

Ciência para um Brasil Competitivo

O papel da Física

Estudo encomendado pela Capes visando
maior inclusão da Física na vida do País

Brsília, junho de 2007

Apresentação

Ciência para um Brasil Competitivo: o papel da Física é fruto de um estudo realizado por uma Comissão formada pela Capes, com o objetivo de propor medidas que levassem a uma maior inclusão da física na vida do País. Já em nossa primeira reunião com Jorge Almeida Guimarães, Presidente da Capes, e o então Diretor de Programas, José Fernandes Lima, nós, membros da Comissão, apontamos que a pretendida inclusão da física só poderia ser atingida dentro de um empreendimento muito maior: a inclusão efetiva da ciência na sociedade e na economia brasileiras. Ficou então decidido que, ainda que mantivéssemos um foco especial na inclusão da física, trataríamos de problemas que se referem a toda a ciência brasileira. Nessa reunião conjunta, ficou também evidente que muitas das ações necessárias para se promover uma maior inclusão da ciência na vida brasileira extrapolam o âmbito de atuação da Capes – até mesmo do Ministério da Educação –, e com a autorização da Capes empreendemos o trabalho que nos foi solicitado sob esse enfoque abrangente. A inclusão da ciência na agenda brasileira é um problema do Estado e de toda a sociedade, não de um dado órgão ou ministério, essa foi a visão que orientou este trabalho.

Temos de reconhecer que uma comissão como a nossa, formada só de físicos, não tem competência para falar de toda a ciência brasileira. Além dessa limitação técnica, por um viés difícil de evitar, certamente supervalorizamos a importância da física em comparação com a das outras ciências, erro pelo qual só nos cabe pedir desculpas. Mas tínhamos uma incumbência a cumprir e ousamos levá-la adiante. Isso porque, em nossa avaliação preliminar, concluimos que os problemas que obstruem a inclusão da física na vida brasileira também dificultam o caminho de todas as outras ciências, e isso permite que o problema como um todo, em seus aspectos universais, possa ser entendido pela análise detalhada de apenas uma das suas faces. Mas, além dos

problemas universais, a inclusão da ciência na vida brasileira apresenta dificuldades que são específicas de cada área, e neste documento estas só puderam ser analisadas para o caso da física. Assim, embora pensemos que boa parte das recomendações aqui propostas possa ser considerada de imediato, para ações localizadas em áreas específicas é necessário um estudo muito mais completo, seja realizado por uma equipe multidisciplinar, seja por equipes de especialistas em outras áreas da ciência e da tecnologia.

Brasília, junho de 2007

Adalberto Fazzio – USP/SP

Alaor Chaves – UFMG (Coordenador da Comissão)

Celso Pinto de Melo – UFPE

Rita Maria de Almeida – UFRGS

Roberto Mendonça Faria – USP/SC

Ronald Cintra Shellard – PUC-Rio e CBPF

Índice

Sumário Executivo

Sumário de Recomendações

1 Introdução

- 1.1 Ciência para um Brasil competitivo*
- 1.2 Desafios e de oportunidades*
- 1.3 Pós-Graduação*
- 1.4 Tecnologia contemporânea*
- 1.5 Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial*

2 Os Desafios da Inovação

- 2.1 – Ciência no mundo*
- 2.2 – Ciência e tecnologia no Brasil*
- 2.3 – Desenvolvimento de tecnologia brasileira*
- 2.4 – Empresas e tecnologia*
- 2.5 – Salto tecnológico*
- 2.6 – Estado e desenvolvimento tecnológico*

3 Panorama da Física no Brasil

- 3.1 – Física no Brasil*
- 3.2 – Pós-graduação em física*
- 3.3 – Distribuição regional*
- 3.4 – Física experimental no Brasil*
- 3.5 – Sociedade Brasileira de Física*

4 Física na tecnologia contemporânea

- 4.1 – Física na economia dos países desenvolvidos*
- 4.2 – Indústrias baseadas na física*
- 4.3 – As mudanças do cenário tecnológico: desafios e oportunidades*
- 4.4 – Demografia científica em mudança*

4.5 – Ameaças e oportunidades

5 Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior

5.1 – A PITCE e avanço tecnológico

5.2 – Física na Revolução Industrial

5.3 – A física brasileira e o PITCE

6 Ensino de Física no Nível Básico

6.1 – Ensino de ciências e sociedade

6.2 – Diagnóstico sobre o ensino básico em ciências

6.3 – Déficit de professores de ciências no ensino básico

6.4 – A evasão escolar

6.5 – Formação de professores

6.6 – As escolas do ensino básico

7 Formação de Físicos e a Inovação

7.1 – Universalidade e diversidade na formação dos físicos

7.2 – Formação de físicos experimentais

7.3 – Física e Pesquisa na Engenharia

7.4 – Formação do físico para a Inovação

8 Infra-estrutura de Pesquisa no Brasil

8.1 – Estado da infra-estrutura de pesquisa

8.2 – Quadros para a Ciência

8.3 – Instrumentação

8.4 – Expansão e modernização da infra-estrutura

8.5 – Um modelo para Institutos de Pesquisas

8.6 – Ciência experimental

9 Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial

9.1 – A cultura da academia e da empresa

9.2 – O modelo da Embrapa

9.3 – Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial

9.4 – A empresa e o apoio tecnológico à PITCE

9.5 – Coordenação do sistema brasileiro de pesquisa industrial

9.6 – Centros Temáticos

9.7 – A empresa e a formação de pesquisadores

Sumário Executivo

Ciência para um Brasil Competitivo: o papel da Física é um estudo, encomendado pela Capes, com o propósito de diagnosticar as razões da pequena inserção da física na vida do Brasil e propor ações que possam sanar essa deficiência. A comissão incumbida da tarefa apontou que tal estudo teria que considerar o problema dentro de uma perspectiva mais ampla, a da inserção da ciência na vida do País e, autorizada pela Capes, trabalhou desse ponto de vista.

A preocupação da Capes tem razões que saltam aos olhos. Se, por um lado, os quadros altamente qualificados formados pelos nossos programas de pós-graduação têm possibilitado ao País gerar ciência em quantidade e qualidade crescentes, o transbordamento dessa ciência em nossa tecnologia tem sido bem pequeno. Em 1981, o Brasil produzia apenas 0,44 % dos artigos publicados em revistas indexadas pelo Institute of Scientific Information, e essa participação já foi de 1,92 % em 2006. Com esse crescimento, já somos o 15^o país maior produtor de artigos científicos no mundo. Entretanto, em um dos indicadores da capacidade de gerar de tecnologia, a produção de patentes, estamos muito mal. Em 2005 fomos o 27^o país em depósito de patentes internacionais, ocupando posição abaixo de Cingapura, uma ilha com 700 km² e 4 milhões de habitantes.

Em todo o mundo amadurecido científica e tecnologicamente – vale dizer, em todos os países desenvolvidos – as universidades e as empresas se complementam para formar um organismo altamente adaptado à era do conhecimento, e o papel de cada um desses atores é muito claro: ciência na universidade, tecnologia na empresa. Isso não significa que tecnologia seja produzida só nas empresas, pois as universidades e o Estado também contribuem para sua geração. No caso das universidades, a tecnologia gerada é quase sempre um subproduto de sua pesquisa básica em ciências. Já o Estado, tem nesses países desenvolvidos um papel central e decisivo no desenvolvimento tecnológico. Para cumprir esse papel ele empreende uma variedade de ações, que incluem o estímulo à geração de tecnologia nas empresas por meio de incentivos fiscais e de encomendas tecnológicas, e também a sua atuação direta como gerador de tecnologias estratégicas. Essa atuação direta do Estado se dá por meio de instituições financiadas inteiramente pelo erário público ou por parcerias entre o Estado e o setor empresarial. Tais instituições têm como incumbência resolver gargalos tecnológicos que embaracem o desenvolvimento de setores importantes da indústria ou que sejam considerados estratégicos. Um outro papel importante

do Estado, principalmente nos países de industrialização mais tardia, é a exigência de internalização de tecnologia como condição para que empresas estrangeiras atuem no país.

No Brasil, o setor empresarial tem sido o ator mais falho no desenvolvimento de tecnologia. Enquanto nos países desenvolvidos as empresas contribuem tipicamente com dois terços do esforço em P&D, no Brasil sua contribuição é de apenas 40 % do total despendido, e neste montante são impropriamente contabilizadas despesas em aquisição de equipamentos e treinamento de pessoal para operá-los. No total, o País contabiliza um dispêndio de cerca de 1 % do PIB em P&D, enquanto que nos países mais competitivos tal dispêndio está sempre acima de 2 % – com frequência próximo de 3 % – e quase todos eles estão empreendendo ações para aumentar esse tipo de investimento. Um exemplo emblemático é o da Finlândia, nova vedete europeia no campo da inovação. Este país já investe 3,5 % do seu PIB em P&D e planeja aumentar tal investimento para 4 % nos próximos anos. O Estado brasileiro contabiliza 0,6 % do PIB como despesas em P&D, valor correspondente ao da maioria dos países desenvolvidos, mas esse montante parece estar superestimado pela inclusão de despesas ligadas à educação.

A inclusão de ciência na vida do Brasil, e um desempenho mais satisfatório do País em tecnologia e inovação, requerem um conjunto de ações consistentes e até mesmo uma mudança de postura da sociedade e do Estado diante desse desafio. O esforço estatal na formação de quadros de cientistas e engenheiros altamente qualificados tem de ser continuado com vigor ainda maior. Deve-se salientar que, sendo a 9ª economia do mundo, ocupar o 15º lugar na produção científica não pode ser tomado no sentido de dever cumprido. É também forçoso reconhecer que, apesar desses indicadores quantitativos positivos, o País está longe de atingir a maturidade científica. O Brasil ainda não é capaz de formular sua própria agenda científica e de, dentro dela empreender projetos altamente desafiadores. Tal agenda visaria tanto a indústria brasileira quanto à abordagem científica de problemas tipicamente brasileiros. Para atingir esse nível de maturidade vários passos essenciais precisam ser dados. O primeiro deles é aumentar em muito o número de cientistas e de engenheiros pesquisadores. Mesmo para atingir um percentual de pesquisadores na população típico dos países que gastam em P&D um percentual do PIB igual ao nosso, temos de aumentar o número de pesquisadores por um fator próximo de cinco. Inovações têm de ser feitas também no tipo de formação de nossos cientistas e de nossos engenheiros. Isso porque, em um processo de adaptação à demanda atualmente existente de pessoal qualificado, temos – em uma visão macro que desconsidera as exceções – formado cientistas excessivamente acadêmicos e engenheiros pouco científicos. Enquanto no mundo desenvolvido esses dois tipos de profissionais têm formação cada vez mais semelhante, no Brasil eles são tão distintos que mal conseguem dialogar, e a cooperação eficiente entre eles é quase impossível. Cientistas menos acadêmicos e engenheiros mais científicos, disso o País carece em grau muito grave.

Além de mais pessoas qualificadas – e melhor qualificadas – para gerar o conhecimento necessário para resolver os problemas nacionais solúveis pela

ciência, o País precisa ampliar e modernizar sua infra-estrutura de pesquisa. Tal avanço pede também aprimoramentos na gestão de programas científicos, principalmente em programas desafiadores, que abordem tanto a resolução de problemas brasileiros como tópicos científicos fundamentais, e que requeiram equipes numerosas e/ou multidisciplinares. A infra-estrutura de pesquisa científica de um país contemporâneo envolve desde o apoio ao pesquisador que trabalhe autonomamente com seus estudantes até laboratórios nacionais – grandes casas de ferramentas de pesquisa postas à disposição de cientistas qualificados de diversas filiações – e centros temáticos de pesquisa em assuntos estratégicos para o seu desenvolvimento. O País precisa ainda ser capaz de desenvolver instrumentação científica, e usar tal competência sempre que alguma pesquisa importante requeira instrumentos não disponíveis comercialmente.

A ciência é a plataforma da tecnologia contemporânea, e sem ciência forte nenhum país pode ter tecnologia competitiva. Dentre as ciências, a física tem um papel de destaque como geradora de novas tecnologias. Um terço do PIB dos EUA é oriundo de tecnologias baseadas na mecânica quântica, e indústrias baseadas na física têm um avanço diferenciado nos países mais desenvolvidos. Vale ressaltar que o valor agregado de produtos cresce com o avanço da tecnologia necessária para produzi-lo.

A Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior pode gerar resultados notáveis, desde que complementada por outras ações que estimulem o esforço de P&D das empresas. O próprio conceito do que seja P&D tem de ser revisto em nosso meio empresarial. Uma empresa que não tenha laboratórios de pesquisa onde trabalhem cientistas e engenheiros pós-graduados não é capaz de competir em setores de mais alta tecnologia. Mas, como ocorre em todos os países mais bem sucedidos, o Estado precisa apoiar o esforço de P&D das empresas com ações que não sejam referentes só a incentivos fiscais. Nosso atraso tecnológico é tão crítico que se faz necessária uma forte atuação direta do Estado na geração de tecnologia industrial. Tal como ocorreu no caso da tecnologia agrícola, em que o Brasil, após a criação da Embrapa, deixou de ser importador de técnicas impróprias para nosso solo e nosso clima para se tornar um dos países mais inovadores na agropecuária, um novo patamar de desenvolvimento industrial pode ser atingido com a criação da Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial. Tal empresa identificaria os principais gargalos tecnológicos que obstruem o desenvolvimento da nossa indústria e realizaria pesquisa para resolvê-los.

Sumário de Recomendações

- *Ampliação e aperfeiçoamento o sistema de pós-graduação para formar recursos humanos voltados às necessidades do desenvolvimento tecnológico do País.*
- *Criação de mecanismos que estimulem a internalização do know-how tecnológico pelas indústrias que se instalem no país.*
- *Apoio direto do Estado à pesquisa tecnológica na empresa, por meio de incentivos fiscais, encomendas tecnológicas e de outras ações.*
- *Incentivo à criação e desenvolvimento de grupos de física experimental, principalmente em regiões fora da região Sudeste.*
- *Incentivo à criação de pólos regionais de alta tecnologia.*
- *Implementação de mecanismos que facilitem a aplicação da Lei de inovação e da Lei do Bem, especialmente no tratamento de questões de propriedade intelectual e no apoio à empresa de alta tecnologia.*
- *Reforço do ensino de matemática e de ciências na educação básica, com ênfase nas atividades de laboratório.*
- *Criação de novas instituições de pesquisa científica e tecnológica para gestão de instalações de grande porte e execução de projetos estratégicos.*
- *Atuação direta do Estado no desenvolvimento de tecnologias estratégicas criando a Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial.*

Capítulo 1

Introdução

1.1– Ciência para um Brasil competitivo

No mundo contemporâneo, um dos principais fatores que determinam a prosperidade de uma nação é sua capacidade de utilizar o conhecimento para produzir bens com alto valor tecnológico agregado. Para isso, a educação científica da população é requisito primordial, assim como uma indústria vigorosa e inovadora. O termo era do conhecimento expressa essa realidade de maneira sintética e precisa. Exemplos do valor da ciência são abundantes e convincentes. A Revolução Industrial dos séculos 18 e 19 ocorreu em países europeus e nos EUA, que, desde o Iluminismo, dedicam grande esforço ao entendimento da natureza e à exploração desse conhecimento em benefício da sociedade. No século 20, vemos diversos países asiáticos – primeiro o Japão e mais tarde Formosa, Coreia, Cingapura – passarem em questão de décadas do estágio do subdesenvolvimento para o de países desenvolvidos e altamente competitivos no mercado internacional. Mais recentemente, a China e a Índia vêm se desenvolvendo com incomparável rapidez, também por incluírem a ciência e a tecnologia de maneira prioritária em suas agendas.

O Brasil tem sido muito lento em adotar a ciência e a tecnologia como promotores de seu desenvolvimento. Nossa indústria, que só começou a ganhar escala significativa a partir da Segunda Guerra, foi quase inteiramente baseada em tecnologias importadas. Ignorando o fato de que nenhum país jamais conseguiu desenvolver uma indústria avançada e competitiva sem antes tornar-se, ele próprio, capaz de gerar ciência e tecnologia, autoridades governamentais prosseguiram na crença – pelo menos uma vez declarada abertamente – de que “tecnologia é coisa que se compra”. No presente momento, parece haver um despertar geral – da sociedade e do Governo – para o fato de que só com uma ciência e uma tecnologia fortes poderemos construir uma nação próspera e dar uma vida melhor ao nosso povo.

Felizmente, nas últimas décadas o Brasil tem empreendido um expressivo e bem sucedido esforço de formação de profissionais pós-graduados. Hoje o Brasil conta com cerca de 70 mil doutores, e forma anualmente 12 mil doutores e 40 mil mestres. Nosso programa de pós-graduação (PG) cresce 15% ao ano. Em algumas áreas, já somos capazes de formar mestres e doutores com nível comparável ao das boas universidades da Europa e dos EUA. Assim, já contamos com um número muito significativo de pessoas altamente qualificadas e em pouco tempo esse número poderá ser muito expressivo. Entretanto, até o presente a contribuição direta desse pessoal altamente qualificado para a nossa economia tem sido muito aquém do desejável e realizável. Isso porque, para desenvolver uma economia tecnologicamente avançada, não basta que o

país tenha pessoal qualificado e nem mesmo uma boa ciência. Além desses pré-requisitos, sem dúvida imprescindíveis, é necessário que se criem outras condições propícias para o florescimento de empresas voltadas para a inovação e a tecnologia. Considere-se ainda que, como discutiremos mais adiante, temos dado um enfoque excessivamente acadêmico à nossa PG.

O quadro pouco favorável da indústria brasileira parece ter-se tornado claro para muitas autoridades do Governo, e a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE tem por objetivo criar no País um ambiente fértil para o desenvolvimento tecnológico das empresas e para o surgimento de novas empresas voltadas para a inovação. Imbuída desse mesmo espírito, a Capes decidiu identificar ações capazes de promover uma inclusão mais efetiva da ciência na vida do País. Aparentemente porque a Sociedade Brasileira de Física (SBF) realizou em 2005 um estudo das tendências da física no mundo e no Brasil, no qual foram identificadas contribuições que a física poderia dar para o desenvolvimento do País (ver o livro *Física para o Brasil*, Sociedade Brasileira de Física, 2005) a Capes achou conveniente iniciar esse trabalho considerando especificamente a área da física. Foi assim encomendado o estudo **Ciência para um Brasil Competitivo: o papel da Física**, a uma comissão cujos componentes tinham participado do mencionado estudo da SBF.

Tal comissão trabalhou por seis meses e, como já dito na **Apresentação** deste documento, em sua análise extrapolou em muito o âmbito da física para também analisar, apesar das limitações óbvias decorrentes de ser formada só por físicos, a inclusão de outras ciências e das engenharias. Isso porque na inclusão da ciência na vida do País há problemas de caráter universal, que nos seus aspectos gerais são comuns a todas as ciências. Naturalmente, porém, restam muitos problemas específicos que precisam ser examinados por comissões de outras áreas ou – o que nos parece uma solução melhor – por uma comissão multidisciplinar.

1.2 – Desafios e oportunidades

Após um longo período de estagnação, a economia brasileira ensaia uma retomada do crescimento, mas ele tem sido muito modesto, ainda mais quando se considera que a economia mundial vem passando por um período de prosperidade sem igual em toda a história. Podemos identificar com facilidade três dos fatores que impulsionam esse crescimento. O primeiro é a globalização, que tem acirrado a competição, e com ela a inovação tecnológica. O segundo é a abundância de capital: segundo a revista *Exame*, a poupança mundial atingiu US\$ 50 trilhões, e esse dinheiro transita agilmente entre fronteiras de nações e de continentes, em busca da maximização do seu retorno. O terceiro é o crescimento chinês e indiano, que demanda grande quantidade de insumos e de *commodities*.

Com o *boom* da economia mundial, o Brasil tem conseguido obter *records* de exportação, apesar da sobrevalorização do Real. Entretanto, nossas exportações concentram-se excessivamente em minérios, produtos agropecuários e produtos industriais com baixo valor tecnológico agregado. Segundo o IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, o aumento da exportação de manufaturados caiu de 26% em 2004, para 11% em 2005 e apenas 2% em 2006. O pior resultado da indústria se concentrou nos setores de alta e médio-alta tecnologia.

Dentre as empresas mais lucrativas instaladas no Brasil estão mineradoras, siderúrgicas e muitos bancos, mas nenhuma indústria que gere riqueza agregando valor tecnológico aos seus produtos. O lucro das indústrias brasileiras de transformação está

em declínio, e no momento em que este texto é escrito anuncia-se que também a produção industrial está decrescendo, fatos especialmente preocupantes se vivemos um período de prosperidade mundial. Na sociedade e no Governo cresce a consciência de que o País precisa desenvolver uma nova economia, muito mais baseada na inovação e na tecnologia do que a atual. O mundo vive uma acelerada transformação nos processos industriais e na invenção de novos produtos, principalmente na indústria química, na criação de novos materiais e utilização de suas propriedades especiais, na farmacologia, na biotecnologia e na eletroeletrônica. No centro de quase tudo isso está a nanotecnologia, uma revolução tecnológica que está mudando o mundo. Segundo estudo patrocinado pela UE “*The economic development of nanotechnology – an indicator based analysis*”, divulgado em novembro 2006, em 2014 11% de todos os empregos em manufatura no mundo estarão ligados à nanotecnologia. Transformações são sinônimas de oportunidades, e o Brasil não pode perder mais essa chance de modernização.

O pessoal altamente qualificado resultante no nosso programa de PG tem sido absorvido quase inteiramente pela Academia – universidades e institutos estatais de pesquisa – e por isso o reflexo direto desse esforço de formação de pessoal sobre a nossa economia, especialmente sobre o avanço tecnológico de nossa indústria, tem sido relativamente pequeno. Salienta-se ainda que, em um processo adaptativo, os nossos programas de pós-graduação moldaram-se à demanda existente e tornaram-se excessivamente acadêmicos. Adquirimos considerável competência em formar pessoas para a Academia, mas ainda somos falhos na formação de pessoas realmente aptas para trabalhar em empresas, principalmente em atividades de P&D. Temos de buscar uma maior versatilidade e flexibilidade em nossos programas de graduação e de pós-graduação, para podermos formar pessoas com habilidades mais diversificadas. Mas esse passo tem de ser complementado por políticas e ações governamentais que dêem empregabilidade a bacharéis, a mestres e doutores treinados para a pesquisa tecnológica, pois sem isso tal tipo de formação será pouco atraente para os jovens talentosos, e os poucos que formarmos poderão ser atraídos para outros países onde cientistas e engenheiros de P&D são altamente requisitados pelas empresas.

O Brasil tem tirado pouco proveito da excepcional disponibilidade de capital existente nos países desenvolvidos. De fato, se os juros altos praticados no País têm atraído dinheiro para aplicações financeiras, o investimento direto estrangeiro em empreendimentos industriais tem sido modesto. Bem recentemente, o Brasil tem recebido mais investimentos diretos estrangeiros, mas no caso de empresas de tecnologia mais avançada, esse investimento tem sido quase nulo. A atratividade de um país para atrair investimentos e empreendimentos industriais envolve diversos fatores cuja análise extrapola em muito o escopo do presente trabalho. Mas um deles se inclui inteiramente nesse escopo e precisa ser considerado: empresas de alta tecnologia são especialmente atraídas para locais onde haja abundância de pessoal altamente qualificado. Embora haja casos em que esse requisito não é levado em conta – um exemplo é a planta industrial da Intel na Costa Rica –, isso ocorre unicamente para se tirar proveito de mão de obra barata e de privilégios fiscais, e nesses casos as empresas internalizam nada ou quase nada da sua tecnologia. Para contrastar com esse exemplo, podemos citar o centro de pesquisa da IBM em Zurique, de cuja atividade resultou a invenção do microscópio eletrônico de tunelamento e a descoberta dos supercondutores de alta temperatura, dois avanços reconhecidos com o Prêmio Nobel de Física.

A conclusão é que o Brasil se encontra em um estado que tende a se perpetuar, caso não seja alterado por um agente novo. Por termos pouca gente qualificada para dar suporte ao avanço da tecnologia, não geramos empresas voltadas para a inovação nem

atraímos empresas estrangeiras desse gênero. E, por não termos empresas de alta tecnologia, o pouco pessoal qualificado para P&D que formamos não encontra emprego no setor empresarial. Não há saída espontânea desse estado de equilíbrio vicioso, e em tal caso o Governo é solicitado a atuar de maneira enérgica e consciente.

1.3 – Pós-graduação

A principal motivação inicial do programa brasileiro de pós-graduação foi formar gente qualificada para ocupar cargos docentes nas universidades. E isso ele tem feito com sucesso. Em várias áreas do conhecimento, em particular no campo das ciências exatas, há mais de uma década as novas vagas nas universidades públicas vêm sendo inteiramente ocupadas por doutores, e essa prática vem se generalizando para quase todos os outros campos. Nessas universidades, onde há coisa de quatro décadas quase só se praticava ensino, hoje já se realiza pesquisa com padrões internacionais de qualidade. Mas agora, exatamente porque os objetivos iniciais do programa estão sendo alcançados, ele precisa ser reformado. Precisa ser reformulado com o propósito mais amplo e mais ambicioso de ajudar o Brasil a elevar-se ao nível das nações desenvolvidas. O Plano Nacional de Pós-Graduação 2005-2010, formulado pela Capes, na verdade já é inovador ao priorizar as engenharias e estabelecer metas quantitativas de formação de mestres e de doutores nessa área.

Por limitação técnica dos autores deste documento, não foi possível propor reformas na formação de pós-graduados, exceto no caso da física, mas é possível que algumas deficiências que apontamos sejam válidas também para outros campos da ciência. Exatamente porque se situa quase que unicamente no setor acadêmico, nossa física tornou-se excessivamente teórica. Mais da metade de nossos doutores em física desenvolveu tese teórica, enquanto nos países em que a ciência está bem inserida na economia há pelo menos dois físicos experimentais para cada físico teórico. Seria um grave equívoco pensar que temos excesso de físicos teóricos, pois o que temos é uma grave deficiência de físicos experimentais. Esse déficit só pode ser sanado por um conjunto de medidas que inclui melhoria em nossos laboratórios de pesquisa, incentivos especiais para cursos que formem mais físicos experimentais e até mesmo prazos mais prolongados para a formação de cientistas experimentais. Nos Estados Unidos, enquanto o tempo médio gasto para a obtenção do doutorado em física teórica, após o bacharelado, é de cinco anos e meio, no caso da física experimental ele é de seis anos e meio. Enquanto se procura aumentar o número de físicos experimentais no País, é necessário planejar sua utilização mais ampla no setor empresarial.

Parte do viés teórico da ciência brasileira tem raiz em nossa cultura, que ainda hoje vê com descaso o trabalho manual. Devido a essa cultura, enquanto no resto do mundo cada vez mais a educação científica das crianças é realizada pelo processo “mão na massa”, no qual elas exploram os fenômenos naturais por meio de experimentos simples, no Brasil insistimos em uma instrução meramente descritiva e livresca sobre como a natureza se comporta. Mudar essa conduta é essencial. Apesar de os resultados só aparecerem em prazos mais longos, crianças educadas pelo contato direto com os fenômenos tomam muito mais gosto pela ciência e, mesmo que sua vocação seja teórica, incluirão o treinamento em experiências e em instrumentação na sua educação universitária.

1.4 – Tecnologia contemporânea

A Revolução Industrial dos séculos 18 e 19 só foi possível devido aos avanços da ciência, que desde Galileu e Newton teve na física e nos seus métodos os elementos básicos e fundamentais para o seu sucesso. O desenvolvimento da máquina a vapor, e mais tarde dos motores de explosão interna, tiveram origem no estudo dos fenômenos térmicos. No final do século 19 a investigação científica do eletromagnetismo levou à eletrificação e às telecomunicações. No século 20, com o advento da mecânica quântica, uma enorme variedade de novos dispositivos e produtos foi criada, e a física – seguida de perto pela química – foi o fundamento da maioria dessas invenções. Segundo dados recentes, um terço do PIB dos EUA é oriundo de tecnologias baseadas na mecânica quântica. Uma residência moderna é aparelhada de uma parafernália de equipamentos originários de descobertas da física e com frequência inventados por físicos. Geladeiras, fornos de microondas, rádios, televisores, computadores, telefones fixos ou móveis, sensores de presença, são os exemplos mais comuns. Sem sairmos dessa residência, encontraremos uma grande variedade de materiais sintéticos em cuja origem estão avanços da química. Plásticos, resinas, pigmentos, desinfetantes, produtos de limpeza e de higiene corporal, cosméticos, fármacos etc. Na medicina, os diagnósticos, as cirurgias e até mesmo as terapias tiveram grandes avanços oriundos da física. Mais recentemente, os métodos da física têm sido aplicados a ciências e tecnologias mais *soft*, em um processo crescente. Emblemático do inigualável potencial de aplicação da física na tecnologia e em outras ciências é o fato de físicos terem ganhado doze vezes o Prêmio Nobel de Química e cinco vezes o Nobel de Medicina.

1.5 – Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial

Além dos incentivos e outras ações governamentais previstas na PITCE, em nossa opinião é necessário que o Governo atue diretamente na criação de tecnologia por meio de uma empresa. Propomos que se crie a Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial – Embracti. A proposta tem origem na apreciação dos efeitos singularmente positivos que a Embrapa teve sobre nossa tecnologia agropecuária. Com efeito, pouco depois da criação da Embrapa, em 1973, nosso setor agropecuário, que permanecia em estado de quase estagnação – apesar de várias ações do governo na área, principalmente generosos incentivos financeiros –, passou a progredir muito rapidamente e hoje o Brasil é uma potência agrícola. Nossa técnica em vários setores da agropecuária, como a de produção de grãos, de frutas tropicais e de carne bovina, é a que evolui mais rapidamente em todo o mundo, e a Embrapa teve um papel central nessa conquista. Prevê-se que em coisa de duas décadas o Brasil se torne o maior produtor de alimentos do mundo, e o custo financeiro e energético da nossa produção já é inigualável.

A Embracti teria por missão viabilizar soluções para o desenvolvimento industrial, por meio da geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias, em benefício da sociedade brasileira. Ela seria o principal órgão de apoio técnico da PITCE. Identificaria os gargalos tecnológicos que obstruem o desenvolvimento das empresas, com ênfase nos setores priorizados pela PITCE, e realizaria pesquisa para resolvê-los. Além da sua interação *sine qua non* com as indústrias, a Embracti teria forte colaboração com a Academia, e dessa maneira também contribuiria para estabelecer a ponte entre os setores acadêmico e empresarial. Teria ainda de funcionar em harmonia e complementaridade com a ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, que é o órgão articulador da PITCE.

