grade de difração tridimensional formada por estruturas muito pequenas (inferiores a um milionésimo de milímetro), que não se sabe reproduzir artificialmente.

A compreensão deste fenômeno envolve biologia, engenharia de materiais, óptica e, ao mesmo tempo em que satisfaz a curiosidade sobre um bellissimo fenômeno natural, dá indicações sobre como produzir novos materiais artificiais com propriedades ópticas inovadoras.



AVANÇO DO CONHECIMENTO

A pesquisa acadêmica tem a insubstituível função de acompanhar e expandir a fronteira do conhecimento, além de treinar jovens para a atividade de prospecção, absorção e difusão do conhecimento.

Em 2000, a produção científica brasileira, medida pelo número de artigos científicos e técnicos publicados e indexados no *National Science Indicators*, chegou a 9.511. Enquanto na década de oitenta o crescimento da produção científica foi da ordem de 88%, na década de noventa essa taxa subiu para cerca 150% (Gráfico 3). Não apenas cresceu a participação da produção brasileira na produção mundial de conhecimento, como vem crescendo mais rapidamente do que o conjunto da América Latina e do mundo. Também a citações de artigos brasileiros cresceram aceleradamente nas últimas duas décadas: passaram de pouco mais de 14 mil entre 1981 e 1985, para quase 85 mil entre 1996 e 2000.

O desempenho da produção científica brasileira suscita uma reflexão sobre o papel da ciência básica no processo de desenvolvimento da CT&I. Nos anos recentes, tem crescido sobre o sistema de CT&I a pressão por resultados, os quais tendem a ser confundidos com aplicações práticas e rentáveis dos produtos das pesquisas. Argumenta-se com frequência que os países em desenvolvimento não têm condições de competir com os desenvolvidos na geração de novos conhecimentos, já que estes consomem re-

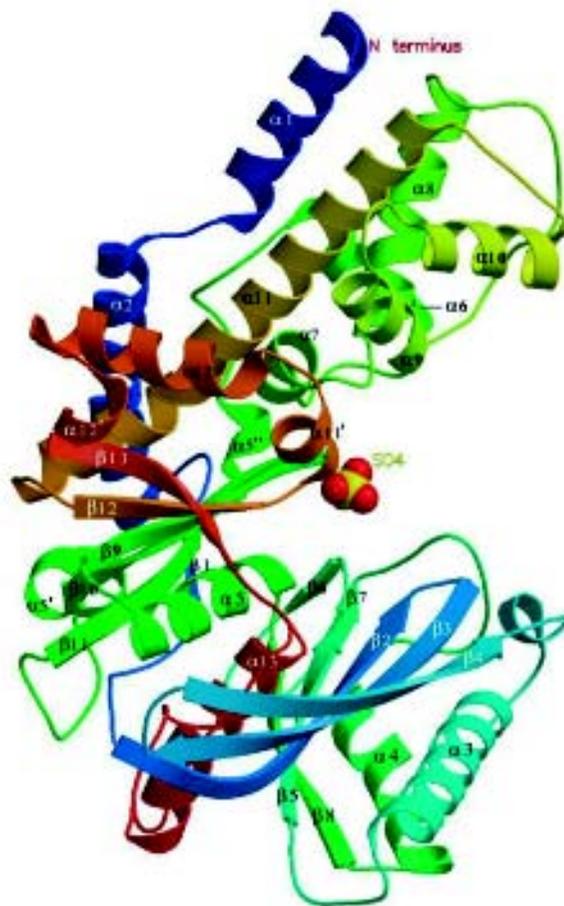
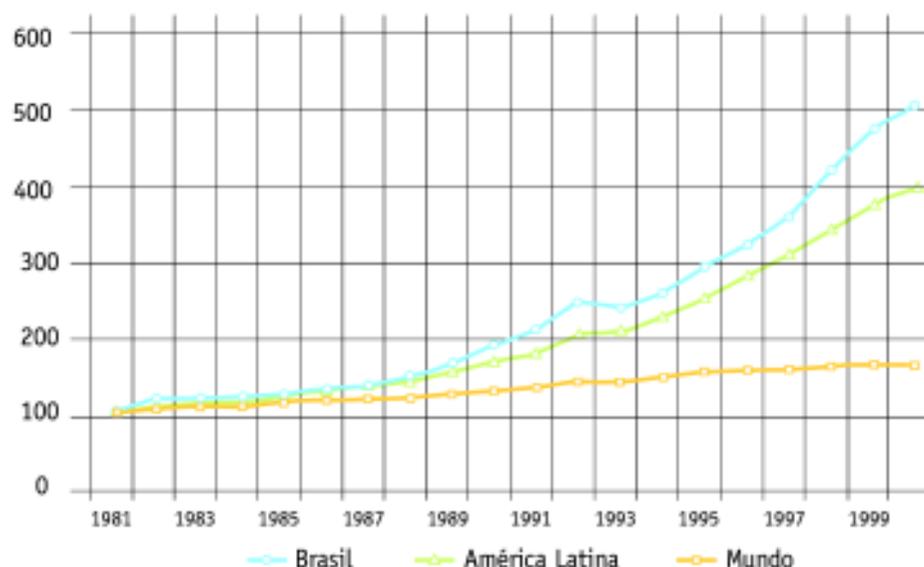


Gráfico 3: Índice do Número de Artigos Publicados em Periódicos Científicos Internacionais, Brasil, América Latina e Mundo, 1981/2000



(Base 1981 = 100)

Fonte: Institute for Scientific Information. National Science Indicators.