Capítulo 2

Os Desafios da Inovação

2.1 – Ciência no mundo

A ciência brasileira tem apresentado, nas últimas duas décadas, um crescimento muito rápido, alicerçado em uma bem-sucedida política nacional de pós-graduação, que teve início nos anos sessenta. Em 1987 o Brasil formou 868 doutores (em todas as áreas do conhecimento), e em 2005 esse número saltou para 9.989. Esse crescimento ilustra de forma esplêndida o mérito da prática consistente de políticas de Estado, e não políticas de Governo, que geralmente se reorientam antes do amadurecimento e da colheita de resultados. Com os novos quadros de profissionais qualificados, o número de publicações brasileiras em revistas indexadas pelo Thomsom Institute of Scientific Information (ISI) saltou de 2.528 em 1987 (0,50% dos artigos publicados em todo o mundo) para 16.872 em 2006 (1,92% dos artigos do mundo). Entretanto, enquanto quase todos os mestres e doutores em ciências e engenharias no Brasil trabalham na Academia (universidades e institutos de pesquisa governamentais), apenas um número muito pequeno deles atua em empresas. Dos dispêndios nacionais em P&D, as empresas contribuem com apenas cerca de 40% (o Governo com cerca de 60%), enquanto nos países industrializados a participação das empresas costuma ser duas vezes maior que a do Governo. Com isso, a ciência tem tido pequena inserção na vida do País e contribuído muito menos do que poderia para o nosso desenvolvimento econômico. Em 2005 o Brasil foi o 27^o país no mundo em número de patentes internacionais (283 patentes depositadas). Isso o coloca bem abaixo de Cingapura (438 patentes) e Índia (648 patentes) e muito abaixo da Coréia (4.747 patentes). Com a Lei da Inovação, aprovada em 2004, e a nova Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), que vem sendo implementada nos últimos três anos, está sendo criado um ambiente propício para que a nossa ciência gere riqueza e o País ingresse de forma competitiva na era da inovação. É importante agilizar e aprofundar a PITCE, que deveria conter metas quantitativas de aumento dos gastos nacionais com Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

2.2 – Ciência e tecnologia no Brasil

A ciência brasileira vem crescendo rapidamente desde os anos 1970, impulsionada pelo vigoroso programa de formação de pessoal altamente qualificado empreendido pelas principais agências nacionais de fomento. De fato, o nosso ensino de pós-graduação (PG) cresce a uma das mais altas taxas do mundo, e o número de estudantes que obtêm os títulos de mestre e de doutor tem aumentado nas últimas duas décadas acima de qualquer projeção. A Figura 2.1 mostra o número de doutores titulados no Brasil em todas as áreas no período 1987-2005. Mostra também (triângulos) a projeção de um cenário “otimista” feita em 2004 no Plano Nacional de Pós-Graduação 2005–2010 (PNPG). Vê-se que já nos anos 2004 e 2005 o número de titulados superou a projeção do PNPG. É importante continuar formando pessoal pós-graduado em números crescentes, pois o número de mestres e doutores *per capita* no Brasil ainda é muito menor do que o necessário para o desenvolvimento de uma indústria inovadora.



Figura 2.1

O aumento do número de pessoas altamente qualificadas possibilitou um avanço muito significativo da pesquisa científica realizada no País. Esse avanço pode ser ilustrado, por exemplo, pela evolução do número das publicações brasileiras em revistas indexadas pelo ISI, mostrada na Figura 2.2. Entre 1981 e 2006, não apenas o número de artigos brasileiros aumentou de 2 mil para 17 mil, como também teve aumento muito importante a participação brasileira no total de publicações geradas em todo o mundo. Em 1981 o Brasil contribuiu com 0,44% das publicações científicas mundiais; já em 2006, sua contribuição tinha subido para 1,92%. Esse aumento acentuou-se a partir de 1990, quando o número de pesquisadores brasileiros passou a ser mais significativo. Naquele ano, o Brasil publicou 3.597 artigos indexados, 0,62% do total produzido no mundo. Vê-se então que a participação brasileira nas publicações mundiais multiplicou-se por um fator de 3,1 em um espaço de 17 anos (1990 – 2006).

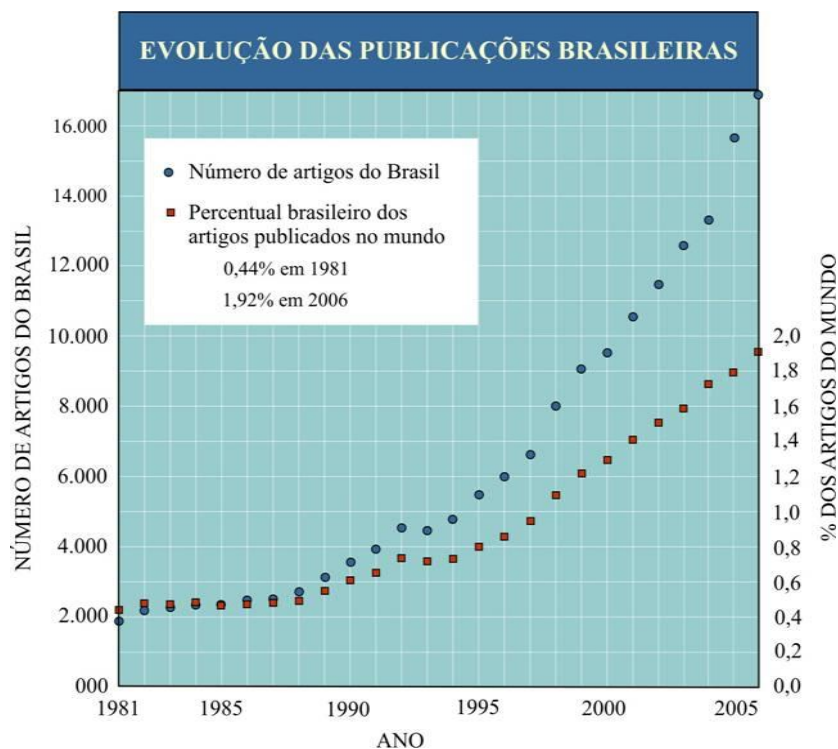


Figura 2.2

No entanto, esse crescimento no número de pesquisadores e na produção científica brasileira tem gerado avanços na geração de tecnologia muito aquém do desejado e do realizável. Nossa tecnologia tem avançado muito mais lentamente do que nossa ciência. Nosso atraso no campo da inovação e da geração de tecnologia é bem ilustrado pelo número de patentes internacionais depositadas pelo Brasil. A Tabela 2.1 mostra a lista dos 30 países que mais depositaram patentes no ano 2005, segundo a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI). Vê-se que o Brasil se coloca em 27^o lugar na classificação, abaixo de Cingapura – uma cidade-estado com 700 km² e 4 milhões de habitantes – e da Índia, e muito abaixo da Coreia, que, como o Brasil, iniciou seu programa de formação de pesquisadores há cerca de três décadas. A correlação entre inovação e geração de riqueza pode ser ilustrada pelo fato de que, se naquela ocasião a Coreia tinha uma renda per capita inferior à do Brasil, hoje ela é quatro vezes maior que a nossa. Os dados da OMPI também revelam que o número de patentes registradas pelo Brasil tem crescido muito lentamente: entre 2004 e 2005, esse crescimento foi de apenas 0,7%. Na China, cuja emergência tecnológica é fato recente, o número de patentes cresceu 43,7% no mesmo período. Pelo seu pequeno dinamismo em inovação, a indústria brasileira perdeu competitividade no comércio internacional.

DEPÓSITO DE PATENTES INTERNACIONAIS (2005)

1. EUA - 45.111	16. Espanha - 1.109
2. Japão - 25.145	17. Dinamarca - 1.071
3. Alemanha - 15.870	18. Bélgica - 1.023
4. França - 5.522	19. Áustria - 889
5. Reino Unido - 5.115	20. Índia - 648
6. Coreia - 4.747	21. Noruega - 605
7. Holanda - 4.435	22. Rússia - 500
8. Suíça - 3.096	23. Cingapura - 438
9. Suécia - 2.784	24. Nova Zelândia - 386
10. China - 2.452	25. África do Sul - 336
11. Canadá - 2.315	26. Irlanda - 330
12. Itália - 2.309	27. BRASIL - 283
13. Austrália - 2.022	28. Turquia - 168
14. Finlândia - 1.866	29. Hungria - 165
15. Israel - 1.481	30. México - 136

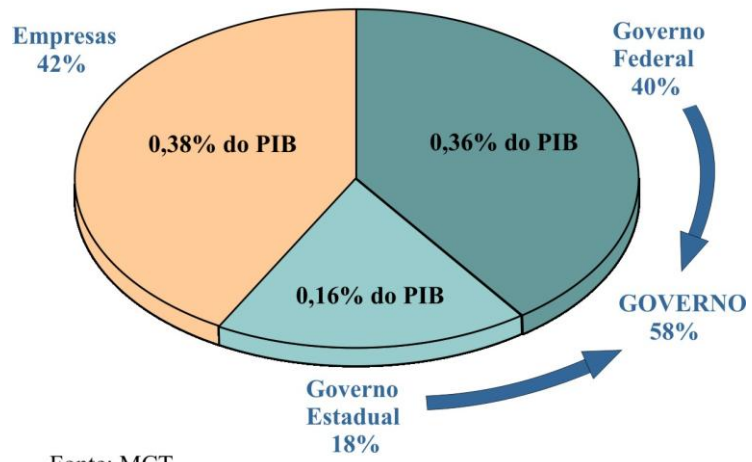
Fonte: Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI)

Tabela 2.1

O baixo desempenho do Brasil em inovação e em desenvolvimento de tecnologia pode ser atribuído ao pequeno valor dos dispêndios feitos em P&D: enquanto o País destina apenas cerca de 1,0% do seu PIB a essas atividades, as nações que têm tido um bom desempenho em geração de tecnologia gastam com P&D o dobro (ou mais) desse percentual. A situação se mostra ainda mais grave quando se observa que, ao contrário do que ocorre no resto do mundo, a maior parte dos nossos gastos em P&D vem do Estado, e não das empresas, como se vê na Figuras 2.3. Na Figura 2.4, podemos observar que o investimento empresarial, medido em termos do PIB, não aumentou nos anos recentes, apesar do acirramento da competitividade decorrente da globalização – na verdade, houve uma drástica redução em 2005, que foi recuperada em 2006.

A comparação entre as Figuras 2.3 e 2.5 revela o contraste de nossos dados com os de vários outros países. Como se vê na Figura 2.3, no Brasil o Estado arcou em 2004 com 58% dos dispêndios em P&D, enquanto às empresas cabem apenas 42% desses gastos. Esse cenário revela-se ainda mais grave quando se considera que os gastos que nossas empresas contabilizam como inovação costumam incluir capacitação para a operação de equipamentos importados (treinamento de pessoal etc.), adaptações de pacotes tecnológicos – adquiridos de empresas estrangeiras – às condições de operação da empresa local. Laboratórios de pesquisa tecnológica em que mestres e doutores desenvolvem novos produtos são extremamente raros em nossas indústrias. A Figura 2.5 mostra os dispêndios em P&D por fontes para uma seleção de países, onde na fonte designada por “outros” estão incluídas as empresas não-industriais e instituições sem fins lucrativos.

**DISPÊNDIO NACIONAL EM P&D
PÚBLICO E PRIVADO (2004)**



Fonte: MCT

Figura 2.3

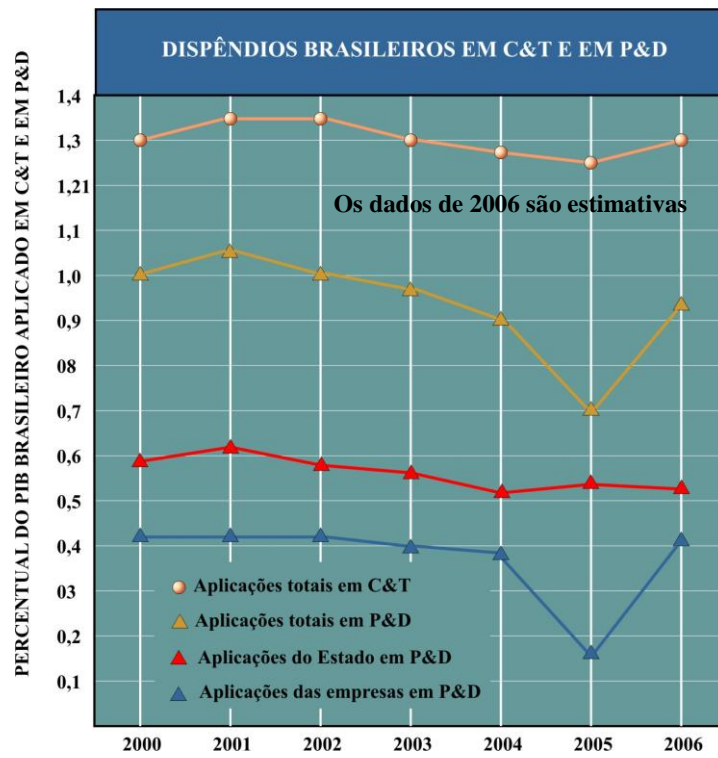
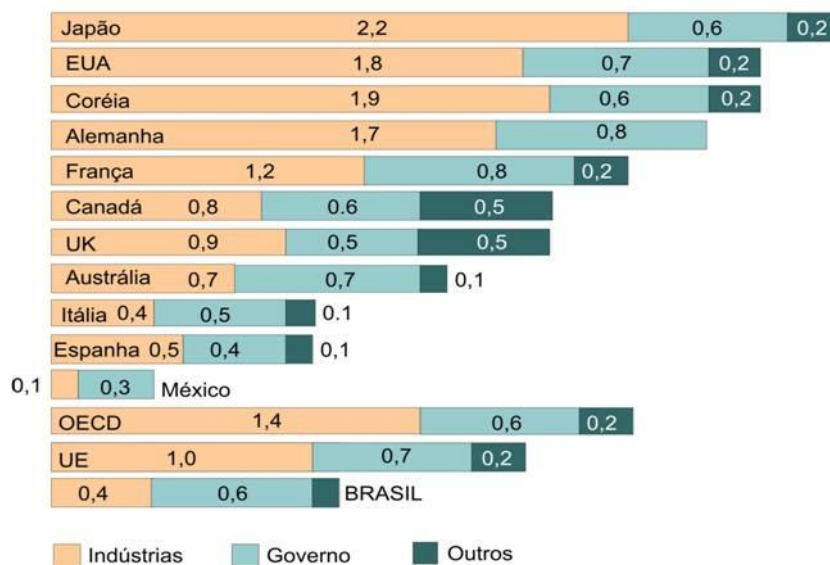


Figura 2.4

Dispêndios em P&D de Alguns Países Segundo Fontes - 2001 (% do PIB)



Fonte: OECD e MCT (Brasil)

Figura 2.5

Na Figura 2.5 vê-se que em 2001 o governo brasileiro gastou 0,6% do PIB em P&D, um valor semelhante ao encontrado para a maioria dos países listados. Mas a figura também mostra que os gastos das nossas empresas estão muito abaixo dos verificados nos países que vêm obtendo um desenvolvimento industrial e tecnológico adequado, algo que devemos e podemos almejar. É necessário – e urgente – que o Governo empregue todo o poderoso elenco de ações potencialmente ao seu alcance para que um maior número de empresas adote a inovação e a pesquisa tecnológica como parte central da sua estratégia de crescimento e de abertura para o mercado internacional globalizado. Incentivos especiais para o florescimento de novas empresas voltadas para a tecnologia deve ser parte desse conjunto de ações, pois em todo o mundo boa parte da inovação é oriunda de pequenas e médias empresas de criação recente, muitas vezes nascidas em incubadoras mantidas ou fomentadas pelo Estado. Deve-se enfatizar, nesse processo, a pesquisa tecnológica, ou seja, as atividades internas das empresas em P&D. A única pesquisa conhecida sobre a avaliação das próprias empresas da importância de suas atividades inovativas, a Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica – PINTEC, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2000 (repetida em 2003 e 2005) e mostrada na Figura 2.6, revela que as atividades internas de P&D ainda não são consideradas como de muita importância pela grande maioria das empresas. Em 2005, apenas uma em cada seis empresas industriais e duas em cada cinco empresas de serviços dava alta prioridade às atividades internas de P&D.

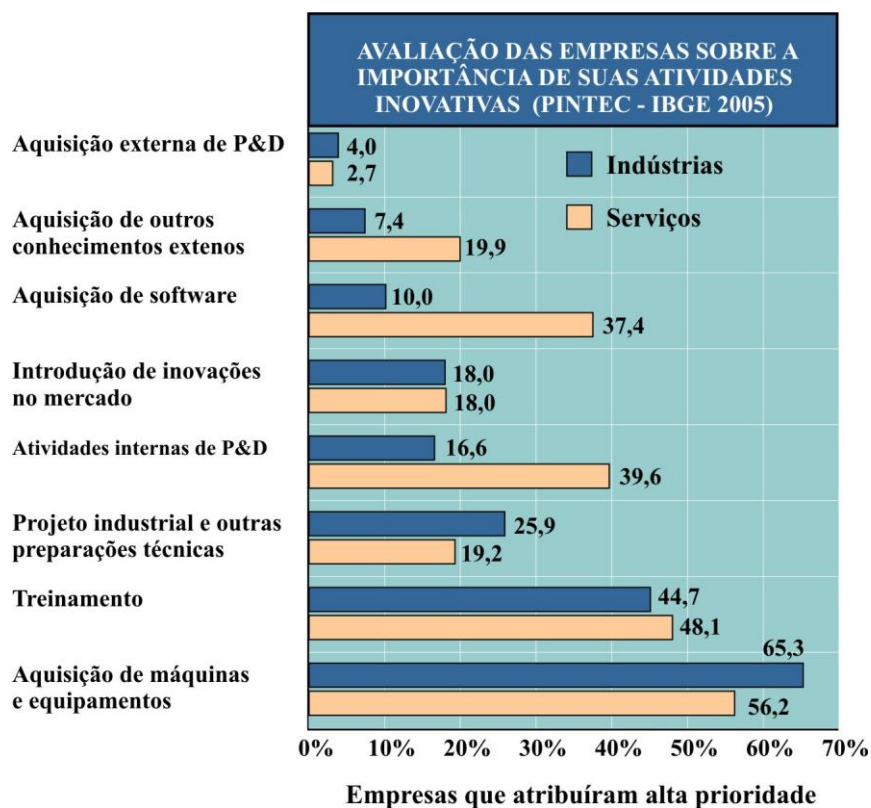
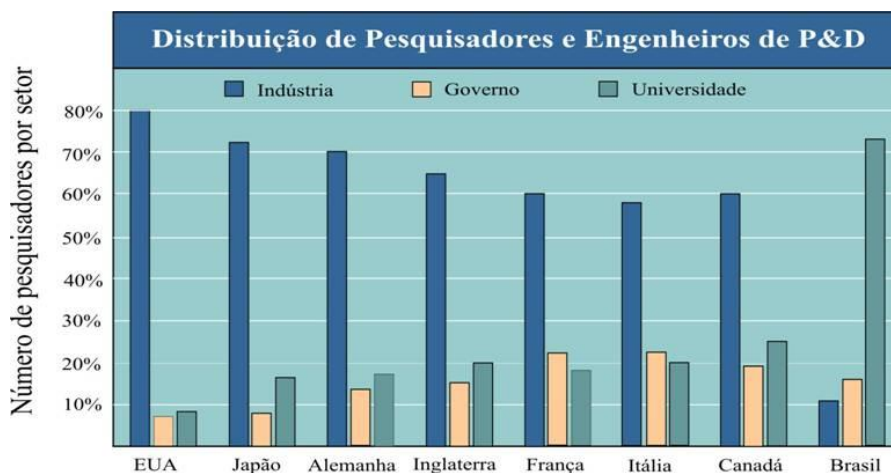


Figura 2.6

A PINTEC mostra que em 2005 as empresas consideravam a aquisição de máquinas e equipamentos como a ação mais importante em suas atividades inovativas, o que reflete a permanência da visão que orientou o processo de substituição das importações dos anos 1970 e 1980. As empresas valorizavam em segundo lugar o treinamento de pessoal, aparentemente com o propósito de operar tais aparatos e/ou seguir procedimentos adquiridos no exterior. É também muito o grave o fato de que o percentual da receita líquida de vendas que as indústrias aplicaram em atividades inovativas diminuiu de 3,8% em 2000 para 2,5% em 2003 e 2,8% em 2005. Nos anos de 2000 e 2003, a pesquisa não incluiu empresas de serviços, que em 2005 aplicaram 3,3% da sua receita líquida em atividades inovativas (2,8% em atividades internas de P&D). Ainda segundo a PINTEC, os percentuais das receitas líquidas das empresas destinados a atividades internas de P&D foram de apenas 0,60%, 0,53% e 0,60%, nos anos de 2000, 2003 e 2005, respectivamente, e os percentuais de indústrias com atividade interna de P&D, nesses anos, foram, respectivamente, 11,7%, 7,2% e 7,3%. Isso mostra que as indústrias não têm mudado sua atitude nem tomado medidas para intensificar suas atividades internas de P&D, e que na verdade o percentual de indústrias que realizam pesquisa tecnológica decresceu nos últimos anos. Vê-se que as empresas de serviços atuantes no Brasil são mais inovativas que as indústrias, e que no caso específico de atividades internas de P&D seu desempenho é muito superior, mas como o número delas é muito menor, seu melhor desempenho não é capaz de alterar muito significativamente o quadro global. Dentre as empresas de serviços, destacam-se as de telecomunicações, cujas taxas de inovação em 2005, de 47,3%, só foram inferiores às verificadas na Alemanha (69,3%), Noruega (55,8%), Itália (54,6%) e Suécia (50,5%). Para termos de comparação, a taxa de inovação das indústrias em 2005 foi de 33,4%, resultado um pouco maior que os 31,5% verificados em 2000. Os dados da PINTEC mostram que o percentual de indústrias inovadoras que usaram programas do governo para inovação subiu de 16,8% em 2000 para 19,1% em 2005.

Considerando-se que esse crescimento ainda não reflete os resultados da Lei do Bem, aprovada em 2006, é provável que o efeito das novas políticas governamentais se mostre muito relevante nos próximos anos.

A incipiência da pesquisa tecnológica nas empresas brasileiras reflete-se no pequeno número de pesquisadores que elas empregam. A Figura 2.7 mostra o percentual de cientistas e engenheiros pesquisadores empregados por setor em alguns países, incluindo o Brasil. Observa-se que a indústria brasileira absorve apenas cerca de 11% do total de pesquisadores, enquanto em todos os demais países mostrados ela emprega mais da metade desse tipo de profissional.



Fonte: C. H. Brito Cruz - A Universidade, a Empresa e a Pesquisa que o País Precisa, Parcerias Estratégicas, número 8, p. 5-30 (2000)

Figura 2.7

Como se vê na Figura 2.7, 88% dos pesquisadores brasileiros estão na Universidade e no Governo (isto é, em seus institutos de pesquisa). O pequeno percentual (11%) de pesquisadores que trabalham na indústria ilustra bem o fato de que muito pouco do que nossas empresas contabilizam como dispêndios em P&D é realmente destinado à pesquisa tecnológica.

Por serem os maiores empregadores de cientistas, mesmo não sendo a geração de tecnologia a missão dessas instituições, as universidades figuram entre os grandes geradores de patentes do País. A Figura 2.8 mostra os 20 maiores depositantes de patentes no Brasil no período 1999-2003, onde pode ser notado que dentre eles figuram 5 universidades e 2 agências de fomento. Para salientar que o destaque de nossas universidades na produção de patentes é atípico, cabe apontar que no mesmo período entre 1999-2003 as universidades norte-americanas produziram apenas 4% das patentes registradas naquele país. Deve-se também notar que cinco das empresas privadas que aparecem na Figura 2.8 (Arno, Dana, Johnson, Electrolux e Dixie) são estrangeiras. Um outro dado mostrado na Figura 2.8 merece ser comentado. Duas empresas fabricantes de máquinas agrícolas (Semeato e Jacto) produzem considerável número de patentes. A provável razão disso é que grande parte da agricultura brasileira baseia-se hoje em tecnologias, incluindo a de semeadura, não disponíveis para compra no exterior, e por isso têm de ser desenvolvidas no País. Vários outros fatos demonstram que o Brasil revela-se eficiente em desenvolver tecnologia sempre que não é possível importá-la. Sendo assim, muito se poderia fazer para promover a

tecnologia brasileira pela criação de mecanismos que dificultem e/ou onerem a importação de tecnologia. Mas muito pouco disso tem sido feito. Na verdade, mesmo as normas industriais brasileiras são tão permissivas que as empresas estrangeiras podem industrializar seus produtos no Brasil sem qualquer esforço significativo para adaptá-los às nossas normas.

DEPÓSITOS DE PATENTES 1999 - 2003	
Unicamp	191
Petróleo Brasileiro SA - Petrobrás	177
Arno SA	148
Multibrás Eletrodomésticos SA	110
Semeato SA Indústria e Comércio	100
Cia Vale do Rio Doce	89
Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa - São Paulo	83
Brasil Compressores SA	81
Dana Indústria Ltda	71
Universidade Federal de Minas Gerais	66
Johnson & Johnson Companhia Ltda	56
Universidade de São Paulo	55
Jacto Máquinas Agrícolas	54
Usiminas - Indústrias Siderúrgicas de Minas Gerais	48
Electrolux do Brasil SA	45
Embrapa	42
Cons. Nac. Des. Cient. e Tecnol. - CNPq	42
Universidade Federal do Rio de Janeiro	38
Universidade Estadual Paulista - UNESP	34
Dixie Togas SA	31

Fonte: Pedidos de Patente BR publicados - Banco de dados Époque

Figura 2.8 – Vinte maiores depositantes de patentes internacionais no Brasil

2.3 – Desenvolvimento da tecnologia brasileira

Como já apontado no livro *Física para o Brasil*¹ (Seção 4.2), é equivocada a opinião freqüentemente encontrada de que questões culturais profundamente arraigadas sejam responsáveis de tornar nossa sociedade menos apta à inovação tecnológica. Na verdade, os hábitos de nossa indústria foram moldados principalmente pelas políticas governamentais praticadas desde a Segunda Guerra, época em que se iniciou a industrialização do País. Na busca de encurtar caminhos, a modernização acelerada do País nos anos 50 se fez primordialmente através da introdução de pacotes tecnológicos fechados, com pouco espaço que permitisse a curva de aprendizado necessária para a internalização do *know-how* pelas incipientes empresas brasileiras de então. Por outro lado, tanto na estatização praticada até os anos 1990 quanto no esforço de substituição das importações, praticou-se um protecionismo excessivo e desacompanhado de cobrança de metas de amadurecimento

¹ *Física Para o Brasil – Pensando o Futuro* (Sociedade Brasileira de Física 2005)

tecnológico. Acima de tudo, acreditou-se na idéia errônea – sempre implícita nos atos do Governo, embora só poucas vezes explicitada – de que tecnologia é coisa que se compra no exterior. Essas foram as razões do nosso atraso. Citando *Física para o Brasil* (p. 213):

“Há razões para se crer que o maior empecilho ao nosso desenvolvimento tecnológico seja a extrema facilidade com que aqui se permite a importação de tecnologia. Se, de fato, somos uma espécie de porto livre para a tecnologia estrangeira, exemplos emblemáticos demonstram que, naqueles casos em que o País não encontrou lá fora tecnologia disponível para importação, ela foi desenvolvida internamente com eficiência e agilidade.

O exemplo mais notável é o da tecnologia agrícola. Até bem recentemente, o Brasil insistia em utilizar, sem sucesso, tecnologia agrícola desenvolvida para climas temperados e para solos mais básicos (alcalinos), bem distintos dos nossos. Recentemente, decidiu desenvolver tecnologias agrícolas apropriadas para seu solo e seu clima, e os resultados têm sido extremamente positivos.

[...] Hoje, temos a maior produtividade mundial em soja e estamos próximos de atingir o mesmo em milho. Para isso, foi importante a criação, em 1973, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), uma empresa estatal dedicada a desenvolver tecnologia e a transferi-la ao setor produtivo em uma interação inteligente e efetiva.

[...] Um terceiro exemplo se encontra no setor de serviços. Para conviver com uma inflação crônica e elevada, nosso setor bancário teve de se informatizar a um nível não conhecido em outros países, e hoje temos a mais avançada tecnologia de informatização bancária em todo o mundo.”

Ressaltamos, no entanto, que o nível de protecionismo à indústria nacional é questão a ser julgada e pensada com cuidado, caso a caso, tendo por base o contínuo monitoramento do desempenho dos setores envolvidos e levando em conta os benefícios e prejuízos de diferentes partes cujos interesses que podem ser antagônicos. Devemos sempre ter em mente que o protecionismo exagerado na área de informática no Brasil nas décadas de 70 e 80 pode ter trazido algum lucro para as empresas de informática durante um curto período de tempo, mas acarretou prejuízos enormes em todos os outros setores da economia nos quais computadores representam uma ferramenta indispensável para suas atividades.

2.4 – Empresas que mais lucram no Brasil

Um exame da lista das empresas mais lucrativas do Brasil realça tanto nosso atraso tecnológico quanto uma das razões desse atraso. Na Tabela 2.2 vemos as trinta empresas não-financeiras com maior lucro líquido em 2005, e na Tabela 2.3 vemos os 15 bancos com maior lucro. Observa-se que a lista das empresas não-financeiras (por brevidade, doravante chamadas empresas) mais lucrativas é encabeçada, e amplamente dominada, pelos setores extrativista, siderúrgico e energético. Só muito ao final da lista vemos duas empresas (Embraer, 27^a colocada) e Fiat (última da lista), que agregam maior valor tecnológico aos seus produtos, e não se pode ignorar o fato agravante de que quase toda a tecnologia da Fiat é desenvolvida no exterior. Fora essas duas exceções, a indústria de manufatura está inteiramente ausente da lista. Por outro lado,

como se vê da comparação entre as Tabelas 2.2 e 2.3, em 2005 havia no País treze bancos mais lucrativos que a Embraer, a mais lucrativa das nossas indústrias de manufatura. Embora não tenhamos encontrado dados similares aos das Tabelas 2.2 e 2.3 para o ano de 2006, dados parciais indicam que o lucro de nossas indústrias de manufatura vem decaindo. Por exemplo, a Embraer, que lucrou R\$ 1.281 milhões em 2004, teve seu lucro diminuído para R\$ 709 milhões em 2005 e R\$ 622 milhões em 2006. No primeiro trimestre de 2007 seu lucro foi de apenas R\$ 58 milhões.

Vemos, então, que o lucro de indústrias que mais dependem de tecnologia é muito pequeno e, além do mais, decrescente. Isso contrasta com os altos lucros dos bancos, que nunca decaem. Embora devamos reconhecer que no Brasil o setor bancário talvez seja o mais desenvolvido tecnologicamente, os juros excessivamente altos praticados no País são causa muito importante tanto dos grandes lucros dos bancos quanto dos baixos lucros das empresas. Juros altos afetam de forma especial o setor mais dependente de tecnologia, pois investimentos em P&D, embora altamente lucrativos em prazos mais longos, raramente dão retorno no curto prazo, e por isso quando o custo do capital fica muito alto as empresas se vêm forçadas a limitar seu esforço em desenvolvimento tecnológico.

LUCRO LÍQUIDO EM 2005 DAS EMPRESAS MAIS LUCRATIVAS DO BRASIL (US\$ MILHÕES)		
1	PETROBRÁS - PETROQUÍMICA	9.523
2	VALE DO RIO DOCE - MINERAÇÃO	4.467
3	USIMINAS - SIDERURGIA E METALURGIA	1.347
4	TELEFÔNICA - TELECOMUNICAÇÕES	1.030
5	CSN - SIDERURGIA E METALURGIA	789
6	ARCELOR BRASIL - SIDER. E METAL.	680
7	TELEMAR - TELECOMUNICAÇÕES	633
8	MBR - MINERAÇÃO	629
9	GERDAU AÇOMINAS - SIDER. E METAL.	587
10	GLOBO - COMUNICAÇÕES	521
11	CST - ARCELOR BRASIL - SIDER. E METAL.	489
12	SAMARCO - MINERAÇÃO	441
13	COSIPA - SIDERURGIA E METALURGIA	395
14	REAL - SERVIÇOS DIVERSOS	395
15	ARACRUZ - PAPEL E CELULOSE	394
16	FURNAS - ELETRICIDADE	346
17	AMBEV - BEBIDAS	336
18	TRACTEBEL ENERGIA - ELETRICIDADE	315
20	BELGO SIDERURGIA - SIDER. E METAL.	302
21	TBG - SERVIÇOS E TRANSPORTE	293
22	PETROBRÁS DISTRIBUIDORA - COMÉRCIO	288
23	SOUZA CRUZ - FUMO	282
24	CPFL ENERGIA - ELETRICIDADE	265
25	AES TIETÊ - SERVIÇOS PÚBLICOS	245
26	CBA - SIDERURGIA E METALURGIA	245
27	EMBRAER - AERONÁUTICA	244
28	COELBA - ELETRICIDADE	242
29	BRASKEM - QUÍMICA	242
30	FIAT - AUTOMOTIVO	222

Fonte: Revista Exame

Tabela 2.2

LUCRO LÍQUIDO EM 2005 DOS BANCOS MAIS LUCRATIVOS DO BRASIL (US\$ MILHÕES)		
1	BRADESCO	2.368
2	BANCO DO BRASIL	1.741
3	CAIXA ECONÔMICA FEDERAL	863
4	BANCO ITAÚ	851
5	UNIBANCO	774
6	SANTANDER BANESPA.	683
7	SANTANDER	625
8	ITAÚ BBA	531
9	BANESTADO	344
10	BANCO VOTORONTIM	335
11	HSBC BANK	334
12	NOSSA CAIXA	318
13	BANCO SAFRA	265
14	BMG	161
15	BANRISUL	147

Fonte: Revista Exame

Tabela 2.3

A realidade exposta pelas Tabelas 2.2 e 2.3 é muito grave. Sem dar a devida atenção a essa realidade, setores do Governo e da imprensa festejam alguns dados globais da nossa economia, que eles vêm como indícios de encerramento da longa estagnação que o Brasil vem sofrendo. O País cresce em tonelagem (petróleo, minério, aço) e continua lucrando de investimentos em produção e distribuição de eletricidade que foram feitos há muito tempo, essa é a realidade, depois de lavada a maquiagem. O Gigante continua vivendo do que a natureza lhe deu, e ainda que os lucros auferidos a partir dessa dádiva sejam importantes para nossa capitalização, nunca sairemos da condição de país subdesenvolvido sem nos tornarmos competitivos em setores de tecnologia mais avançada.

2.5 – Salto tecnológico

Algumas das condições para que o Brasil possa melhor desenvolver uma economia baseada no conhecimento e na tecnologia vêm sendo criadas já há algum tempo (naturalmente, sem que seja levado em conta o tempo que o País já vem dedicando à formação de pessoal qualificado). Recursos governamentais para amparar a ciência e a tecnologia vêm sendo destinados aos Fundos Setoriais desde 1999 – quando se criou o Fundo do Petróleo – e hoje já existem 16 Fundos Setoriais (ver <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/725.html>). Em 2000 e 2001 foi elaborada a Lei da Inovação – que, aprovada no final de 2004, só recentemente foi regulamentada –, com o objetivo de normatizar o ambiente legal para uma efetiva colaboração entre as empresas e o setor acadêmico. Dentro do conjunto de leis e decretos que criaram a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide), com a Lei 10.336, de 19/12/2001, a importação de tecnologia passou a ser taxada com uma tarifa de 10%. Finalmente, em uma flagrante ruptura com o modelo de desenvolvimento dominante há mais de uma década, em 2004 foi anunciada a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), na qual foram estabelecidos

eixos prioritários para uma ação integrada dos agentes governamentais em áreas consideradas estratégicas, como biotecnologia e nanotecnologia.

Entretanto, é necessário que esse conjunto de iniciativas seja praticado com rigor e persistência, em um esforço orquestrado de todos os ministérios. A necessidade de que a ciência e tecnologia (C&T) se tornem parte importante de políticas do Estado, e não apenas do MCT, tem sido apontada com frequência nos últimos anos. Algumas idéias nesse rumo, que endossamos integralmente, foram postas em 2002 no relatório de uma comissão nomeada pelo Ministro Sardenberg². Sobre a necessidade do transbordamento da C&T para diversos setores do Governo, o Relatório MCT – 2002 diz:

“O tema inovação e conhecimento não pode continuar restrito ao MCT, por mais que este ministério tenha demonstrado iniciativa e criado importantes programas. É preciso alargar muito a abrangência de uma efetiva Aliança para o Conhecimento no Brasil, envolvendo ministérios como o da Indústria e Comércio, Planejamento, Fazenda, o Banco Central, além de setores empresariais e acadêmicos. Só assim Inovação será um tema efetivamente incluído na agenda nacional. Por exemplo, a *National Nanotechnology Initiative* (NNI) estabelecida nos EUA em 1999 é uma ação de Estado que envolve o Departamento de Agricultura, o de Comércio, o de Defesa, o de Energia, o de Justiça, o dos Transportes, o do Tesouro e o de Estado. A NNI é coordenada a partir do *National Science and Technology Council*, diretamente subordinado à Presidência dos EUA.”

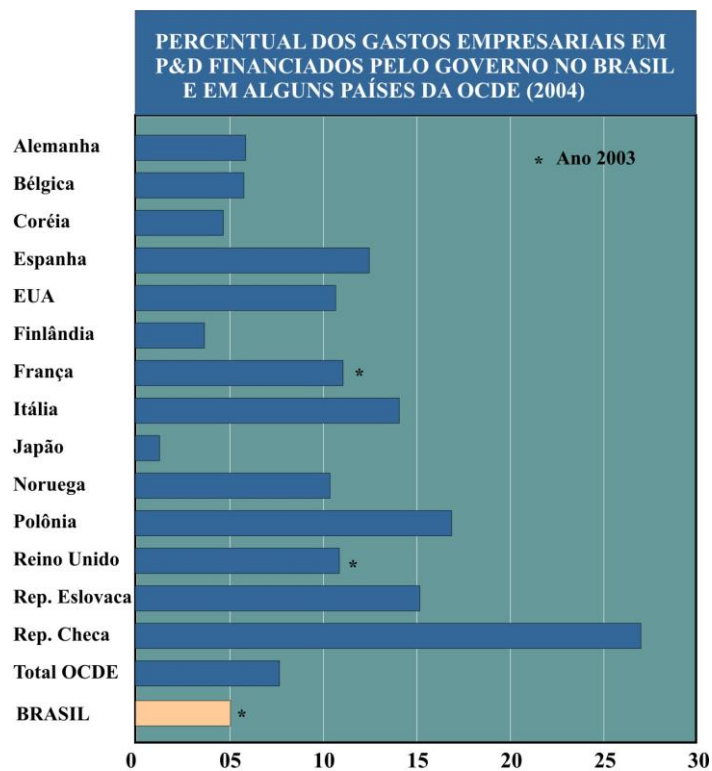
2.6 – Estado e desenvolvimento tecnológico

Como já apontado no Relatório MCT – 2002, no qual esta seção se apóia em grande parte, desde a Segunda Guerra, tanto nos países líderes da coalizão vencedora, como na Alemanha e Japão, nações derrotadas, porém ávidas pela recuperação econômica, o Estado passou a apoiar o desenvolvimento tecnológico nas empresas, usando para isso incentivos fiscais, encomendas tecnológicas e apoio à infra-estrutura de pesquisa. Em decorrência desse apoio, um maior número de empresas passou a investir significativamente no desenvolvimento de tecnologia própria e, com base nos resultados práticos obtidos, veio a entender mais concretamente a importância da pesquisa tecnológica. Hoje, nesses países, bem mais da metade do dispêndio nacional em P&D vem das empresas, o que possibilita ao Estado destinar mais recursos ao fomento da ciência básica realizada nas universidades e institutos de pesquisa. Um arranjo complementar e cooperativo muito eficaz já se configurou há muito tempo nos países mais desenvolvidos: **ciência na universidade, tecnologia na empresa**. O Estado reduziu seu apoio à tecnologia desenvolvida na empresa, mas ele ainda é muito significativo e importante.

Nos Estados Unidos, dos 65 bilhões de dólares anuais que o governo federal investe em atividades de P&D, 25 bilhões vão para empresas americanas. Neste caso, principalmente por meio de uma política de encomendas tecnológicas, nas quais o governo compra das empresas produtos e seu desenvolvimento tecnológico. Esse valor (ver Figura 2.9) significa 11% do dispêndio total feito pelas empresas em P&D. Na

² O Relatório MCT – 2002 pode ser encontrado em <http://www.cbpf.br/pdf/RelatorioMCT.pdf>

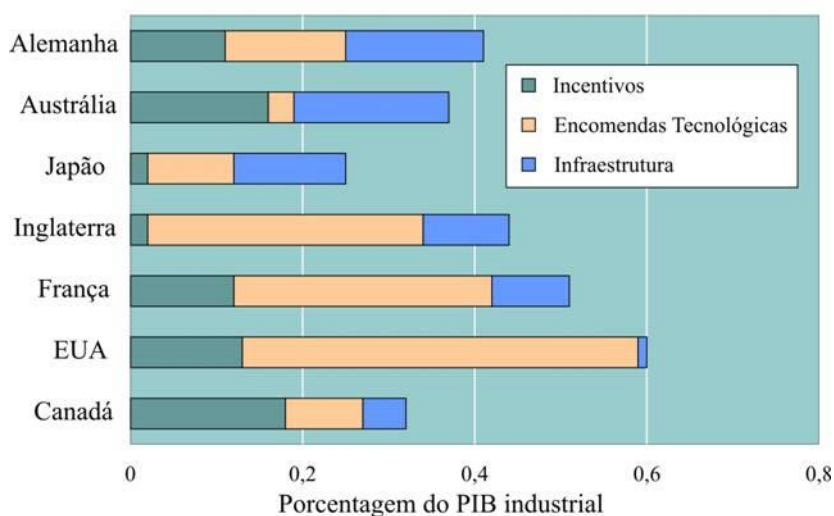
Inglaterra o Estado investe 1,5 bilhões de dólares anuais em P&D empresarial – 9% do dispêndio total empresarial em P&D. Na França há anualmente 1,6 bilhões de dólares de investimento do Estado em P&D nas empresas – 12% do total despendido pelas empresas. Na Alemanha 2 bilhões anuais – 7% do dispêndio empresarial. Esses percentuais mostram que o Estado costuma, nos países desenvolvidos, estimular atividades de P&D empresariais, contribuindo para reduzir o alto risco inerente a essa atividade. Na média dos países da OCDE, 8% do dispêndio empresarial em P&D é financiado com recursos governamentais por meio de vários métodos de subsídio, incluindo renúncia fiscal, política de encomendas tecnológicas e apoio à infraestrutura de pesquisa. O subsídio governamental é virtuoso, pois em média cada dólar investido pelo Governo em P&D empresarial chama outros 9 dólares da empresa. O percentual de financiamento estatal à P&D empresarial já foi maior do que esses 8% verificados em 2004 – em 1981 nos EUA chegou a 32 %, na Inglaterra a 30 % e na França a 25 %.



Fonte: OECD, Main Science and Technology Indicators, June 2006

Figura 2.9

Dispêndio em P&D empresarial financiado pelo Estado em alguns países da OECD.



Fonte: S&T and Industry Outlook - 2000 (OECD, 2000)

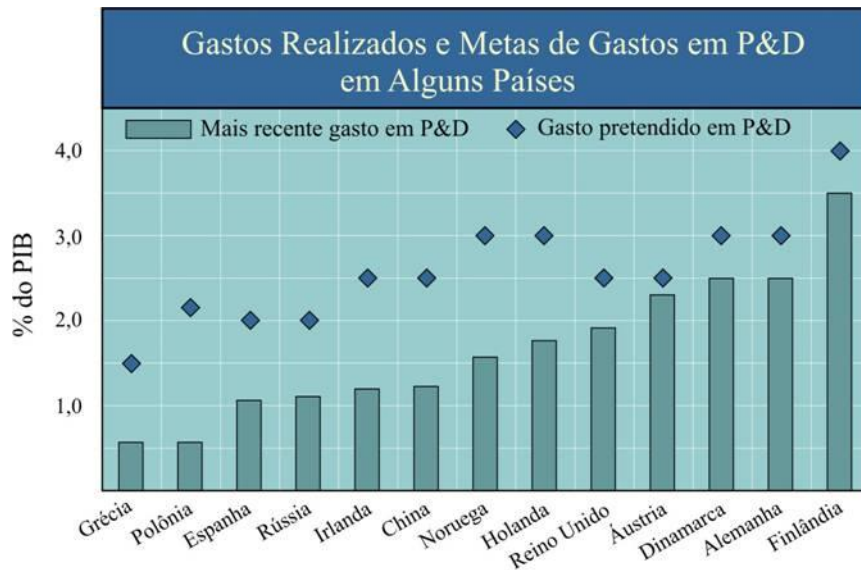
Figura 2.10

O apoio estatal em 2000 ocorreu em intensidade que varia de 0,25 % a 0,6 % do PIB industrial das nações (Figura 2.10). Esses percentuais, aplicados ao caso brasileiro, implicariam num dispêndio entre 5 e 12 bilhões de reais anuais nessas atividades de apoio à P&D empresarial.

2.7 – A PITCE é uma oportunidade para se estabelecerem metas de gastos nacionais com P&D

A globalização tem exigido das empresas uma capacidade de inovação cada vez maior. Por isso, vários países têm formulado políticas industriais que incluem considerável aumento nos dispêndios nacionais com P&D. Esse fenômeno tem sido mais comum na UE, que pretende tornar-se o bloco econômico com maior capacidade de inovação do mundo. A Figura 2.11 mostra os gastos em P&D realizados no momento em vários países e suas metas de gastos para datas que vão até 2014. Observa-se que alguns países pretendem duplicar, ou quase duplicar, seus gastos em P&D nos próximos anos. Esse cenário levará a uma defasagem ainda mais grave do nível tecnológico de nossas empresas, a menos que uma atenção muito maior que a até agora prestada seja voltada para o desenvolvimento de novos mecanismos de regulamentação, incentivo e apoio à inovação nas empresas brasileiras.

A afluência recente da Finlândia tem chamado a atenção de todo o mundo. Olhando a Figura 2.11, podemos entender a razão dessa prosperidade: aquele país despense 3,5% do seu PIB em P&D. Contudo, não contente com esse feito, pretende elevar esse percentual para 4%.



Nota: As datas para as metas vão de 2005 a 2014

Fonte: S&T and Industry outlook (OECD 2006)

Figura 2.11

Recomendações

- *Formar recursos humanos em quantidade e qualidade requeridas para que o País possa dar um grande salto tecnológico.*
- *Incentivar a produção de tecnologia no País, por meio de medidas que subsidiem o custo do financiamento de pesquisa e desenvolvimento de produtos em médio e longo prazos e desencorajem estratégias industriais que importem soluções tecnológicas e não incluam a internalização do know-how tecnológico.*
- *Promover uma Aliança para o Conhecimento no Brasil, ou fortalecer medidas desta natureza já existentes, que contemplem desde medidas supraministeriais concretas, por meio de decretos, leis etc. até ações como workshops, oficinas, seminários etc., que visem divulgação e educação dos profissionais da máquina administrativa estatal no que se refere à ciência, tecnologia e inovação.*
- *O Estado precisa apoiar diretamente a pesquisa tecnológica na empresa, por meio de incentivos fiscais, encomendas tecnológicas e de outras ações.*
- *A PITCE deve contemplar incentivos visando metas de investimentos das empresas em P&D.*

Capítulo 3

Panorama da Física no Brasil

3.1 – Física no Brasil

A física atingiu no Brasil um grau de maturidade que lhe confere um papel de destaque na ciência brasileira. Além de respeitados cientificamente, os físicos brasileiros são conhecidos pela sua forte atuação na política científica, e com frequência ocupam cargos importantes na administração pública da nossa ciência. Hoje, podemos vê-los na pasta do Ministério da Ciência e Tecnologia, nas diretorias do CNPq, da Finep, da Fapesp e da ABC, na presidência da CNEN e da Embrapa, e em outras posições.

O Brasil conta hoje com cerca de 8.000 bacharéis em física, dos quais cerca de 3.000 têm doutorado. Embora faltem dados quantitativos sobre onde trabalham nossos físicos, sabe-se que a grande maioria deles trabalha no setor acadêmico (universidades e institutos de pesquisa) e no ensino médio. Estima-se que apenas cerca de 2% dos físicos brasileiros com doutorado trabalhem em empresas.

No setor acadêmico, o indicador mais empregado para avaliar a produtividade de físicos e de outros cientistas é a quantidade e qualidade de publicações em periódicos arbitrados de circulação internacional. Apesar de muito mais comuns no setor empresarial, patentes também são consideradas como indicador de produtividade no meio acadêmico. Por meio da docência nas chamadas disciplinas de serviço, os físicos dão ainda importante contribuição à formação de outros cientistas e de engenheiros.

Alguns indicadores da produção e do impacto dos artigos brasileiros publicados em revistas indexadas no Thomson ISI são mostrados na Tabela 3.1 e na Figura 3.1. Esses quadros mostram um notável avanço tanto no volume quanto na qualidade das publicações brasileiras em quase todas as áreas. Os quadros também demonstram que a física ocupa um papel de grande destaque na nossa ciência. O Brasil publicou no ano 2000 2,04 % dos artigos de física indexados do mundo – percentual que cresceu para 2,54 % em 2003 – e cada artigo recebeu em média quase 1,0 citação/ano nos três após sua publicação. Quando se considera que, na média mundial, os artigos de física são

menos citados que algumas outras áreas³, o impacto dos artigos de física revelado pela Figura 3.1 torna-se ainda mais expressivo.

Ano	Artigos			Brasil/ Mundo, %		
	1981	1990	2000	1981	1990	2000
Biologia e Bioquímica	192	368	816	0,47	0,75	1,55
Biologia Molecular e Genética	86	143	297	1,00	0,99	1,31
Ciência da Computação	10	20	54	0,37	0,38	0,62
Ciência dos Materiais	27	52	335	0,23	0,29	1,28
Ciências Agrárias	117	390	504	0,73	2,56	3,07
Ciências dos Animais e das Plantas	230	200	837	0,67	0,48	1,87
Ciências Espaciais	43	86	180	0,84	1,38	1,95
Ciências Sociais em geral	45	102	187	0,26	0,53	0,74
Clínica Médica	319	818	1.514	0,34	0,64	0,89
Direito	1	1	0	0,06	0,05	0,00
Ecologia/Meio Ambiente	20	53	263	0,23	0,45	1,45
Economia e Negócios	6	6	31	0,09	0,07	0,31
Educação	4	4	8	0,15	0,15	0,30
Engenharia	81	151	551	0,32	0,42	1,08
Farmacologia	53	85	259	0,44	0,58	1,67
Física	310	569	1.784	0,69	0,88	2,04
Geociências	42	88	246	0,39	0,63	1,18
Imunologia	15	32	145	0,24	0,35	1,20
Matemática	51	89	185	0,61	0,98	1,42
Microbiologia	52	97	297	0,50	0,71	1,89
Multidisciplinar	113	35	116	1,13	0,36	1,05
Neurociência e Ciência do Comportamento	40	93	287	0,29	0,46	1,01
Psicologia/Psiquiatria	21	26	76	0,15	0,16	0,38
Química	174	273	1.406	0,29	0,35	1,42
Total	2.052	3.781	10.378	0,44	0,64	1,32

Tabela 3.1 – Evolução das publicações brasileiras em revistas indexadas pelo Thomsom ISI.

³ As diferenças nos números de citações por artigo nas diversas áreas não medem nada referente a qualidade. Ignorando a pequena influência das citações de um artigo por cientistas de outras áreas, elas refletem apenas o fato de que o número de citações contidas em cada artigo também é distinto para cada área. Por exemplo, os matemáticos citam poucos artigos; já os biólogos, citam muitos.

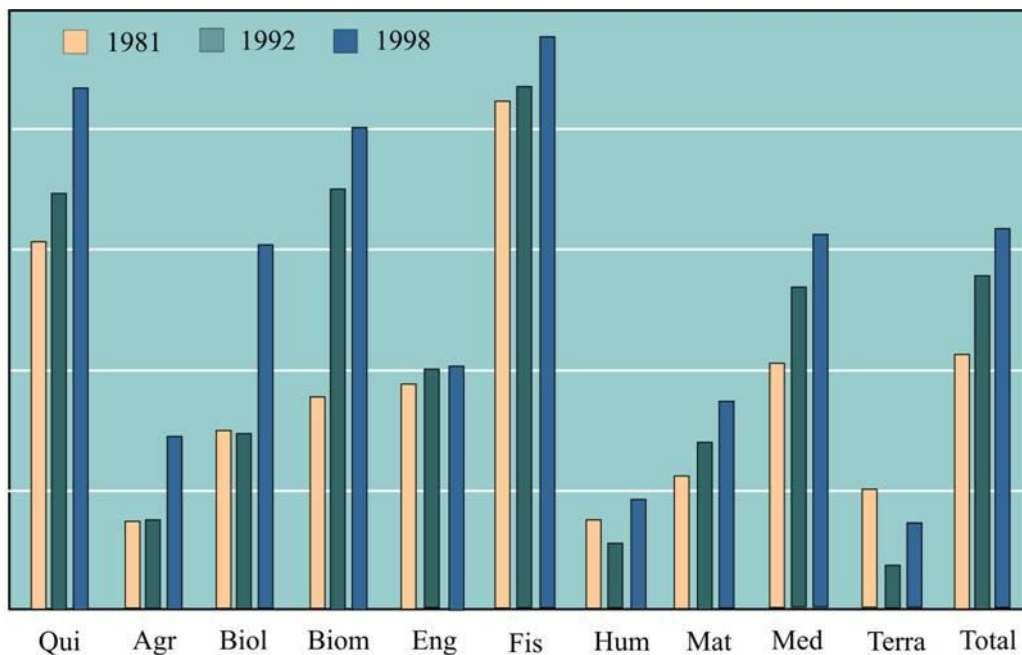


Figura 3.1 – Citações/ano por artigo brasileiro nas diversas áreas do conhecimento. As citações foram contadas no ano da publicação e nos dois anos subsequentes, e divididas por 3 para se obter o número de citações por ano. (Dados levantados por Jacqueline Leta – 2002)

Para estabelecer um referencial que permita analisar os dados da Figura 3.1, foram compilados os Fatores de Impacto médios das revistas cadastradas no *Journal of Citation Reports* (JCR), uma publicação anual do ISI que mostra o fator de impacto das revistas, classificadas segundo as áreas do conhecimento. O fator de impacto do JCR expressa as citações dos artigos publicados nos anos N e N+1 ocorridas no ano N+2. A comparação entre os fatores de impacto das publicações brasileiras de 1998 e os fatores médios nas mesmas áreas no JCR é mostrada na Tabela 3.2. Observa-se que no Brasil somente as publicações da área de física alcançam um fator de impacto superior ao da média das revistas da área.

IMPACTO DAS PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS		
ÁREA	Impacto Brasil 1998	Fator de Impacto da área no JCR
Ciências Agárias	0,55	0,62
Ciências Biológicas	0,70	1,96
Ciências Biomédicas	1,11	
Ciências Humanas	0,22	0,77
Engenharias	0,49	0,50
Física	1,60	1,40
Matemática	0,36	0,52
Medicina	1,04	1,35
Química	1,03	1,32
Ciências da Terra	0,79	0,95

Fonte: Journal Citation Report e National Citation Reports 1981 - 2000
Elaborado por Jacqueline Leta e C.H. Brito Cruz

Tabela 3.2 - Impacto medido das publicações brasileiras de 1998 e Fator de Impacto médio das revistas por área segundo o *Journal of Citation Reports*.

A maturidade e a qualidade da física brasileira explicam sua inserção cada vez maior em grandes projetos internacionais como Gemini, SOAR e ESO – na astrofísica –, o projeto Auger e as várias colaborações com o CERN, Fermilab e Brookhaven – nas áreas nuclear e de partículas –, e justifica sua ousadia em lançar-se em projetos experimentais de porte no País, como o que visa detectar ondas gravitacionais. Além disso, os físicos têm participado cada vez mais em projetos multidisciplinares, muitas vezes liderando grandes colaborações nacionais, como no caso do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), construído em sua quase totalidade no Brasil, e que é hoje usado para pesquisadores do Brasil e de outros países da América Latina para a realização de pesquisa em várias áreas da ciência. Outro exemplo importante é a WWW, criada por físicos no CERN, cuja implementação no Brasil teve a participação decisiva de físicos brasileiros. Vale também lembrar a participação de físicos brasileiros no desenvolvimento da técnica de enriquecimento de urânio, campo em que o Brasil alcançou avanços que incomodam alguns dos países mais desenvolvidos do mundo. Tudo indica que a nossa técnica de enriquecimento, mantida em justificável segredo, seja a mais eficiente já criada.

3.2 – Pós-graduação em física

Existem no Brasil 46 cursos de pós-graduação em física – alguns dos quais incluem astronomia – e 28 deles incluem o curso de doutorado. Esses cursos formam doutores que em estágios de pós-doutorado no exterior demonstram estar próximos do nível dos doutores formados nas grandes universidades do mundo, e em muitos casos no mesmo nível que estes. Muitos de nossos pós-graduandos recebem boas propostas para permanecer no exterior. Na Figura 3.2 pode-se ver a distribuição dos conceitos dos cursos de PG em física na Capes. Na sistemática de avaliação da Capes, procura-se obter para todas as áreas aproximadamente a mesma distribuição percentual dos conceitos, na qual um terço dos cursos são nota 3, um terço nota 4 e um terço são notas 5, 6 ou 7. Cursos de mestrado em instituições que não oferecem doutorado não podem ter nota acima de 5. Observa-se que no caso da física a curva de distribuição de notas está bastante deslocada – para cima – desse padrão, o que reflete um diferencial objetivo da área em relação ao conjunto das outras. Mesmo assim, há casos de cursos de doutorado em física que têm conceito 5 ou 6 na Capes e que são considerados nas suas universidades o melhor de seus cursos, embora outros tenham na Capes conceitos acima deles. Por tal razão, é importante que a Capes declare explicitamente que a comparação entre conceitos de diferentes áreas não faz sentido. É também imperativo que não se empregue o conceito do curso na Capes como indicador em qualquer competição que envolva instituições voltadas para diferentes disciplinas.

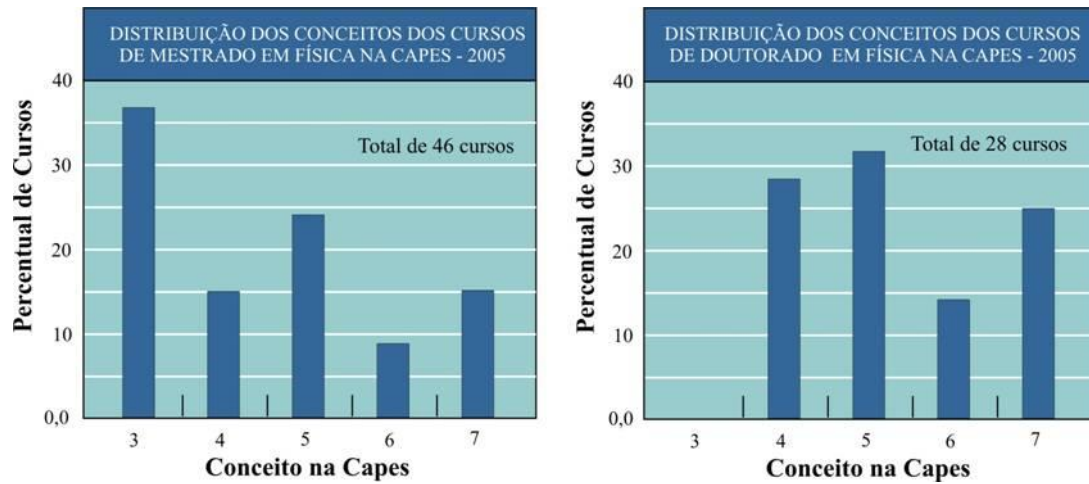


Figura 3.2 – Distribuição percentual dos conceitos na Capes dos cursos de pós-graduação em Física – Avaliação de 2005

Embora já tenha atingido um nível bastante bom, o sistema de PG em física no Brasil não é ainda capaz de formar pesquisadores experimentais na quantidade, qualidade e diversificação que o País necessita para dar suporte ao seu almejado crescimento tecnológico. Isso ocorre em parte porque quase todos os nossos laboratórios de pesquisa estão muito desatualizados em infra-estrutura, ao passo que nos países centrais os laboratórios universitários são renovados a intervalos de tempo cada vez menores. Assim, com inaceitável frequência formamos doutores em física experimental que nunca puderam ganhar familiaridade com os equipamentos empregados lá fora para os avanços mais significativos do seu campo de pesquisa. Muitas vezes essa deficiência é minimizada por estágios no exterior com bolsas sanduíche, ou remediada um tanto tardiamente em estágios de PD no exterior.