Elaboração: Coordenação de Estatística e Indicadores - Ministério da Ciência e Tecnologia.

curso consideráveis, sem garantia de resultados concretos e no curto prazo.

Refletindo esta situação, os sistemas de financiamento e apoio à CT&I tendem a priorizar as chamadas pesquisas de resultados, deixando de tratar a questão das relações e interseções cada vez mais crescentes entre a geração e apropriação do conhecimento. A questão que se coloca é como incentivar a pesquisa em geral e ampliar e otimizar as oportunidades de geração de conhecimentos úteis à sociedade. Não se pode esquecer, também, o papel estratégico reservado a um corpo de engenheiros e pesquisadores brasileiros de classe mundial, capazes de realizar uma interlocução de igual para igual com seus pares dos países avançados, no acompanhamento de progres-

so importantes para o país, na prospecção científica e tecnológica, na negociação de tecnologias e na defesa do interesse nacional nos foros internacionais.

A formulação das Diretrizes Estratégicas para o avanço do conhecimento, em especial a determinação de prioridades para a indução de pesquisas em áreas básicas, deverá ser objeto de discussões com os vários segmentos da comunidade científica e outros agentes que detêm o conhecimento especializado necessário para formulá-las. Iniciativas neste sentido já estão sendo tomadas pelo MCT e CNPq, por exemplo, no campo da biotecnologia, da oceanografia, da nanotecnologia, entre outros. Estudos prospectivos periódicos das áreas de pesquisa; avaliações frequentes pelos pares, inclusive pela comuni-

dade internacional, dos resultados obtidos em programas de indução; abertura para o surgimento de novos domínios do conhecimento, em particular, as chamadas áreas “interdisciplinares”; todos esses são elementos bem conhecidos do processo de definição de Diretrizes em países avançados cientificamente e que estão sendo crescentemente seguidos no Brasil. A riqueza e complexidade do sistema de pesquisa básica no País não recomenda que tais prioridades sejam explicitadas no âmbito de um documento geral como este, o que não significa que a importância de sua discussão não seja reconhecida.

Neste contexto, a demanda espontânea dos cientistas e pesquisadores não pode ser olvidada, como salvaguarda às limitações do planejamento, definição e escolha de prioridades. O atendimento a essa demanda atinge dois objetivos: acolhimento de temas e oportunidades relevantes que não tenham sido identificados no planejamento induzido; abertura de espaço para o desenvolvimento de temas e problemas tecno-científicos determinados pela lógica interna das disciplinas científicas, inclusive com vistas a viabilizar o acompanhamento do progresso da ciência e da tecnologia.

Quadro 9 Genética moderna no Brasil

A maneira como a natureza do processo da hereditariedade veio a ser desvendada nos últimos duzentos anos constitui uma história ex traordinária do progresso científico. Em uma sucessão empolgante, os biólogos descobriram que as instruções da herança seguem regras específicas de transmissão, residiam nos cromossomos contidos no núcleo, eram guardadas na molécula de DNA, eram escritas em um preciso código genético e poderiam ser lidas na íntegra para especificar a forma e função de um organismo.

A genética como ciência começou no Brasil por iniciativa de André Dreyfus, na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Dreyfus conseguiu trazer para São Paulo, na década de quarenta, um renomado geneticista, T. Dobzhansky, que havia trabalhado na equipe de Morgan, um dos fundadores da genética moderna, no início do século passado. Dobzhansky estava interessado em estudos de populações naturais de *Drosophila* das florestas tropicais. Genética de população, usando o modelo *Drosophila*, era a área de interesse de Dobzhansky, e o material novo que lhe caía às mãos permitia-lhe antever o alcance de um estágio competitivo, apesar de estar no Brasil. De fato, entre 1949 e 1955 muitos artigos foram publicados com repercussão significativa. Vários pesquisadores brasileiros se beneficiaram da longa permanência (cerca de dois anos) de Dobzhansky no País, entre eles, C. Pavan, A. Brito, A. Cordeiro, E. Magalhães, F. Salzano e N. Freire- Maia.

Muitos continuaram a sua linha, mas outros procuraram novos caminhos. Pavan, com M. Breuer, iniciou estudos em cromossomos politênicos de *Rhynchosciara angelae*. As propostas sobre “puffs” de DNA abriram caminho para o início da biologia molecular no Brasil e tiveram na época grande repercussão internacional. N. Freire- Maia e F. Salzano mantiveram-se na genética de população, mas migraram para a área de genética humana. Pedro Henrique Saldanha foi outro nome que se destacou nesta área.