Mas não são só as deficiências laboratoriais o que prejudica nosso sistema de PG em física. Acontece que, enquanto o País conta com bons pesquisadores em quase todas as áreas da física teórica, temos muito poucos ou até mesmo nenhum físico experimental em algumas áreas cuja importância já é grande ou está crescendo rapidamente. Isso ocorre porque para um físico experimental é muito mais difícil mudar de campo de pesquisa do que para um teórico, principalmente quando os recursos para a renovação de laboratórios são muito escassos. Assim, nossos físicos teóricos têm sido muito mais ágeis em acompanhar o deslocamento dos principais focos da física do que os experimentais.

Infelizmente – uma vez que em boa parte a física evolui em busca de solução para os problemas da sociedade – quase sempre o Brasil está mal atendido exatamente nas áreas da física experimental que têm maior relevância para o avanço da tecnologia. Por exemplo, estamos muito incipientes em áreas da física encaradas como fundamentais para a solução do problema energético, o maior de todos os que a humanidade atualmente depara. Temos um número muito pequeno de especialistas em física experimental de plasmas (ver Figura 3.4, mais adiante), cujo entendimento é central para que eventualmente se consiga a fusão nuclear controlada. Se tal feito é realizado, resolve-se de vez o problema energético da civilização, mas os países que não estiverem cientificamente capacitados para dominar a tecnologia ficarão por longo tempo sem acesso à nova fonte de energia. O desenvolvimento de células de

combustível eficientes dependerá de um esforço cooperativo de físicos e de químicos. Ocorre que o Brasil está quase inteiramente desprovido de físicos experimentais capazes de empreender tal colaboração. As células de combustível operam com base no fenômeno da catálise – a aceleração de reações químicas por processos físico-químicos. Ocorre que a catálise tem uma importância crescente em diversos e importantes setores da indústria, e cada vez mais ela se baseia em processos físicos. No explosivo campo da nanociência, também estamos deficientes em físicos experimentais. Há ainda outras áreas em que nossa física experimental é muito incipiente. Essas deficiências não podem ser sanadas no curto prazo sem que se envie um bom número de estudantes para fazer doutorado em física experimental – em campos eleitos como prioritários – nas melhores universidades do exterior.

3.3 – Distribuição regional

Assim como as demais ciências, física no Brasil está excessivamente concentrada no Sudeste. Isso reflete os desequilíbrios econômicos do País, porém de forma ainda mais exacerbada. Um dos indicadores da má distribuição da física no território brasileiro é a distribuição regional dos físicos e astrônomos com doutorado, mostrada na Figura 3.3.

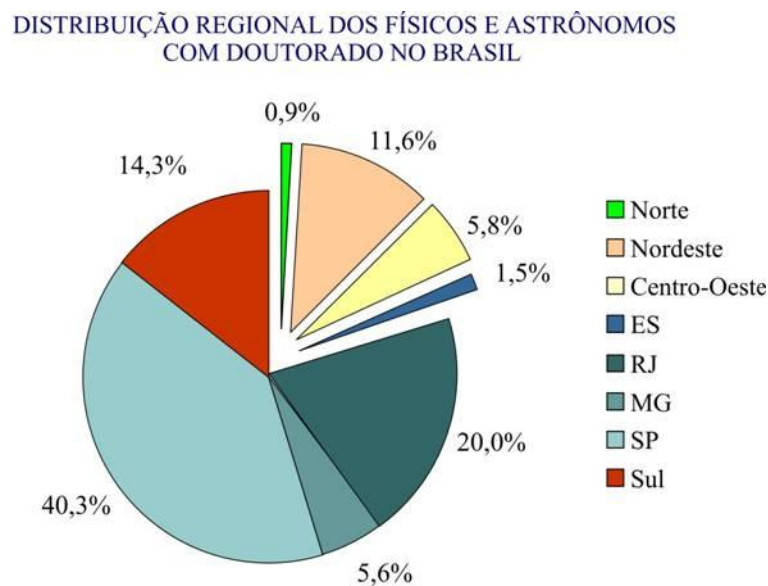


Figura 3.3 – Fonte: Relatório para o MCT – 2002

Observa-se que, na época do levantamento, 70% dos físicos se concentravam no Sudeste, onde vivem 35% dos brasileiros e são gerados 55% da riqueza nacional. Mais especificamente, a física brasileira está excessivamente concentrada nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Essa concentração excessiva pode em parte ser atribuída a dois fatores. Um é a louvável política do Governo de São Paulo de fomentar sólida e consistentemente a ciência por meio da Fapesp. Na verdade, uma vez que um percentual cada vez maior de físicos brasileiros trabalha em posições de

pós-doutorado, levas de físicos formados em outras regiões do País têm vindo para São Paulo atraídos pelas bolsas da Fapesp, de valor bem mais alto do que as do CNPq, da Capes e das outras FAPs estaduais, e estima-se que hoje metade dos físicos brasileiros com doutorado estejam em São Paulo.

Há ainda outro fato perverso ligado à distribuição regional da física brasileira que não é revelado pela Figura 3.3. O fato é que a escassez de recursos para a instalação de novos laboratórios, que se tornou aguda nas duas últimas décadas, levou a que a física no Norte e no Nordeste seja quase que inteiramente teórica. Nos anos 1970, a Finep apoiou de forma intensa e consistente a instalação de boa infra-estrutura laboratorial no Departamento de Física da UFPE e ali se desenvolveu uma física experimental competitiva a nível internacional. Um apoio, dessa vez bem menor, também possibilitou a instalação de laboratórios no Departamento de Física da UFC, e ali também se desenvolveu uma pesquisa experimental de qualidade. Iniciativas de se iniciar pesquisa experimental em outras universidades federais do Norte e do Nordeste sempre esbarraram na falta de recursos para infra-estrutura. Por isso, nunca prosperaram e algumas delas fracassaram inteiramente. Destaca-se que os conceitos dos cursos de PG em física na UFPE e na UFC são, respectivamente, 7 e 6, os mais altos do Norte e Nordeste.

3.4 – Física experimental no Brasil

Não se dispõe de um inventário detalhado e preciso da física brasileira. Um levantamento feito em 2001 por Aragão⁴ mostra que 46% de nossos físicos e astrofísicos com doutorado são experimentais e 54% teóricos, e que eles se distribuem nas áreas de pesquisa, agrupadas conforme mostra a Figura 3.4. Essa maioria de teóricos é uma grave distorção da física brasileira, pois nos países industrialmente desenvolvidos pelo menos dois terços – em alguns casos três quartos – dos físicos são experimentais.

⁴ Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho *et al.* *A Física no Brasil: Presente e Futuro*, Revista Parcerias Estratégicas – Edição Especial Vol. 4 Junho 2002.

DISTRIBUIÇÃO DOS FÍSICOS BRASILEIROS POR ÁREA DE TRABALHO			
ÁREAS	Físicos Experimentais %	Físicos Teóricos %	Total de Físicos %
Partículas e Campos	3	10	13
Astrofísica	5	8	12
Física Nuclear	3	4	6
Atômica e Molecular	3	5	8
Matéria Condensada e Ótica	30	19	49
Plasmas	1	1	2
Biofísica	1	1	2
Física estatística, modelagem e simulação	---	7	7

Figura 3.4 – Distribuição dos físicos brasileiros por área de trabalho. (Fonte: Aragão de Carvalho Filho, Revista Parcerias Estratégicas, Vol. 4 Junho 2002)

A título de comparação, nos Estados Unidos há cerca de 40.000 doutores em física, dois terços dos quais experimentais – se contarmos também os bacharéis e mestres, a fração de experimentais sobe para três quartos – e distribuídos em números significativos por todas as áreas. Diferentemente do Brasil, onde 98% dos doutores em física trabalhavam em universidades e centros de pesquisa em 1993, apenas metade dos doutores em física americanos atuam no setor acadêmico, sendo o restante empregado pelas empresas, em áreas que englobam desde indústrias de alta tecnologia até o setor financeiro. Se contarmos todos os físicos americanos, três quartos deles trabalham em empresas.

A maior proporção de físicos experimentais nos países industrialmente desenvolvidos tem origem na ampla utilização desses profissionais na indústria. Cientistas experimentais e engenheiros pesquisadores são inegavelmente os maiores promotores da inovação extremamente dinâmica que se observa nesses países centrais.

O Brasil conta com mais físicos experimentais do que teóricos apenas na área de física da matéria condensada, que na Figura 3.4 foi fundida com a de óptica. Isso parece decorrer do fato de que muitos desses “físicos da matéria condensada” no Brasil seriam mais bem classificados como físicos de materiais. A distinção entre as duas especialidades é que o físico da matéria condensada busca o entendimento básico dos fenômenos que ocorrem nesse estado da matéria, enquanto o físico de materiais investiga as propriedades dos materiais inspirados pelas suas possíveis aplicações técnicas. Ocorre que o Brasil é extremamente carente em cientistas de materiais – que em quase todo o mundo formam uma especialidade à parte⁵ – e tal carência tem sido parcialmente coberta pelo trabalho de físicos. É urgente criar no Brasil cursos de graduação e de pós-graduação em ciência dos materiais. Nesse processo de criação de novas especialidades, é modernizar e dar mais flexibilidade à regulamentação das profissões de nível superior.

⁵ O encontro anual da *Materials Research Society* nos EUA congrega 12 mil cientistas, dos quais físicos e químicos constituem uma minoria. A maioria é de cientistas de materiais.

3.5 – Sociedade Brasileira de Física

A comunidade de físicos no Brasil está organizada por meio da Sociedade Brasileira de Física (SBF), um importante fórum para a discussão sobre ciência, política e educação científicas do País, que promove o desenvolvimento da física e do seu ensino no Brasil. A Sociedade tem uma intensa cooperação com sociedades científicas do mundo todo. Ela organiza cinco encontros nacionais por ano, nas seguintes áreas: *Física da Matéria Condensada*, *Física Nuclear*, *Física de Partículas e Campos*, *Física de Plasmas* e *Ensino de Física*. Essas reuniões reúnem importante fração dos pesquisadores e estudantes de pós-graduação, além de convidados eminentes de todo o mundo, por um lado, e, por outro lado – no Simpósio Nacional de Ensino de Física – também professores de física do ensino médio. A Sociedade também organiza as Olimpíadas de Física, com participação expressiva de estudantes do Ensino Médio de todo o País – 70.000 estudantes no ano de 2006.

A SBF publica 4 periódicos: o *Brazilian Journal of Physics*, indexado pelo Thomson ISI, a Revista de Física Aplicada e Instrumentação, a Revista Brasileira de Ensino de Física e Física na Escola, esta última destinada principalmente a professores do ensino médio. Finalmente, a Sociedade organiza estudos, colóquios, seminários sobre temas de relevância em tecnologia industrial e inovação.

Vê-se assim que a comunidade de física no Brasil tem um canal de comunicação e organização eficiente e atuante, que lhe possibilita discussão e tomada de posição frente a diferentes desafios referentes à ciência, tecnologia e educação científica do País.

Recomendações

- *Incentivar a criação e desenvolvimento de grupos de física experimental em regiões fora do eixo Rio-São Paulo.*
- *Formar maior quantidade de físicos experimentais, em universidades brasileiras e no exterior.*
- *Modernizar e dar mais flexibilidade à nossa regulamentação das profissões de nível superior.*
- *Criar cursos de graduação e de pós-graduação em ciência dos materiais.*

Capítulo 4

Física na tecnologia contemporânea

4.1 – Física na economia dos países desenvolvidos

A história da humanidade está intrinsecamente associada à evolução da tecnologia. O predomínio de muitas civilizações foi fruto do domínio de tecnologias que lhe deram vantagens competitivas. Durante a segunda metade do século passado houve uma aceleração no desenvolvimento tecnológico. Nesse período consolidou-se o reconhecimento do papel fundamental desempenhado pelos avanços tecnológicos e do papel do Estado como indutor deste processo, tanto para assegurar a competitividade das economias dos países desenvolvidos, quanto para a manutenção da qualidade de vida de suas populações. Exemplo marcante do impacto do progresso tecnológico sobre a vida cotidiana é o fato de nas últimas seis décadas ter o custo de um canal intercontinental de telefonia caído por um fator superior a 1.000. E esses avanços continuam a ocorrer a um ritmo crescente, aumentando a separação entre os países geradores de produtos com base tecnológica mais elevada e aqueles que simplesmente os consomem. Hoje, de um modo geral a tecnologia responde por cerca de metade do crescimento do produto nacional bruto das nações industrializadas, e a produtividade dos produtos manufaturados com base em alta tecnologia cresce três vezes mais que a média do setor.

Nos últimos cinquenta anos houve, por fim, o reconhecimento de que o estado sadio de uma economia nacional não é o de um permanente equilíbrio, e sim aquele em que periodicamente ocorrem discontinuidades, como resultado da introdução de novas tecnologias. Hoje se sabe que os consecutivos ciclos de expansão econômica estão firmemente ligados a sucessivas rupturas tecnológicas, em ondas de inovação que se apresentam em tempos cada vez menores. Assim, à era do vapor e das ferrovias se sucedeu a do progresso industrial baseado no aço e na eletricidade, a seguir superada pela do petróleo e do automóvel, a qual, por sua vez, deu lugar à revolução da informação e das comunicações. Hoje, acredita-se que a nanotecnologia começa a estabelecer o novo patamar de competência tecnológica a vigorar pelas próximas décadas.

O entendimento da importância para cada país da capacidade de liderar – ou ao menos acompanhar – esses ciclos cresceu em ressonância com o aumento dos desafios da competitividade na economia mais globalizada do final do século 20. A partir dos anos 80 várias mudanças de legislação passaram a ser sucessivamente introduzidas nos países líderes – a começar pela aprovação em 1980 da Lei Bayh-Dole⁶ nos EUA, ao

⁶ A lei Bayh-Dole reduziu as dificuldades legais de comercialização de produtos e processos desenvolvidos com financiamento público: uma vez assegurado que os produtos decorrentes seriam

que, na década seguinte seguiu-se a aprovação pela França de sua lei de inovação, inspiradora da atual legislação brasileira – com o objetivo de agilizar a transferência do conhecimento mais recente para o setor produtivo. A retomada do crescimento da produtividade nos EUA, observada a partir da metade da década de 90, tem sido inteiramente atribuída a investimentos anteriormente feitos em tecnologia. Se o assim chamado modelo linear de financiamento à ciência e tecnologia está superado, permanece a constatação de que a taxa de retorno do investimento em ciência básica é cerca de três vezes maior que aquela correspondente à pesquisa e ao desenvolvimento aplicado – a qual, por sua vez, oferece o dobro do retorno dos dispêndios em equipamentos e instalações físicas.

Destaque especial deve ser dado ao caso das tecnologias ditas disruptivas, aquelas que correspondem a mudanças no paradigma tecnológico dominante, pois essas, embora em seu conjunto correspondam a apenas 1/6 das inovações, apresentam taxa de retorno da ordem de 60% dos lucros totais advindos de todos os empreendimentos novos.

4.2 – Indústrias baseadas na Física

No mundo moderno é bem reconhecida a importância das contribuições da física para os avanços tecnológicos, tanto em áreas tradicionais como a indústria nuclear e da defesa, transportes e geração e distribuição de energia, quanto em alguns setores mais modernos, como o aeroespacial e o de semicondutores. Menos evidente, e por isso de percepção mais limitada, é o grau de pervasividade da física em outros ramos da atividade econômica – onde ela é freqüentemente um ingrediente “oculto” – como na indústria química, tão próxima que por vezes a distinção entre as duas ciências se faz tênue, ou na de software, onde conceitos físicos de fronteira servem de base para modelos computacionais inovadores.

Nos últimos 20 anos, novos setores dinâmicos da indústria estão surgindo graças a desenvolvimentos de pesquisa baseada em física. Assim, por exemplo, levantamento feito no Canadá ao final dos anos 90 [*P. S. Review of Canadian Academic Physics: Economic Impact Study. 1997*] reconhece que cerca de 18% de novas empresas tipo spin-off – ou seja, saídas das universidades e institutos de pesquisa – tinham por base conhecimentos de física. Da mesma maneira, dois estudos conduzidos na última década pelo Institute of Physics do Reino Unido [*Importance of Physics in the UK Economy: a Comparative Analysis, 1992*, e *J. Glenn, The Importance of Physics to the UK Economy. 2006*] mostram que a presença da física tem sido fundamental para um perfil mais moderno e competitivo da economia britânica, onde, para ser classificada como uma indústria baseada em física (IBF), uma atividade econômica teve de satisfazer a pelo menos um de três critérios: a) se a física não existisse como ciência, a indústria não continuaria a operar; b) os processos de manufatura correspondentes envolvem conhecimentos de física em um nível razoavelmente sofisticado; c) as atividades de pesquisa e desenvolvimento associadas a essa indústria são especialmente dependentes de conhecimentos de física.

O mais recente desses estudos revela que em 2005 mais que 30.000 empresas do Reino Unido tinham suas atividades baseadas na física e empregavam diretamente mais de um milhão de pessoas, enquanto outras tantas estavam indiretamente envolvidas com

fabricados em território americano, as agências governamentais passariam a abrir mão de qualquer direito de exploração de novas tecnologias cujo desenvolvimento tivesse sido por elas financiado.

o apoio a essas atividades, de modo a que seu total chegava a representar mais que 10% da força de trabalho britânica.

A mais marcante mudança identificada nesse estudo é que, diferentemente do que ocorre com o setor de manufaturados como um todo, o setor industrial relacionado com a física registra um acentuado crescimento no número de empresas: se no período 1989-2000 seu total aumentou em 165%, entre 1995 e 2000 essa expansão ocorreu apesar da diminuição no número total de empresas manufatureiras. Assim, em 2000 as IBF atingiram o patamar de 50% de todas as empresas de manufatura britânicas, em um crescimento de 8% em apenas cinco anos.

Tem sido expressiva a participação das IBF no *portfolio* de exportações dos países desenvolvidos, e cabe destaque especial o caso do Japão: dispondo de limitados recursos naturais e tendo sido industrializado mais tarde que os demais, centrou seu planejamento nacional do pós-guerra na superação da defasagem tecnológica. Hoje, cerca de 2/3 da pauta de exportações japonesa é baseada em indústrias dependentes de física e o país é superado apenas pelos EUA na liderança do mercado de alta tecnologia, muito embora o total de suas exportações seja menor que 60% das americanas. A prioridade dada à superação do atraso tecnológico foi também o modelo adotado por outros países – como a Coreia do Sul nos anos 70 e a China dos anos 90, que, em processo tardio de modernização, tiveram de “correr atrás” para se igualar a seus possíveis competidores.

Foi, de fato, a preocupação nos anos 80 com a competição em produtividade com o Japão, então crítica para os Estados Unidos, que estimulou a criação neste país de marcos legais de estímulo à inovação e transferência de tecnologia, dos quais a lei Bayh-Dole se tornou a referência principal. As reformas desde então introduzidas para simplificar os procedimentos relativos à questão da propriedade intelectual se mostraram extremamente efetivas em aumentar a captura do estoque de conhecimento continuamente gerado nas instituições de pesquisa e universidades americanas e transformá-lo em efetiva contribuição à economia nacional. A preocupação com a criação de incentivos e o estabelecimento de um ambiente propício para o continuado crescimento da participação das IBF continua a reger as políticas econômicas das nações mais avançadas, que de há muito identificaram o fortalecimento da base científica e tecnológica como importante fator de competitividade. Por exemplo, em 26 de janeiro de 2006, a então Líder da Minoria do Congresso dos EUA, deputada Nancy Pelosi, em discurso a seus pares, ressaltou a importância da pesquisa científica para a inovação e a tecnologias futuras, e opinou que isso justificava a duplicação de investimentos federais na pesquisa básica das ciências físicas. Cinco dias depois desse discurso, o presidente George Bush declarou o compromisso do governo americano de dobrar os recursos para pesquisas na área da física nos dez anos seguintes (ver Relatório Anual de 2007 da Semiconductor Industry Association dos EUA, http://www.sia-online.org/downloads/SIA_AR_2007.pdf). O mesmo tipo de preocupação orienta o comportamento das empresas como ilustra a declaração de Richard K. Templeton, presidente da Texas Instruments feita em em 6/12/2005 no *National Summit on Competitiveness*:

“The semiconductor industry invests approximately 15 percent of sales into R&D. Even with these levels of investment, we are increasingly looking to universities for long-range research – challenges 5 to 15 years from today. Leadership in these areas will determine our future competitiveness.”

4.3 – As mudanças do cenário tecnológico: desafios e oportunidades

Face o mercado globalizado deste início de século, a participação relativa dos setores de alta, média e baixa tecnologia na atividade industrial e na pauta de comércio exterior de uma nação pode servir como elemento indicador de sua competitividade econômica. Mesmo entre os países membros da OCDE, é bastante diversificada a distribuição dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento de acordo com o grau de intensidade (alta, média e baixa) tecnológica [*Business R&D and Innovation, Science & innovation investment framework 2004-2014, HM Treasury*]. Uma análise preliminar permite identificar uma tendência à mudança no perfil de atividades de alta tecnologia entre as diferentes nações, com a presença expressiva do segmento de alta tecnologia naqueles países mais recentemente modernizados, como a Finlândia e a República da Irlanda. Esta última serve de interessante exemplo, pois se hoje é um importante exportadora de produtos de alta tecnologia e serviços baseados na economia do conhecimento, com 2/3 do investimento nacional em C&T sendo realizado pelo setor privado – e 2/3 desses, por empresas estrangeiras localmente baseadas –, apenas nos anos 50 foi que seu governo passou a definir como ações prioritárias o investimento em educação superior e a criação de institutos de pesquisa em alta tecnologia, como forma de melhor se capacitar a atrair subsidiárias de empresas estrangeiras (ver <http://cordis.europa.eu/itt/itt-en/04-2/dossier.htm>).

Razões históricas, ligadas ao modelo de desenvolvimento adotado por cada país membro da OCDE, explicam porque entre eles varia de modo substancial a participação do setor privado no investimento em pesquisa e desenvolvimento realizado por instituições públicas. No entanto, em um possível exemplo para o caso brasileiro, o detalhamento do investimento privado em pesquisa e desenvolvimento por intensidade tecnológica mostra que os países de modernização mais recente e, portanto, com maiores possibilidades de reorientar o seu perfil empresarial, são os que têm maior participação relativa do segmento de alta tecnologia [ver ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/indicators/docs/3rd_report_snapsind.pdf].

A retomada de uma maior produtividade pela economia americana observada ao final do século 20 pode em parte ser explicada pelo fato de que a intensidade de P&D no setor de manufatura é substancialmente maior nos EUA que na média dos países da comunidade européia. Na Tabela 4.1 é mostrada uma comparação das atividades de P&D em alguns países desenvolvidos, onde – dentre as IBF - fica ressaltada a grande participação dos setores de equipamentos eletrônicos e instrumentação.

EUA (1998-1999)		Japão (1997)		EU-7 (1999)	
Instrumentos	32,6%	Instrumentos	30,9%	Equipamentos eletrônicos	32,7%
Aeroespacial	30,9%	Equipamentos eletrônicos	23,6%	Automóveis	14,3%
Farmacêutica	23,3%	Farmacêutica	19,0%	Equipamentos de escritório*	14,1%
Equipamentos de escritório*	22,0%	Máquinas elétricas	17,6%	Instrumentos	11,5%

* inclui computadores

Tabela 4.1 – Os quatro setores industriais (manufaturas) de maior intensidade tecnológica (gasto em P&D como percentual do valor adicionado) nos Estados Unidos, Japão e Comunidade Européia (elaborada a partir dos dados disponíveis em ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/indicators/docs/3rd_report_snapsind.pdf).

É exatamente na área das tecnologias de informação e comunicação, com toda sua dependência subjacente em conhecimento e recursos humanos relacionados com a física, que mais se nota a tendência recente de *outsourcing*, isto é, a contratação de fornecedores secundários em outros países ou a transferência para eles de atividades de serviços, pesquisa e desenvolvimento. Para isso, além de dispor de uma infra-estrutura moderna de comunicações, tais países devem aliar uma oferta estável e abundante de recursos humanos qualificados que possam ser recrutados por menores salários que aqueles prevalentes nos países mais ricos.

O Brasil, juntamente com Rússia, Índia e China, forma o conjunto dos BRICs [D.W. Purushothaman, *Dreaming With BRICs: The Path to 2050, in Global Economics Paper. 2003, Goldman Sachs: New York*], “países-baleia” que, por sua extensão territorial e massa populacional, são esperados desempenhar papel dominante na economia mundial por volta da metade do século em curso. Dentre essas nações, tem sido indubitavelmente a Índia aquela a até agora melhor tirar proveito da tendência de *outsourcing*, que se mostra crescente não apenas na área das tecnologias de informação e comunicação, mas também em outros setores de alta tecnologia, como o farmacêutico. A China, por sua vez, tem procurado se posicionar de maneira mais agressiva como um mercado de atração de empresas de alta tecnologia⁷, tendo recentemente implementado um conjunto de medidas especificamente voltadas para isso. O Brasil é uma nação que – na avaliação dos próprios criadores do conceito de BRICs – se destaca por possuir uma grande população jovem e urbana, relativamente bem educada e com acesso aos modernos meios de comunicação. Em recente classificação das nações mais atrativas para a localização de atividades de *outsourcing* o Brasil ficou em primeiro lugar nas Américas – e em sétimo a nível mundial – exatamente pelas vantagens comparativas da disponibilidade de uma enorme força de trabalho qualificada a custos relativamente baixos [A. T. Kearney, *Making Offshore Decisions, em Offshore Attractiveness Location Index. 2004*]; uma possível melhoria nessa posição relativa ficava, no entanto, condicionada a avanços no nível educacional da força de trabalho disponível.

4.4 – Demografia científica em mudança

Na era do conhecimento, não apenas a abundância de recursos naturais ou de bens materiais torna possível a prosperidade de uma nação: cada vez mais, a disponibilidade de recursos humanos qualificados em ciência e tecnologia se torna também um insumo estratégico. Na Figura 4.1 é mostrado um mapa recente do estado da P&D em diferentes países do mundo, onde pode ser visto que para a maior parte dos casos o número de cientistas e engenheiros por milhão de habitantes guarda uma relação linear com a fração do PIB investida no setor. Com essa maneira de representar a

⁷ Em um recente levantamento (maio de 2007), enquanto 19% das empresas que faziam *outsourcing* buscavam a Índia, 18% delas procuravam a China. Se há apenas 10 anos esses países apenas requeriam que o acesso a seu mercado interno fosse feito mediante internalização de parte do processo de manufatura, hoje essas restrições se expandiram para exigir tanto a presença de atividades de P&D quanto a criação de empregos no setor de alta tecnologia. (*R&D Outsourcing Becomes More Strategic*, em *R&D Magazine*. 2007, p. 27-29.)

informação, fica mais bem explicitada a distância que nos separa das nações líderes, e que, mesmo para os níveis atuais de financiamento à P&D o Brasil precisa aumentar substancialmente sua força de trabalho de cientistas e engenheiros. Os dados da Figura 4.1 ilustram ainda de modo claro as situações excepcionais de países como Israel e Finlândia, que por razões distintas – o primeiro, por motivos de segurança externa, o segundo pela prioridade definida para uma modernização rápida e baseada em tecnologia de ponta – se destacam do padrão usual de investimentos em ciência e tecnologia. Ao mesmo tempo, observa-se que países de industrialização recente, como Taiwan e a Coreia do Sul, já se aproximam do grupo de nações avançadas. O modelo coreano de desenvolvimento científico e tecnológico, que em muito se assemelhou a aquele anteriormente adotado pelo Japão em sua busca de modernização tecnológica, teve a física como uma ciência chave a ser incentivada e, por sua vez, guarda semelhança com o caminho mais recentemente percorrido pela China: a necessidade de superação do atraso tecnológico galvanizou as energias nacionais em um projeto de longo prazo, com foco bem definido na prioridade na formação de cientistas e engenheiros.

De fato, foi a disponibilidade em larga escala de recursos humanos qualificados em ciência e engenharia que permitiu ao sudoeste da Ásia se tornar um novo pólo de atração para indústrias na área de microeletrônica. Embora de modo independente, e cada um deles obedecendo a razões e tempos históricos próprios, os países asiáticos se encontram hoje em um movimento coletivo rumo a um patamar de domínio local da ciência e tecnologia de fronteira, e do aproveitamento dos decorrentes benefícios econômicos. Como parte desse processo, começa a se estabelecer a partir de Taiwan, Índia e, mais recentemente e com maior vigor, China, um êxodo inverso (*reverse brain-drain*) de cientistas e engenheiros, que consiste não apenas no eventual retorno ao país de origem de especialistas até então radicados em instituições de ensino e pesquisa das nações líderes, mas também na permanência de jovens asiáticos em seus próprios países para a obtenção da educação pós-graduada e futura atividade profissional.

Essa nova tendência da demografia científica não passou despercebida pelas nações mais desenvolvidas, várias delas já às voltas com problemas próprios de envelhecimento e contração demográfica: o incentivo à imigração seletiva de técnicos e especialistas começa a se tornar política oficial de alguns países europeus [A.C.a.K.F. Zimmermann, *Immigrant Performance and Selective Immigration Policy: A European Perspective*, em *Discussion Paper No. 1715. 2005, Institute for the Study of Labor (IZA): Bonn*]. Os Estados Unidos, que na década de 80 reagiram ao desafio japonês de uma maior competitividade com a aprovação de reformas legais que propiciaram um novo patamar de criatividade e inovação em suas indústrias, já começam a se inquietar com o deslocamento do centro de gravidade da atividade tecnológica de ponta para o Oriente. O fato de que, pela primeira vez em décadas, começa a cair o número de estudantes estrangeiros admitidos nos programas de doutorado de universidades americanas tem despertado idéias até então consideradas inaceitáveis, como a concessão de visto de permanência (*green card*) a qualquer aluno estrangeiro que complete seu doutorado em ciências, engenharia ou computação em uma universidade americana.