Uma vertente adicional da genética brasileira iniciou-se com a vinda do pesquisador alemão F.G. Brieger para a Esalq, da USP, em Piracicaba, em 1936. W. Kerr iniciou sua carreira influenciado pela escola de Brieger, assim como E. Paterniani e A. Blumenschein, estes na área de melhoramento genético, tópico que introduziram como tema de pesquisa na Embrapa. Alcides de Carvalho teve, reconhecidamente, enorme impacto econômico trabalhando no Instituto Agrônomo de Campinas; sem o trabalho de Carvalho, a ferrugem teria acabado com o café brasileiro.

Na verdade, a genética molecular moderna se desenvolvia com grande fulgor na década de cinquenta, principalmente nos Estados Unidos e na França. Ela estava umbilicalmente ligada à genética de vírus e microrganismos, áreas até então pouco desenvolvidas no Brasil. É interessante que Brieger, percebendo esta defasagem, trouxe na década de sessenta para o Brasil um pesquisador famoso desta área, Demerec. Este sugeriu que os esforços não fossem dirigidos para bactérias e vírus, áreas muito competitivas, mas que fosse feito um esforço no sentido de se desenvolver genética de fungos. Como consequência deste aconselhamento, João Lúcio de Azevedo foi para o exterior se dedicar à genética de *Aspergillus*.

A genética de microrganismo foi a mola propulsora da biologia molecular moderna. Pode-se dizer que nós perdemos este bonde e que estaríamos fadados a não desenvolver a biologia molecular no nosso País. Porém, ela deu grandes saltos e suas amarras à genética de microrganismos se tornaram menos importantes do que a sua ligação com a bioquímica, biofísica, imunologia e biologia celular. O suporte para tudo isso passou a ser a tecnologia de DNA recombinante. Foi assim possível para o Brasil “queimar a etapa” da genética de microrganismos. Com o envio de um grande número de jovens para bons laboratórios do exterior e com o advento de vigorosos programas nas nossas agências de fomento, há sinais evidentes de que a biologia molecular e a genética molecular modernas estão se tornando áreas fortes de pesquisa no País.

Quadro 10

A Física brasileira: as duas últimas décadas e perspectivas

A física brasileira, como de resto a ciência no Brasil, expandiu-se e consolidou-se ao longo das últimas décadas. Em particular, há duas áreas importantes para as tecnologias modernas de computação e comunicação, a física de semicondutores e a óptica quântica e não-linear, onde o País formou grupos de qualidade internacional e contribuiu para o surgimento de novas empresas.

A partir do trabalho de um pequeno grupo de pesquisadores, no final dos anos sessenta, a física de semicondutores teve um significativo desenvolvimento, fazendo com que o País se capacitasse no crescimento e caracterização de materiais de grande interesse tecnológico. Isto se deu, especialmente, pela formação de recursos humanos qualificados, tanto em teoria quanto na parte experimental, e pela implantação de equipamentos sofisticados, baseados em técnicas, tais como epitaxia por feixe molecular (MBE) e deposição química de vapor organo-metálico (MOCVD), que permitem fabricar novos materiais a partir da manipulação de átomos. Com esta capacitação, o País tem condições para ingressar no campo da nanotecnologia, como também para explorar as fronteiras do conhecimento em materiais, o chamado “limite quântico”, quando as dimensões dos dispositivos se aproximam das dimensões dos próprios átomos.

Na óptica, houve grandes progressos na tecnologia de laser e fibras ópticas – onde o País desenvolveu sua própria tecnologia –, com importante impacto na indústria de telecomunicações e de equipamentos médicos e dentais. Quanto aos últimos, as realizações vão desde o desenvolvimento de equipamentos ópticos para uso em

odontologia até tratamento de tumores por fototerapia. Ao mesmo tempo, os avanços em pesquisa básica, relacionados ao armazenamento de átomos frios e à compreensão mais profunda do fenômeno de descoerência, representam passos fundamentais desde o campo de computação quântica até possibilidades na prospecção de petróleo.

Dentre as diversas atividades em curso que apresentam grande potencial, destacam-se aquelas em sistemas nanoestruturados, baseados na fabricação de dispositivos com dimensões menores ou da ordem de 100 nanômetros (bilionésimos de metro) – algo como o comprimento de uma cadeia de mil átomos. Mais do que a escala reduzida final, o aspecto verdadeiramente inovador está na capacidade que o homem adquiriu de manipular átomos, quer seja através de processos de deposição, quer por síntese supramolecular, permitindo assim que a estrutura e composição dos materiais possam ser controladas em escala nanoscópica. À medida que novos patamares de miniaturização são atingidos, torna-se também possível desenvolver máquinas menores e mais eficientes, com grande impacto sobre a indústria de computadores e robótica em geral.