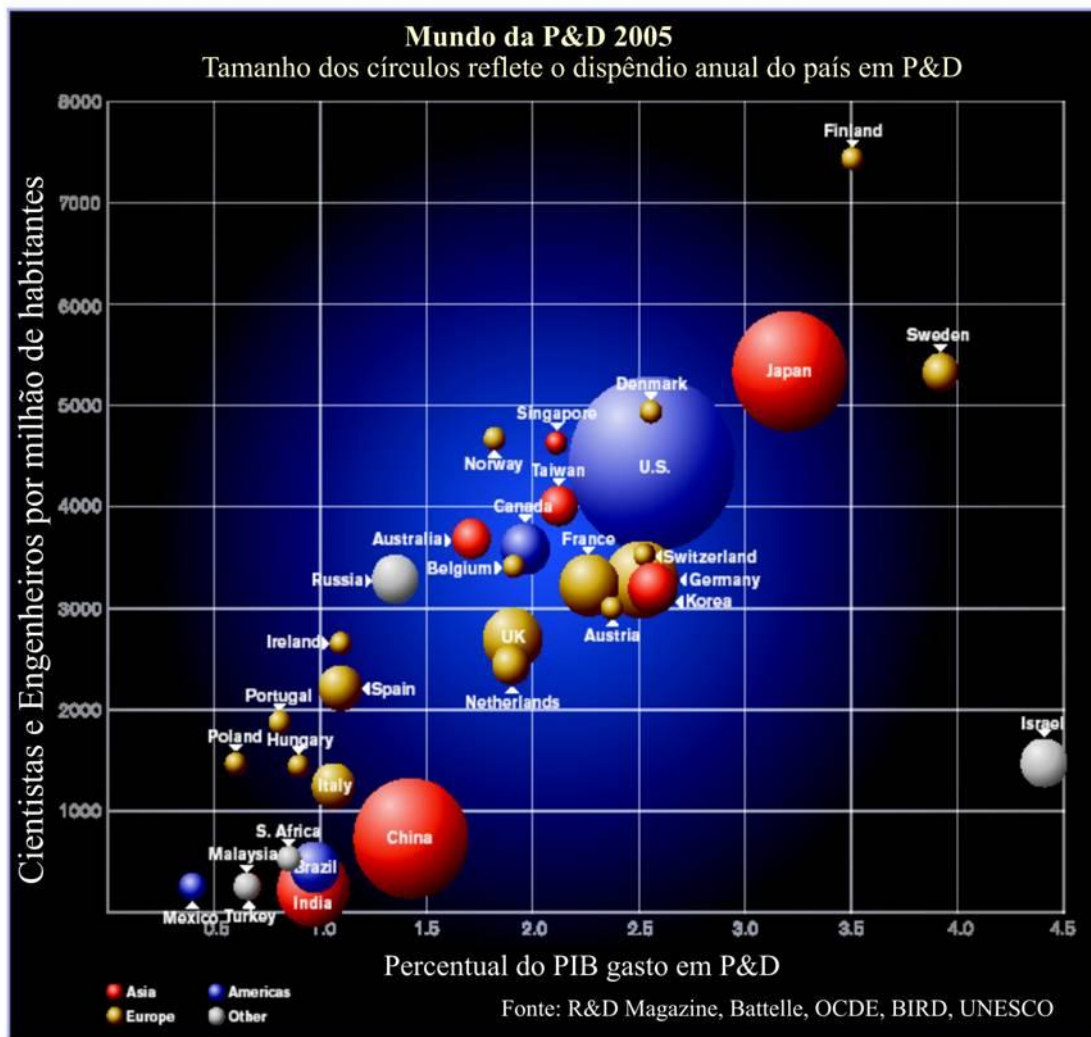


Figura 4.1 – A importância de dispor de uma força de trabalho adequadamente capacitada em ciência e engenharia é cada vez mais um insumo estratégico para as nações modernas [2007 Global R&D Report: Changes in the R&D Community, em Global R&D Report 2006].

4.5 – Ameaças e oportunidades

O exemplo histórico mostra que o investimento em educação e ciência é um fator essencial para o desenvolvimento econômico e social das nações menos desenvolvidas. Considerando apenas os exemplos observados na segunda metade do século 20, podemos encontrar os casos da República da Irlanda, Coreia do Sul e China, que bem ilustram o caráter multiplicador que o esforço educacional e os investimentos em ciência e tecnologia trazem para o bem-estar geral de uma nação.

No caso brasileiro, não podemos incorrer no erro de considerar como tarefa já concluída o excepcional progresso obtido na formação de recursos humanos ao longo das últimas décadas: os indicadores atuais mostram a necessidade urgente de priorizar a formação de cientistas e engenheiros, de modo a elevar em – por um fator de 10, se quisermos nos aproximar do bloco de nações desenvolvidas – sua presença relativa na população brasileira.

Ao mesmo tempo, se o bom nível tecnológico da mão de obra disponível no País já nos permite disputar com outras nações a capacidade de acolher centros de pesquisa e

desenvolvimento em itens de mais alta densidade tecnológica, nossas políticas de atração dos investimentos externos ainda são tímidas com relação às exigências de internalização de atividades de P&D no País, como condição prévia para o acesso de empresas estrangeiras a nosso mercado interno. Como resultado, o último levantamento da atividade de inovação no País (PINTEC 2003) mostra ser ainda muito pequena a presença de empresas inovadoras no País, com os investimentos modernizadores bastante concentrados apenas na aquisição de máquinas e equipamentos e com limitada atenção ao desenvolvimento interno de pesquisas e melhoria de produtos e processos. A análise da distribuição regional dessas atividades revela ser ela ainda mais concentrada geograficamente no País que a densidade de competências acadêmicas.

Embora à primeira vista desanimadora, essa constatação traz consigo também uma oportunidade de crescimento para o País, pelo possível efeito multiplicador que traria a criação de mecanismos de estímulo à atividade de inovação que privilegiem a interação entre empresas e instituições de ciência e tecnologia (universidades e institutos de pesquisa): o Brasil já conta não só com um bom nível tecnológico face seus competidores entre os países emergentes, mas também com uma comunidade acadêmica que, embora excessivamente concentrada na região sudeste, se encontra presente em diferentes cidades e regiões. A inovação, com seus conseqüentes benefícios econômicos, pode ser objeto de políticas públicas que explicitamente contribuam para sua melhor distribuição no território nacional.

A recente Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) poderá promover importante incremento nas atividades de inovação no País, se for complementada por práticas voltadas para a fixação de competências formadas em quantidades crescentes nos programas de pós-graduação brasileiros, por meio do apoio a pequenas empresas inovadoras – que representem *spin-offs* da atividade acadêmica de fronteira – e da atração de empreendimentos de *outsourcing* a custos competitivos com os de outros países e regiões. (Deve ser lembrado que, apesar do volume total dos investimentos estrangeiros diretos na China ser muito maior que nos demais países emergentes, no ano de 2004 eles representavam apenas o dobro do total aplicado no Brasil, em termos *per capita* [M. Karlsson, ed. *The Internationalization of Corporate R&D: Leveraging the Changing Geography of Innovation*. 2006, ITPS, Swedish Institute For Growth Policy Studies, Estocolmo]). Enquanto mecanismo eficiente de levar o desenvolvimento a diferentes partes do País, uma maior absorção de engenheiros e cientistas pelo setor empresarial representaria contramedida eficaz para enfrentar os riscos da emigração seletiva estimulada pelos países desenvolvidos: quando por nada, as atividades de pesquisa das empresas inovadoras estrangeiras teriam de ser progressivamente para aqui deslocadas, face a abundância local na oferta de mão-de-obra qualificada, insumo que a cada ano se torna ainda mais escasso nos países de origem dessas empresas.

O investimento em atividades de pesquisa e desenvolvimento nos setores de mais alta tecnologia por parte dos países emergentes faz sentido também por razões estratégicas: além das questões de segurança e soberania nacional, que não podem ser adequadamente atendidas pela compra de pacotes tecnológicos no exterior, há de se levar em conta o risco de que novas rupturas tecnológicas venham a fazer desaparecer mercados tradicionais de commodities em prazos relativamente curtos. Há quem considere a atual revolução tecnológica representada pelos avanços em nanotecnologia um perigo real para as nações exportadoras de produtos de baixo valor tecnológico, com efeitos comparáveis a, por exemplo, o que sofreram os países exportadores de corantes

naturais na segunda metade do século 19, quando não conseguiram competir com as então nascentes indústrias químicas alemãs e inglesas.

O século 20 se encarregou de mostrar que, cada vez mais, conhecimento é o que realmente faz a diferença no jogo da economia mundial: a cada momento, não é suficiente copiar caminhos antes trilhados por outros, mas sim cuidar de alcançar a capacidade de inovar, aproveitando as oportunidades oferecidas pelas rupturas tecnológicas no momento em que elas se apresentem.

Recomendações

- *Priorização nos investimentos na formação graduada e pós-graduada de maior número de cientistas e engenheiros.*
- *Reforço a políticas de apoio a incubadoras e atenção à questão da propriedade intelectual como forma de favorecer o surgimento de mais empresas de alta tecnologia.*
- *Medidas que estimulem a maior interação entre empresas e a comunidade acadêmica, como a criação de centros cooperativos de pesquisa e desenvolvimento.*
- *Medidas para estimular a criação de laboratórios de P&D de empresas estrangeiras no País, como contrapartida ao acesso oferecido ao nosso mercado interno.*
- *Estímulo à criação de diferentes pólos regionais de alta tecnologia, visando descentralizar a atividade de inovação por todo o Brasil.*

Capítulo 5

Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior

5.1 – A PITCE e o avanço tecnológico

A Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE foi elaborada em 2004 pelo governo brasileiro com o objetivo de impulsionar a atividade econômica e de difundir tecnologias que agreguem potencial competitivo à indústria do País e que melhorem seu desempenho no comércio internacional. Seu foco é bem explícito: melhorar a eficiência da estrutura produtiva nacional e aumentar a capacidade de inovação das empresas brasileiras fazendo, assim, crescer o seu poder de exportação. Ao lado da PITCE, a Lei de Inovação e a Lei do Bem são outros instrumentos auxiliares nesse processo proposto pelo governo atual, que também criou a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI como órgão articulador e executivo dessas políticas.

É constatado no documento da PITCE que a modernização e o aumento de competitividade da indústria brasileira, que ocorreram nos anos 1990, não foram suficientes para ampliar a base exportadora do País, e que se faz necessário reverter, o mais rápido possível, essa situação desfavorável frente ao comércio internacional. O documento mostra também que o desempenho do País esteve, e está, aquém de sua potencialidade, pois as taxas de crescimento da exportação têm sido inferiores às médias registradas pelos países em desenvolvimento. Um dado ainda mais preocupante é que, num universo de 4 milhões de empresas instaladas no País, cerca de 1000 delas são responsáveis por quase 90 % das exportações. A situação se revela mais grave ao se constatar que a maior parte de nossos produtos de exportação é de baixo conteúdo tecnológico, cujos preços são instáveis no comércio internacional. Uma das pesquisas mais detalhadas já realizadas até hoje sobre a inovação na indústria instalada no Brasil, feitas pelo MIC no período de 1996 a 2002, mostrou um quadro nada animador sobre o quanto essas indústrias inovam tecnologicamente (ver Tabela 5.1). Foram contabilizadas cerca de 72.000 empresas, somando mais de 5.600.000 trabalhadores, o que corresponde a 90 % do total da indústria nacional.

PESQUISA SOBRE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA INSTALADA NO BRASIL Período 1966 a 2002 (Fonte: MIC)				
EMPRESAS	TOTAL	BRASILEIRAS	ESTRANGEIRAS	MISTAS
Que Inovam	1.199 (1,7%)	742	394	63
Que Incorporam Inovação	15.311 (21,3%)	13.876	1.243	192
Que Não Inovam	55.486 (77,1%)	55.161	214	111
TOTAL	71.996	69.779	1.851	336

Tabela 5.1

Para alterar esse quadro, a PITCE traça, entre outras medidas, políticas que visam promover a capacitação de inovação das empresas por meio da concepção, de projetos e de desenvolvimento de produtos e processos. Propõe, então, o estímulo a atividades portadoras de futuro como biotecnologia, software, novos materiais, eletrônica e optoeletrônica, nanotecnologia, biocombustíveis e energias renováveis. Em complemento, elege quatro atividades, de algum modo inseridas nas atividades portadoras de futuro, e que foram definidas como opções estratégicas: semicondutores, fármacos e medicamentos, software, e bens de capital.

Como grande parte dos laboratórios de pesquisa do País, que atendem a essas áreas, está hoje na Universidade Pública, para alcançar o sucesso pretendido a execução da PITCE depende, num primeiro momento, do efetivo engajamento desses centros. A Lei de Inovação, assinada em dezembro de 2004, vem facilitar a inclusão de pesquisadores universitários em projetos e programas de inovação e de modernização da nossa plataforma industrial, para que ela se torne mais competitiva. A Lei de Inovação, em conformidade com o artigo 218 de Constituição, tem por objetivo estabelecer medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas à capacitação e ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento industrial do País. Para a implementação dessas diretrizes políticas faz-se necessário reformar os regimentos das universidades e das ICTs públicas para que atendam ao espírito da Lei de Inovação. Além disso, a criação de instituições de pesquisa que estejam diretamente voltadas ao desenvolvimento industrial deve ser estudada.

5.2 – Física na Revolução Industrial

É importante resgatar da história a contribuição da física na inovação industrial. O processo industrial, que tem início na Revolução Industrial, sempre teve na física

uma de suas molas propulsoras. O desenvolvimento da máquina-a-vapor, que revolucionou os meios de produção, foi possível devido a conhecimentos nos campos da Mecânica e da Termodinâmica. A eletricidade e as comunicações, que transformaram radicalmente o *modus vivendis* da humanidade, só foram possíveis devido ao domínio teórico e experimental do Eletromagnetismo. O nascimento do século XX trouxe o conhecimento e o domínio do átomo com a Mecânica Quântica e, mais tarde, a invenção dos dispositivos eletrônicos do estado sólido, os quais proporcionaram avanços ainda mais extraordinários nas comunicações e deram origem à era da informática. A produção e fornecimento de energia compõe outro fator essencial ao desenvolvimento das nações. Novamente, a física, ao lado da química, contribuiu, e continua contribuindo decisivamente, oferecendo com suas descobertas novas fontes energéticas e/ou novas formas de explorar energias já conhecidas.

Em seu livro *The Organization of Industrial Scientific Research*, (Mc Graw Hill, New York 1920, <http://www.inovacao.unicamp.br/report/inte-kodak.shtml>) C. E. K Mees opina: “É quase impossível encontrar algum tipo de trabalho científico em física ou química — da física do átomo à química orgânica estrutural — que mais cedo ou mais tarde não vá ter aplicação e importância direta para as indústrias”.

5.3 – A física brasileira e o PITCE

Por décadas, laboratórios brasileiros de pesquisa vêm proporcionando, direta ou indiretamente, condições para a geração de indústrias, sendo a maioria delas pequenas indústrias que agregam alto valor tecnológico aos produtos que fabricam. Outra característica de seus produtos é serem em geral voltados para o mercado internacional. Esse fenômeno ocorre em regiões onde estão instaladas unidades universitárias que possuem bons laboratórios de pesquisa. Recife, Santa Catarina, São Paulo, São José dos Campos, São Carlos, Campinas, Porto Alegre, Belo Horizonte são alguns exemplos de locais que têm sido beneficiados com instalações de empresas nas áreas de softwares, de materiais, de óptica e fotônica, de sistemas elétrico-eletrônicos etc. O aparecimento desse tipo de indústria mostra que o Brasil é fértil em idéias e iniciativas, não faltando, portanto, espírito empreendedor ao brasileiro. No entanto, a falta de políticas inteligentes e eficientes com o objetivo de explorar o potencial empreendedor dos nossos cientistas e empresários tem retardado o ingresso do País no restrito grupo dos geradores e exportadores de bens com alto valor de conhecimento agregado.

A PITCE é uma iniciativa que aponta na direção correta – a da inovação como o único meio de modernizar o Brasil e incluí-lo no grupo das nações desenvolvidas –, e deve ser vista como um desafio a ser enfrentado conjuntamente por empresários, pesquisadores e políticos. O processo de inovação coloca a pesquisa científica básica e o desenvolvimento tecnológico no centro do desafio. Nesse contexto, a física brasileira tem um papel importante a desempenhar, e é impelida naturalmente a tomar parte nessa missão. Hoje, o País forma por ano cerca de 800 bacharéis e 250 doutores em física. Existem cerca de 3000 físicos com nível de doutorado trabalhando em laboratórios de pesquisa espalhados pelo Brasil, se bem que com grande concentração na região Sudeste. A física brasileira, em fase de expansão, está hoje preparada para dar importantes contribuições ao processo visado pela PITCE. Destacaremos mais adiante algumas áreas, dentre as definidas como estratégicas e portadoras de futuro pela PITCE, nas quais a física pode contribuir mais efetivamente. É bom frisar que no século XXI o desenvolvimento científico e tecnológico será pautado pelas pesquisas

interdisciplinares. Fica, portanto, difícil definir o que será de responsabilidade exclusiva da física, ou o quanto haverá de sua participação, em temas que juntam diferentes áreas da ciência e da engenharia. Na área de fármacos, por exemplo, um determinado projeto pode envolver bioquímicos, químicos, informatas e físicos; em projetos de eletrônica e/ou optoeletrônica já é comum a colaboração de físicos, teóricos e experimentais, de cientistas de materiais, engenheiros de dispositivos e, em muitos casos, de químicos.

Dentro da PITCE, a física pode contribuir principalmente para os seguintes tópicos, entre outros:

- **Semicondutores (inorgânicos e orgânicos)⁸**

Toda a eletrônica do estado sólido desenvolvida desde a célebre apresentação do primeiro transistor nos laboratórios da Bell Telephone, em dezembro de 1947, faz uso de semicondutores inorgânicos. Os dispositivos eletrônicos baseados em semicondutores se diversificaram e aumentaram continuamente sua sofisticação até a tecnologia atual em que um *chip* de silício pode conter cerca de 400 mil componentes em um centímetro quadrado. A chamada tecnologia do silício pode ser considerada madura, pois já completou 60 anos; no entanto, continua a produzir resultados tecnológicos de fronteira fazendo com que o silício seja ainda o material dominante no mercado. A partir dos anos 1970 entraram em cena os elementos III-V, sobretudo os Arsenetos de Índio (InAs), de Gálio (GaAs), e de Alumínio (AlAs), o Fosfeto de Gálio (GaP) e o Nitreto de Gálio (GaN), e suas ligas. Mais recentemente, elementos II-VI vêm mostrando potencial na área de dispositivos, destacando-se entre eles o Sulfeto de Zinco (ZnS), o Seleneto de Cádmio (CdSe), Telureto de Chumbo (PbTe) e o Óxido de Zinco (ZnO).

Além desses semicondutores inorgânicos já consagrados, há uma variedade de novos compostos semicondutores orgânicos, e a exploração de suas propriedades e de suas possíveis aplicações ainda estão em fase embrionária. Mesmo assim, a eletrônica e optoeletrônica gerada por alguns desses compostos já mostra um sucesso extraordinário, e participa do avanço da tecnologia das telecomunicações, do contínuo avanço na área de lasers e de suas aplicações, da geração de novas tecnologias de imagens e de dispositivos de posicionamento, além de contribuir para a popularização e sofisticação ainda maior da informática.

Os materiais semicondutores orgânicos – de pequenas moléculas e os poliméricos – demonstram um potencial industrial e comercial muito grande. Desde a descoberta da variação controlada por mais de 15 ordens de grandeza da condutividade elétrica do poliacetileno, no final dos anos 1970, passando pela singular qualidade eletroluminescente dos poli(para-fenilenos vinílicos), os polímeros conjugados vêm mostrando propriedades semicondutoras surpreendentes. Atualmente, uma gama enorme de novas estruturas poliméricas exhibe propriedades físicas que as colocam entre os materiais promissores para a eletrônica (diodos fotossensíveis, transistores por efeito de campo, e dispositivos de eletrônica flexível), e à optoeletrônica (diodos emissores de

⁸ No PITCE o termo semicondutores é usado para designar toda uma indústria eletrônica baseada em materiais com propriedades semicondutoras.

luz e células fotovoltaicas). Esses novos produtos apontam para um cenário de mercado de sucesso garantido já para os próximos anos. Um exemplo concreto de aplicação industrial e de disputa de mercado, que está ao alcance do Brasil, é o de telas (*displays*) de dispositivos eletroluminescentes orgânicos (OLEDs – *Organic Light Emitting Diodes*). Além disso, os semicondutores orgânicos abrem perspectivas para a eletrônica flexível (telas não-rígidas, papéis eletrônicos, etiquetas, sensores etc), cujo mercado é muito promissor. Uma área especialmente promissora e estratégica dos semicondutores orgânicos luminescentes é a de iluminação de ambientes. A eficiência de conversão de energia elétrica em radiação luminosa nesses materiais luminescentes é superior a 95%, muito superior às das outras tecnologias hoje em uso. O uso dessa tecnologia vai representar uma enorme economia de energia, além de não gerar outros efeitos negativos sobre o meio-ambiente.

- **Novos Materiais**

A pesquisa em novos materiais é muito ampla e diversificada. Seu caráter é especialmente multidisciplinar e, cada vez mais, os físicos dão contribuições fundamentais para esse campo. Além dos materiais semicondutores, apresentados acima, o desenvolvimento científico e tecnológico em materiais que servem a outras aplicações cresce com igual rapidez. Podemos destacar algumas áreas modernas, como as de revestimento e cobertura de superfícies, a metalúrgica, a de materiais aplicados à construção civil, a têxtil, a de calçados, etc. Podemos também diferenciar as pesquisas entre aquelas que pesquisam novos materiais, aí incluindo as misturas de materiais, sobretudo compósitos e blendas, das que pesquisam e inovam processos de fabricação e de tratamentos físicos e/ou químicos. Há que se mencionar ainda a importância dos processos de análise e caracterização dos materiais, área que evolui com muita rapidez devido à modernização de equipamentos de análises espectroscópicas, estruturais e de medidas de propriedades elétricas, magnéticas e ópticas. A indústria brasileira de produção de aço é hoje competitiva no mercado internacional. Essa indústria necessita de tratamento de superfície de seus produtos que garanta o bom desempenho em seus usos específicos. Problemas relacionados à corrosão, oriunda de ataques químicos e de radiação, são fundamentais à qualidade do produto, assim como um excelente controle de qualidade durante os processos de manufatura do produto. O Nitreto de Titânio (TiN) pode fazer a junção de duas partes de titânio, por solda a laser, e pode ser muito útil na engenharia espacial. Carboneto de Cromo (CrC) é uma excelente cobertura para materiais ferrosos, por ser resistente à corrosão e à difusão de nanopartículas. A pesquisa de propriedades eletro-ópticas do Niobato de Lítio (LiNbO_3) e ferroelétricas do Titanato de Bário (BaTiO_3) e Titanato de Chumbo (PbTiO_3) é muito importante para a indústria de dispositivos optoeletrônicos, fotônicos e eletroacústicos.

Os materiais cerâmicos, além de apresentar um grande potencial na indústria de dispositivos eletrônicos e na mecânica leve, têm importância na área de revestimentos de pisos e paredes, indústria bem desenvolvida no Brasil. A investigação de materiais refratários usados na indústria da construção civil pode também levar a importantes avanços nesse setor. Alguns dos materiais cerâmicos mais avançados pertencem à vasta classe dos materiais nanoestruturados. Esses materiais estão causando uma verdadeira revolução em toda a indústria, com a geração de produtos muito melhores e duradouros, e com frequência também mais baratos. Além de serem empregados em novos produtos, os materiais nanoestruturados são a base dos melhores e mais

eficientes catalisadores, o que lhes tem garantido um emprego crescente na indústria química e petroquímica. Por exemplo, o craqueamento do petróleo com o emprego de zeólitas dispensa aquecimento excessivo, o que torna o processo mais econômico de energia. Além dessa economia, obtêm-se produtos finais de melhor qualidade. Materiais nanoestruturados têm sido objeto de investigação muito intensa, pois aposta-se que eles se tornem a fonte de novos avanços na nanoeletrônica, e que eventualmente venham a substituir o silício em pastilhas como o material básico dessa tecnologia. Em casos pontuais, isso já se tornou realidade. Por exemplo, hoje todos os discos de armazenamento de memória em computadores são baseados no fenômeno de magnetoresistência gigante, que se manifesta em algumas nanoestruturas de matérias magnéticas. Por todas essas razões, a intensa investigação de materiais nanoestruturados é imprescindível para que o País produza novos produtos, ou produtos melhorados, capazes de competir no mercado internacional.

Semelhante situação ocorre nas indústrias têxtil e de calçados, onde não só os processos de produção se tornam cada vez mais importantes para a modernização do setor, mas o uso de novos materiais, ou o melhoramento dos atuais, aumenta a qualidade dos produtos e abaixa o custo de produção. Também nesses campos, materiais nanoestruturados têm encontrado importantes aplicações.

- **Fármacos e Medicamentos**

A física pode contribuir muito para o desenvolvimento da indústria de fármacos e medicamentos por meio da determinação de estruturas de biomoléculas, de cálculos conformacionais e de dinâmica molecular que levam a simulações e modelagens moleculares e que auxiliam enormemente o desenho e o processo de síntese de novas substâncias. Com isso, é necessário montar grupos multidisciplinares de pesquisa (físicos, químicos, farmacêuticos e bioquímicos) que trabalhem em conjunto no desenvolvimento mais científico de fármacos, medicamento e vacinas. Físicos experimentais da área de cristalografia molecular, junto com físicos teóricos especialistas em cálculos de determinação de estruturas eletrônicas e de conformação molecular, têm hoje plenas condições de interagir com outros especialistas e contribuir para o desenvolvimento de indústrias nesse setor. O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), é um bom exemplo de infra-estrutura aparelhada para dar suporte a pesquisas experimentais nessa área, e estações computacionais instaladas em muitos laboratórios permitem cálculos precisos de dinâmica molecular e de estruturas moleculares complexas. Com isso pode-se simular a interação de fármacos com moléculas de proteínas, o que facilita não só a escolha de estruturas químicas como a de rotas de sínteses orgânicas. É bom destacar que a indústria de fármacos movimenta no País dezenas de bilhões de dólares, e que o mercado nacional é enorme. Além do mais, o Brasil enfrenta sérios problemas com moléstias tropicais, que não afetam os países de clima temperado, e por isso não despertam maior interesse desses países que controlam a tecnologia e o mercado mundial de drogas e medicamentos.

A física pode também contribuir, por meio de suas técnicas experimentais, na área de detecção de patógenos, empregando, entre outras moléculas, o DNA como sensor ativo. Trabalhos recentes têm mostrado o sucesso do uso do DNA na detecção e identificação de bactérias patogênicas, e ainda no acompanhamento do seu processo de mutação. Esse trabalho se faz pelo seqüenciamento do DNA extraído de amostras

contaminadas, com o qual se faz o rastreamento das mutações que ocorrem no genoma da bactéria. Há resultados muito positivos obtidos pelo emprego de medidas ópticas para se acompanharem alterações em moléculas sensoras de DNA. Essas moléculas são também empregadas em dispositivos eletrônicos (diodos e transistores) nos quais as alterações de resposta elétrica dão informações sobre processos de oxidação e redução devidos a interações com outras moléculas, no caso de moléculas de agentes patogênicos. Essas são tecnologias úteis, pela sua eficiência e rapidez de diagnóstico, para o auxílio a combate a epidemias tropicais.

- **Nanotecnologia**

A essência da nanotecnologia é a habilidade de manipular a matéria na escala molecular, átomo por átomo, criando estruturas macroscópicas que mantenham uma organização supramolecular previamente arquitetada. Com isso está tornando-se possível projetar materiais com propriedades bem definidas e otimizadas. Poder-se-ão obter materiais, previamente projetados em nível molecular, que desempenhem funções específicas, sejam elas físicas (mecânicas, térmicas, elétricas, magnéticas ou ópticas), sejam químicas ou biológicas. Um dos setores industriais mais beneficiados pela nanotecnologia será o de materiais e manufaturas, além da área de instrumentação – por exemplo, a produção de NEMS (*Nanometric Electromechanical Systems*). Na área de materiais, o objetivo da nanotecnologia é produzir materiais que tenham funções bem determinadas com desempenho previamente especificado. A elaboração de sistemas e materiais construídos de maneira controlada desde a escala nanométrica torna possível a diversificação e melhoramento de suas propriedades e o aperfeiçoamento de suas funções. Com isso poderemos projetar novas cerâmicas, novos polímeros, novas ligas metálicas, materiais compósitos etc., seja para melhorar ou adicionar propriedades físicas (mecânicas, térmicas, elétricas, magnéticas ou ópticas), ou para implementar novas funções químicas ou biológicas.

Já está em estado avançado a produção de sistemas nanométricos altamente organizados, e com eles será possível a geração de moldes que reproduzam em série sistemas que atuarão em processos de fabricação de dispositivos micro e nanoeletrônicos (processos litográficos eficientes e de baixo custo, por exemplo), ou em sistemas de controles biológicos ou de liberação controlada de drogas. Nessa área tecnológica, a microfluídica também deve desempenhar um papel de destaque. Essa área da ciência e da tecnologia trata do controle da dinâmica de fluidos em escalas definidas entre nano e microlitros. A manipulação de fluidos, os mais diversos, nessa escala tem demonstrado o seu potencial em aplicações de processos litográficos aplicados à microeletrônica e à biologia molecular.

A fabricação de nanoestruturas, ou nanomateriais, pode ocorrer por métodos que manipulam precisamente o processo de crescimento, ou por processos de crescimento espontâneo, por exemplo, por auto-organização. No primeiro caso encontram-se as estruturas de poucos átomos semicondutores depositadas por epitaxia por feixe molecular, os chamados *pontos quânticos*. No segundo, a formação de nanofios, nanofitas, nanotubos de óxidos metálicos, como os de ZnO e de nanopartículas de TiO₂, a partir de reações químicas. Uma família muito importante dessas estruturas é a das nanoestruturas carbônicas: os fulerenos, nanotubos e grafenos. Esses objetos abrem perspectivas de se obterem materiais ultraleves e de elevadas resistências mecânicas de

um lado, e de sistemas semicondutores de outro. Essas estruturas podem ter aplicações variadas, como em pontas de prova em microscopias de tunelamento eletrônico e de força atômica, em futuros dispositivos nanoeletrônicos, em eletrônica molecular (dispositivos em um só sistema molecular) e, também, em processos de dessalinização de água.

A área da nanotecnologia permeará diversas áreas como a de semicondutores, a de *spintrônica*, de fármacos e medicamentos, e contribuirá enormemente para os setores da saúde, da agricultura e da energia.

Recomendações

- *O Governo deve gerar mecanismos que incentivem e estimulem as empresas a criar laboratórios de pesquisa e de inovação tecnológica.*
- *O Governo deve incentivar as indústrias a contratar pesquisadores com nível de doutoramento.*
- *O Governo federal e os governos estaduais devem fomentar ações que fortaleçam os parques tecnológicos temáticos.*

Capítulo 6

O Ensino de Física no Nível Básico

6.1 – Ensino de ciências e sociedade

No mundo contemporâneo, o ensino de ciências cumpre dois papéis complementares e igualmente indispensáveis. Um é o de formar cientistas e engenheiros que promovam o avanço do conhecimento científico e utilizem esse conhecimento para o desenvolvimento tecnológico. O outro é preparar as pessoas para viverem com desenvoltura e discernimento em ambientes cada vez mais impregnados de tecnologia e de novas descobertas, sobretudo àquelas relacionadas à medicina e a modificações do clima e dos ecossistemas. Há amplo reconhecimento de que essa preparação mais geral da sociedade – designada pelos termos *alfabetização científica* ou *letramento científico* – é parte vital do processo civilizatório contemporâneo, que tem como paradigmas centrais a democracia e a participação da sociedade na solução dos grandes dilemas. Nas sociedades cada vez mais inseridas no ambiente tecnológico, para o pleno exercício da cidadania as pessoas precisam ter no mínimo a formação científica que lhes permita discernir entre riscos e benefícios decorrentes da inovação tecnológica. Com frequência crescente, as pessoas são expostas a questões e dilemas importantes, tais como aquecimento global – a mais formidável das questões ambientais que a humanidade defronta –, alimentos transgênicos, novas terapias médicas etc., e ao sentir-se incapaz de um entendimento mínimo da essência desses problemas o indivíduo se sente angustiado e até mesmo excluído. Assim, o aprendizado de ciências naturais no ensino fundamental e médio é indispensável na formação intelectual do cidadão contemporâneo. Um outro estudo propositivo sobre o ensino de matemática de ciências na educação básica foi realizado recentemente pela ABC (ver *Documento da Academia Brasileira de Ciências sobre o Ensino de Ciências e a Educação Básica – 25/05/2007*).

6.2 – Diagnóstico sobre o ensino básico em ciências

O Brasil já conta com recursos humanos relativamente bem preparados para tratar do tema Inovação. A comunidade científica brasileira é um instrumento importante para a transformação do conhecimento em riqueza e pode contribuir para o bem-estar da nossa população. Apesar das incertezas econômicas e das oscilações políticas, o

contínuo investimento, feito desde a década de 70 na pós-graduação, foi fundamental para a formação do quadro atual de pesquisadores do País. Entretanto, a educação básica em ciência não foi incluída nesse processo de modernização, e sua fraqueza constitui o maior embaraço para todo o processo de formação de pessoal qualificado nas áreas de ciência e tecnologia. Os problemas da educação básica em ciência e as ações necessárias para saná-los são os focos do presente capítulo.

Diversas avaliações mostram que o desempenho de nossos jovens em ciências está muito abaixo do desejado. Por exemplo, no resultado da avaliação do PISA (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) sobre o conhecimento científico, realizado em 43 países escolhidos, o Brasil ficou em 42º lugar nas aptidões científicas. Esse resultado mostra que nossos estudantes têm grande dificuldade no uso do formalismo matemático, na leitura de gráficos, na interpretação de diagramas e tabelas. Esses elementos exigem um grau de abstração que os estudantes não demonstram. Além de revelar pouco conhecimento dos fenômenos naturais e dos métodos empíricos empregados em sua investigação, nossos jovens demonstram uma compreensão muito limitada das diferentes linguagens – oral, gráfica, matemática – necessárias para a construção dos conceitos científicos. Sabendo que nossos jovens estão sendo mal formados, devemos diagnosticar as causas para encaminhar soluções. O recente estudo sobre o Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb), pesquisa realizada pelo MEC, mostrou que apenas 0,2 % das escolas públicas do ensino básico de todo o País atingem o nível das escolas de países desenvolvidos. Esse é mais um alerta sobre a preocupante questão da qualidade da oferta de educação pública no Brasil.

6.3 – Déficit de professores de ciências no ensino básico

É fato conhecido que a grande maioria dos professores que lecionam física na educação básica não é formada em licenciatura nessa disciplina. Esse é um dos fatores que acarretam enorme carência de conteúdo na matéria, e também a desinformação sobre o papel da física no mundo contemporâneo. O professor, na melhor das hipóteses, será um transmissor mecânico dos conteúdos das apostilas e livros-textos, o que cria desinteresse do aluno pela matéria. De mais a mais, porque não teve a formação adequada, o professor terá dificuldades de mostrar para o aluno a importância da física em outras áreas do conhecimento e as implicações sociais da ciência – por exemplo, a relação da ciência com a tecnologia. Devemos ter ações enérgicas, objetivando formar mais licenciados em ciências e matemática. Segundo estimativa do MEC, nos próximos 5 anos, haverá a necessidade de 50 mil novos professores de física para o ensino médio.

Dados do INEP mostram que temos hoje no Brasil 202 cursos que habilitam a licenciatura em física, distribuídos em todas as regiões do País, como se vê na Figura 6.1.

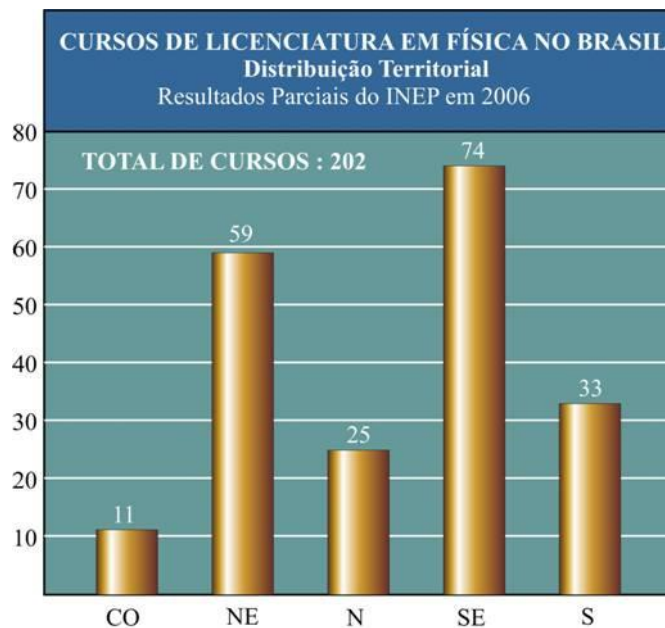


Figura 6.1

Ressalta-se que não há uma assimetria regional acentuada no número de cursos de licenciatura – se comparada com a distribuição de doutores em física em nosso território. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste têm 48% dos cursos de licenciatura, e podemos também constatar que o número total de cursos não é pequeno. Como se vê na Figura 6.2, 66% desses cursos estão em instituições públicas. O problema, como veremos, está não exatamente na falta de cursos e sim no número muito pequeno de licenciados que os cursos, em média, formam. Mesmo considerando uma média de apenas 35 vagas por curso, teremos a cada ano 7000 vagas disponíveis para ingresso na licenciatura em física, o que é um número expressivo. Mas esses cursos não conseguem atrair alunos para preencher as vagas ofertadas, nem reter os ingressantes até a obtenção do grau. Em estudo realizado pela SBF, coordenado por Shirley Gobbato, foram consultadas 30 das maiores instituições do País e verificou-se que em 2006 tivemos 3918 estudantes matriculados no semestre inicial. Entretanto, em 2005 essas instituições só formaram 520 licenciados. Ignorando a – provavelmente pequena – variação no número de ingressantes, concluímos que esses cursos apresentam uma evasão de 85%.

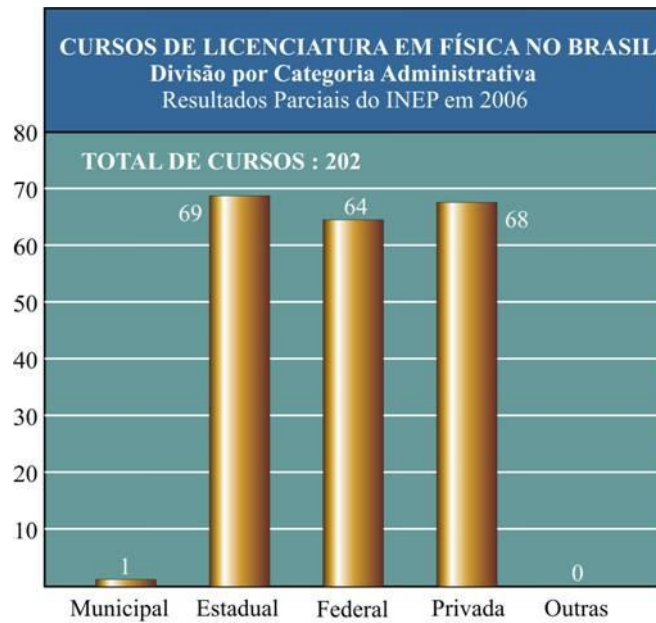


Figura 6.2

Dados do INEP, que consideram o universo de todos os cursos do País, mostram que estamos formando aproximadamente 900 professores por ano. Se os cursos presenciais já existentes aumentassem o número de egressos para 50% das vagas disponíveis, formaríamos pelo menos 3500 professores por ano habilitados a ensinar física.

6.4 – A evasão escolar

Na Figura 6.3, podemos ver a distribuição dos 202 cursos estudados pelo INEP segundo o turno de funcionamento.

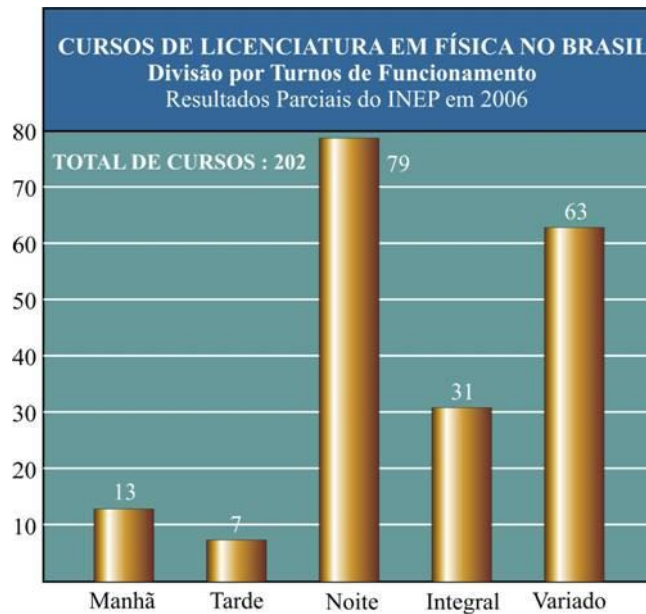


Figura 6.3

Vemos que há 79 cursos que são integralmente noturnos, e esse fato reflete a condição econômica típica do aluno que no Brasil é atraído para cursos de licenciatura. É sabido que a grande maioria desses estudantes pertence a famílias de baixa renda e que muitos deles trabalham em um ou até dois períodos, não podendo dedicar-se integralmente aos cursos. Como há falta de professores formados, estudantes de licenciatura são com frequência levados a ministrar cursos, o que leva muitos deles a atrasar a formação ou até mesmo a desistir do curso. O ingresso e a permanência no curso também estão intimamente ligados às perspectivas de carreira. O salário de professor nas escolas públicas não é nada atrativo, pelo contrário, é desestimulante. Reflete a pouca importância que o País dá à educação e o pequeno reconhecimento que sociedade presta ao professor. Assim, além de ter de aceitar uma vida muito modesta, o professor é prejudicado em sua auto-estima. A conclusão inevitável é que nosso déficit de professores de ciências para o ensino básico tem como causa principal o salário que pagamos a esses professores, o que não deixa ao MEC muito espaço para ações realmente efetivas, visto que a valorização do professor e da educação só é viável por decisão de todo o Estado. Recomendamos que se adotem de imediato duas ações, de caráter paliativo:

- Criação de uma bolsa de fixação de alunos nos cursos de licenciaturas em ciências. Um programa similar ao de Iniciação Científica, com o objetivo de evitar que bons alunos se vejam obrigados a abandonar o curso pela necessidade de trabalhar.
- Criação de uma cota diferenciada no PROUNI para os cursos de licenciatura em ciências.

6.5 – Formação de professores

A etapa de formação inicial do professor que ensina física no ensino médio deve constituir-se na base de seu futuro desenvolvimento profissional, assegurando-lhe independência intelectual e capacidade de adequação às tarefas próprias de educador em ciências. Se tivermos uma preocupação com a formação dos nossos bacharéis, que são encaminhados à pesquisa, os nossos licenciados também devem ter uma sólida formação de conteúdo e um conhecimento pedagógico que os capacite à aplicação de novas tecnologias de ensino. Hoje, a grande maioria dos docentes que lecionam nos cursos de licenciatura não foi preparada para essa função, o que é grave, pois eles, os professores universitários, são o exemplo para os futuros professores do ensino básico. Devem mostrar seu domínio no conteúdo pela aplicação de boas práticas didáticas.

No estudo da SBF que resultou no livro *Física para o Brasil* (Sociedade Brasileira de Física, 2005), verificou-se que hoje podemos separar os currículos dos cursos de licenciatura em dois modelos predominantes. Um dos modelos reflete uma visão utópica, que espera do futuro licenciado uma formação baseada em critérios absolutos de qualidade. Já o outro, faz concessões à qualidade do curso para atender à realidade de um alunado heterogêneo e diferenciado em suas exigências. Com um número grande de cursos de licenciatura noturnos, as diferenças entre currículos do bacharelado e da licenciatura se acentuam. Em nossa opinião, durante o Ciclo Básico os alunos de licenciatura devem receber o mesmo tipo de formação que os alunos de bacharelado. Porém, no Ciclo Profissional, sua formação deve ser bem diferenciada, e não é necessário que eles aprendam alguns temas que só são indispensáveis para estudantes que pretendam ser pesquisadores em física. Posta esta ressalva, é importante que os conteúdos dos programas sejam revistos, pois apresentam um excesso de disciplinas clássicas, e além do mais a formação do licenciado tem sido muito formalista. Devem-se ensinar mais tópicos da física dos séculos 20 e 21, e também dar ao estudante melhor formação em métodos experimentais. Hoje se faz também necessária uma revisão curricular que inclua tópicos interdisciplinares. É fundamental montar grades que permitam ao futuro professor transitar em diversas áreas do conhecimento, como biofísica, química, geociências, meio ambiente, nanociências, etc.

Sem negar a importância das disciplinas pedagógicas para a formação adequada de nossos professores, observamos que há em muitas instituições uma carga horária excessiva nessas disciplinas, em detrimento de disciplinas científicas. Mais de dois terços das 30 instituições analisadas no estudo coordenado por Gobbato apresentam uma carga horária superior a 700 horas em disciplinas pedagógicas, como se vê na Figura 6.4.

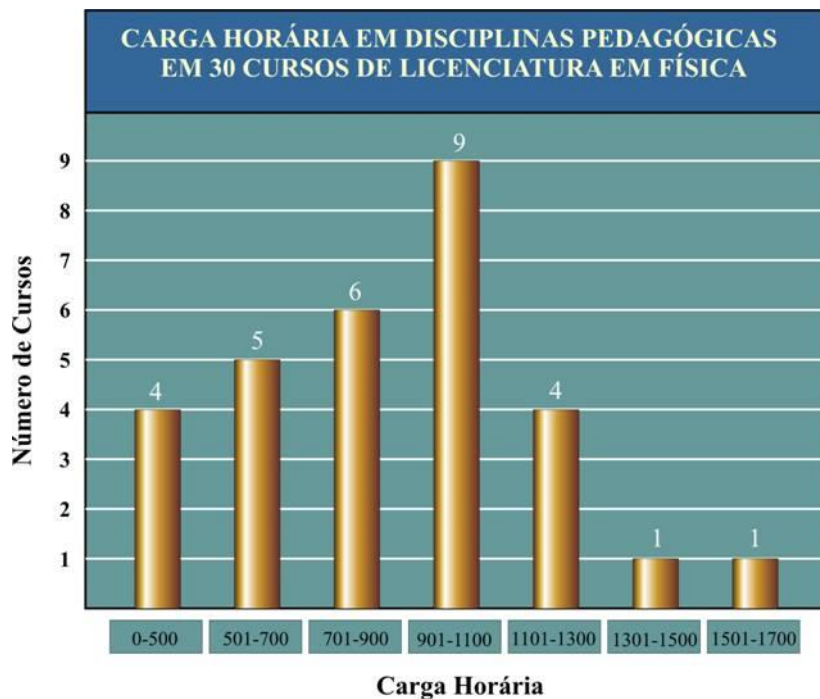


Figura 6.4

Recomenda-se que todas as reformas curriculares prestem atenção especial à proficiência dos estudantes na compreensão de textos e no uso da língua materna, escrita e oral. A análise dos resultados dos vestibulares demonstra a necessidade de melhorar o domínio dos alunos na utilização do português e da matemática básica. Sem ter essas capacidades bem estabelecidas, é impossível ensinar, com eficiência, física ou qualquer outra ciência, pois não existe metodologia que leve à superação dessas dificuldades.

6.6 – As escolas do ensino básico

Em 2005, tínhamos no Brasil um total de 23.561 escolas de ensino médio, das quais 6.991 eram escolas privadas e 16.570 eram escolas públicas. Um fato alarmante é que, dentre as escolas públicas, somente 38% tinham laboratório de ciências, 56% tinham biblioteca e 60% tinham acesso à internet (INEP). É fundamental para o bom desempenho dos alunos que a escola tenha uma infra-estrutura básica adequada, com bibliotecas e laboratórios bem equipados. É especialmente preocupante o fato de que só 38% das escolas públicas disponham de laboratórios. Enquanto em todo o mundo o ensino de ciências para crianças e adolescentes ganha cada vez mais um caráter “mão na massa”, no Brasil persistimos no ensino livresco e meramente informativo. Para equipar as escolas com laboratórios, sem custo excessivo, é preciso desenvolver *kits* básicos, robustos, de fácil operação e manutenção, e fabricá-los em grande escala.

A direção da escola deve incentivar os professores a dar continuidade aos estudos, por meio da realização de cursos de atualização e extensão, a participar de eventos científicos e a manter atividades tais como colóquios com pesquisadores.

Atenção deve ser dada, também, à situação trabalhista do professor, que leciona mais de 40 horas de aula/semana, em diversas escolas, para um contingente de alunos

que pode facilmente superar 500 estudante/semana. Nesse cenário, a escola pública apresenta um quadro ainda mais grave, com salários baixíssimos e condições de trabalho que colocam em risco a própria integridade física do professor. O grande desafio é estabelecer uma política salarial competitiva para atrair bons profissionais. Sem que haja esse tipo de valorização, como já dissemos anteriormente, não há uma solução real para as mazelas que afetam a educação dos nossos jovens. Um outro problema grave, que deve ser atacado de imediato, é o oferecimento das disciplinas de ciências. O número de horas de aulas de física na grade escolar pública está reduzido a uma ou, no máximo, duas horas/semana. Assim, qualquer tentativa de uma melhor formação do estudante em ciências fica comprometida. Com tão pouco tempo estudando física, há uma redução exagerada nas ementas dos cursos. É importante preparar uma boa grade curricular e estratégias efetivas para a sua implementação, montar laboratórios didáticos e bibliotecas atualizadas etc.

Recomendações

- *Valorizar a carreira de professor da educação básica.*
- *Ação emergencial: treinar profissionais aposentados para ensinar ciências na educação básica.*
- *Criar bolsas de fixação de estudantes nos cursos de licenciatura.*
- *Criar no PROUNI uma cota especial para cursos de licenciatura em ciências.*
- *Aumentar o número de aulas de ciências nos ensinamentos básico e médio, com ênfase em práticas de laboratório.*
- *Aparelhar as escolas públicas com laboratórios de ciências, elementos de informática e bibliotecas.*
- *Dar aos licenciandos melhor formação experimental.*

Capítulo 7

Formação de Físicos e a Inovação

7.1 – Universalidade e diversidade na formação dos físicos

Juntamente com o iluminismo surgiu o método científico, que se revelou o método mais eficaz de investigação da natureza. O conhecimento gerado pela ciência trouxe consigo a possibilidade de manipular os fenômenos naturais, o que deu origem à tecnologia com base científica. Tecnologias cada dia mais baseadas na ciência têm gerado produtos com alto valor agregado – que trazem riqueza para os países onde são criados –, além de soluções para muitos problemas humanos.

Desde Aristóteles, o conhecimento decompôs-se em um número crescente de disciplinas, classificadas pelo objeto material de estudo: a biologia dedica-se a investigar sistemas vivos, a geologia estuda a formação e a evolução do Planeta etc. Mas a física (que Aristóteles definiu como o estudo dos sistemas não-orgânicos) e a química têm de ser definidas de uma maneira um tanto diferente, pois se dedicam à investigação de processos naturais que permeiam todos os fenômenos e, por isso, classificá-las pelo seu objeto de estudo torna-se difícil. A física, em especial, investiga as leis gerais que regem a natureza e, portanto, determinam os processos naturais presentes em todos os sistemas materiais.

De maneira intrigante, a natureza tem se mostrado passível de ser modelada por sistemas matemáticos, algumas vezes com enorme precisão, e desde Galileu os físicos adotaram a matemática como a linguagem apropriada para modelar os fenômenos naturais. Para isso, necessitam tanto do conhecimento profundo e quantitativo desses fenômenos, obtido por meio de medidas dos sistemas sob estudo, quanto do domínio de teorias matemáticas. Mais recentemente, os físicos também se apóiam em técnicas computacionais, tanto analíticas como numéricas. A importância dessa formação abrangente é ilustrada pela Figura 7.2, que aponta os conhecimentos e habilidades que os físicos consideraram muito importantes em suas atividades.

Quatro fatos conferem à física um papel relevante no mundo moderno:

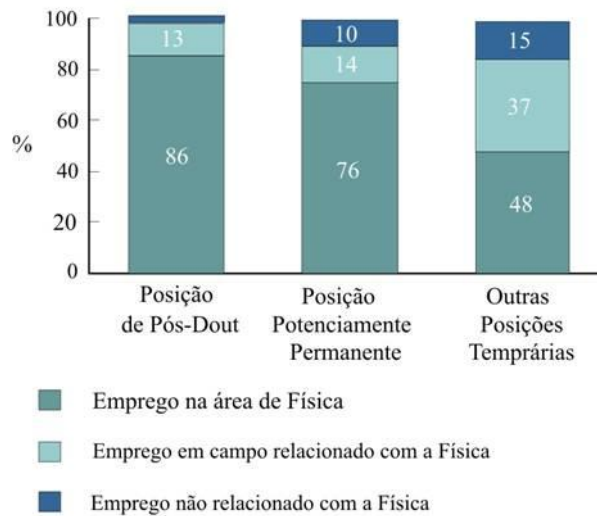
- Muitas das outras ciências, na medida em que se tornam mais quantitativas, têm adotado com sucesso os métodos de modelagem da física.
- Presenciamos um crescente processo de reducionismo em que fenômenos investigados por outras ciências acabam sendo entendidos com base nas leis gerais da física.

- O avanço atual dos recursos computacionais possibilitou a investigação mais efetiva do caos determinista e de sistemas complexos, o que abriu espaço para a descrição matemática de sistemas naturais aparentemente imprevisíveis, como o clima e muitos fenômenos biológicos.

- A física se transformou na plataforma em que se assenta parte significativa da tecnologia contemporânea.

Esses fatos têm de ser objetivamente levados em conta na formação do físico, principalmente na fase inicial de sua formação. Uma decorrência do primeiro deles é que o físico é hoje valorizado, talvez acima de tudo, por dominar um conjunto de métodos poderosos, de emprego amplo e diversificado. Por isso, nos países centrais, é crescente o número de físicos que vão trabalhar em outro campo, muitas vezes já no seu primeiro emprego. Essa mobilidade tem ocorrido em todas as profissões, mas dentre os físicos ela tem sido especialmente freqüente. A Figura 7.1, que mostra o campo de trabalho de recém-doutores em física nos EUA, ilustra essa realidade. Dentre os profissionais que têm o bacharelado ou o mestrado em física como titulação final, a migração para outros campos é ainda muito mais comum que a dos doutores.

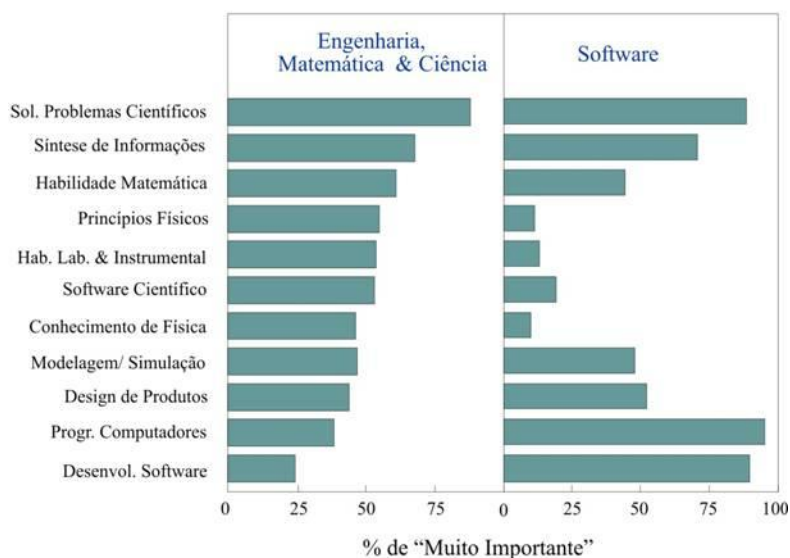
**Emprego inicial de Doutores em Física
por Campo de Trabalho e Tipo de Posição
Classes de 2002 e 2003 - EUA**



Fonte: AIP First Employment Report

Figura 7.1

Conhecimentos e Habilidades Indicados como Importantes
por Bacharéis em Física 5 a 8 anos após a titulação, segundo o
Campo Principal do seu Emprego



Fonte: AIP 2003

Figura 7.2

A Figura 7.2 mostra o tipo de conhecimento e de habilidade que os bacharéis em física americanos consideram importante no seu trabalho. Vê-se que, independentemente do seu campo de trabalho, os físicos consideram como muito importantes conhecimentos que extrapolam consideravelmente o que se tem ensinado, ou pelo menos enfatizado, nos cursos de física tradicionais. Apesar disso, os cursos de física têm preparado seus alunos para resolver problemas científicos – de naturezas diversas – e em todo o mundo os físicos são respeitados por sua habilidade nesse item. Como conseqüência, surgiu recentemente a demanda no mercado de trabalho, em países mais desenvolvidos, por físicos em setores como serviços bancários, análise de dados, etc. Assim, os próprios alunos têm buscado uma formação mais multidisciplinar. Cresce rapidamente o número de estudantes de física que obtêm um outro bacharelado. No Massachusetts Institute of Technology, por exemplo, um terço dos estudantes de física obtêm um segundo diploma (um segundo *major*).

A investigação experimental dos fenômenos naturais requer medidas, as quais, nos dias de hoje, exigem um profundo conhecimento de técnicas experimentais, além do conhecimento das teorias científicas. Por exemplo, a compreensão da natureza da matéria a tal ponto que possibilite o projeto de novos materiais com propriedades bem específicas, não raramente especialmente desenhadas para um determinado fim, requer manipulação e medidas dos sistemas em condições físicas extremas, tais como pressões altíssimas ou baixíssimas temperaturas, perto do zero absoluto. Para atingir e controlar tais condições pode ser necessário desenvolver novos instrumentos de medida, de manipulação ou de controle. Como uma das características da pesquisa científica é que novas formas de investigação estejam sempre sendo propostas, o cientista experimental está sempre sendo exposto a novas situações. Para fazer face a tais desafios, além de dominar técnicas já existentes, ele precisa ter a capacidade de projetar novos instrumentos. De mais a mais, vale enfatizar, em condições extremas diferentes fatores influem em um dado fenômeno. A investigação da influência de

cada fator requer habilidade, profundo conhecimento teórico sobre os fatores e domínio de diferentes técnicas de controle e medida.

Assim, atualmente a pesquisa de vanguarda que leva a um resultado conclusivo sobre um determinado fenômeno requer diferentes habilidades que muitas vezes não podem estar concentradas em um único pesquisador, o que significa que muitos diferentes profissionais devem ser formados e colocados a cooperar para a realização de pesquisa.

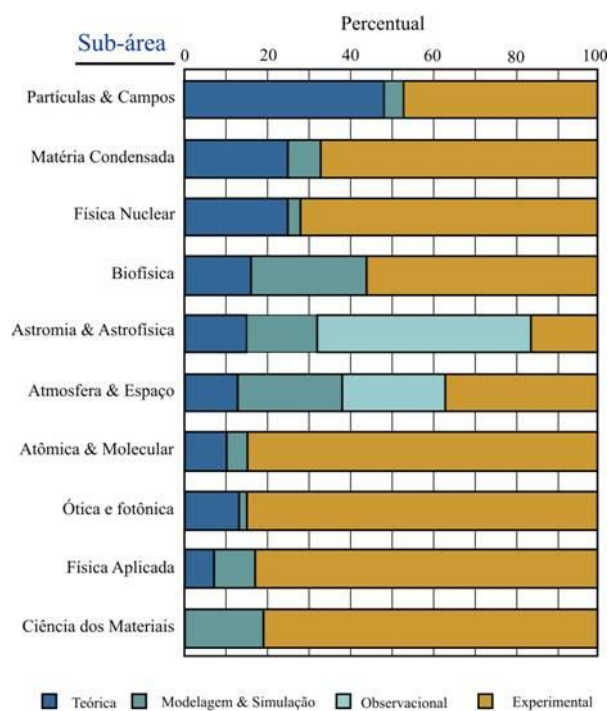
Existem diferentes estratégias para organizar a infra-estrutura para a pesquisa de vanguarda, que se refletem na maneira como estão definidos os departamentos e centros de pesquisa. Em uma ponta está a divisão por disciplinas, estrutura seguida pela grande maioria das universidades brasileiras, onde existem os departamentos de matemática, física, química, etc. Um segundo tipo de divisão é por meio de temas, onde profissionais de diferentes áreas trabalham focados na resolução de um dado problema ou na investigação de um dado sistema. Nesta forma encontram-se, por exemplo, centros temáticos de pesquisa – em computação quântica, neurociência, meteorologia, nanociência etc. Atualmente, esta forma de organização parece ser a mais indicada quando problemas tão desafiantes quanto a construção de um computador quântico ou a conexão entre mente e cérebro humanos devem ser abordados.

Em suma, são necessários pesquisadores com base conceitual que possibilite o diálogo entre indivíduos especializados nas diferentes abordagens (teoria, técnicas experimentais ou computacionais), bem como em diferentes áreas do conhecimento.

7.2 – Formação de físicos experimentais

A Figura 7.3 pode ser usada para mostrar que em muitas áreas da física o número de estudantes que fazem teses experimentais nos EUA é muito alto. Isso contrasta claramente com a situação brasileira, ilustrada na Figura 7.4, onde se verifica que mais da metade das teses de doutorado defendidas no Brasil em 2003-2004 foram teóricas. Essa situação foi gerada espontaneamente pela demanda de físicos observada no Brasil. Uma vez que quase todos os doutores em física trabalham na Academia, e que esta usualmente emprega indiscriminadamente teóricos e experimentais, esses dois tipos de profissionais acabam sendo formados em números aproximadamente iguais. Já nos países mais desenvolvidos, nos quais invariavelmente existe uma pujante indústria que emprega físicos, a demanda por físicos experimentais é maior porque as indústrias contratam muito majoritariamente físicos experimentais. Uma situação como a brasileira tende a se perpetuar, pois a falta de maior número de físicos experimentais acaba sendo um empecilho para o florescimento de indústrias voltadas para a inovação. Para romper esse círculo vicioso, é preciso que o Estado intervenha, não só formando mais pessoas capacitadas para desenvolver tecnologia – incluindo físicos experimentais – mas também gerando mercado de trabalho para esses profissionais.