Além dos aspectos práticos, os sistemas obtidos por meio da manipulação de átomos abrem novas fronteiras do conhecimento em ciência básica. Com efeito, com a redução de uma (ou mais) das dimensões até a escala nanométrica, surgem manifestações de efeitos quânticos, muitas das quais eram totalmente desconhecidas até recentemente. A busca de explicações para esses fenômenos deu origem, em vários casos, a novas idéias e conceitos em física.

Algumas das grandes conquistas da ciência e tecnologia no País se deram sob a égide do avanço do conhecimento. O sucesso de Oswaldo Cruz na erradicação da febre amarela deve-se aos resultados dos avanços da pesquisa básica aliados a uma visão social clara e focada. Da mesma forma, o êxito da indústria aeronáutica brasileira está intimamente ligado ao desenvolvimento de uma sólida base de conhecimento de ponta aplicado ao desenvolvimento de novas tecnologias, incorporados na formação e na pesquisa das instituições que alicerçaram seu desenvolvimento.

A falsa dicotomia entre criatividade científica e utilidade torna-se ainda mais vazia nos dias de hoje, em que se esvanecem as fronteiras não só entre as

disciplinas científicas, mas também entre estas e áreas tecnológicas. Novas metas de caráter complexo e transdisciplinar, como nanotecnologia e biocomplexidade, impõem-se como fomentadoras do avanço do conhecimento para novos patamares.

O avanço do conhecimento e o reforço da capacidade nacional para transformar conhecimento em inovação demandarão novo modo de relacionamento entre as ciências e as engenharias, bem como nova postura das universidades e instituições públicas de pesquisa. Constitui um desafio imediato organizar e estimular equipes adequadas a esse tipo de pesquisa, objetivos e práticas. Para as universidades, o desafio residirá em mudar sem abandonar seus valores de base, mas

adotando, ao mesmo tempo, uma cultura cooperativa e empreendedora diferenciada. Já as instituições de pesquisa devem enfrentar, sem hesitação, o desafio de se abrirem tanto para outras instituições congêneres e universidades, como e principalmente para a sociedade.

Finalmente, é preciso reconhecer que a fronteira do conhecimento expande-se, freqüentemente, graças ao trabalho de jovens pesquisadores e às atividades de inovação levadas a cabo pelas empresas. Uma questão prioritária e urgente diz respeito à criação de mecanismos de absorção de jovens pós-doutores e de financiamento à sua pesquisa. O programa Profix, do CNPq, é uma iniciativa importante neste sentido, mas, a médio prazo, o problema não pode ser resolvido exclusivamente por meio de bolsas e de auxílios a pesquisas para jovens doutores. Novas instituições de pesquisa terão de ser criadas na próxima década, para explorar novas áreas do conhecimento e promover a absorção de recursos humanos altamente qualificados formados no País e exterior. O congelamento nas últimas décadas da criação de

Institutos de Pesquisa e Laboratórios Nacionais – o último grande laboratório nacional, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, foi criado em 1985 – não reflete, obviamente, a tremenda expansão da pesquisa científica no País e no mundo desde então. Este atraso terá de ser recuperado ao longo da próxima década, inclusive com as iniciativas em curso, e explorando, entre outros, os mecanismos de financiamento disponibilizados pelos fundos setoriais e as novas formas de organizações da pesquisa atuais e por desenvolver. Não é desprezível o potencial que esta oportunidade representa, por exemplo, para o equacionamento da questão do desequilíbrio regional da base de pesquisa científica do País. Ao contrário, é uma das mais interessantes opções ao alcance do MCT e das regiões para começar a resolver, de forma permanente, este desafio e, ao mesmo tempo, impulsionar decisivamente a pesquisa científica e tecnológica no País. Esse tema é retomado, em maior profundidade, no capítulo Desafios Institucionais, inclusive à luz de iniciativas recentes como a do Instituto do Milênio e do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, ora em formação.

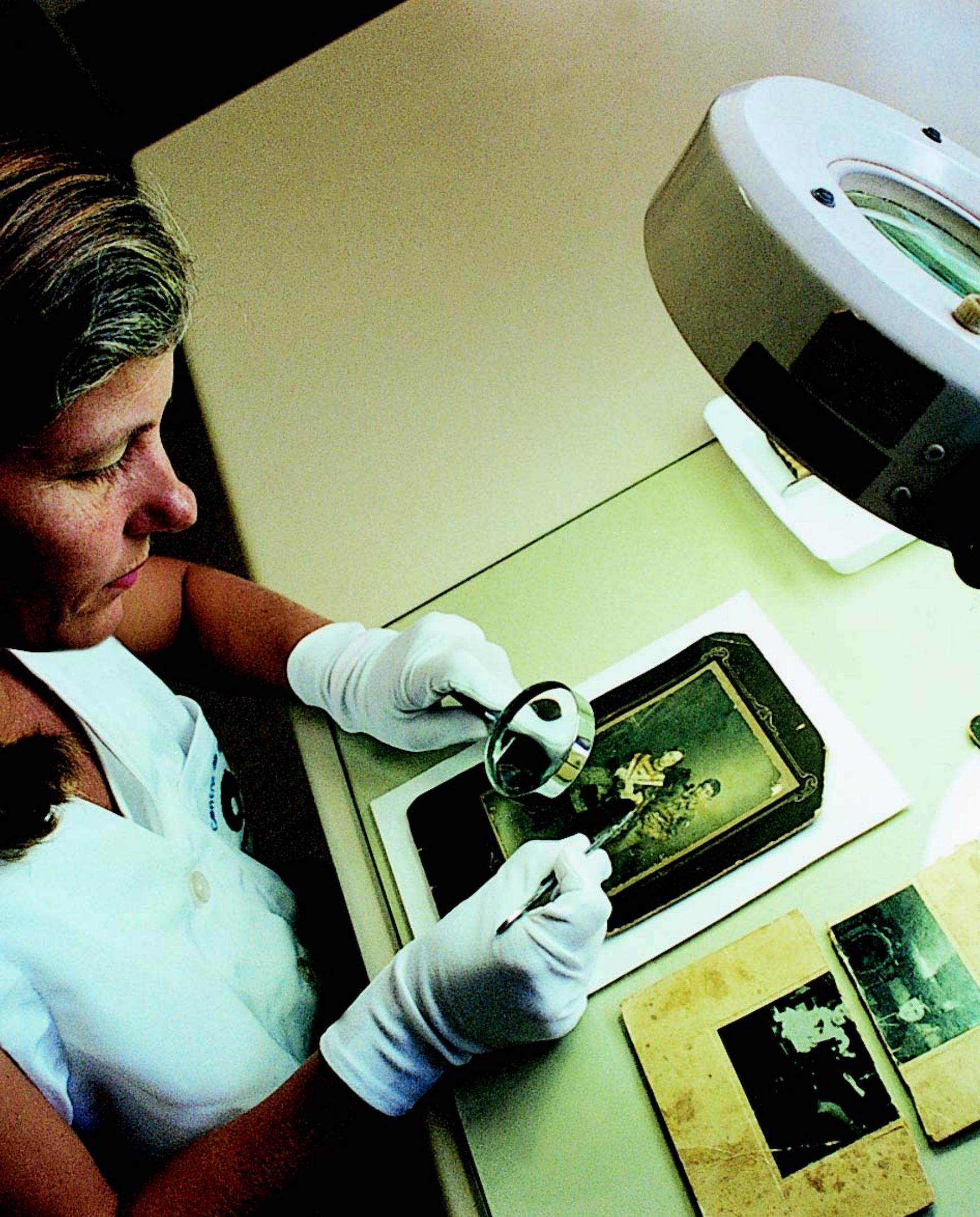
Quadro 11 **Programa Especial de Fixação de Doutores - PROFIX**

Com o duplo objetivo de contribuir para o combate à evasão de pessoal qualificado e de facilitar o retorno ao País de profissionais em atividade no exterior, o CNPq criou recentemente o Programa Especial de Fixação de Doutores, PROFIX. Por meio desse programa, o CNPq estabelece mecanismos adicionais para incorporar doutores de especial talento e competência no setor acadêmico e em institutos públicos de pesquisa e busca estimular a progressiva incorporação de recursos humanos altamente qualificados em atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico no setor privado nacional.

O PROFIX permite vinculação por até 4 anos em instituições de ensino e pesquisa, institutos de pesquisa científica e tecnológica federais e estaduais, empresas públicas de pesquisa e desenvolvimento, empresas privadas em fase de incubação e microempresas (de acordo com a Lei nº 9841/99), e centros de pesquisa e desenvolvimento de empresas privadas atuando em território nacional. Um

pacote de incentivos estará disponível para concessão aos candidatos selecionados. Ele inclui bolsas especiais PROFIX, de valor mais alto que as de forma de apoio equivalentes e diferenciadas de acordo com o nível de experiência do pesquisador, concessão de auxílio à pesquisa e de auxílios-viagem e alocação de quotas de bolsas de iniciação e de apoio técnico. Após a obtenção da vinculação permanente em alguma instituição acadêmica nacional, estará ainda aberta aos bolsistas PROFIX a possibilidade de receber um novo pacote de incentivos por dois anos adicionais como forma de viabilizar sua inserção na nova instituição.

Lançado em fase experimental, como uma operação-piloto, o programa PROFIX deverá ser aperfeiçoado durante os primeiros anos de funcionamento, e poderá ser eventualmente expandido para alcançar um maior número de pesquisadores através da incorporação de novas formas de financiamento como, por exemplo, o apoio dos Fundos Setoriais.



CIÊNCIAS SOCIAIS PARA UMA SOCIEDADE DO CONHECIMENTO

As ciências sociais têm papel crucial no entendimento das relações entre CT&I e a sociedade. A análise da natureza, a evolução e impactos da ciência e tecnologia na sociedade contemporânea torna-se mais crítica nesse século XXI, na medida em que as novas tecnologias da informação e da biotecnologia passam a moldar não somente as estruturas econômicas e sociais vigentes, mas também a própria identidade das pessoas.