Tipos de Pesquisa de Tese de Doutorado
Classes de Física & Astronomia de 2002 & 2003 (EUA)



Fonte: AIP Initial Employment Survey

Figura 7.3

Teses de Doutorado em Física e Astronomia Defendidas no Brasil em 2003 e 2004			
	Experimental	Teórica	Total
Matéria condensada	65	65	130
Partículas & Campos	10	66	76
Óptica & Fotônica	29	13	42
Astron. & Astrofísica	21	8	29
Biofísica	21	5	26
Atôm. & Molecular	9	16	25
Fis. Est. & Modelagem	0	25	25
Ciência dos Materiais	19	0	19
Física Nuclear	8	7	15
Caos & Complexidade	0	14	14
Plasma & Fusão	8	1	9
Outras Sub-Áreas	11	21	32
TOTAIS	201	241	442

Fonte: Capes

Figura 7.4

Além de formarmos mais físicos experimentais, devemos estar atentos a outros elementos. A formação de físicos voltados para pesquisa de vanguarda não pode de maneira alguma prescindir de fortes bases conceitual e matemática, como também experimental. No Brasil por várias causas, formamos bem quanto aos quesitos teoria e base matemática e computacional, mas carecemos ainda de formar profissionais em número suficiente que, além de ter familiaridade com as técnicas experimentais, sejam capazes de propor modelos empíricos, conectando teoria e dados experimentais, e de propor novas técnicas experimentais, projetando novos aparelhos de medidas, utilizando conceitos teóricos para tal.

Este documento focaliza não somente a inserção dos físicos formados no Brasil na indústria, mas também a inserção da física na indústria brasileira, de maneira a contribuir para que produtos inovadores sejam projetados e produzidos no País. Para tal, uma comunidade de físicos com forte base conceitual e com *expertise* em técnicas experimentais, analíticas e computacionais (não necessariamente no mesmo indivíduo) é absolutamente necessária, mas não é suficiente. O conhecimento resultante da atividade de pesquisa destes profissionais deve se traduzir em produtos capazes de satisfazer demandas em alguma etapa da cadeia produtiva. A invenção de novos produtos, seja na forma tangível de novos equipamentos, materiais etc., seja na forma de novos processos ou protocolos para algum fim, requer ainda outras capacidades além daquelas típicas de um cientista. Entre essas capacidades podemos citar a de reconhecer as necessidades da indústria, ou de outros setores produtivos, e a capacidade de, com base em conhecimento científico recém-produzido, projetar produtos capazes de satisfazer as demandas existentes, adequadas aos potenciais usuários desses produtos.

7.3 – Física e pesquisa na Engenharia

Embora o papel típico do cientista seja a produção de conhecimento e o papel típico dos profissionais em ciência aplicada, como engenheiros e bacharéis em física e em química, seja projetar e desenvolver produtos, a inovação requer uma interação entre a investigação científica e o projeto do produto final. No caso específico da inserção da ciência na indústria, isso implica que profissionais em ciência aplicada devem ser capazes de compreender avanços científicos, às vezes recentes, para aplicá-los em novos produtos, bem como os cientistas devem ser capazes de propor possíveis aplicações dos conhecimentos que produzem. Um produto realmente inovador, cada vez mais, é o resultado da constante interação entre cientistas e tais profissionais, que possibilite a discussão de novos avanços científicos bem como as suas possíveis aplicações.

É importante reconhecer que, à medida que seguimos uma linha que vai desde o conhecimento conceitual sobre um determinado sistema até o projeto de um produto finalizado, o número de profissionais necessários para cada etapa vai aumentando. Assim, em geral, no projeto de um produto inovador estão envolvidos menos pesquisadores na proposição da teoria que na análise e caracterização experimental, e estes são necessários em menor quantidade que o número de profissionais envolvidos no projeto do produto final. No Brasil, devido à pequena dimensão do mercado de trabalho na indústria inovadora, não se cumpre essa proporção desejada entre os

profissionais dedicados à produção de conhecimentos e tecnologias na cadeia de inovação, o que tem forte relação com os dados da Figura 2.6, onde se verifica que mais de 90% dos pesquisadores brasileiros trabalham em universidades ou órgãos de pesquisa governamentais. Neste sentido, visando satisfazer as demandas de uma possível cadeia de inovação industrial, a formação de recursos humanos deve prever a formação em proporções crescentes de físicos teóricos, físicos experimentais, e profissionais em ciência aplicada, como engenheiros e bacharéis nas ciências básicas.

A formação de recursos humanos para a inovação é um problema complexo que deve ser investigado por uma equipe multidisciplinar. Nesta seção, analisaremos só a formação de físicos e de engenheiros capazes de cooperar em programas de desenvolvimento tecnológico. Obviamente, para desenvolver uma indústria inovadora o País também precisa de uma grande variedade de profissionais não considerados em nossa análise. Dentro do âmbito limitado da presente análise, consideramos necessário formar físicos e engenheiros que atendam ao seguinte quadro:

- Físicos teóricos com forte base conceitual e *expertise* em métodos analíticos e computacionais de investigação. A formação de tais pesquisadores requer instituições de ensino e pesquisa, onde se realize pesquisa básica de excelência, nos moldes tradicionais. Esses profissionais, o Brasil já mostrou capacidade de formar, como demonstra a alta produtividade científica dos físicos teóricos brasileiros. No entanto, para atender uma indústria voltada para a inovação, há também a necessidade da formação de físicos teóricos sensíveis às necessidades da indústria e capazes de diálogo com profissionais dedicados ao projeto de produtos industriais.
- Físicos experimentais com forte base conceitual e *expertise* tanto em técnicas experimentais de análise e caracterização como em instrumentação. Embora o País tenha formado vários bons físicos experimentais, a formação desses profissionais tem demonstrado deficiências tanto no número de pesquisadores formados como no conhecimento de instrumentação que damos a esses profissionais. Isso se deve em boa parte à falta de uma infra-estrutura adequada e de continuidade no financiamento da pesquisa, que geram dificuldades maiores para os programas experimentais de pesquisa, quando comparados aos programas teóricos. Aliada a isso, vem a incipiência da indústria inovadora do Brasil que, no seu presente estágio, demanda muito poucos físicos experimentais e quase não gera problemas a serem resolvidos pela pesquisa básica realizada na Academia. Esses dois fatores são as principais causas tanto do pequeno número de físicos experimentais no País quanto de nossa deficiência de físicos com grande *expertise* em instrumentação.
- Bacharéis e mestres em física experimental e em engenharia, com forte base conceitual e familiarizados com técnicas de medidas e análises modernas, capazes de dominar novas técnicas à medida que são criadas, além de projetar novos dispositivos e equipamentos, com base em conhecimentos de vanguarda. Estes profissionais são de maneira geral muito pouco demandados pela indústria existentes no País. Por isso, não são formados de maneira sistemática pelos cursos de física e de engenharia do País. Para formá-los, são necessários cursos com maior ênfase nas bases necessárias para a inovação. Tais cursos devem dar melhor preparo para atuação na indústria, no caso de cursos de física, e melhor formação em ciência de ponta, no caso dos cursos de

engenharia. Em suma: precisamos de físicos mais práticos e empreendedores e engenheiros mais científicos.

7.4 – Formação do físico para a Inovação

Nas décadas passadas o País apresentou uma situação temporariamente estável, embora não totalmente desejável: a formação de físicos era adequada para suprir o mercado de acadêmicos para as universidades, único setor a demandar significativamente físicos com formação de doutor, enquanto que a formação de engenheiros pouco voltados para a inovação era aceitável para o mercado de trabalho existente. Esse processo, no entanto, está em colapso. Por um lado as universidades são pressionadas a produzir pesquisas que possam eventualmente ser traduzidas em produtos inovadores, enquanto a indústria brasileira é pressionada pela competição no mercado globalizado, que tanto insere novos atores no mercado nacional – pressionando as indústrias nacionais por maior competitividade – como oferece novos mercados para produtos brasileiros que se revelarem competitivos. Essas pressões, aliadas ao sério problema social do País, cuja solução certamente passa pela produção de artigos de alto valor agregado, torna desejável, senão imprescindível, o desenvolvimento de uma indústria inovadora no País.

Como apontado no Capítulo 2 e na seção 7.2 deste capítulo, nos países onde existe uma indústria inovadora já bem estabelecida observa-se uma situação, pelo menos temporariamente estável, onde demanda e procura dos recursos humanos capacitados para a inovação satisfazem-se em algum grau. Tipicamente a razão entre físicos experimentais e teóricos demandados pelo mercado – e, portanto, formados pela Academia – é de 2:1 e desenvolvimento de produtos é uma atividade que concentra grande parte dos físicos graduados e pós-graduados, além de uma quantidade ainda maior de engenheiros de desenvolvimento. Entre 60 e 80 % dos pesquisadores formados em física trabalham para a indústria e muitos engenheiros obtêm o grau de doutor. Não surpreende que esses países detenham grande parte das patentes internacionais e uma parte substancial de seu produto interno venha de indústrias inovadoras, muitas das quais criadas como *spin-offs* das universidades – isto é, fundadas por pessoal acadêmico, muitas vezes para explorar sub-produtos de pesquisas básicas. Assim, em um ciclo virtuoso, a indústria inovadora demanda físicos, que são formados nas universidades e que, por sua vez, geram mais indústrias inovadoras.

Várias ações são necessárias para levar o Brasil desde a presente situação, em que a indústria inovadora ainda é pouco significativa, para uma situação auto-sustentável, onde a indústria inovadora seja vigorosa, competitiva e atuante. Recomendamos, no final do capítulo, algumas ações visando um *kick-off* inicial e, posteriormente, suprir as demandas por físicos pesquisadores preparados para atuar em indústrias, assim como de bacharéis em física e engenheiros preparados para a inovação. Essas ações visam suprir um mercado que está ainda por vir, representado por indústrias inovadoras que no momento não existem substancialmente no País. Ações para criá-las são discutidas em outros capítulos deste documento. Enquanto tais indústrias não forem uma realidade, ações governamentais devem sustentar o processo, dando incentivos para a inserção de doutores em física na indústria.

Finalmente, enfatizamos que tais ações para a criação de uma indústria inovadora no País baseiam-se no cenário já existente, onde pesquisa básica de qualidade já é realizada. Essa matriz é essencial para a boa formação científica dos físicos e engenheiros que venham eventualmente a atuar na inovação, e precisa ser preservada. Por isso, as ações propostas devem ser vistas como adicionais às dos institutos e cursos já existentes, o que demanda recursos adicionais. A mera realocação dos recursos das atuais instituições voltadas para a formação de pesquisadores acadêmicos e ciência básica para a formação de pesquisadores voltados para a inovação põe em risco todo o projeto da criação de uma indústria inovadora no País, pois destrói a fonte geradora da inovação que é a produção de ciência básica de vanguarda.

Recomendações

- *Incentivos diferenciados para instituições capazes de formar também doutores em física que trabalhem em indústrias.*
- *Incentivar teses experimentais em física visando à relação de 2:1 entre teses experimentais e teóricas.*
- *Cota especial de bolsas para teses experimentais em física e bolsas para teses de doutorado experimentais com possibilidade de duração mais longa.*
- *Incentivos para cursos de graduação em física e em engenharia com currículos mais modernos e flexíveis, que pela oferta de cursos de empreendimentos ou promoção de eventos (workshops, feiras universidade-indústria etc.) incentivem interações Academia-Empresa.*
- *Incentivos para cursos de graduação em física e em engenharia com treinamento em técnicas de manipulação e medidas e formação mais focada na inovação.*
- *Incentivos para cursos de graduação em física e em engenharia flexíveis, que permitam formação multidisciplinar.*

Capítulo 8

Infra-estrutura da Pesquisa no Brasil

8.1 – Estado da infra-estrutura de pesquisa

A infra-estrutura de pesquisa no Brasil tem deficiências no tocante aos seus laboratórios – em particular, no que diz respeito a equipamentos – que poderiam ser sanadas em tempo relativamente curto. Apesar de se encontrarem pesquisas científicas sendo realizadas por todo o País, elas ainda têm, em muitas áreas, um cunho muito predominantemente teórico, e a pesquisa experimental é realizada em laboratórios desatualizados, mesmo nos melhores centros. Um calcanhar de Aquiles evidente no nosso parque científico é seu pequeno envolvimento em instrumentação científica: temos poucos quadros especializados no desenvolvimento de ferramentas científicas. Essa é uma área na qual a interação ciência-indústria poderia ser particularmente rica.

Já foi enfatizado em mais de uma ocasião neste documento que a produtividade da ciência brasileira tem avançado de forma sistemática e mais rapidamente que a da maioria dos outros países, se medida pelo número de trabalhos publicados em periódicos especializados, pelo número de citações a tais artigos etc. No entanto, essa produção científica não reflete a posição brasileira em termos econômicos, medida pelo Produto Interno Bruto. Enquanto somos a 9ª economia do mundo, estamos em 15º lugar na produção de artigos científicos. Porém, essa situação tem condições de contorno favoráveis para que seja melhorada. A formação de recursos humanos, um dos pilares no qual uma política científica e tecnológica se apóia, apresenta crescimento notável. O número de doutores formados no País tem crescido à taxa de 15% ao ano, que é superior à de quase todos os países. Tal crescimento é o resultado da ação sistemática e continuada de agências como a Capes, o CNPq, as FAPs etc. Com respeito à formação de pessoal de alto nível, o País abandonou de forma um tanto abrupta a formação de doutores no exterior. Seria bastante saudável para a ciência brasileira que fosse retomada a política de formação no exterior de uma parte dos doutores nas áreas científicas, particularmente em áreas experimentais.

A produção científica no Brasil está localizada, essencialmente, nas universidades, em contraste com países bem-sucedidos, onde ela se encontra distribuída entre universidades, centros de pesquisas e indústrias, como já foi apontado no Capítulo 2. O Brasil conta, no presente, com um leque bastante amplo de instituições públicas dedicadas a pesquisa científica. Além das universidades e, em menor escala, escolas

técnicas, as atividades de pesquisa científica no Brasil se desenrolam também nas unidades de pesquisa do MCT, incluindo entre elas os laboratórios da CNEN; a Embrapa, ligada à Agricultura; o Inmetro, ligado à Indústria e Comércio; a Fiocruz, ligada à área da Saúde; o CTA e os institutos de pesquisa do Exército e da Marinha, ligados à Defesa. Dois centros de pesquisa tecnológica estão localizados no Rio de Janeiro: o CENPES da Petrobrás, e o CEPEL, ligado ao setor de energia elétrica. Não seria injustiça diagnosticar que grande parte dessas instituições está sub-dimensionada e, mais ainda, sub-equipada para realizar suas missões.

Os institutos do MCT podem servir de referência para guiar este olhar sobre a infra-estrutura de pesquisa do País. As três figuras exibidas um pouco adiante expressam a evolução orçamentária, o número de servidores nas unidades de pesquisa e a evolução orçamentária total desses institutos, respectivamente. Os orçamentos mostrados na Figura 8.1 referem-se a capital e custeio dos institutos do MCT (excluídas as Organizações Sociais). É interessante fazer o exercício de dividir o orçamento das unidades de pesquisa, mostrado na Figura 8.1, pelo número de seus servidores, mostrado na Figura 8.2, e calcular o orçamento mensal, dividindo pelos 12 meses do ano. O valor mais alto foi realizado em 2006, quando o gasto foi de cerca de R\$ 2480,00 por servidor, por mês. Este valor é 36% maior que o obtido em 2003, quando a cifra foi de R\$ 1820,00. Os orçamentos de 2005 e 2006 para o item “capital” representam um pouco menos que 20% do total. Se levarmos em conta ainda os salários, vemos que a fração dos gastos do Ministério com equipamentos é bastante pequena. Essa situação é um tanto atenuada pelos investimentos providos das Ações Transversais, mostradas na Figura 8.3, onde os valores para as atividades de pesquisa (a coluna azul) seriam no ano de 2005, cerca de 65 milhões de reais que, somados ao 16,5 milhões da Figura 8.1, dariam um total de 81,5 milhões de reais gastos com capital em todas as unidades de pesquisa do MCT. O diagnóstico é claro: o investimento em equipamentos nas unidades de pesquisa do MCT é pequeno quando comparado com outros custos, ou seja, salários e custos de manutenção. Se o mesmo diagnóstico for aplicado aos laboratórios universitários chega-se a conclusões similares.



Figura 8.1

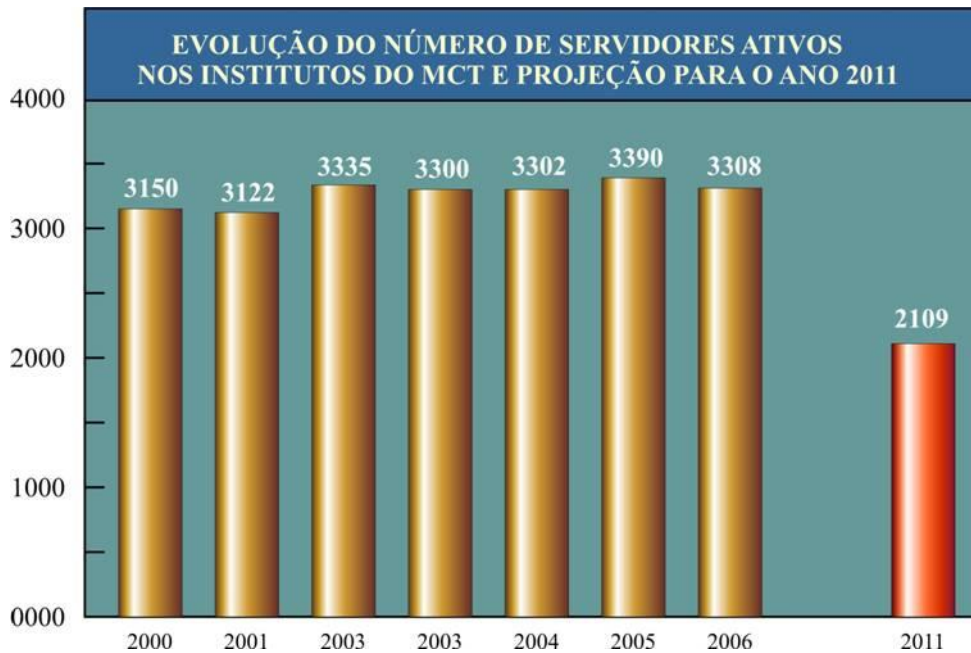


Figura 8.2

8.2 – Quadros para a Ciência

É especialmente revelador o dado mostrado na Figura 8.2, que aponta a evolução do número de servidores dos institutos do MCT. Nela há a indicação de que haverá uma queda de 30% nesse número nos próximos cinco anos, caso não haja reposição de quadros. Em si esse dado já é alarmante, mas ele exibe um outro fato que é devastador para instituições científicas. Ele indica que a idade média dos servidores do MCT é altíssima, pois, se um terço dos servidores será aposentado nos próximos cinco anos, fato decorrente da baixa taxa de reposição, pode-se inferir que a idade média dos servidores está bem acima dos 50 anos. Essa inferência certamente vale para os quadros científicos dos institutos. A experiência mundial mostra que a vitalidade científica de uma instituição está associada a um balanço entre quadros jovens e quadros mais experientes em que haja grande contingente de cientistas jovens. O treinamento desses cientistas jovens em institutos de pesquisas, nos países avançados, é uma excelente fonte de quadros para as indústrias e para o setor de serviços, em particular para seus laboratórios de pesquisa e desenvolvimento.



Figura 8.3

Temos a tendência a ver como a principal contribuição da ciência à sociedade os produtos da ciência: os dispositivos desenvolvidos nos laboratórios das universidades e institutos, os métodos e as patentes. No entanto, o fruto mais precioso do processo científico é o capital humano gerado. No Brasil, o processo de transferência de cientistas da Academia para o meio não acadêmico ainda é bastante incipiente e necessita ser estimulado. O problema está nos dois lados da equação. Por um lado, os cientistas, com bastante frequência, têm uma tendência a passar aos estudantes a visão de que não há vida cientificamente interessante fora da Academia. Por outro, as empresas no Brasil, em sua grande maioria, como não têm programas de pesquisa de longo prazo, vêem pouca necessidade de contar com doutores e mestres em seus quadros técnicos. Um sistema – universidades e institutos – que treine os seus cientistas de maneira a torná-los preparados para trabalhar também fora da Academia é mais fértil e dinâmico que um sistema com cultura endógena, como tem sido o nosso.

Contudo, é importante salientar que formar cientistas para trabalhar em empresas não significa treiná-los para tarefas específicas, o que tornaria limitado o seu horizonte. Em todo o mundo, raramente cientistas que vão para fora da Academia têm o preparo específico para uma determinada atividade. Normalmente eles são procurados pela sua formação geral, pela sua capacidade de enfrentar e resolver novos problemas, pela habilidade de selecionar e usar novas ferramentas, tanto instrumentais quanto computacionais. Esse é um relato bastante frequente, tanto de empregadores quanto de cientistas que estão fora do meio acadêmico (ver no Capítulo 7 o resultado de uma pesquisa referente a físicos). Uma capacitação particularmente útil do cientista está associada à sua experiência em instrumentação científica.

8.3 – Instrumentação

Já foi mencionado anteriormente (ver Capítulo 7) que instrumentação científica é um tema no qual o Brasil está bastante atrasado e que pede uma atenção especial. Para o avanço científico e tecnológico, é essencial não apenas um quadro de cientistas

competentes, mas também equipamentos que permitam a eles testar as fronteiras do conhecimento. O avanço científico vem com frequência associado a novos instrumentos. Raros são os exemplos em que experimentos importantes são realizados com equipamento de prateleira. E quando isso acontece, em geral, o experimento é realizado de modo inovador, ou seja, componentes comerciais são usados em novos contextos, em arranjos inesperados. É bastante comum que instrumentos desenvolvidos para um determinado objetivo – muito frequentemente para experimentos científicos – acabem por ter aplicações distintas dos objetivos originais. Exemplos ilustrativos disso podem ser encontrados nos vários equipamentos de diagnóstico médico modernos, que foram desenvolvidos a partir de sensores ou instrumentos criados para pesquisa em física. Dentre esses equipamentos de uso na medicina podemos mencionar tomógrafos diversos – por ressonância magnética (MRI), por emissão de pósitrons (PET), por raios X e por ultra-som –, vários sistemas para radioterapia, como o ecocardiograma Doppler e o laser. O equipamento científico mais importante disponível no Brasil é o acelerador de elétrons que produz a luz síncrotron no LNLS, em Campinas. A construção dessa máquina mostrou o potencial dos cientistas e tecnólogos brasileiros, pois ela foi desenvolvida com projeto brasileiro e grande parte dos componentes foi projetada e construída no País.

Grandes experimentos internacionais, em várias áreas da ciência, são internacionais porque a *expertise* científica e tecnológica necessária para levá-los a cabo muitas vezes é tão complexa que não é possível encontrá-la num único país, nem mesmo nos mais avançados. Isso é verdade nos experimentos de física das altas energias, em fusão nuclear, em astrofísica e cosmologia, em experimentos de monitoramento ambiental, em experimentos geofísicos etc. A experiência que cada país tem é consequência de sua história e de seu parque científico e industrial. Antes que o leitor desanime, por entender que nesse caso não temos muita chance de acompanhar parceiros mais avançados, é interessante notar que nos desafios que foram abordados por equipes brasileiras o resultado foi bastante positivo, mostrando um potencial significativo tanto nos quadros científicos quanto no parque industrial. No entanto, há problemas intrinsecamente brasileiros – a versão científica do chamado *custo Brasil* – que necessitam ser atacados para permitir o florescimento mais vigoroso dessa associação sinérgica entre ciência-indústria, no contexto de colaborações internacionais. São problemas tais como a dificuldade em honrar prazos, que seriamente dificultam nossa participação em empreendimentos que envolvam vários parceiros internacionais, e que por isso precisam ser planejados em planilhas e agendas com pouca margem para fracassos de qualquer um dos participantes. Tais dificuldades têm origem na dispersão do financiamento em muitas agências e programas, nas dificuldades de importação de componentes etc.

A capacidade de gerar sua própria instrumentação é um elemento essencial para que uma comunidade científica gere sua própria agenda e não emule simplesmente as agendas externas. É o que define a maturidade científica de uma comunidade. No Brasil ainda temos muito a avançar no desenvolvimento de instrumentação. No entanto, é essencial a compreensão de que instrumentação científica não é um fim, mas um meio. São os desafios científicos o que mobiliza a instrumentação científica, e sua realização exige quadros bem treinados, com laboratórios e oficinas apropriadas e diversidade de formação. Quadros não apenas científicos, mas também de formação técnica.

O exemplo da China é interessante (ver *Science*, Vol. 315, p. 1354, 2007). No início de sua modernização, ainda no início dos anos 80, passado o período da Revolução Cultural, o primeiro projeto científico abordado foi a construção de um

colisor de elétrons e pósitrons, o BEPC (Beijing Electron Positron Collider). Essa máquina, em operação até hoje, possibilitou a realização das mais precisas medidas da massa do lépton tau, um elemento importante na validação do Modelo Padrão da física das partículas. Tal medida colocou a China no mapa científico mundial. A construção dessa máquina ajudou a China a desenvolver sua capacidade técnica. Hoje, o Instituto de Física de Altas Energias de Beijing, que construiu o acelerador, exporta componentes de aceleradores para o Japão, Coreia e Estados Unidos. Na área da física, vários equipamentos atualmente em construção na China – que entrarão em operação nos próximos cinco anos – contam com orçamentos na casa de dezenas de milhões de dólares.

8.4 – Expansão e modernização da infra-estrutura

Apontamos a necessidade de o País expandir sua infra-estrutura de apoio às suas instituições de pesquisa científica e tecnológica. Parte desta expansão é uma continuação dos esforços, já em curso, para reformar e reequipar os laboratórios já existentes, tanto nas universidades quanto nos institutos de pesquisa. Este é um esforço que deve ser apoiado e encorajado. Mas o País necessita de um espectro de laboratórios de diferentes escalas, que vai do pequeno instrumento usado numa sala por um pesquisador e seus estudantes aos grandes equipamentos, que necessitam de equipes para operá-los e que estejam preparados para que uma plethora de pesquisadores tenha acesso a eles.

As instituições existentes têm realizado um trabalho científico muito significativo, mas têm limitações intrínsecas, ligadas às suas histórias e culturas. Certamente, são componentes importantes na equação da expansão das atividades científicas do País. O baixo índice de renovação de seus quadros é um problema sério e deve ser atacado com vigor. As universidades brasileiras também têm um baixo índice de renovação. Suas estruturas burocráticas são bastante pesadas, e a carga didática muitas vezes é rígida e uniforme, sem consideração do envolvimento de professores em programas de pesquisa. A interação dos institutos e departamentos científicos das universidades com as indústrias, em geral, é bastante incipiente e quando ocorre é decorrente da iniciativa de pesquisadores. Interações desse tipo são benéficas, mas não suficientes. É importante buscar também interações institucionais em que parte de um instituto de pesquisa se engaje na solução de um problema tecnológico relevante e desafiador.

Nos institutos do MCT, com frequência prevalece uma mentalidade corporativa, e uma das suas conseqüências é uma atitude defensiva dos pesquisadores em relação à interação com seus pares na universidade. Quando isso ocorre, o instituto age em competição, em vez de atuar como elemento de aglutinação científica na sua área de atuação. Evidentemente, para atuar como elementos de aglutinação os institutos devem aceitar a participação da comunidade externa nos seus órgãos de decisão científica. Mais recentemente já se nota nesse aspecto uma atitude mais aberta por parte de muitos institutos, mas ela ainda é bastante tímida. A solução desse tipo de problema requer uma nova atitude e também novas formas de gestão, tais como a de Redes Cooperativas, que focalize problemas científicos bem definidos, nas quais o instituto atue como elemento articulador e sua estrutura seja usada como alavanca de progresso.

A Política Científica e Tecnológica do País necessita dar um passo adiante para que nossas empresas possam meramente se manter no atual nível de competitividade. Para melhorar as condições de competição das indústrias e serviços brasileiros, esse passo deve ser mais largo e incluir uma expansão significativa da infra-estrutura científica. Ao desenvolver um modelo para essa expansão, que possa ser aplicado ao nosso País, deve-se ter em mente que tal infra-estrutura deve estar conectada ao esforço de modernização do nosso parque produtivo. Essa expansão deve também ter um papel indutor da multidisciplinaridade pelo tecido de uma rede de conexões entre as grandes áreas científicas. O tema da multidisciplinaridade é muito apregoado, mas na prática tem tido pouca ressonância em ações concretas.

A primeira questão com que se defronta refere-se ao próprio modelo para essa expansão. O que seria mais efetivo: expandir as instituições existentes ou gerar novas? Um sistema centralizado ou descentralizado? Uma única instituição ou miríades de instituições dedicadas cada uma a um tema específico? O ponto central dessa expansão é que ela deve estar lastreada em equipamentos e na infra-estrutura necessária para operá-los, tanto na forma de novos edifícios, quanto na de cientistas, engenheiros e técnicos preparados. Sua gestão deve ser inovadora, e ter em vista o uso eficiente de recursos e o acesso da demanda qualificada a eles. A expansão deve ser instrumentada com métodos de gestão eficientes, para focalizar e solucionar gargalos estruturais do País passíveis de abordagens científicas e tecnológicas.

Quanto à segunda questão referente à expansão da infra-estrutura de pesquisa, seria mais apropriado um sistema descentralizado, ou seja, com laboratórios e atividades espalhadas pelo País, que dê apoio a todo o sistema de ciência e tecnologia já existente. No entanto, a eficácia do sistema de novos institutos exige integração do planejamento, ou seja, um sistema de coordenação centralizado. A própria ação multidisciplinar requer uma coordenação, capaz de integrar as diferentes componentes do sistema para gerar ações orquestradas de resposta aos desafios. A identificação de áreas em que novas instituições devam ser criadas ou a decisão de que tipos de equipamentos de grande porte trarão melhor custo benefício necessitam de mecanismos de gestão inovadores. Evidentemente, a gama de problemas que demandam soluções científicas e tecnológicas mostra que a expansão do sistema tem um universo de temas e abordagens muito variado. Isto pode induzir à tentação de gerar um grande número de instituições e de programas, mas que por serem ralos, dispersos e fracos, tornem-se ineficazes. É um desafio interessante encontrar o equilíbrio que contemple a diversidade, multidisciplinaridade, descentralização de ações e coordenação centralizada.

8.5 – Um modelo para Institutos de Pesquisas

É preciso buscar um modelo que sirva de espinha dorsal para a expansão da infra-estrutura de pesquisas do País que, por um lado, agregue valor ao trabalho que já é habitualmente realizado pelas universidades e institutos de pesquisa e, por outro, seja portador de uma flexibilidade que possibilite abordar novos desafios. Esse modelo tem como objetivo a geração de instituições que atuem tendo como clientes tanto o sistema de ciência e tecnologia já implantado no País como os agentes sociais que necessitam de soluções de natureza científica para problemas estratégicos. O termo “instituição” usado de agora em diante pode ser entendido no plural. Os curadores dessa instituição,

ou melhor, seu Conselho Diretor, seria formado por representantes da comunidade científica e diferentes setores do Estado e do meio empresarial que tenham demanda de serviços científicos. O modelo de funcionamento dessa instituição deve ser organizado em torno de projetos, com cronogramas e metas bem definidos. Esse modelo pode evitar os problemas típicos de instituições que se mantêm muito rígidas, com programas de trabalho que acabam por adquirir vida própria, em que sua existência é a justificativa para sua continuidade, levando-as a perder a percepção de sua missão. Instituições de natureza acadêmica tradicionais têm tipicamente uma imobilidade bastante grande e um conservadorismo intrínseco que, com os mecanismos atuais de avaliação, levam a um comportamento que pode ser qualificado como “*uma ciência pouco afeita ao risco do insucesso*”. Com frequência pesquisadores trabalham somente em problemas de conclusões previsíveis, que resultem em trabalhos que possam ser publicados nas boas revistas. Não importa muito se pouca atenção é dada a eles. É claro que todo trabalho científico deve ter como consequência sua publicação em boas revistas, isso é a essência do trabalho científico. No entanto, o trabalho científico desbravador, com frequência encontra obstáculos desafiadores, antes da chegada aos resultados importantes. Estas trajetórias imprevisíveis custam tempo e muito esforço, mas fazem parte também da essência do trabalho científico. Os institutos de pesquisa acadêmicos geram suas próprias agendas de trabalho, o que é próprio de sua natureza, mas isso inviabiliza-os de servirem como elementos de uma infra-estrutura voltada para atender agendas científicas que lhe são externas.

Os programas de pesquisa associados a essa instituição não podem estar em competição com os laboratórios de universidades. A instituição deve ter implantada no seu código genético, desde o início, o papel complementar ao dos institutos de pesquisa de natureza acadêmica e ao das universidades. A ausência de um programa de pós-graduação é essencial, e seu estabelecimento deve ser expressamente vetado. A razão para essa norma é que os mecanismos para sua avaliação são diferentes dos usados para universidades e eles não podem estar atrelados à métrica de sistemas de avaliação, como o da Capes. Porém, a instituição pode ter estreita colaboração com universidades, que inclua associação de estudantes aos seus programas de pesquisa. No entanto, a supervisão do andamento de teses de pós-graduação e a escolha de temas é sempre responsabilidade dos pesquisadores associados às universidades ou institutos de origem dos estudantes. Pela mesma razão, os pesquisadores associados à instituição seriam impedidos de se submeterem à avaliação de programas como a Bolsa de Produtividade em Pesquisas do CNPq ou auxílios às pesquisas das agências de fomento, em competição com seus pares pertencentes às instituições acadêmicas. Isto não significa que o desempenho dos programas da instituição não deva ser avaliado. Os programas da Instituição devem ser avaliados em confronto com suas metas e objetivos aprovados previamente. Planejamentos estratégicos e planos diretores de cada unidade e de cada programa de pesquisa devem fazer parte do dia a dia das atividades da instituição.

8.6 – Ciência experimental

A ênfase dessa instituição deve ser a atividade experimental, a atividade da medida, do desenvolvimento de ferramentas, métodos e técnicas, de gestão de projetos complexos e, eventualmente, o desenvolvimento de aplicações decorrentes dessas ações. Atividades que possam ser caracterizadas como estudos puramente teóricos são mais bem desenvolvidos no âmbito das universidades e dos institutos de natureza

acadêmica. Outro tema, ao qual é dada pouca atenção entre nós, mas que é essencial no mundo de hoje, é a gestão científica e, em particular, a gestão de grandes projetos. Que a gestão de projetos científicos seja realizada por cientistas, é natural e importante. Porém, é uma tarefa que exige dedicação muitas vezes exclusiva, uma função impossível de ser realizada quando é necessário manter-se uma Bolsa de Produtividade ou ministrar um curso na universidade. Cientistas que aceitem esse tipo de responsabilidade devem ter treinamento específico para cumpri-la a contento. Elas fazem parte, hoje, das especializações de funções no mundo da ciência. Quadros científicos dessa instituição teriam, também, este tipo de responsabilidade, que exige combinar experiência científica com experiência em gestão.

A questão que se coloca é: uma instituição deste tipo deveria realizar pesquisas de natureza básica? A resposta é sim, mas com qualificativo, desde que isto implique em desenvolvimento de instrumentação, ou de novos métodos e processos, ou em interação com a indústria, ou apoio a colaborações científicas internacionais de grande porte. Mas em contraste com o trabalho das universidades, os objetivos das pesquisas de natureza básica devem ser bem definidos, de modo que os progressos possam ser aferidos, e devem ter escalas de tempo bem delineadas.

Uma questão bastante relevante nesse contexto é a multidisciplinaridade da abordagem dos temas. Temos uma tradição bastante corporativa no Brasil, a qual, com frequência, dificulta a exploração de temas científicos com abordagem mais complexa. Novamente, nesse contexto a multidisciplinaridade deve estar no código genético da instituição.

A lista de temas que poderiam ser objeto dessa classe de instituição é enorme, mas é instrutivo citar algumas, a título de exemplo. Certamente essas instituições devem ter ação intensa no desenvolvimento de instrumentação científica, seja ele voltado para o de detectores de radiação, ou instrumentação para aplicações médicas, ou para o sensoriamento ambiental, lasers para aplicações especiais ou lidars para sensoriamento remoto. Também, nas suas ações, estão o desenvolvimento de microeletrônica e software necessários para a ciência, que cobrem desde equipamentos de controle, de aquisição de dados, de processamento de sinais, até equipamentos de comunicações. Esta classe de instrumentação, eletrônica e software tem aplicações amplas, em todas as áreas da ciência e, podem ter desdobramentos em aplicações de natureza comercial. O mesmo equipamento que faz a aquisição e processamento de uma rede de sensores ambientais pode, com poucas modificações, coletar dados *on-line* de sensores aplicados a uma rede de distribuição de eletricidade, alimentando um sistema para diagnosticar precocemente instabilidades na rede elétrica. A gestão de bancos de dados científicos, p.ex. bancos de dados químicos, atmosféricos, geográficos, marítimos, ou catálogos de biodiversidade, pode ser trabalho desta instituição. O tema “Energia” com pesquisas sobre diferentes fontes de energias renováveis, sobre mecanismos eficientes de conservação, ou o desenvolvimento de novas gerações de reatores nucleares, mais adequados às necessidades brasileiras, são temas típicos desta instituição. A sinergia com a pesquisa sobre novos materiais, sejam elementos para uso em células fotovoltaicas, materiais metálicos, vidros, plásticos, materiais têxteis pode ser de grande valia quando abordados de forma integrada. Temas chave hoje, como o monitoramento do meio ambiente e da água em larga escala, exigem uma organização estruturada e o desenvolvimento de sensores de baixo custo para serem efetivos. Outras questões, que normalmente não são abordadas como questões científicas e tecnológicas, exigem no Brasil de hoje, uma abordagem científica e tecnológica. O problema dos grandes aglomerados urbanos brasileiros, com suas questões como a

infra-estrutura dos meios de transporte, do tráfego urbano, do controle do espaço aéreo, do problema das águas e esgotos, da poluição ambiental são temas que poderiam fazer parte das ações desta classe de instituições. Uma abordagem científica e tecnológica a estes problemas tem como consequência uma alocação mais estruturada de recursos. É uma lista que não se esgota.

Recomendações:

- *Criação de novas instituições de pesquisa científica e tecnológica, para a gestão e execução de projetos e equipamentos de grande porte.*
- *Programas de estímulo ao desenvolvimento da instrumentação científica e, em particular, em associação com indústrias.*
- *Estímulo aos programas científicos mobilizadores, de interesse estratégico, com caráter multidisciplinar.*

Capítulo 9

Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial

9.1 – A cultura da academia e da empresa

A história do século 20 ensinou que a capacitação científica é condição necessária, mas não suficiente, para que um país desenvolva uma economia baseada na tecnologia e na inovação. A demonstração mais eloqüente desse fato é a Índia. Como herança da dominação inglesa, a Índia cultivou uma ciência que já no início do século atingiu, em algumas áreas, o mais alto nível. Três cientistas indianos [C. V. Raman (1888 – 1970), S. Chandrasekhar (1910 – 1995) e A. Salam (1926 – 1996)] ganharam o Prêmio Nobel de Física, e S. Ramanujan (1887 – 1920) foi um dos maiores matemáticos do século 20. Entretanto, só muito recentemente a ciência indiana começou a gerar efeitos importantes na economia local. Para que um país se torne competitivo em tecnologia, é necessário que ele crie uma ciência forte e também as condições propícias para o florescimento de empresas voltadas para a inovação. Dentre outros instrumentos empregados para o desenvolvimento tecnológico das empresas, muitos países têm criado redes de institutos temáticos de pesquisa tecnológica. A primeira organização desse tipo foi a Sociedade Fraunhofer, criada na Alemanha em 1949. Hoje a Sociedade congrega 58 institutos de pesquisa em vários temas da tecnologia, e emprega 9.500 pessoas, principalmente cientistas. Seu orçamento anual é de 1,2 bilhões de Euros, para o qual o governo contribui com pouco menos da metade. Organizações como a Sociedade Fraunhofer têm duas atribuições principais. Uma delas é desenvolver tecnologias que sejam relevantes para importantes setores da economia. Juntamente com o setor empresarial, a organização identifica os gargalos tecnológicos que embaraçam o desenvolvimento dos principais setores da economia e realiza pesquisa para resolvê-los. A outra atribuição da organização é promover a ponte entre os setores acadêmico e empresarial. Isso é realizado pelo simples fato de que ela mantém intensa cooperação tanto com a academia quanto com indústrias e outros tipos de empresas, e com tal intercâmbio põe em contato os dois setores. Cabe ressaltar que a atividade desenvolvida por tais organizações é complementar – e não idêntica – à da academia. Elas visam diferentes demandas e têm objetivos e *modus operandi* bem distintos. Conseqüentemente, a origem do seu financiamento é diversa e o montante de recursos humanos necessários pode tornar-se maior que aqueles requeridos pelos setores acadêmicos.

9.2 – O modelo da Embrapa

A Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária é um exemplo brasileiro do sucesso de organizações do tipo a que nos referimos. Foi criada em 1973 e sua missão é **“viabilizar soluções para o desenvolvimento sustentável do espaço rural, com foco no agronegócio, por meio da geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias, em benefício dos diversos segmentos da sociedade brasileira”**. No site da empresa, www.embrapa.gov.br, lemos ainda:

“Está sob a sua coordenação o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária-SNPA, constituído por instituições públicas federais e estaduais, universidades, empresas privadas e fundações que, de forma cooperativa, executam pesquisas nas diferentes áreas geográficas e campos do conhecimento científico. Tecnologias geradas pelo SNPA mudaram a agricultura brasileira. Um conjunto de tecnologias para incorporação dos cerrados no sistema produtivo tornou a região responsável por mais de 40% da produção brasileira de grãos, uma das maiores fronteiras agrícolas do mundo. A soja foi adaptada às condições brasileiras e hoje o País é o segundo produtor mundial. A oferta de carne bovina e suína foi multiplicada por 4 enquanto a de frango aumentou 18 vezes. A produção de leite aumentou de 7,9 bilhões em 1975 para 24,6 bilhões de litros, em 2005 e a produção brasileira de hortaliças, elevou-se de 9 milhões de toneladas, em uma área de 700 mil hectares, em 1980, para 17,4 milhões de toneladas, em 773,2 mil hectares, em 2005.”

A Embrapa é vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de onde recebe quase todo o seu orçamento anual de um pouco mais de R\$ 1 bilhão. Para cumprir suas atribuições, emprega cerca de 8600 pessoas, dentre elas cerca de 1180 pesquisadores com grau de doutor e cerca 1000 pesquisadores com grau de mestre.

9.3 – Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial

A história muito bem sucedida da Embrapa recomenda que o País crie outras empresas incumbidas de contribuir para o desenvolvimento de diferentes campos da tecnologia. No presente documento, sugerimos que se considere a criação de uma **Empresa Brasileira de Ciência e Tecnologia Industrial**. Tal empresa, que designaremos por **Embracti**, teria por missão **viabilizar soluções para o desenvolvimento industrial, por meio da geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias, em benefício da sociedade brasileira**. A Embracti poderia ser vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) ou ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Em qualquer caso, é importante que ela tenha estreita interlocução com esses dois ministérios, e ainda com os ministérios da Educação, do Planejamento e da Fazenda. Para garantir essa interlocução, a empresa deveria ter representantes dos cinco ministérios mencionados no seu Conselho de Administração.

A história da Embrapa⁹ mostra as principais razões pelas quais a empresa pôde sobreviver a muitos percalços e apesar deles tornar-se um empreendimento de tamanho

⁹ Os estudos que antecederam à criação da Embrapa estão registrados no *Livro Preto da Embrapa*. Sua história até 2005 pode ser encontrada no livro *Sol da Manhã*.

sucesso. A compreensão dessa história pode ser muito útil para que a Embracti também venha a ser uma empresa bem sucedida. A Embracti tem de delinear muito claramente sua missão e dentro dela definir suas metas no curto prazo. Nesse curto prazo – que não deve ultrapassar o horizonte de um mandato governamental –, tem de obter resultados que lhe confirmem um significativo apoio público. Principalmente o apoio de sua clientela imediata: o setor industrial brasileiro. No prazo de uns poucos anos, a Embracti tem de convencer os industriais do País de que é capaz de dar importante apoio ao avanço tecnológico de suas empresas e de torná-las mais competitivas na economia globalizada. Nos empresários industriais a Embracti tem de conquistar fortes aliados; na opinião pública, um prestígio que a torne menos vulnerável.

9.4 – A empresa e o apoio tecnológico à PITCE

Em março de 2004, o Governo anunciou a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE, com o objetivo de promover o avanço tecnológico de nossas empresas e torná-las mais competitivas no mundo globalizado. Ainda em 2004, foram criados o Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial – CNDI e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. Esta agência tem por missão **“promover o desenvolvimento industrial e tecnológico brasileiro, por meio do aumento da competitividade e da inovação”**. Essas iniciativas poderão dar um novo dinamismo à inovação e ao desenvolvimento tecnológico no Brasil. Mas a tradição e a experiência de nossas empresas em pesquisa tecnológica são tão incipientes que, para que os resultados sejam mais ágeis e significativos, é importante completar o sistema de apoio à PITCE com a criação de uma instituição que atue diretamente no desenvolvimento de tecnologia. Daí a importância de se criar a Embracti.

A Embracti deveria ter como objetivo tornar-se um grande promotor do desenvolvimento tecnológico das nossas indústrias, e suas ações deveriam ter como norte as diretrizes da PITCE. É forçoso reconhecer que a própria PITCE ainda precisa ser elaborada em seus detalhes; principalmente, precisa explicitar um elenco de ações capazes de gerar os resultados almejados e de pô-las em prática com a devida agilidade. Na verdade, a própria existência da Embracti será certamente um elemento instigador para que a PITCE se delinee com mais clareza. Como a Embracti necessita de uma definição mais perfeita da PITCE para nortear suas ações, ela teria de requerer do Governo essa definição e também apresentar-se para colaborar na sua feitura. Para isso, logo após ser criada, é preciso que a empresa tenha quadros com a dimensão e a qualificação requerida para que ela possa colaborar na elaboração mais detalhada da PITCE.

É importante ressaltar que as missões da ABDI e da Embracti não são redundantes, e sim complementares, pois, enquanto a ABDI deve articular e coordenar a execução da PITCE, a Embracti deve realizar pesquisa científica em temas cruciais que promovam o avanço tecnológico e a competitividade das empresas. No cenário que entrevemos e sugerimos neste documento, o País terá uma PITCE com objetivos e estratégias claramente definidos, a ABDI, que articulará e coordenará as ações decididas pela PITCE, e a Embracti, que será um órgão com a missão explícita de prover o apoio técnico para que as metas da Política sejam atingidas. A perfeita complementaridade e a cooperação harmônica entre a ABDI e a Embracti devem ser planejadas com grande atenção. Espera-se que a Embracti consiga tornar-se o principal

promotor técnico e científico da PITCE e que esta se revele capaz de desenvolver no País uma indústria altamente inovadora e competitiva.

9.5 – Coordenação do sistema brasileiro de pesquisa industrial

Há no País um grande número de instituições estatais incumbidas de apoiar o desenvolvimento tecnológico das indústrias. Algumas pertencem ao governo federal, tais como Instituto Nacional de Tecnologia – INT, o Centro de Pesquisa Renato Archer – CenPRA e outras. Há também instituições ligadas a governos estaduais, tais como o Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT (do governo do Estado de São Paulo), a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC (do governo do Estado de Minas Gerais) e outras. A Embracti deve trabalhar em harmonia e colaboração com essas instituições. Na verdade, da mesma maneira que a Embrapa coordena o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária – SNPA, a Embracti deve coordenar todo o complexo brasileiro de pesquisa industrial pertencente ao Governo, estabelecendo para isso convênios com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios. Por meio dessa coordenação, poder-se-á obter complementaridade na atuação dessas instituições e minimizar a duplicação de esforços.

Uma vez que a Embracti trabalhará para promover o desenvolvimento tecnológico das indústrias, uma estreita colaboração com elas é condição *sine qua non* para seu sucesso. Juntamente com essas empresas, ela deve identificar os gargalos tecnológicos que obstruem o desenvolvimento dos setores industriais, especialmente os priorizados pela PITCE, e realizar pesquisa para resolvê-los. Deve também assessorar as empresas em eventuais iniciativas para criar seus próprios laboratórios de pesquisa. Para as empresas que disponham de pesquisadores qualificados, a Embracti deve conceder acesso a seus equipamentos a fim de que tais pesquisadores realizem parte de suas pesquisas. Arranjos contratuais regularão os direitos intelectuais das empresas sobre pesquisa realizada em laboratórios da Embracti.

A colaboração da Embracti com a Academia – universidades e institutos de pesquisa – é essencial, principalmente para a realização de pesquisa básica que possa interessar a vários setores industriais. No seio de colaborações com a Academia, estudantes de pós-graduação poderiam realizar na Empresa pesquisa para sua tese. Porém, a empresa não deve ter programas de pós-graduação, que inevitavelmente comprometeriam sua agilidade. Sua atuação deve sempre ter objetivos práticos, perseguir metas e seguir cronogramas segundo os quais o desempenho possa ser aferido. Ainda que bem distinta da Academia, uma vez que a Embracti atuará na fronteira da inovação, ela terá de estar também qualificada para realizar pesquisa científica, de caráter mais básico. Isso porque, na sua fronteira, a tecnologia contemporânea se apóia de tal maneira na ciência que as duas pesquisas – científica e tecnológica – com frequência têm de conviver no mesmo ambiente. Todavia, toda e qualquer pesquisa científica que a Embracti empreenda tem de ser motivada por algum dos seus projetos de pesquisa tecnológica. Por tais razões, o corpo técnico da Embracti deve conter cientistas (matemáticos, físicos, químicos, biólogos, informatas, cientistas de materiais etc.), pesquisadores e tecnologistas. A maior parte dos pesquisadores de nível superior deve ter grau de doutor ou de mestre.

9.6 – Centros Temáticos

A Embracti deve criar Centros Temáticos de Pesquisa próximos aos diferentes pólos industriais do País. Naturalmente, o tema de cada Centro deve inspirar-se na vocação industrial do pólo específico. Respeitadas essas condições, ela deverá procurar distribuir seus Centros o melhor possível ao largo do território brasileiro. Nessa descentralização de atividades, cada Centro deve trabalhar em uma agenda definida pela direção central da Empresa, que também definirá o orçamento de cada uma das suas unidades. Além da proximidade física entre os centros de pesquisa e sua clientela preferencial, a Embracti deve buscar um alto nível de capilaridade para ampliar sua clientela e também o universo dos seus colaboradores na Academia. Trabalhos de extensão, instrumentos de divulgação eficiente das suas realizações e do seu potencial, e também um persistente trabalho de esclarecimento sobre o alto retorno do investimento empresarial em P&D devem ser parte importante das atividades da Empresa. Um bom departamento de comunicação é essencial para que ela possa expor e difundir com eficiência a sua identidade, as suas realizações e o seu potencial, além de alargar o âmbito da sua clientela e das suas parcerias, o que contribuirá para torná-la menos vulnerável às mudanças de política partidária inerentes ao estado democrático.

Cada centro de pesquisa da Embracti deve abordar, de maneira ampla, um elenco de problemas correlatos que tenham interesse para um conjunto relevante de empresas, e cuja solução possa levar a importantes avanços na sua competitividade. Uma fração não excessiva desses centros poderia dedicar-se a temas que, embora não tenham interesse imediato – interesse declarado – para empresas, sejam considerados estratégicos ou singularmente promissores no médio prazo. Nesse estágio das considerações, é prematuro e até pouco pertinente explicitar temas para os centros de pesquisa. Entretanto, alguns exemplos, de intuito meramente ilustrativo, podem ser úteis para dar uma idéia do tipo de problemas em que a Embracti poderá envolver-se.

- Sensores de infravermelho

Sensores de infravermelho médio e distante têm tido aplicações crescentes em áreas diversificadas tais como defesa, imageamento por satélites, visão noturna, meteorologia, medicina e investigação científica. Devido às suas aplicações em defesa – por exemplo, em mísseis capazes de perseguir alvos quentes – esses dispositivos não estão disponíveis para compra no mercado internacional. Assim, por razões estratégicas, que incluem a soberania nacional, o País precisa dominar toda essa tecnologia.

- Instrumentação industrial e médico-hospitalar

A parafernália de instrumentos empregados para diagnóstico e tratamento médico não cessa de crescer e de se sofisticar. Lasers, equipamentos para radiografia, tomógrafos diversos – por raios X, ultra-som, ressonância magnética (MRI), emissão de pósitrons (PET) –, ecocardiografia Doppler etc. estão se tornando rotineiros, e o País não tem como importar tais instrumentos para equipar adequadamente seus hospitais. Em alguns casos, nossa deficiência é dramática. Por exemplo, tomógrafos por emissão de pósitrons (os PETs, capazes de diagnosticar tumores com discriminação muito maior) só existem em São Paulo e no Rio. Isso porque empregam radioisótopos (principalmente Flúor - 17) de vida muito curta, e que por isso têm de ser produzidos perto do local de uso. No Brasil, o Flúor - 17 só é produzido em São Paulo (no IPEN).

Assim, além dos instrumentos mencionados anteriormente, é preciso que o País fabrique aceleradores de partículas para produção de radioisótopos de aplicação médica e também para radioterapia. A Embracti poderia desenvolver a tecnologia para esse tipo de instrumentação e repassá-la para empresas, em arranjos contratuais previamente estabelecidos.

- Materiais avançados

Novos materiais, e materiais melhorados, têm tido importância crescente em amplos setores industriais, e sua contribuição para a riqueza do mundo é enorme. Embora o Brasil já tenha atingido considerável competência científica na área de materiais, o nosso atraso tecnológico nesse setor é muito grave, exceto talvez na área de siderurgia. Há casos em que somos deficientes mesmo na produção de materiais relativamente pouco sofisticados, como fibras para pastilhas de freios. Ressalta-se ainda que alguns materiais que estão sendo desenvolvidos em muitos países poderão ganhar enorme importância econômica. Um exemplo são os semicondutores orgânicos emissores de luz. Prevê-se que em breve esses materiais podem estar sendo empregados para a produção de luminárias baratas, muito mais funcionais (porque os materiais são flexíveis) e enormemente poupadoras de energia. Displays diversos, incluindo os de televisores, provavelmente também serão produzidos com base em semicondutores orgânicos.

- Energia de biomassa

O Brasil está adiante de qualquer outro país na produção de etanol para uso combustível e tem um potencial incomparável para produzir energia a partir de vegetais. Para consolidar a liderança no setor, é importante que ampliemos nossa pesquisa em tecnologias industriais referentes à energia derivada de biomassa. Por exemplo, somos competitivos na produção de etanol a partir da sacarose. Entretanto, outros países estão avançando em pesquisas para produzir etanol a partir de celulose, e o potencial desse tipo de produção – em termos de toneladas por hectare por ano – é muito maior que o do etanol derivado da sacarose. Pesquisas sobre produção industrial de biodiesel também são inadiáveis. Nesse campo, a cooperação entre a Embracti e a Embrapa pode levar a grandes avanços.

- Semicondutores

Os enormes avanços nas tecnologias de processamentos, sobretudo na escala nanométrica, e o aparecimento de novos materiais vêm ampliando muito as áreas de aplicações dos dispositivos semicondutores, e com isso, novos nichos de mercado surgem a cada dia. Essas aplicações servem a inúmeros setores industriais (entretenimento, eletrodomésticos, automobilístico, aeroespacial etc.), além de serem úteis à modernização da agricultura, ao setor energético, e importantes para a segurança nacional. Dispositivos, em geral de filmes ultrafinos, a maioria baseados em diodos e transistores, vêm sendo aplicados em sensores os mais diversos, diodos emissores de luz, transistores transparentes aplicados à eletrônica flexível, etc. Um dos exemplos mais concretos é o da aplicação de diodos orgânicos luminescentes que podem ser aplicados tanto à fabricação de telas de matrizes passivas e ativas, como na área de iluminação de ambientes com alta eficiência. A aplicação em iluminação tem a grande vantagem de contribuir para a economia de energia, pois a luz produzida pelo fenômeno

da eletroluminescência é muito mais eficiente que todas as demais lâmpadas hoje existentes. O Brasil, que já tem um déficit de cerca de 10 bilhões de dólares em sua balança no setor de semicondutores, tem que reverter essa situação desfavorável o mais rápido possível, sob o custo de ver esse déficit aumentar ainda mais, e junto, sua dependência tecnológica no setor.

- Medicamentos e fármacos

A dependência atual do Brasil na área de fármacos é muito grande, e este é um setor diretamente ligado à melhoria das condições de vida da sociedade. Novas tecnologias nessa área têm revolucionado conceitos e introduzido fármacos de uma nova geração no mercado. Ferramentas da informática, associadas a técnicas experimentais e teóricas da física, juntam-se à bioquímica e com isso proporcionam metodologias mais eficientes e menos custosas na produção de novos medicamentos. Medicamentos tamponados e uso de nanotecnologia para liberar medicamentos em local específico do organismo fazem parte dessa transformação. Vivemos a chamada era da produção racional de fármacos, medicamentos e vacinas. O Brasil tem desenvolvido muitas pesquisas nessa área multidisciplinar e encontra-se em condições de iniciar o estabelecimento de uma indústria brasileira no setor.

9.7 – A empresa e a formação de pesquisadores

Apesar do rápido crescimento do número de pesquisadores brasileiros em ciência e tecnologia, verificado nas últimas décadas, a nossa capacitação científica, e principalmente técnica, ainda apresenta lacunas que precisam ser preenchidas nesse momento em que o País almeja promover sua tecnologia industrial a um patamar bem mais elevado. Fato semelhante ocorreu em 1973, quando se criou a Embrapa como parte de um esforço para que o Brasil desenvolvesse técnicas agrícolas adaptadas ao seu clima e ao seu solo. Constatada a deficiência de pessoal qualificado, uma das primeiras decisões da Embrapa foi ampliar nossa capacitação científica na área agropecuária, e a empresa apoiou, por meio de concessão de bolsas de estudos, a formação de 1300 pesquisadores, a maioria deles em excelentes universidades estrangeiras. Juntamente com a ABDI, a Embracti deve identificar as deficiências em capacitação de pessoal que possam comprometer o esforço do Brasil para fazer avançar sua tecnologia, especialmente nas áreas priorizadas pela PITCE. A Embracti deve coordenar um esforço nacional para preenchimento ágil das lacunas de qualificação que forem diagnosticadas, e deve ter em seu orçamento recursos para financiar a formação de parte do pessoal requerido. Fração considerável dessas pessoas deve ser formada no exterior, por duas razões: por um lado, há áreas da ciência e da tecnologia contemporâneas em que o País ainda não é capaz de formar o número requerido de pessoas com a devida qualidade. Por outro, a formação de profissionais pós-graduados nos melhores centros do mundo é muito importante para que absorvamos mais rapidamente os novos conhecimentos e a nova cultura que estão sendo gerados nos países centrais. Formação de pessoal capaz de colocar e manter o País na fronteira da tecnologia industrial deve ser uma preocupação permanente da Empresa. Entretanto, como já dito antes, não é papel de uma Empresa ter programas de pós-graduação.

É comum que instituições brasileiras sofram sérios danos, ou até mesmo entrem em irrecuperável decadência, por causa de interferências políticas em seus quadros, em sua direção e na sua forma de atuação, assuntos que deveriam ser orientados por critérios estritamente técnicos. Esse risco é ainda maior se o sucesso da instituição lhe dá grande visibilidade e prestígio. Algumas das empresas públicas que conseguiram sucesso duradouro lograram isso exatamente porque souberam – ou tiveram a sorte de – se livrar da ingerência política. Um exemplo notável é a própria Embrapa, que ao longo dos seus 34 anos sempre teve seus dirigentes indicados segundo critérios técnicos e, exatamente por isso, sempre selecionou seus funcionários unicamente por critérios de qualificação. A única exceção a esse procedimento mostra a importância da meritocracia na seleção de dirigentes e de funcionários de empresas estatais. O único presidente da Embrapa indicado por razões políticas não foi bem sucedido, e permaneceu no cargo por menos de um ano. Chegou a demitir uma pesquisadora de renome internacional que, segundo o livro *Sol da Manhã*, teria sido cogitada para o Nobel. A Embrapa deve gozar de autonomia e flexibilidade administrativa. E, acima de tudo, no exercício dessa liberdade deve praticar a meritocracia como princípio inviolável na sua política de pessoal, na valorização dos seus Centros Temáticos e – dentro deles – nos projetos de pesquisa.