A mais extensa e rápida difusão da tecnologia na sociedade moderna gera maior número de controvérsias científicas e tecnológicas, à medida que se ampliam os grupos de atores e o conjunto de interesses por trás de cada campo que se enfrenta. Igualmente, o maior e mais intenso contato da sociedade com a ciência e a tecnologia aguça a percepção de seus membros em relação a estas, aumentando suas demandas por maior transparência na priorização no investimento em CT&I.

Uma sociedade do conhecimento requer um público aberto para a ciência e para a tecnologia de forma positiva e dinâmica. Ora, as ciências sociais têm muito a contribuir para o mapeamento da percepção da sociedade brasileira sobre esses temas.

Ao mesmo tempo, estamos diante de mudanças tão radicais nas ciências sociais, quanto as que estão acontecendo nas engenharias e nas ciências exatas e



biológicas. Naquelas, vêm se processando a integração de áreas antes especializadas e a incorporação de disciplinas instrumentais, como matemática, estatística e computação. As ciências humanas e sociais também enfrentam desafios em vários aspectos. Em primeiro lugar, deverão provar seu valor em meio a uma onda de demanda por eficiência, lucratividade e resultados, em que o avanço tecnológico é a chave para o aperfeiçoamento do mercado e a criação de

empregos. Em segundo lugar, serão desafiadas a enfrentar questões novas e prementes que estão surgindo no contexto de grandes mudanças sociais e econômicas, crescente interdependência entre países e pressões cada vez maiores sobre indivíduos e famílias. Finalmente, serão instigadas a utilizar integralmente as novas tecnologias, que vêm permitindo o desenvolvimento de novas ferramentas e infra-estruturas de pesquisa.

Quadro 12 ***Ciências Sociais para uma Sociedade do Conhecimento***

Diretrizes estratégicas em CT&I para ciências humanas e sociais na próxima década incluem, necessariamente, dois conjuntos de questões. O primeiro está relacionado com o desenvolvimento das ciências humanas e sociais enquanto ciências, isto é, sua capacidade de produzir conhecimento novo e de contribuir para o avanço do conhecimento científico em geral e na sua área específica. O segundo conjunto de questões está ligado à “aplicação” desse conhecimento e sua possível contribuição para a formulação, equacionamento, divulgação e avaliação de políticas públicas e sociais voltadas para a solução dos grandes problemas da sociedade contemporânea, inclusive aqueles ligados à ciência e tecnologia.

No sentido de fortalecer a capacidade das instituições e cientistas brasileiros para compreender o conjuntos de questões que se colocam hoje, e mais ainda no futuro, como desafios para as ciências sociais, as diretrizes devem apontar para:

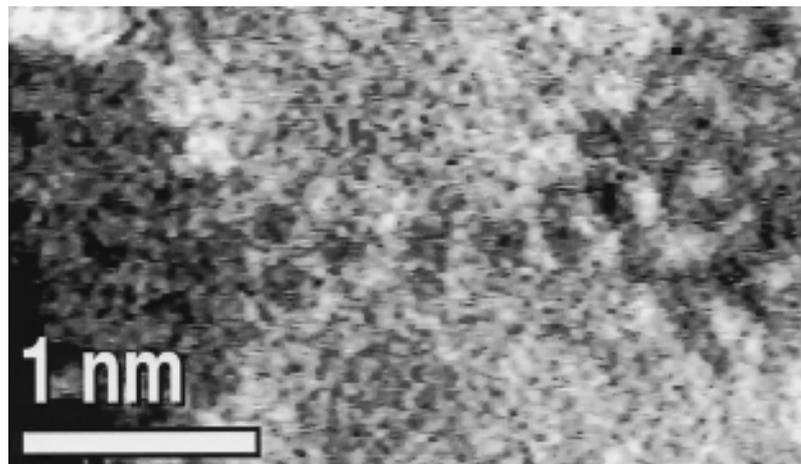
- caminhar em direção a um modo coletivo mais intenso de estruturar o ambiente de pesquisa, juntamente com o desenvolvimento de ferramentas de pesquisa coletivas, com o apoio à construção sistemática de amplos conjuntos de dados e arquivos, proporcionando ao pesquisador uma forte base de apoio;
- Encorajar a pesquisa multidisciplinar, reconhecendo, ao mesmo tempo, a necessidade essencial de manter sólidas bases disciplina-

res, visto que o treinamento intensivo em uma determinada disciplina será sempre importante para o desenvolvimento de bons pesquisadores. Entretanto, a inovação ocorre, com frequência, nas fronteiras das disciplinas, além de que situações reais não se encaixam em subdivisões disciplinares rigorosas;

- Promover o envolvimento das disciplinas de humanidades em pesquisa e equipes interdisciplinares. O uso de metáforas nas quais as humanidades sobressaem é uma maneira altamente eficiente de comunicar idéias ou relações complexas. Ademais, as humanidades oferecem perspectivas essenciais para pesquisas orientadas para soluções;
- Encorajar o desenvolvimento de novas parcerias de pesquisa e modos de trabalho, o que significa unir os produtores e os usuários da pesquisa, fazendo com que tirem, todos, vantagem do conhecimento e da perícia mútuos e colaborem desde a definição das necessidades da pesquisa até à conclusão do projeto. Ademais, parceiros não acadêmicos têm uma probabilidade muito maior de aplicar os resultados de projetos dos quais participaram, por considerarem o conhecimento como um produto próprio;
- Fomentar a crescente inserção internacional das ciências humanas e sociais através da cooperação internacional e de pesquisas comparativas.

NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIAS

O estudo da Ciência e Tecnologia em escala nanométrica compõe um campo transdisciplinar de atividades na fronteira do conhecimento. As nanociências e nanotecnologias dizem respeito ao estudo, caracterização e descrição de fenômenos que ocorrem na nanoescala (um nanômetro equivale a um bilionésimo do metro - $1\text{ nm} = 0,000000001\text{ m} = 10^{-9}\text{ m}$) e ao conseqüente desenvolvimento de aplicações tecnológicas e de dispositivos que explorem as propriedades da matéria nessas dimensões, comparáveis ao tamanho de átomos e moléculas.



Ao operar com dispositivos nanométricos, novas propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e ópticas podem ser exploradas, além de se tornar possível em graus inusitados o controle e a manipulação de propriedades fundamentais, como a reatividade química e o arranjo espacial de átomos e moléculas. Para se ter uma melhor idéia dessa escala, podemos comparar os comprimentos de alguns objetos:

- diâmetro de um átomo: $1/4$ de nanômetro
- menor dispositivo eletrônico experimental: cerca de 10 nanômetros na sua menor dimensão
- proteínas: $\sim 10 - 50$ nanômetros
- menor dispositivo eletrônico disponível comercialmente: cerca de 200 nanômetros
- bactéria: cerca de 1.000 nanômetros
- diâmetro de um cabelo humano: 10.000 nanômetros

Ao longo dos últimos vinte anos foram aperfeiçoados

ou inventados vários instrumentos, tais como microscópios especiais (eletrônico de transmissão, de força atômica, de tunelamento, de varredura, de campo próximo, etc), que permitem ver, manipular e controlar objetos na nanoescala, o que possibilitou novos horizontes de descobertas, invenções e aplicações.

Fenômenos que ocorrem em nanoescala são de há muito conhecidos. Por exemplo, os catalisadores são, em sua maioria, partículas nanométricas, e assim a catálise (tanto a inorgânica quanto a biológica, feita por enzimas) se passa na nanoescala. De fato, a maioria dos fenômenos em biologia fundamental envolve processos que se passam em dimensões moleculares, e portanto nanométricas. O que há de novo é o controle e grau de precisão permitidos pelas técnicas mais recentes usadas em análises teóricas e na preparação e caracterização de materiais na escala nanométrica.

A redução do tamanho no controle de processos e dispositivos oferece uma enorme gama de possibilidades. Toda a revolução em tecnologia da informação, por exemplo, foi tornada possível pela sistemática integração de um número cada vez maior de componentes de tamanho progressivamente menores em um único "chip", o que aumentou enormemente a capacidade de processamento de cada unidade. Por sua vez, a "nanomedicina" começa a produzir nanodispositivos para diagnóstico e tratamento; uma vez diretamente posicionados nas regiões celulares patologicamente afetadas, esses dispositivos podem tanto fornecer informações pontuais sobre o funcionamento e fisiologia dessas regiões quanto comandar a liberação controlada de fármacos.

Ao mesmo tempo, é importante ser capaz de controlar e alterar a estrutura de materiais na nanoescala.

Isto torna possível melhorar as propriedades dos materiais sem alterar sua composição química, ou seja, embora as mesmas moléculas (ou grupos de átomos) continuem presentes, seu arranjo ou disposição espacial pode ser diferente, do que resultam propriedades inovadoras.

Finalmente, como a maioria dos fenômenos em biologia molecular ocorre na nanoescala, o uso das técnicas de nanociências em biologia leva a um entendimento mais profundo de como a natureza funciona e sobre possíveis formas de controlar seu desempenho. Assim, por exemplo, a auto-montagem (ou seja, a organização espontânea de átomos, moléculas ou cadeias poliméricas em estruturas mais complexas), enquanto sendo um fenômeno biológico de natureza fundamental (sendo, por exemplo, responsável pela formação de membranas celulares), tem sido recentemente usada para a construção de dispositivos eletrônicos.

As aplicações da nanotecnologia permeiam as áreas de novos materiais e fabricação, transporte, nanoeletrônica e tecnologia de computadores, medicina e saúde, aeronáutica e exploração espacial, energia e meio ambiente, biotecnologia e agricultura, segurança nacional e educação, e podem portanto ter importante impacto direto sobre a competitividade da indústria nacional em um futuro não muito remoto.

Alguns exemplos merecem destaque:

- **Nanoeletrônica:** A nanoeletrônica mudará profundamente o atual estado-da-arte no processamento de informações. Isto porque o limite fundamental da presente tecnologia (baseada na escala micro, ou seja, no milionésimo do metro) está próximo a ser atingido e um novo paradigma terá de surgir para a

área da eletrônica. O primeiro produto comercial em nanoescala (uma cabeça de leitura magnética com base no princípio de magneto resistência gigante) promete revolucionar a indústria que trata de armazenamento de informações em computadores. Em todo o mundo, a base de conhecimento tecnológico existente em microeletrônica está sendo expandida para uma grande variedade de aplicações não eletrônicas, incluindo seqüenciamento genético e construção de dispositivo micro e nano-mecânicos, de nanosensores ópticos, etc. Com a transição para a nanoeletrônica, essas fronteiras entre as disciplinas deverão se tornar cada vez mais tênues.

- Medicina e Saúde: O desenvolvimento de novos fármacos e de sistemas de entrega controlada de drogas está em fase de avanço acelerado. Sistemas híbridos combinando tecidos artificiais e naturais destinados à substituição de órgãos no corpo humano e para colocação direta no interior de células são uma outra área de pesquisa adiantada.

- Biotecnologia e Agricultura: Os pilares moleculares da vida - proteínas, ácidos nucléicos, lipídios, carboidratos - são exemplos de materiais que possuem propriedades únicas determinadas pelo seu tamanho, formas de dobramento ("*folding*") e formação de padrões em nanoescala. O desenvolvimento de sistemas artificiais que imitem o funcionamento e ação de sistemas biológicos forma uma área interdisciplinar de pesquisa muito ativa (por exemplo, a área de química bio-mimética é baseada nesse tipo de analogias). Ao mesmo tempo, a nanofabricação de arranjos de detetores permite a realização de milhares de experimentos para caracterização e seleção simultânea de genes usando pequenas quantidades de material.

- Tecnologias relacionadas à energia: Novos tipos de baterias, sistemas fotossintéticos artificiais e células solares de maior rendimento quântico para geração de energia limpa e novas maneiras de armazenamento seguro de hidrogênio para uso em células combustíveis são exemplos de aplicações da nanotecnologia aplicada à energia.

- Meio ambiente: Membranas seletivas para a filtração de contaminantes e armadilhas nanoestruturadas para remoção de poluentes de efluentes industriais são alguns exemplos de aplicações das nanotecnologias à conservação do meio ambiente. Atualmente, os dessalinizadores de maior eficiência já utilizam materiais nanoestruturados para a obtenção de água potável a partir de mananciais de água salobra, ou mesmo diretamente dos oceanos.

Mesmo nos países mais avançados, a nanociência e a nanotecnologia são assuntos recentes. Em meados da década de noventa, a Alemanha estabeleceu uma rede de cinco Centros de Competência, cada um com sua ênfase voltada para diferentes aspectos da área. Nos Estados Unidos, a National Science Foundation estabeleceu em 1998 uma comissão conjunta com outras agências governamentais para a elaboração de um plano nacional de ação especificamente voltado para o apoio a essas atividades, do que resultou o programa americano de nanociências e nanotecnologias (*National Nanotechnology Initiative*).

O MCT e o CNPq articularam em novembro de 2000 uma primeira reunião nacional sobre o tema reunindo pesquisadores de diferentes instituições do País, da qual resultou um documento (disponível em www.cnpq.br) propondo uma estratégia para articulação coordenada dos interessados pela nanociência e nanotecnologia no País. No documento, um levantamento preliminar

mostra que há mais de 120 cientistas atuando em áreas diretamente relacionadas a problemas de nanoescala, seja em química, biologia, física, biotecnologia, farmácia, eletrônica ou agricultura.

Por outro lado, sendo uma área nova, certamente a formação atual dos estudantes em nível de graduação e pós-graduação - ainda muito rigidamente confinada aos domínios de áreas específicas do conhecimento - deixa muito a desejar. Um esforço considerável precisa ser feito para introduzir em nível de graduação disciplinas relacionadas a nanociências e nanotecnologias, incrementar o treinamento de técnicos e engenheiros em técnicas avançadas de análise de novos materiais, aumentar o estímulo a estudantes de pós-graduação para que venham a atuar nessas áreas (de natureza intrinsecamente inter e multidisciplinar), o que, em casos especiais, necessita envolver a formação especializada no exterior.

A partir das articulações coordenadas pelo MCT/CNPq, foi recentemente lançada pelo CNPq uma chamada de projetos com o objetivo de formar três redes voltadas para temas específicos das nanociências e nanotecnologias. Sugestões de possíveis diretrizes para a ação governamental podem ser encontradas no documento preliminar preparado pela comissão de articulação, já mencionado anteriormente.